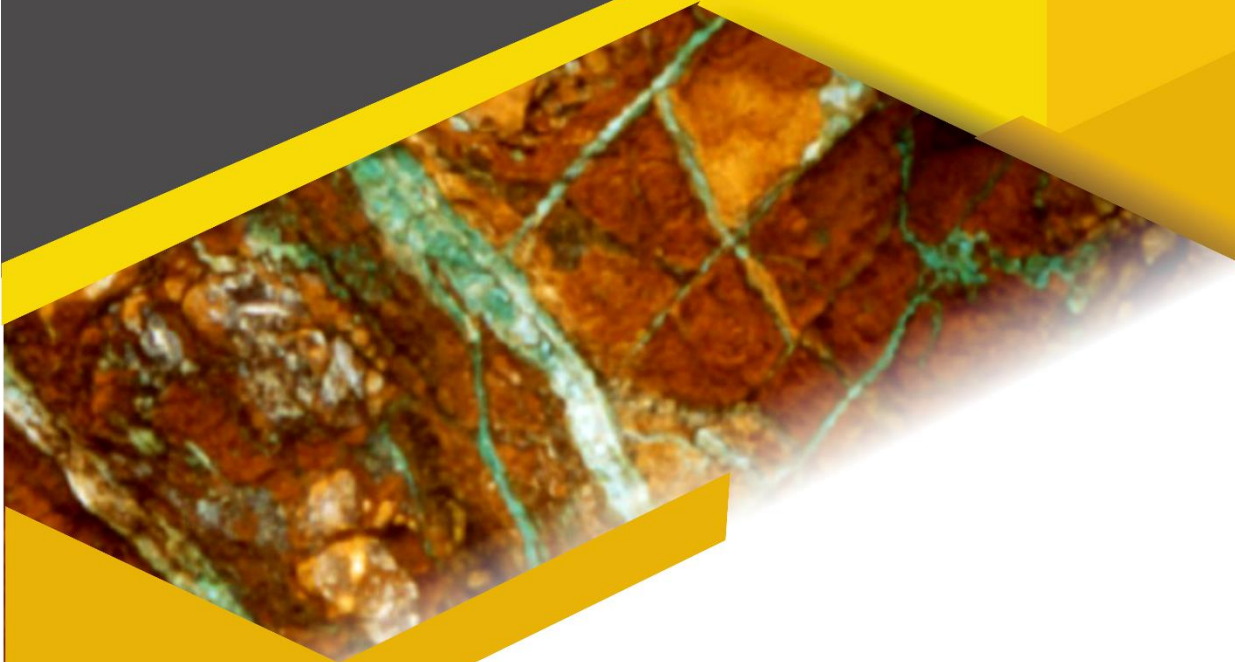


ISBN 978-623-389-202-5



Prosiding Seminar Nasional "40 Tahun Pandu Berbakti"



**TEKNIK PERTAMBANGAN, FTM-LPPM
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
YOGYAKARTA**

2022

Prosiding Seminar Nasional “40 Tahun Pandu Berbakti”

Steering Committee

Ir. Priyadi (Komting 82, Dirut PT. Adaro, Tbk.)

Ir. Putra Slamet Abadi

Ir. Yosep Yudianto

Organizing Committee

Ketua Pelaksana : Ir. Bambang Purwono

Wakil Ketua I : Dr. Ir. Waterman Sulistyana Bargawa, MT., IPM.

Sekretaris : Ir. Amiseno, Ir. Heru Siswandono, Ir. Heru Siswandono,
Ir. Purwoko Yulianto

Bendahara : Ir. Iryono Adi, Ir. Oki Widiananto

Humas & Publikasi : Ir. Basuki Trubus Wicaksono

Acara : Ir. Agus Panca Sucahyo, MT., Ir. M. Mochtar Chodlari, MBA

Kesekretariatan : Agus Sugiharto, MT

Distribusi : Ir. Bagus Wiyono, MT

Reviewer

Dr. Arifudin Idus UGM

Dr. Nur Heriawan ITB

Dr. Syafrizal ITB

Dr. Supandi ITNY

Dr. Waterman Sulistyana Bargawa UPNVY

Dr. Shofa Rijalul Haq UPNVY

Dr. Aldin Ardian UPNVY

Dr. Nur Ali Amri UPNVY

Editor

Ir. Saiful Kirom

Ir. Trisno Yuwono

Ir. Florentinus Agung Widodo

Ir. Heru Siswandono

Managing Editor

Ir. Eka Budhi Mahatma

Ir. Arif Budi Prasetyanto

Ir. Dadik Kiswanto

Ir. Henrico Syambastian

Risal Gunawan, ST.

Arhya Pramesti Putri Arindry, ST.

Anisyah Alqurani, ST.

Sofiannur, ST.

Cetakan Tahun 2022

Katalog Dalam Terbitan (KDT):

Prosiding Seminar Nasional “40 Tahun Pandu Berbakti”

Penerbit LPPM UPN Veteran Yogyakarta vi + 140 hlm; (21 × 29.7) cm².

ISBN: 978-623-389-202-5

Redaksi

Teknik Pertambangan Fakultas Teknologi Mineral

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Sekretariat: Gd. Ari F. Lasut ALC I UPN “Veteran” Yogyakarta

Jl. Padjadjaran 104 (Lingkar Utara), Condongcatur, Yogyakarta 55283

Telepon (0274) 486733, ext 154, Fax. (0274) 486400

E-mail: lppm@upnyk.ac.id

Hak Cipta dilindungi Undang-undang.

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apa pun, termasuk fotokopi, tanpa izin tertulis dari penerbit.

**PRAKATA KETUA PANDU TEKNIK PERTAMBANGAN FTM
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”
YOGYAKARTA
2022**

Puji syukur tim editor panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga Seminar Nasional 40 Tahun Pandu Berbakti dapat terlaksana dengan baik dan lancar. Seminar ini bertema “*Fleksibilitas Alumni Tambang dalam Berkarya dengan Semangat Bela Negara*” yang diselenggarakan dalam rangka reuni Alumni Tambang “82” Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta Tahun 2022.

Pada seminar dipresentasikan hasil penelitian, review, dan hasil pengabdian yang dilakukan oleh peneliti yang berasal baik dari perguruan tinggi maupun praktisi perusahaan pertambangan. Hasil seminar tersebut kemudian didokumentasikan dalam prosiding ini.

Seminar ini dapat terlaksana dengan sukses atas bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu kami ucapkan terima kasih pihak-pihak yang telah membantu terselenggaranya acara ini.

Semoga prosiding ini bermanfaat untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Yogyakarta, 09 Desember 2022

Ketua Pandu 82
Ir. Putra Slamet Abadi

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN IDENTITAS PROSIDING	ii
PRAKARTA KETUA ALUMNI TAMBANG ANGKATAN “82”	iv
DAFTAR ISI	v
 Analisis Kelas Massa Batuan dengan Metode Q-System Terowongan Tambang Bawah Tanah Ardy Pramesti Putri Arindry, Singgih Saptono dan Barlian Dwinagara	 1
 Analisis Jarak Lubang Bor untuk Klasifikasi Sumberdaya Batubara Studi Kasus Cekungan Tarakan Kalimantan Utara Septi Wulandari, Eddy Winarno, dan Nur Ali Amri	 8
 Pentingnya Perencanaan Lahan Pascatambang Literatur Review Risal Gunawan, Rika Ernawati dan Rahmat Fauzan Izza	 16
 Evaluasi Pemanfaatan Limbah Slag Nikel pada Pengolahan Biji Nikel Laterit (Studi kasus Pengolahan Biji Nikel Laterit Halmahera Selatan), Sahrul Huda, Tedy Agung Cahyadi, Rika Ernawati, Edy Nursanto, dan Nur Ali Amri	 25
 Pengelolaan Lahan Pascatambang Berbasis Berkelanjutan Literatur Review Risal Gunawan, Waterman Sulistyana Bargawa, dan Nur Ali Amri	 32
 Comparison of VES and IPI2WIN Result with Drilling Groundwater at Wonogiri Garmen Factory Project Site Winda	 41
 Studi Karakteristik Geologi Dalam Penentuan Lokasi As Calon Bendungan Di Sungai Nungga Kota Bima Husni Randa, Barlian Dwinagara, Muhammad Fathin Firaz dan Arif Wijaya	 50
 Analisis Penurunan Muka Tanah Akibat Beban Fondasi Dangkal Pada Calon Bendungan Dodu Rasanae Timur Kota Bima Nusa Tenggara Barat Husni Randa, Barlian Dwinagara, Muhammad Fathin Firaz, Diah Rahmawati dan, Alpiana	 60
 Literatur Review Pemanfaatan Limbah Slag Nikel pada Kegiatan Pengolahan Bijih Nikel Sahrul Huda Ode Sam, Tedy Agung Cahyadi, Rika Ernawati, Edy Nursanto, dan Nur Ali Amri	 70

Study of the Mineralogical Characteristics of Laterite Nickel Deposit Wailukum Block PT. Aneka Tambang Tbk. Geomin Units East Halmahera District North Maluku Province Fahrudin Sahid dan Jeha Kunramadi	79
Overview Metode Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Bakteri Pereduksi Sulfat Anisyah Alquran Ni, Rika Ernawati, Tedy Agung Cahyadi, Edy Nursanto, dan Nur Ali Amri	89
Estimasi Sumberdaya Batubara berdasarkan Uji Prospek Beralasan Kode KCMI 2017 Eko Wicaksono	96
Tinjauan Literatur Identifikasi dan Potensi Rare Earth Element Epafras Meihaga dan Waterman Sulistyana Bargawa	104
Overview Metode Pengelolaan Limbah Tailing Akibat Kegiatan Pertambangan Emas Fitra Kurniawan, Tedy Agung Cahyadi, Rika Ernawati, Waterman Sulistyana Bargawa, dan Nur Ali Amri	111
Perbandingan Hasil Estimasi Kadar Bijih Nikel Laterit dengan Metode Inverse Distance Weighting dan Ordinary Kriging Berdasarkan Literatur Review Muh Ardian Syaputra, Aviv Alansyah dan Muh Nuzul Haq	116
Estimasi Sumberdaya Endapan Nikel Laterit Sulawesi Tengah dengan Metode metode inverse distance weighted Gede Yangda Sugianto, Waterman Sulistyana Bargawa, Dahono Haryanto	122
Estimasi cadangan memakai pendekatan lerch Grossman Studi Kasus Bijih Nikel Laterit di Bahodopi Sulawesi Tengah Muh. Ardian Syaputra, Risal Gunawan, Waterman Sulistyana Bargawa	128
Estimasi Sumberdaya Endapan Nikel Laterit Sulawesi Tengah dengan Metode Ordinary Kriging Gede Yangda Sugianto, Waterman Sulistyana Bargawa, Dahono Haryanto	135

Analisis Kelas Massa Batuan Dengan Metode Q-System Terowongan Tambang Bawah Tanah

Ardy Pramesti Putri Arindry^{1,a)}, Singgih Saptono^{1,b)}, Barlian Dwinagara^{1,c)}

¹Magister Teknik Pertambangan UPN Veteran Yogyakarta, Jl. SWK No.104 (Lingkar Utara), Ngropoh, Condongcartur, Depok Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

^{a)}Korespondensi: apramesti88@gmail.com

^{b)}singgihsaptono@upnyk.co.id

^{c)}barliandn@upnyk.ac.id

Abstrak. Terowongan Kalilingseng merupakan terowongan tambang bawah tanah bekas tambang bijih mangan yang terletak di Desa Karangsari, Kecamatan Pengasih, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Studi ini memberikan informasi tentang Kualitas Massa Batuan (Q-system) dari kelas massa batuan di daerah penelitian, menentukan stabilitas terowongan dan rekomendasi untuk sistem penyangga terowongan. Metode klasifikasi yang digunakan yaitu Q-sistem. Data yang digunakan adalah Rock Quality Designation (RQD), jumlah kekar (Jn), kekasaran kekar, derajat alterasi atau pengisian kekar, kondisi air dan faktor reduksi tegangan. Analisis kelas massa batuan dilakukan berdasarkan klasifikasi Q-system dari enam parameter, yang kemudian disesuaikan ratingnya untuk menentukan kelas massa batuan terowongan dan pemilihan jenis sistem penyangga terowongan. Klasifikasi massa batuan berdasarkan Q-system yaitu dengan kisaran nilai Q 6,21-26,79 dengan klasifikasi baik dan cukup. Rekomendasi sistem penyangga berdasarkan Q-system yaitu *systematic bolting*, *fibre reinforced sprayed concrete*, yaitu *sprayed concrete* dengan ketebalan 5-6 cm dengan spasi pemasangan rockbolt 2,4 m dan panjang rockbolt 2 m.
Kata kunci : terowongan, klasifikasi massa batuan, Q-system

Abstract. Kalilingseng Tunnel is an underground mine tunnel of a ex manganese ore mine located in Karangsari Village, Pengasih District, Kulon Progo Regency, Special Region of Yogyakarta. This study provides information on the Quality of Rock Mass (Q-system) of rock mass classes in the study area, determining tunnel stability and recommendations for tunnel support systems. The classification method used is Q-system. The data used are Rock Quality Designation (RQD), number of bridles (Jn), bridle roughness, degree of alteration or bridle filling, water conditions and stress reduction factor. Rock mass class analysis was carried out based on the Q-system classification of six parameters, which were then adjusted for their rating to determine the tunnel rock mass class and the selection of the type of tunnel support system. The rock mass classification based on Q-system is in the range of Q value 6.21-26.79 with good and sufficient classification. Recommendations for support systems based on Q-system are systematic bolting, fiber reinforced sprayed concrete, sprayed concrete with a thickness of 5-6 cm with a rockbolt installation spacing of 2.4 m and a rockbolt length of 2 m.

Keywords: Tunnel, rock mass classification, Q-system

1.1 PENDAHULUAN

Tambang bawah tanah (*Underground Mining*) merupakan metode penambangan yang segala kegiatan atau aktivitas penambangannya dilakukan dibawah permukaan bumi [1]. Kajian geologi dan geoteknik diperlukan untuk mendapatkan gambaran awal kondisi batuan yang ada di sekitar terowongan [2]. Klasifikasi massa batuan merupakan tumpuan dasar untuk menganalisis kualitas massa batuan dalam menginformasikan kondisi geologi di sekitar terowongan serta dapat menentukan kestabilan dari terowongan. Terganggunya kestabilan dari daerah tersebut diakibatkan oleh penggalian lubang bukaan seperti keruntuhan atap dan ambruk dinding (*rib spalling*). Hal ini dipengaruhi oleh kondisi geologi (lipatan atau patahan), kondisi air tanah, sifat fisik dan sifat mekanik yang kurang baik dalam hal daya dukung batuan [3].

Klasifikasi massa batuan *Q-system* digunakan untuk mengidentifikasi nilai kualitas massa batuan dan rekomendasi jenis penyangga yang akan digunakan pada terowongan. Analisis ini menyatakan bahwa kestabilan lubang bukaan dipengaruhi oleh data Rock Quality Designation (RQD), jumlah kekar (Jn), kekasaran kekar, derajat alterasi atau pengisian kekar, kondisi air serta 1actor reduksi tegangan.

Kondisi batuan secara umum di wilayah Kulon Progo didominasi batuan vulkanik dan batugamping berumur Oligosen Akhir-Pliosen [4]. Terdapat bidang diskontinuitas yang secara geologi merupakan bidang lemah yang dapat mengakibatkan keruntuhan terowongan. Lokasi penelitian merupakan terowongan bekas tambang bijih mangan yang terletak di Desa Karangsari, Kecamatan Pengasih, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.

1.2 KAJIAN PUSTAKA

Rock Mass Quality (Q-system) atau disebut juga sebagai *Tunneling Quality Index* pertama kali diusulkan oleh Barton, Lien dan Lunde pada tahun 1974 di Norwegian Geotechnical Institute (NGI) sehingga disebut juga NGI *Classification System* [5]. Q-system merupakan 2actor yang memperhitungkan enam parameter yaitu RQD, jumlah kekar, kekasaran kekar, perubahan kekar, kondisi air pada kekar dan 2actor tekanan [6] yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (1)$$

Dimana:

RQD = *Rock Quality Designation*

J_n = *Joint set number*

J_r = *Joint roughness number*

J_a = *Joint alteration number*

J_w = *Joint water reduction factor*

SRF = *Stress Reduction Factor*

Q-system secara khusus direkomendasikan untuk terowongan dengan atap melengkung. Massa batuan telah diklasifikasi ke dalam 2actor2n kategori berdasarkan nilai Q dengan nilai yang bervariasi antara 0,001 dan 1000 yang dapat dilihat dalam **TABEL 1**.

TABEL 1. Klasifikasi massa batuan berdasarkan Q

Q	Group	Classification
Oct-40	1	Good
40-100		Very good
100-400		Extremely good
400-1000		Exceptionally good
0.1-1.0	2	Very poor
1.0-4.0		Poor
4.0-10.0		Fair
0.001-0.01	3	Exceptionally poor
0.01-0.1		Extremely poor

Korelasi *Tunneling Quality Index* (Q) dengan perilaku dan persyaratan dukungan penggalian bawah tanah yang disebut *Dimensi Equivalent* (D_c) didefinisikan sebagai berikut:

$$D_c = \frac{\text{Excavation span, diameter atau tinggi (m)}}{\text{Rasio Excavation suport}} \quad (2)$$

Rasio Excavation Support (ESR) diperoleh dari hasil investigasi hubungan antara maksimum galian tanpa struktur penyangga (SPAN) dan Q pada area galian lebih dari 10 tahun. Barton, 1974 merekomendasikan nilai ESR yang dapat dilihat pada **TABEL 2** [6]. Pendekatan hubungan tersebut yaitu :

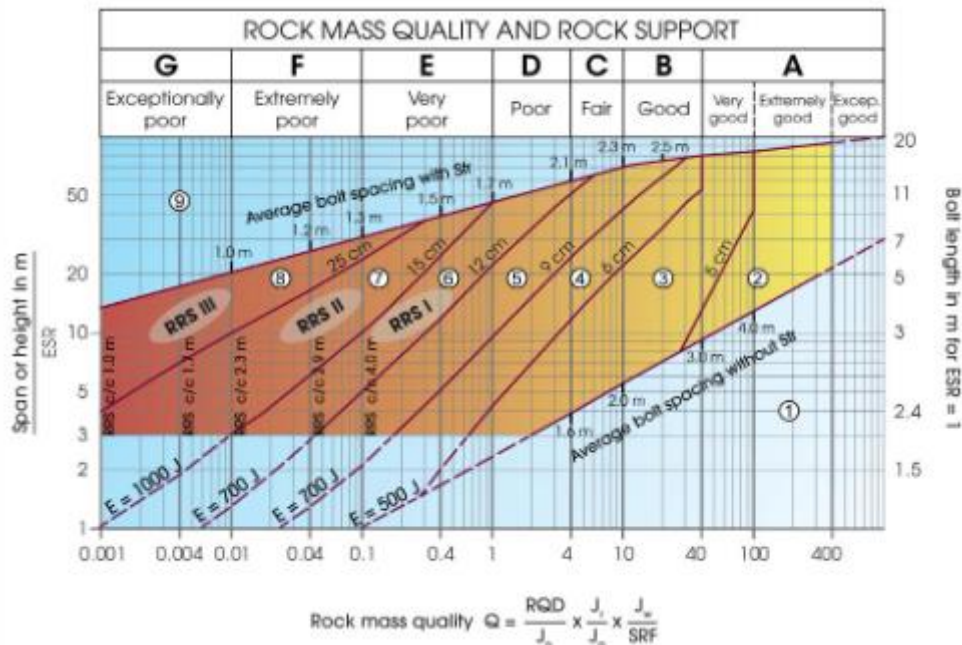
$$SPAN = 2Q^{0.66} = 2ESR \cdot Q^{0.4} \quad (3)$$

Q-system telah dimodifikasi berdasarkan 2actor reduksi tegangan dan menjadi dasar rekomendasi penyangga [7].

TABEL 2. ESR value

7 Type of excavation		ESR
A	Tempororary mine opening, etc	ca. 3-5
B	Vertical shaft*: 1) circular section 2) rectangular/square section *dependent of purpose. May be lower than given values.	Ca. 2.5 ca. 3.0

7 Type of excavation		ESR
C	Permanent mine openings, water tunnels for hydro power (exclude high pressure penstocks) water supply tunnels, pilot tunnels, drifts and headings for large openings.	1.6
D	Minor load and railway tunnels, surge chambers, access tunnels, sewage tunnels, etc.	1.3
E	Power houses, storage rooms, water treatment plants, major road and railway tunnels, civil defence chambers, portals, intersections, etc.	1.0
F	Underground nuclear power stations, railways stations, sports and public facilities, factories, etc.	0.8
G	Very important caverns and underground openings with a long lifetime, 100 years, or without access for maintenance.	0.5



GAMBAR 1. Grafik rekomendasi penyangga berdasarkan Q-system

1.3 METODE DAN MATERIAL

Teknik pengumpulan data menggunakan dua metode yaitu data primer yang meliputi observasi lapangan secara langsung untuk mencari data-data pendukung, data pengujian laboratorium serta data sekunder yaitu studi literatur atau studi pustaka dari penelitian terdahulu. Data tersebut saling berkaitan dan cukup baik untuk diolah dalam menyelesaikan permasalahan yang ada. Observasi lapangan dilakukan menggunakan metode *scanline* dengan membentangkan meteran untuk mengukur bidang diskontinuitas yang ada di terowongan. Batuan penyusun terowongan yaitu mangan yang tersebar dalam batugamping. Daerah penelitian tersusun oleh formasi Sentolo yang mempunyai batuan penyusun berupa batu pasir napalan dan batu gamping, dan pada bagian bawahnya terdiri dari napal tuffan.

1.4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran dengan metode *scanline* dilakukan sepanjang terowongan dan ada beberapa data yang diambil yaitu strike/dip, nomor kekar, jarak antar kekar, serta 3anjang dan lebar kekar. Pada penelitian ada 5 lokasi titik pengambilan sampel yaitu: Titik 1, didapatkan strike/dip N 160°E/80° dan 3anjang scanline 29 m. Titik 2, didapatkan strike/dip N 300°/86° dan 3anjang scanline 67 m. Titik 3, didapatkan strike/dip N 272°/88° dan 3anjang scanline 77 m. Titik 4, didapatkan strike/dip N 355°/88° dan 3anjang scanline 99 m. Titik 5, didapatkan strike/dip N 185°/81° dan 3anjang scanline 135 m.

TABEL 2. Koordinat Lokasi Penelitian

Titik Pengamatan	Koordinat	
	Easting	Northing
1	404509	9133257
2	404510	9133294
3	404508	9133304
4	404501	9133324
5	404481	9133353

Hasil uji laboratorium didapatkan pengujian sifat fisik dan mekanik batuan serta rata-rata kuat tekan batuan yang dapat dilihat pada **TABEL 3-4**.

TABEL 3. Rata-rata sifat fisik batuan

Sifat fisik batuan	Titik pengamatan					Satuan
	1	2	3	4	5	
Natural density	6.49	4.33	2.94	3.87	3.34	gr/cm ³
Dry density	6.31	4.24	2.81	3.68	3.20	gr/cm ³
Saturated density	6.96	4.47	2.98	3.89	3.37	gr/cm ³
Apparent specific gravity	6.31	4.24	2.81	3.68	3.20	-
True specific gravity	18.39	5.57	3.39	4.67	3.87	-
Water content	2.89	2.24	4.73	5.29	4.48	%
Saturated water content	10.82	5.45	6.13	5.80	5.29	%
Saturation	29.33	40.74	77.28	91.36	58.02	%
Porositas	64.63	23.05	17.23	21.05	17.02	%
Void ratio	2.04	0.30	0.21	0.27	0.21	-

TABEL 4. Rata-rata kuat tekan batuan

Sampel	UCS (Mpa)	Poisson Ratio	Modulus Young (Mpa)
1	12,95	0,05	1521,42
	16,74	0,18	3018,96
	13,97	0,06	3170,90
2	12,83	0,02	1834,48
	10,25	0,12	1971,04
	18,04	0,15	2214,94
3	15,38	0,17	1352,93
	11,51	0,21	2537,53
	20,52	0,34	3415,12
4	29,3	0,03	1595,54
	20,4	0,04	2767,45
	35,81	0,20	2843,94
5	19,14	0,03	15179,44
	22,48	0,07	4812,62
	16,68	0,04	1152,11

Pembobotan nilai klasifikasi massa bataun berdasarkan Q-system dapat dilihat dari **TABEL 5-11**.

TABEL 5. Pembobotan RQD

Sampel	RQD (%)	Deskripsi	RQD rata-rata (%)
1	80.36	baik	84.98
2	73.04	cukup	
3	92.21	Sangat baik	
4	96.53	Sangat baik	
5	82.76	baik	

TABEL 6. Pembobotan jumlah pasang kekar

Sampel	Jumlah Kekar	Joint set	Pembobotan
1	17	2	4
2	12	2	4
3	9	2	4
4	18	2	4
5	26	2	4

TABEL 7. Pembobotan kekasaran kekar

Sampel	Keterangan	Jumlah	Nilai	Rata-rata (Jr)
1	Kekar tidak teratur, bergelombang	9	3	2.5
	Halus, bergelombang	8	2	
2	Halus, licin	12	1	1
3	Kasar tidak teratur, rata	9	1.5	1.5
4	Kekar tidak menerus	10	4	2.75
	Kasar tidak teratur, rata	8	1.5	
5	kekar tidak menerus	13	4	3.5
	Kasar tidak teratur, bergelombang	13	3	

TABEL 8. Alterasi kekar

Sampel	Kekar	Keterangan	Nilai	Rata-rata (Ja)
1	17	Padat keras tanpa pelunakan, pengisi impermeable	0.75	0.75
2	12	Dinding kekar tidak alterasi, hanya berubah warna pada permukaan	1	1
3	9	Dinding kekar tidak alterasi, hanya berubah warna pada permukaan	1	1
4	8	Lapisan lanau atau lempung pasir, sedikit hancuran batuan lempung	3	
	10	Dinding kekar tidak alterasi, hanya berubah warna pada permukaan	1	2
5	26	Dinding kekar tidak alterasi, hanya berubah warna pada permukaan	1	1

TABEL 9. Aliran air tanah

Sampel	Kekar	Keterangan	Nilai	Rata-rata (Jw)
1	17	Lubang bukaan kering, struktur stabil, batuan kompeten	1	1
2	9	Lubang bukaan kering, struktur stabil, batuan kompeten	1	0.85
	3	Lubang bukaan basah, struktur stabil, batuan kompeten	0.7	
3	9	Lubang bukaan basah, struktur stabil, batuan kompeten	0.7	0.7
4	18	Lubang bukaan kering, struktur tidak stabil, batuan kompeten	0.8	0.8
5	26	Lubang bukaan kering, struktur tidak stabil, batuan kompeten	0.8	0.8

TABEL 10. SRF

Sampel	Keterangan	Pembobotan
1	Terdapat bidang lemah tunggal terdiri dari lempung dan batuan terlapukkan (kedalaman penggalian >50 m)	2.5
2	Terdapat bidang lemah tunggal terdiri dari lempung dan batuan terlapukkan (kedalaman penggalian >50 m)	2.5
3	Terdapat bidang lemah tunggal terdiri dari lempung dan batuan terlapukkan (kedalaman penggalian >50 m)	2.5
4	Terdapat bidang lemah tunggal terdiri dari lempung dan batuan terlapukkan (kedalaman penggalian >50 m)	2.5
5	Terdapat bidang lemah tunggal terdiri dari lempung dan batuan terlapukkan (kedalaman penggalian >50 m)	2.5

TABEL 11. ESR

Kategori terowongan yang akan digunakan	ESR
E Terowongan bawah tanah dengan umur 100 tahun atau tanpa akses untuk pemeliharaan	0.5

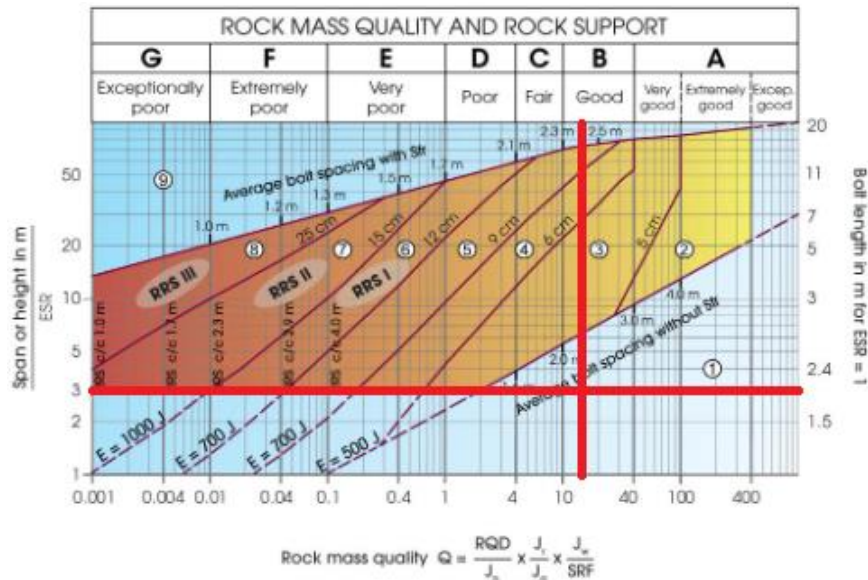
Barton, dkk (1974) mendefinisikan parameter dimensi ekuivalen (De) untuk terowongan berdasarkan nilai Q-system yang bertujuan untuk melengkapi klasifikasi massa batuan dan pemilihan rekomendasi 6 anjan penyanggaan. Nilai De yang diperoleh berdasarkan persamaan 2 yaitu 3 m. Berdasarkan pembobotan parameter Q-system, maka klasifikasi massa batuan berdasarkan Q-system yaitu sebagai berikut :

TABEL 12. Nilai Q-system

Parameter	S1	S2	S3	S4	S5
RQD (%)	80.36	73.04	92.21	96.53	82.76
Jn	4	4	4	4	4
Jr	2.5	1	1.5	2.75	3.5
Ja	0.75	1	1	2	1
Jw	1	0.85	0.7	0.8	0.8
SRF	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Nilai Q	26.79	6.21	9.68	10.62	23.17
Klasifikasi	Baik	Cukup	Cukup	Baik	Baik

Berdasarkan klasifikasi massa batuan Q-system, diperoleh nilai Q dengan klasifikasi yaitu baik dan cukup. Walaupun demikian 6 anjan penyangga tetap akan direkomendasikan untuk mendukung kekuatan massa batuan yang ada pada terowongan. Penentuan rekomendasi 6 anjan penyangga berdasarkan nilai Q-system dapat dilihat berdasarkan kurva yang menghubungkan nilai Q-system dengan Dimensi Ekuivalen (De). Rekomendasi 6 anjan penyangga terowongan dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Rekomendasi 6 anjan penyanggaan berdasarkan klasifikasi Q-system adalah *systematic bolting, fibre reinforced sprayed concrete* [8], yaitu *sprayed concrete* dengan ketebalan 5-6 cm dengan spasi pemasangan rockbolt 2,4 m dan 6 anjan rockbolt 2 m.



GAMBAR 2. Kategori penyangga terowongan berdasarkan Q-system

1.5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh kesimpulan kualitas massa batuan berdasarkan Q-system pada sampel 1 sebesar 26,79 masuk kedalam kelas batuan baik, sampel 2 sebesar 6,21 masuk kedalam kelas batuan cukup, sampel 3 sebesar 9,68 masuk kedalam kelas batuan cukup, sampel 4 sebesar 10,62 masuk kedalam kelas batuan baik, sampel 5 sebesar 23,17 masuk kedalam kelas batuan baik. Rekomendasi sistem penyangga berdasarkan Q-system yaitu *systematic bolting*, *fibre reinforced sprayed concrete* dengan *sprayed concrete* dengan ketebalan 5-6 cm dengan spasi pemasangan rockbolt 2,4 m dan panjang rockbolt 2 m.

1.6 UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan paper ini tidak terlepas dukungan dari berbagai pihak khususnya kepada Fakultas Teknologi Mineral Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hartman, H. L. 1987. "Introductory Mining Engineering", John Wiley & Sons Inc., Canada.
- [2] Lambiase, J. J., & Husein, S. 2015. The Modern Mahakam Delta: "An Analogue For Transgressive--Phase Deltaic Sandstone Reservoirs On Low Energy Coastlines".
- [3] Høyen, A. H., Nilsen, B., & Olsson, R. 2019. Main Aspects Of Deformation And Rock Support In Norwegian Road Tunnels. *Tunnelling And Underground Space Technology*, 86, 262–278.
- [4] Harjanto, Agus. 2021. "Karakteristik Mangan (Mn) di Daerah Kliripan dan Sekitarnya, Desa Hargorejo, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta". Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta. *Jurnal Geosains dan Teknologi* vol. 4, no. 1, Maret.
- [5] W. Junaida, R. Muhammad, dan S. Djoko. 2020. "Pemodelan Terowongan Pada Batuan Dengan Metode Finite Element : Studi Kasus Terowongan Diversion Tunnel Rencana Bendungan Jambu Aye, Nangro Aceh Darussalam", *CRANE: Civil Engineering Research Journal*, vol. 1, no.1, Edisi April, <https://ojs.unikom.ac.id/index.php/crane>.
- [6] Barton, N. R., Lien, R. dan Lunde, J. 1974. "Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*", Vol. 6, hal. 189-239. DOI:10.1007/BF01239496.
- [7] Grimstad, E. dan Barton, N. 1993. Updating of the Qsystem for NMT. *Proceedings of the International Symposium on Sprayed Concrete- "Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support"*. Fagernes: Oslo, hal. 46-66.
- [8] Bernard, E. S., & Thomas, A. H. 2020. "Fibre Reinforced Sprayed Concrete For Ground Support". *TAI Journal (A Half Yearly Technical Journal Of Indian Chapter Of TAI)*, 9(1), 13–33.

Analisis Jarak Lubang Bor Untuk Klasifikasi Sumberdaya Batubara Studi Kasus Cekungan Tarakan Kalimantan Utara

^{1*)}Septi Wulandari, ^{2*)}Eddy Winarno, ^{2*)}Nur Ali Amri

¹PT. Atha Marth Naha Kramo, Kab. Malinau, Kalimantan Utara

²Magister Teknik Pertambangan UPN Veteran Yogyakarta, Jl. SWK No.104 (Lingkar Utara), Ngropoh, Condongcartur, Depok Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

*e-mail: septi.wulandari077@gmail.com; nuraliasamri@upnva.ac.id

Abstrak. PT. Atha Marth Naha Kramo (PT. AMNK) merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan batubara yang saat ini telah memulai melakukan aktivitas penambangan. Blok penambangan dibagi menjadi blok utara, blok tengah, dan blok selatan. Aktivitas pengeboran telah selesai dilakukan pada blok utara dan blok tengah, dengan 32 titik pengeboran untuk blok utara dengan *seam* utama yaitu *seam C*, *seam D*, dan *seam E*, sedangkan untuk blok tengah terdapat 66 titik pengeboran menghasilkan 4 *seam* utama yaitu *seam H*, *seam I*, *seam J*, dan *seam K*, dengan jarak lubang bor rata-rata 150 m. Tipe endapan batubara berdasarkan SNI 5015:2019 dinyatakan bahwa kondisi geologi di daerah penelitian termasuk pada kelompok geologi moderat, salah satunya dengan dijumpai adanya indikasi sesar di area blok tengah. Pada tahun 2024 PT. AMNK menargetkan akan melakukan eksplorasi lanjutan pada daerah blok selatan sehingga diperlukan analisis lebih lanjut terkait jarak lubang bor optimum sehingga estimasi dan klasifikasi sumberdaya dapat dilakukan lebih tepat. Penelitian ini dilakukan sebagai bentuk analisis jarak lubang bor optimum guna mendukung kegiatan penambangan pada daerah penelitian selanjutnya dengan menggunakan geostatistik akan dilakukan estimasi dan klasifikasi sumberdaya batubara. Hasil yang didapatkan Jarak lubang bor optimum pada daerah penelitian diambil pada jarak 250 m, 425 m, dan 750 m, berturut-turut untuk kategori *measured*, *indicated*, dan *inferred*, diambil dari hasil analisis *seam D* yang merupakan jarak lubang bor terkecil yang didapatkan melalui analisis GEV.

Kata kunci: Jarak Lubang Bor Optimum, *Sill Variogram*, *Global Estimation Variance*

Abstract. PT. Atha Marth Naha Kramo (PT. AMNK) is a company engaged in coal mining which has now started mining activities. The mining block is divided into blocks namely the north block, middle block, and south block. Drilling activities have been completed in the north block and middle block, with a total of 32 drilling points for the north block with the main seams namely *seam C*, *seam D*, and *seam E*, while for the middle block there are 66 drilling points producing 4 main seams namely *seam H*, *seam I*, *seam J*, and *seam K*, with an average borehole distance of 150 m. The type of coal deposit based on SNI 5015:2019, the geological conditions in the study area are included in the moderate geological group, one of which is the presence of indications of faults in the middle block area. In 2024 PT. AMNK targets to carry out further exploration in the southern block area so that further analysis is needed regarding the optimum drill hole distance so that resource estimation and classification can be carried out more precisely. This research was conducted as a form of analysis of optimum drill hole distances to support mining activities in the next research area using geostatistics to estimate and classify coal resources. The results obtained Optimum drill hole distances in the research area were taken at a distance of 250 m, 425 m, and 750 m, respectively for the *measured*, *indicated*, and *inferred* categories, taken from the results of *seam D* analysis which is the smallest drill hole distance obtained through GEV analysis.

Keyword: Optimum Drill hole spacing, *Sill Variogram*, *Global Estimation Variance*

2.1 PENDAHULUAN

Klasifikasi sumberdaya dan cadangan ditentukan berdasarkan kegiatan pengeboran yang merupakan salah satu kegiatannya memerlukan biaya tinggi, oleh karenanya berdasarkan berdasarkan pedoman yang tertulis pada SNI 5015:2019 untuk batubara menyebutkan pada level keyakinan tertunjuk dan terukur jarak antar lubang bor boleh diperpanjang bila ada justifikasi teknis, misal jika ditunjang oleh analisis geostatistik. Menurut Vargas (2017) terdapat dua metode dalam analisis jarak lubang bor yaitu (a) *Drill Hole Spacing Analysis* (DHSA) dan (b) *Drill hole spacing optimization with conditional simulation*.

DHSA diperhitungkan dengan metode *Global Estimation Variance* atau GEV [1]. Penelitian tersebut membandingkan hasil klasifikasi dan estimasi dari hasil analisis jarak lubang bor dengan metode geostatistik dengan hasil menggunakan dasar *Australian Coal Guideliness* dan menemukan bahwa pendekatan non-geostatistik mengarah pada tingkat ketidakpastian yang tidak selalu sesuai dengan kompleksitas geologi serta menyimpulkan bahwa penggunaan skema klasifikasi dengan satu ukuran jarak lubang bor seperti yang disarankan pada *Australian Coal Guideliness* dapat menghasilkan klasifikasi sumberdaya yang tidak tepat. Penentuan klasifikasi sumberdaya, juga dapat dilakukan berdasarkan besaran *sill* dari variogram [8]. Klasifikasi Sumberdaya ini dinyatakan sebagai *variogram continuity*.

PT. AMNK merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dibidang pertambangan batubara yang saat ini telah memulai melakukan aktivitas penambangan. Blok penambangan dibagi menjadi blok yaitu blok utara, blok tengah, dan blok selatan. Aktivitas pengeboran telah selesai dilakukan pada blok utara dan blok tengah, dengan jumlah 32 titik pengeboran untuk blok utara dengan *seam* utama yaitu *seam C*, *seam D*, dan *seam E*, sedangkan untuk blok tengah terdapat 66 titik pengeboran menghasilkan 4 *seam* utama yaitu *seam H*, *seam I*, *seam J*, dan *seam K*, dengan jarak lubang bor rata-rata 150 m. Tipe endapan batubara berdasarkan SNI 5015:2019 kondisi geologi di daerah penelitian termasuk pada kelompok geologi moderat, salah satunya dengan dijumpai adanya indikasi sesar di area blok tengah [9]. Pada tahun 2024 PT. AMNK menargetkan akan melakukan eksplorasi lanjutan pada daerah blok selatan sehingga diperlukan analisis lebih lanjut terkait jarak lubang bor optimum sehingga estimasi dan klasifikasi sumberdaya dapat dilakukan lebih tepat.

Penelitian ini dilakukan sebagai bentuk analisis jarak lubang bor optimum guna mendukung kegiatan penambangan pada daerah penelitian selanjutnya dengan menggunakan geostatistik akan dilakukan estimasi dan klasifikasi sumberdaya batubara.

2.2 METODE

Data

Data yang digunakan adalah data sekunder dari hasil pengeboran eksplorasi batubara di daerah penelitian. Data tersebut digunakan untuk memodelkan penyebaran lapisan batubara, mengklasifikasikan sumberdaya batubara, serta estimasi sumberdaya batubara. Secara keseluruhan terdapat 11 *seam* batubara pada daerah penelitian namun dipilih *seam K* yang mempunyai data representatif dan mewakili daerah penelitian. Data lubang bor untuk *seam K* sebanyak 66 lubang bor dengan jarak rata-rata 150 m dan *seam D* yang mempunyai data 32 lubang bor dengan jarak rata-rata pengeboran sama seperti *seam K* yaitu 150 m. Kedalaman pengeboran cukup bervariasi dengan rata-rata kedalaman 90.67 m dan lubang bor terdalam 134.32 m dan lubang bor terendah 36.01 m. Data pengeboran dapat dilihat pada Lampiran A. Selain data pengeboran data yang dikumpulkan untuk memenuhi tujuan penelitian berupa antara lain peta litologi, peta *crop line*, peta Izin Usaha Pertambangan PT. AMNK.

Data Statistik

Rata-rata, nilai minimum dan maksimum, varians, serta standar deviasi sampel merupakan parameter statistika deskriptif selanjutnya digunakan sebagai dasar analisis statistika bivariat.

TABEL 1. Hasil analisis statistik untuk *seam K*

<i>Seam</i>	Variabel	Min	Max	Count	Mean	Var	Std Dev	CoV	Skew
K	Thickness	4.26	6.69	66	5.29	0.299	0.54	0.10	0.30
	Ash	1.90	2.80	27	2.22	0.054	0.23	0.10	1.08
	Total Sulphur	0.07	0.19	27	0.11	0.001	0.02	0.22	1.24
	CV	5220	5969	27	5593	30381	171.04	0.03	-0.22
	Thickness	0.50	3.95	20	1.84	1.251	1.09	0.592	0.64
D	Ash	3.40	11.90	15	7.06	7.280	2.61	0.369	0.07
	Total Sulphur	0.07	0.14	15	0.10	0.001	0.02	0.233	0.17
	CV	5129	5745	15	5437	49547	215.04	0.040	0.24

Analisis dilakukan untuk *seam* K dan *seam* D dengan menggunakan nilai ketebalan, kandungan abu, serta nilai kalori batubara. Berdasarkan hasil analisis statistik dasar yang dilakukan ketebalan maksimal untuk *seam* K adalah 6.95 m dengan nilai kadar *ash* rata-rata 2.22%. Sebagaimana **TABEL 1** nilai koefisien variasi (CoV) untuk *ash* yang merupakan ukuran yang menggambarkan besarnya variabilitas *relative* terhadap kadar rata-rata adalah 0.10. CoV didefinisikan sebagai standar deviasi dibagi *mean*, yang menyatakan bahwa untuk distribusi data dengan nilai CoV kurang dari 1.5, dapat dikatakan bahwa data dalam batas normal, sehingga *top cut* ataupun *down-grade* tidak perlu dilakukan dan dapat menghasilkan nilai variogram yang dapat diterima [3][4]. Dari 4 variabel data yang digunakan berdasarkan nilai CoV yang didapatkan, semua data terdistribusi normal dan mempunyai sebaran data yang cukup baik, sehingga tidak perlu dilakukan verifikasi data untuk daerah penelitian tersebut.

Analisis untuk *seam* D menghasilkan nilai CoV yang menunjukkan distribusi data dari masing-masing variabel memiliki nilai yang normal untuk *ash*, *total sulphur*, dan CV dengan nilai kurang dari 0.5, hal ini berarti distribusi data dari variabel kualitas batubara *seam* D terdistribusi dengan baik. Sedangkan untuk nilai CoV dari variabel ketebalan dikatakan sedang dengan nilai koefisien variansi antara 0.5 sampai dengan 1.5, hal tersebut dikarenakan memang data ketebalan batubara *seam* D memiliki variasi yang cukup tinggi.

Pemodelan Variogram

Geostatistika merupakan metode yang digunakan untuk melihat hubungan antar variabel yang diukur pada titik tertentu dengan variabel yang sama diukur pada titik dengan jarak tertentu dari titik pertama (data spasial) dan digunakan untuk mengestimasi parameter di tempat yang tidak diketahui datanya.

Variogram didefinisikan sebagai hubungan vektor $h = s_1 - s_2$ atau hubungan jarak dengan sudut arah $h = (L, \theta)$, dengan L adalah *lag*. Variogram digunakan untuk melihat variabilitas antara 2 data yang dipisahkan oleh jarak pada suatu daerah (Sianturi, 2020) Fungsi variogram untuk $s_1 - s_2$ adalah sebagai berikut:

$$2\gamma(s_1 - s_2) = \text{Var}[Z(s_1) - Z(s_2)] \quad (1)$$

Semivariogram, $\gamma(h)$, merupakan $\frac{1}{2}$ beda kuadrat rata-rata antara sepasang ilai data sebagaimana, formula semivariogram adalah [6]:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{(j,i) | h_{ij}=h} (s_1 - s_2)^2 \quad (2)$$

$\gamma(h)$ merupakan variogram eksperimental untuk arah tertentu dari jarak h , h menyatakan jarak antar conto, dan s_1 sebagai harga (data) pada titik 1 serta s_2 data pada titik yang berjarak h dari titik 1.

TABEL 2. Parameter variogram *seam* K dan *seam* D

<i>Seam</i>	Variabel	Model Var	Nugget Variance (C ₀)	Sill (C)	Range (a)	Coefficient of Variation (CoV)
K	Thickness	Spherical	0.100	0.270	1275	0.10
	Ash		0.040	0.019	600	0.10
	Total Sulphur		0.0004	0.00027	825	0.22
	CV		0.0000	32200	450	0.03
D	Thickness	Spherical	0.0050	1.040	450	0.59
	Ash		0.4000	7.200	300	0.37
	Total Sulphur		0.0002	0.00053	375	0.23
	CV		0.0000	51500	600	0.04

Fitting model variogram dilakukan pada keseluruhan data kualitas batubara *seam* K. Proses *fitting* dilakukan pada arah azimuth N 0°E, dip 0° dan toleransi 90° (*omni directional*). Parameter jarak maksimum yang digunakan adalah 3000 m dengan jarak *lag* yang digunakan menyesuaikan sebaran data dan jarak rata-rata pengeboran di daerah penelitian yaitu 150 m. *Fitting* variogram menghasilkan nilai *range*, *sill*, dan

nugget variance, selanjutnya melalui nilai parameter yang didapatkan tersebut akan digunakan dalam penentuan jarak lubang bor. Hasil *fitting* variogram untuk setiap parameter menjadi penentu dalam keberhasilan analisis spasial, dari hasil tersebut didapatkan nilai *nugget variance* dan *sill* kecil yaitu mendekati 0 dan nilai *range* yang cukup besar yang menggambarkan daerah pengaruh cukup besar dan berarti korelasi spasial antar data yang diamati cukup mewakili data secara keseluruhan. *Fitting* variogram dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* SGemS. Hasil dari *fitting* variogram berupa parameter geostatistik untuk nilai *range* (a), *sill* (c), dan *nugget variance* (c₀) dapat dilihat pada **TABEL 2**.

Perhitungan *Global Estimation Variance* (GEV)

Metode GEV diperkenalkan oleh Bertoli untuk mengklasifikasikan sumberdaya berdasarkan nilai *relative error*. Nilai *relative error* didapatkan dari hasil perhitungan GEV yang selanjutnya di-plot ke dalam grafik untuk memudahkan dalam penentuan jarak lubang bor optimum. Tahapan yang dilakukan adalah dengan mencari nilai varian ekstensi/estimasi (σ_k^2) titik terhadap blok untuk model *spherical* dengan nilai *nugget variance* 0 dan nilai *sill* 1 dengan plotting pada nomogram nilai varian ekstensi/estimasi, selanjutnya dilakukan perhitungan varian estimasi titik terhadap bidang $\sigma_k^2(r)$ harus disesuaikan dengan nilai *nugget variance* dan *sill* masing-masing parameter, yaitu [2]:

$$\sigma_E^2(r) = C_0 + (C * \sigma_k^2) \quad (3)$$

$$\text{Nilai variansi estimasi global } \sigma_E^2(R) \text{ dari pembagian nilai varian estimasi terhadap jumlah blok (N)} \\ \sigma_E^2(R) = \sigma_E^2(r)/N \quad (4)$$

Perhitungan nilai *relative error*

$$\text{Relative Error} = \pm 1.96 \sigma_E. 100\% / \text{mean} \quad (5)$$

2.3 HASIL DAN ANALISIS

Optimasi Jarak Lubang Bor

Penelitian ini menggunakan 2 pendekatan lain dalam penentuan jarak lubang bor yaitu menggunakan metode GEV yang secara keseluruhan memperhitungkan variasi kadar pada jarak dekat yang ditunjukkan dari nilai *nugget effect* (C₀), homogenitas dan kontinuitas spasial yang ditunjukkan oleh *range* /daerah pengaruh (a), dan ukuran wilayah penelitian. Pendekatan berdasarkan GEV juga memperhitungkan populasi dan variasi dari data kadar yang ditunjukkan oleh kadar rata-rata (*mean*) dan nilai *variance* (statistik), dimana nilai *sill* (C₀+C) merupakan nilai yang mendekati *variance*.

TABEL 3. Perbandingan hasil pendekatan optimasi jarak lubang bor dengan SNI 5015:2019

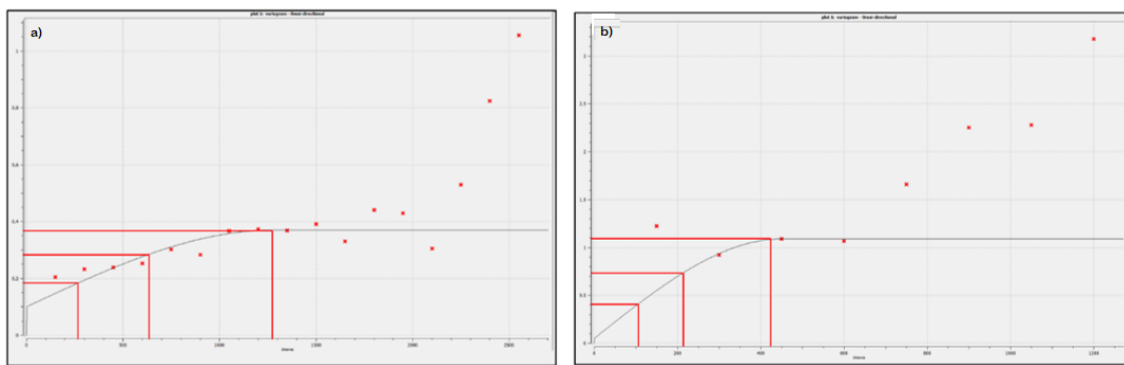
No	Pendekatan Optimasi Jarak Lubang Bor	Parameter	Jarak Optimum		
			<i>Measured</i>	<i>Indicated</i>	<i>Inferred</i>
1	Kriteria Snowden, 1996 (<i>measured</i> 1/3 <i>sill</i> , <i>indicated</i> 2/3 <i>sill</i> , <i>inferred</i> 3/3 <i>sill</i>)	<i>Seam</i> K	270	635	1275
		<i>Seam</i> D	105	215	450
2	<i>Global Estimation Variance</i> (<i>measured</i> 10%, <i>indicated</i> 20%, <i>inferred</i> 50%)	<i>Seam</i> K	385	750	1750
		<i>Seam</i> D	250	425	750
3	SNI 5015:2019 (kondisi geologi moderat)	<i>Seam</i> K dan	250	500	1000
		<i>Seam</i> D			

Pendekatan yang kedua berdasarkan Snowden yang digunakan pada mineral dimana untuk penerapan di endapan batubara diperlukan pengujian kembali, namun berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Marwanza yang dilakukan pada endapan batubara pada 2 daerah penelitian yang berbeda yaitu pada batubara Sangatta dan batubara Bukit Asam, menunjukkan bahwa dalam pengklasifikasian dan estimasi sumberdaya batubara, faktor yang menentukan adalah kondisi geologi, jumlah dan kerapatan data [5]. Berdasarkan penelitian tersebut disimpulkan bahwa menggunakan besaran *sill* dari variogram untuk klasifikasi sumberdaya dinyatakan sebagai *variogram continuity* [8], yang menyatakan bahwa jika diukur

1/3 dari *sill*, dapat dikategorikan sumberdaya *measured*, jika diukur 2/3 dari *sill*, dikategorikan sumberdaya *Indicated*, dan jika diukur 3/3 dari *sill*, dikategorikan sumberdaya *Inferred*, dapat diterapkan pada endapan batubara lainnya di Indonesia yang mempunyai kondisi geologi yang sama. Kedua pendekatan dilakukan untuk kedua parameter yaitu untuk *seam K* dan *seam D* selanjutnya akan dilakukan perbandingan dengan pedoman klasifikasi sumberdaya berdasarkan SNI 5015:2019. Dari perbandingan tersebut akan ditarik kesimpulan untuk jarak lubang bor optimum pada daerah penelitian. Jarak lubang bor optimum untuk daerah penelitian berdasarkan 2 pendekatan yang digunakan, masing-masing dapat dilihat pada **TABEL 3**.

Berdasarkan Kriteria Snowden

Metode pengklasifikasian sumberdaya batubara sebagai pendekatan ke-dua yaitu dengan menggolongkan kelas sumberdaya berdasarkan nilai *sill* dari variogram. Untuk kelas sumberdaya batubara *inferred* digunakan 3/3 *sill* atau sama dengan nilai *range*, sumberdaya batubara *indicated* digunakan 3/3 – 1/3 *sill* dan sumberdaya batubara *measured* digunakan < 1/3 *sill*. Penentuan jarak lubang bor berdasarkan kriteria Snowden dapat dilihat pada **GAMBAR 1**.

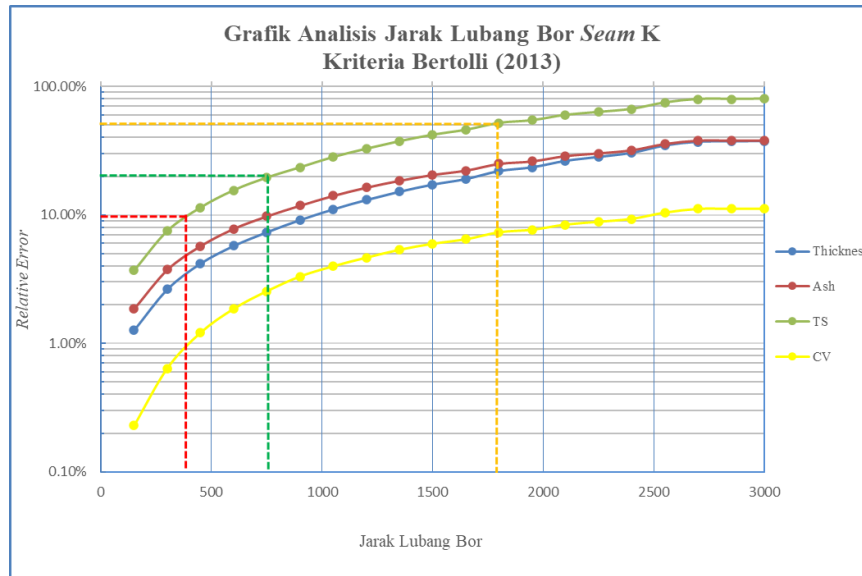


GAMBAR 1. Penentuan jarak lubang bor optimum berdasarkan variabel *thickness* menggunakan kriteria Snowden, (a) *Seam K*. (b) *Seam D*

Berdasarkan tahapan perhitungan yang dilakukan dan melalui pembacaan grafik analisis didapatkan jarak lubang bor optimum untuk sumberdaya *measured*, *indicated*, dan *inferred* pada *seam K* masing-masing adalah 270 m, 635 m, dan 1275 m. Sedangkan, pembacaan grafik pembacaan lubang bor, berdasarkan kriteria Snowden untuk sumberdaya *measured*, *indicated*, dan *inferred* pada *seam D* masing-masing adalah 105 m, 215 m, dan 450 m.

Berdasarkan Kriteria Bertolli

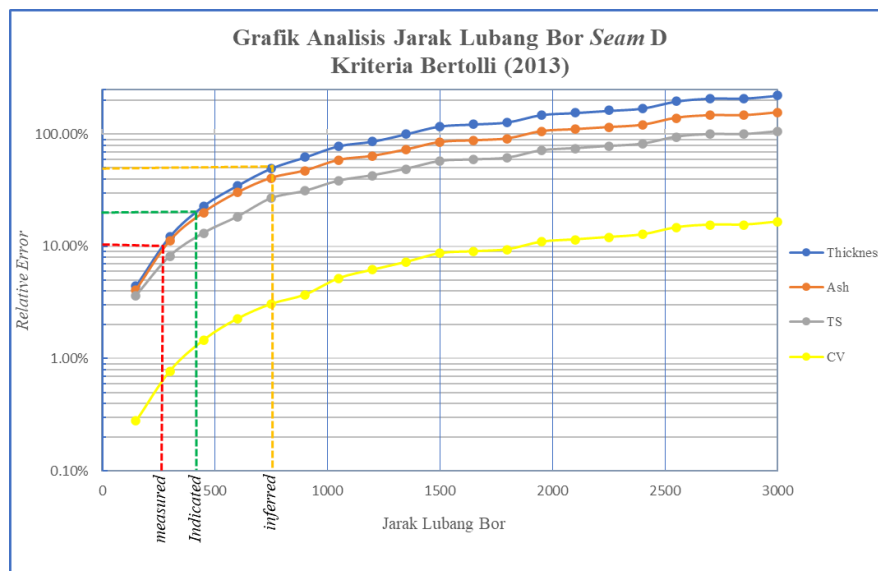
Penjelasan singkat mengenai perhitungan GEV dimulai dari nilai *mean* berdasarkan hasil analisis statistik dasar dari tiap parameter yang digunakan. Nilai *h* dan *l* merupakan jarak antar lubang bor yang dijumlahkan dengan kelipatan 150 berdasarkan nilai rata-rata jarak lubang bor pada daerah penelitian dengan asumsi *h* dan *l* sama luas. Nilai *_X* dan *_Y* merupakan selisih koordinat maksimum dan minimum untuk *X* dan *Y* dibagi dengan jarak lubang bor dan nilai *N* merupakan hasil perkalian antara nilai *_X* dan *_Y*. Selanjutnya nilai varian ekstensi/estimasi merupakan hasil pembacaan jarak lubang bor (*h*)/*range* (a) pada nomogram untuk model spherical sesuai Gambar 2.3. Perhitungan varian estimasi titik terhadap bidang ($\sigma^2 E_r$) serta varian estimasi global merupakan rasio antara nilai varian estimasi titik terhadap jumlah bidang dengan jumlah data (*N*). Nilai *relative error* didapatkan dari perkalian antara tingkat keyakinan dengan konstanta 1.96 dengan standar deviasi dibagi nilai *mean*. Nilai tersebut merupakan nilai *relative error* untuk setiap kelipatan jarak lubang bor 150 meter. Selanjutnya pembuatan grafik jarak lubang bor dengan membaca nilai jarak lubang bor dan nilai *relative error* dari variabel kualitas batubara serta *thickness*. Penarikan garis untuk jarak lubang bor didasarkan pada teori Bertoli yaitu dengan membaca jarak pada nilai *relative error* pada saat mencapai nilai 10% untuk kategori sumberdaya *measured*, nilai 20% untuk sumberdaya *indicated*, dan nilai 50% untuk kategori sumberdaya *inferred* dapat dilihat pada **GAMBAR 2**. untuk *seam K* dan **GAMBAR 3**. untuk parameter *seam D*.



GAMBAR 2. Penentuan jarak lubang bor optimum berdasarkan *relative error* teori Bertoli et al. (2013) pada seam K

Berdasarkan tahapan perhitungan yang dilakukan dan melalui pembacaan grafik analisis didapatkan jarak lubang bor optimum untuk sumberdaya *measured*, *indicated*, dan *inferred* pada seam K masing-masing adalah 385 m, 750 m, dan 1750 m.

Urutan perhitungan yang sama dilakukan untuk parameter seam D untuk mendapatkan jarak lubang bor dalam klasifikasi sumberdaya. Berdasarkan hasil pembacaan grafik analisis jarak lubang bor pada Gambar 5.2. didapatkan jarak lubang bor optimum untuk sumberdaya *measured*, *indicated*, dan *inferred* pada seam D masing-masing adalah 250 m, 425 m, dan 750 m.



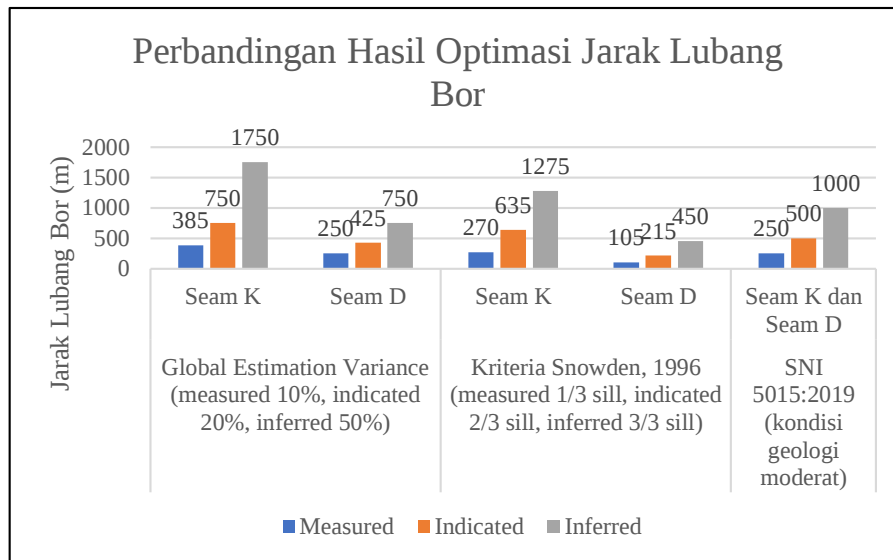
GAMBAR 3. Penentuan jarak lubang bor optimum berdasarkan *relative error* teori Bertoli pada seam D

Jarak Lubang Bor Optimum

Penentuan jarak lubang bor optimum untuk endapan batubara pada daerah penelitian dilakukan berdasarkan dua pendekatan yaitu kriteria Snowden yang menggunakan parameter *sill* variogram dan kriteria Bertoli

yang menggunakan metode *relative error* (GEV). Hasil yang diperoleh untuk perhitungan analisis jarak lubang bor secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 5.2. Jarak bor optimum berdasarkan kriteria Snowden, jarak bor optimum pada *seam* K untuk kategori *measured*, *indicated*, dan *inferred* berturut-turut adalah 270 m, 635 m, dan 1275 m, sedangkan untuk *seam* D adalah 105 m, 215 m, dan 450 m berturut-turut untuk kategori *measured*, *indicated*, dan *inferred*. Sedangkan hasil yang diperoleh melalui pendekatan GEV pada *seam* K untuk kategori *measured*, *indicated*, dan *inferred* berturut-turut adalah 385 m, 750 m, dan 1750 m, sedangkan untuk *seam* D adalah 250 m, 425 m, dan 750 m. Hasil analisis jarak lubang bor yang berbeda antara *seam* K dan *seam* D menunjukkan jika untuk kondisi geologi yang berbeda mempengaruhi jarak lubang bor pada suatu daerah, sehingga sistem penentuan jarak lubang bor tidak dapat disamaratakan untuk setiap kasus atau daerah.

Hasil kedua pendekatan tersebut akan dibandingkan dengan pedoman SNI 5015:2019. Hasil perbandingan, dari 2 pendekatan untuk optimasi jarak lubang bor jika dibandingkan dengan SNI 5015:2019 dapat dilihat pada **TABEL 3**. dan **GAMBAR 4**.



GAMBAR 4. Perbandingan hasil optimasi jarak lubang bor dengan SNI 5015:2019

Penentuan jarak lubang bor berdasarkan pedoman SNI 5015:2019 didasarkan pada kompleksitas geologi dengan beberapa parameter yaitu aspek sedimentasi, aspek tektonik, dan variasi kualitas batubara. Daerah penelitian termasuk pada kelompok kondisi geologi moderat ditandai dengan variasi ketebalan yang cukup bervariasi, adanya percabangan untuk beberapa *seam* batubara, dengan dijumpai adanya sesar dari aspek tektonik serta kualitas yang bervariasi khususnya untuk *seam* K dan *seam* D.

Pendekatan ke-1 dilakukan dalam penelitian ini berbasis GEV dilakukan untuk mendapatkan jarak lubang bor optimum, dimana pendekatan ini juga memperhitungkan populasi dan variasi dari data kualitas batubara berdasarkan nilai *sill* (C_0+C), dimana nilai tersebut merupakan nilai yang mendekati *variance*. Metode GEV juga menggunakan nilai *nugget effect* (C_0) dalam perhitungannya, yang artinya variasi kadar pada jarak dekat juga diperhitungkan dalam metode GEV. Pendekatan ke-2 yaitu analisis jarak lubang bor menggunakan *sill* variogram hanya memperhitungkan homogenitas dan kontinuitas spasial yang ditunjukkan oleh nilai *range* dari variogram. Kedua pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan hasil *fitting variogram* dalam pengaplikasiannya, namun metode GEV menggunakan parameter yang lebih kompleks jika dibandingkan dengan pendekatan *sill* variogram. Kondisi endapan batubara yang memiliki variasi yang cukup tinggi terutama untuk *seam* D, maka pendekatan dengan metode GEV lebih mewakili kondisi daerah penelitian. Hasil dari pendekatan ke-1 menggunakan kriteria Bertoli mempunyai hasil analisis jarak lubang bor yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pendekatan ke-2.

Berdasarkan analisis jarak lubang bor, dapat dilihat bahwa jarak lubang bor untuk *seam* D lebih kecil dibandingkan dengan *seam* K, hal ini sesuai jika dilihat dari kondisi geologinya dimana *seam* D memiliki ketebalan, maupun percabangan batubara *seam* D lebih bervariasi jika dibandingkan dengan *seam* K. Jarak

lubang bor optimum pada daerah penelitian dapat disimpulkan pada jarak 250 m, 425 m, dan 750 m, berturut-turut untuk kategori *measured*, *indicated*, dan *inferred*. Jarak lubang bor optimum didapatkan dari jarak lubang bor terkecil yang diambil dari hasil analisis *seam* D dengan pendekatan GEV, yang memiliki nilai variasi data yang lebih tinggi dibandingkan dengan *seam* K jika dilihat dari hasil analisis statistik dasar, sehingga hasil analisis jarak lubang bor tersebut optimum dan diharapkan dapat mewakili daerah penelitian khususnya sebagai acuan dalam penentuan jarak lubang bor di daerah yang direncanakan akan dilakukan kegiatan eksplorasi lanjutan.

2.4 KESIMPULAN

Optimasi jarak lubang bor untuk daerah penelitian dilakukan melalui dua pendekatan yaitu dengan GEV dan *sill* variogram diperoleh jarak lubang bor untuk masing-masing parameter sebagai berikut:

1. *Seam* K dengan menggunakan metode GEV masing-masing 385 m, 750 m, 1750 m, berturut-turut untuk sumberdaya *measured*, *indicated*, dan *inferred*. Berdasarkan metode *sill* variogram menghasilkan 270 m, 635 m, 1275 m, berturut-turut untuk sumberdaya *measured*, *indicated*, dan *inferred*.
2. *Seam* D dengan menggunakan metode GEV masing-masing 250 m, 425 m, 750 m, berturut-turut untuk sumberdaya *measured*, *indicated*, dan *inferred*. Berdasarkan metode *sill* variogram menghasilkan 105 m, 215 m, 450 m, berturut-turut untuk sumberdaya *measured*, *indicated*, dan *inferred*.
3. Jarak lubang bor optimum pada daerah penelitian diambil pada jarak 250 m, 425 m, dan 750 m, berturut-turut untuk kategori *measured*, *indicated*, dan *inferred*, diambil dari hasil analisis *seam* D yang merupakan jarak lubang bor terkecil. Jarak lubang bor tersebut berdasarkan metode GEV, dikarenakan metode GEV memperhitungkan populasi dan variasi dilihat dari nilai *sill* (C_0+C), yang merupakan nilai yang mendekati *variance*. Metode GEV juga memperhitungkan variasi kadar pada jarak dekat berdasarkan nilai *nugget effect* (C_0).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada berbagai pihak khususnya manajemen PT. Atha Marth Naha Kramo dan Prodi Magister Teknik Pertambangan UPN "Veteran" Yogyakarta yang telah memberikan berbagai fasilitas dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bertoli, O., A. Paul, Z. Casley, and D. Dunn. 2013. Geostatistical drill hole spacing analysis for coal resource classification in the Bowen Basin, Queensland. *International Journal of Coal Geology*, 112, 107-113
- [2] Cornah, A., Vann, J., Driver, I. 2013. Comparison of three geostatistical approaches to quantify the impact of drill spacing on resource confidence for a coal seam (with a case example from Moranbah North, Queensland, Australia). *Int. J. Coal Geol.* 112, 114–124.
- [3] Dominy, S.C. Annels, A.E. Camm, G.S. Wheeler, P. and Barr, S. P. 1997. Geology in the Resource and Reserve Estimation of Narrow Vein 42. Deposits," *Exploration and Mining Geology*, Vol. 6, No. 4, 1997, pp. 317-333.
- [4] Fytas, K. Chaouai, N. and Lavigne, M. 1990. Gold Deposits Estimation Using Indicator Kriging, *CIM Bulletin*, Vol. 83, Issue 934, 1990, pp. 77-83.
- [5] Marwanza, I. 2017. *Klasifikasi dan Estimasi Sumberdaya Batubara pada Formasi Balikpapan Menggunakan Metode Geostatistik Studi Kasus: Lapangan Batubara Sangatta, Kalimantan Timur*. Universitas Padjajaran, Bandung.
- [6] Matheron, G. 1963. Principles of Geostatistical, *Journal of Economic Geology*. V. 58, p. 1246-1266 Oliver S., et al. 2005. *Statistical Methods for Spatial Data Analysis*. Chapman and Hall/CRC, New York.
- [7] Sianturi, R. K., M. N. Heriawan, dan Syafrizal. 2020. Analisis Spasi Lubang Bor untuk Mengevaluasi Sumberdaya Timah Aluvial dan Mineral Ikutannya di Pulau Bangka dengan Global Estimation Variance. *Dalam: Ris. Geo. Tam Vol. 30, No.2*. pp. 153-170
- [8] Snowden, D.V. 1996. Practical interpretation of resource classification guidelines. *AusIMM 1996 Annual Conference*.
- [9] Standard Nasional Indonesia. 2019. Pedoman pelaporan sumberdaya dan cadangan batubara. *SNI 5015:2019*

Pentingnya Perencanaan Lahan Pasca tambang

Literatur Review

Risal Gunawan¹, Rika Ernawati², Rahmat Fauzan Izza³

¹⁻³*Program Magister Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta Jl. SWK No.104 (Lingkar Utara), Ngropoh, Condongcatur, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia*

^{a)}Corresponding author: 212202007@student.upnyk.ac.id

Abstrak. Pertambangan merupakan kegiatan yang mengubah bentang alam, sumber berbagai dampak, pendorong utama hilangnya keanekaragaman hayati dan perubahan ekosistem, untuk itu perlu dilakukan perencanaan pascatambang sebagai langkah awal mempersiapkan kembali dalam kegiatan lain dan pembangunan berkelanjutan. Tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi perencanaan dan jenis-jenis pengelolaan lahan pascatambang. Hasil dari analisis yang dilakukan yakni perencanaan tambang dimulai dari tata guna lahan yang mana berfokus pada perencanaan tata ruang dengan mengatur antara kegunaan dan penggunaan lahan, selanjutnya perencanaan pencegahan dampak sejak awal dapat menghemat biaya, melibatkan tokoh adat dan budaya dalam perencanaan, melibatkan pemangku kepentingan, dan menentukan desain penggunaan lahan sesuai dengan pendekatan bentang alam.

Kata kunci: perencanaan, lahan bekas tambang, pascatambang

Abstract. Mining is an activity that changes the landscape, the source of various impacts, the main driver of loss of biodiversity and changes in ecosystems, for this reason it is necessary to carry out post-mining planning as a first step in preparing for other activities and sustainable development. The purpose of this research is to identify plans and types of post-mining land management. The results of the analysis carried out are that mine planning starts with land use which focuses on spatial planning by regulating land use and use, then planning for impact prevention from the start can save costs, involve traditional and cultural leaders in planning, involve stakeholders, and determine the land use design according to the landscape approach.

Keywords: planning, ex-mining land, post-mining

3.1 PENDAHULUAN

Sektor pertambangan sangat penting bagi perekonomian negara [31], namun disisi lain penggunaan lahan kegiatan pertambangan merupakan salah satu pendorong utama hilangnya keanekaragaman hayati dan perubahan fungsi dan layanan ekosistem dan menjadikannya sumber berbagai dampak [30], seperti, longsor banjir dan lainnya [1]. Setelah kegiatan penambangan selesai, segera dilakukan pengelolaan lahan bekas penambangan [5]. Untuk itu diperlukan rencana pascatambang lebih awal [4]. Rencana pascatambang pada dasarnya adalah pedoman yang dimaksudkan sebagai acuan dalam mempersiapkan kondisi tambang agar dapat digunakan kembali untuk kegiatan lain [13]. Untuk mencapai *good mining practice* dan pembangunan berkelanjutan tersebut terdapat tiga aspek penting yang sangat berkaitan yakni aspek sosial, ekonomi dan lingkungan [2].

Strategi khusus untuk mendorong pembangunan berkelanjutan [12], diatur dalam undang-undang nomor 03 Tahun 2020 tentang Perubahan Atas Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 Pertambangan Mineral dan Batubara disebutkan bahwa perusahaan pertambangan wajib untuk melakukan kegiatan reklamasi dan pascatambang pada wilayah pertambangan yang dikelola [35]. Pascatambang yang efektif dan efisien dapat melindungi lingkungan dari kerusakan seperti hilangnya kesuburan tanah yang mempengaruhi makhluk hidup sekitar, sejalan dengan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan [13]. Beberapa pendekatan perencanaan pascatambang meliputi pendekatan teknologi, kelembagaan, dan sosial budaya [15]. Perencanaan penutupan tambang harus konsisten dengan pemahaman yang lebih luas untuk mendapatkan hasil yang optimal [8]. Namun, perlu ketahui ada banyak kegiatan pascatambang tidak berhasil melewati tahap perencanaan yang matang sehingga banyak yang terkendala baik itu segi biaya, lingkungan dan konflik masyarakat sekitar [6].

Sering dijumpai lahan bekas penambangan ditinggalkan dan belum dikelola dengan baik. Dari hasil observasi beberapa kasus tersebut salah satu permasalahannya adalah tidak dilakukannya perencanaan yang matang dari awal [28]. Penutupan tambang yang tidak direncanakan dan secara tiba-tiba menghasilkan dampak para pekerja tambang belum menyiapkan keterampilan dan pengetahuan yang memadai untuk memulai pekerjaan lain atau mendirikan usaha sendiri. Masyarakat kehilangan pendapatan utamanya dan tidak memiliki sumber daya alternatif, yang memperburuk kondisi dan meningkatkan tekanan sosial selain itu juga meninggalkan lubang tambang yang terbengkalai tidak direklamasi [32]. Disisi lain kewajiban perusahaan pertambangan untuk memperbaiki kerusakan lingkungan melalui pasca tambang telah diatur secara tegas dan lugas melalui sejumlah peraturan perundang-undangan terkait pertambangan [2]. Dari permasalahan diatas penulisan makalah ini berdasarkan *literature review* bertujuan untuk mengidentifikasi jenis-jenis perencanaan dalam pengelolaan lahan pascatambang.

3.2 TINJAUAN LITERATUR

Kegiatan pascatambang dilakukan bertujuan untuk mengembalikan daya fungsi lahan [20], dan mengelola kualitas lingkungan pasca tambang [25], dalam kegiatan reklamasi tentunya melibatkan pengelolaam berbagai pihak, untuk itu perlu dilakukan proses perencanaan [33]. Untuk mencapai pembangunan berkelanjutan, kegiatan usaha pertambangan harus dilaksanakan dengan memperhatikan prinsip lingkungan hidup, transparansi dan partisipasi masyarakat [18].

Perencanaan dan pelaksanaan yang tepat merupakan rangkaian pengelolaan pertambangan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk mengurangi dampak negatif dan masyarakat sekitar dari kegiatan pertambangan [7]. Akhir lahan pascatambang, program pascatambang, organisasi, kriteria keberhasilan pascatambang, dan rencana biaya pascatambang. Namun demikian, dalam menyusun rencana pascatambang, pemilik IUP dan IUPK harus berkonsultasi dengan instansi pemerintah dan/atau instansi pemerintah daerah yang bertanggung jawab di bidang pertambangan mineral dan/atau batubara, instansi terkait dan masyarakat. Hal itu dilakukan untuk memperhatikan kepentingan bersama pemerintah (pemerintah pusat dan daerah) dan masyarakat [18].

3.3 METODE DAN MATERIAL

Pendekatan dalam penelitian ini adalah menggunakan Studi Literatur. Tahapan penelitian dimulai dengan *literature review* penelitian sejenis sebelumnya, jurnal yang berkaitan dan buku-buku terkait, dengan metode pengumpulan data dimulai dari, mencari data, membaca mencatat, serta mengelola bahan penelitian [29].

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan teknik analisis isi yang dapat digunakan untuk menarik kesimpulan yang valid dan dapat ditinjau kembali dalam konteksnya. Analisis meliputi memilih, membandingkan, menggabungkan, dan menyortir untuk menemukan yang terkait [19].

3.4 HASIL DAN DISKUSI

Berdasarkan kajian studi literatur, metode yang digunakan untuk perencanaan pengelolaan lahan pascatambang dapat dilihat sebagai berikut:

a) Perencanaan tata guna lahan pascatambang

Perencanaan pascatambang, sering disebut sebagai perencanaan lingkungan, atau perencanaan ekologis, dengan cara mengarahkan atau mengelola perubahan tata guna lahan sehingga tindakan manusia selaras dengan alam dan lingkungan [11]. Perencanaan pascatambang berfokus pada perencanaan tata ruang dengan mengatur hubungan antara kegunaan dan penggunaan lahan. Hal ini penting untuk mendukung pembangunan ekonomi atau kegiatan pascatambang. Ada tiga elemen kunci dari tata guna lahan yakni: pertanian, vegetasi alami dan rantai nilai berbasis pohon. Keterpaduan bentang alam merupakan perpaduan berbagai kepentingan yaitu hutan alam dengan vegetasi alam dan keanekaragaman hayati, hutan tanaman, dan pertanian. Perubahan tata guna lahan harus mengarah pada kondisi optimal, yang ditandai dengan nilai aset yang tinggi, risiko lingkungan yang minimal, dan manfaat yang diberikan dalam jangka panjang. Penyusunan tata guna lahan yang baik harus mempertimbangkan kondisi demografi masyarakat, kebiasaan masyarakat, dan produk ekonomi yang akan dihasilkan [24].

Terlepas dari kegiatan penambangan, dalam proses pengambilan keputusan merupakan hal yang kompleks dan mempunyai beberapa pertimbangan. Dalam konteks pertambangan, kompleksitas ini berasal dari berbagai *stakeholder* yang terlibat. Preferensi dan kebutuhan individu pemangku kepentingan, pemilik tanah, dan pelaku

penambangan membuat proses pengambilan keputusan tata guna lahan untuk diterapkan kembali sesuai dengan keputusan bersama. Kompleksitas dari setiap penutupan tambang menyiratkan bahwa kondisi teknis, sosial-ekonomi, lingkungan dan tata kelola yang berbeda untuk setiap lokasi perlu ditentukan, dikelola dan dievaluasi.

Salah satu komponen utama perencanaan tata guna lahan adalah mengidentifikasi dan menentukan peruntukan penggunaan lahan yang dapat diupayakan di lahan tempat tambang beroperasi. Namun, mendefinisikan klasifikasi penggunaan lahan untuk menangani proses perencanaan tata guna lahan bukan hal yang mudah, salah satu contohnya dengan mengklasifikasikan jenis makhluk hidup yang sesuai, mengidentifikasi kategori tanah yang bervariasi, selain itu juga pentingnya melestarikan ekosistem asli dalam perencanaan tata guna lahan.

Perencanaan tata guna lahan mempunyai banyak kendala mengingat kompleksitas proses pengambilan keputusan bersama [17]. Lechner tahun 2017 menyebutkan langkah kerangka kerja untuk perencanaan di wilayah pertambangan berdasarkan analisis sensitivitas ketidakpastian dalam perencanaan tata guna lahan [26], diantaranya banyak kerumitan proses perencanaan ini adalah bagaimana memasukkan perspektif pemangku kepentingan [3]. Oleh karena itu perlu pendekatan menggunakan GIS (sistem informasi geografis) untuk memetakan perkembangan kegiatan penambangan dari rona awal dan akhir, serta memetakan kondisi penduduk wilayah pertambangan [39]. Dalam mengatasi ketidakpastian dalam proses perencanaan tata guna lahan perlu melakukan analisis alternatif menggunakan Teori fuzzy sebagai bagian dari proses partisipatif dengan pemangku kepentingan terkait [3].

b) Perencanaan pencegahan polusi

Pencegahan polusi, melalui perencanaan penutupan tambang, dapat mengarah pada strategi hemat biaya untuk pengembangan berkelanjutan dan penggunaan lahan. Hal ini efektif untuk lokasi penambangan karena, umumnya perencanaan penutupan dan pencegahan polusi diterapkan dalam penutupan tambang dituntut untuk biaya yang di keluarkan diminimalisir dan ramah lingkungan. Selanjutnya, pada tahap eksplorasi dan kontruksi tambang pencegahan polusi dapat diterapkan sejak awal, dan kemudian dipantau dan ditingkatkan melalui tahap operasi hingga penutupan, dan dapat dipertahankan untuk mengelola penggunaan lahan pascatambang dimasa mendatang [37]. Faktor-faktor yang mempengaruhi polusi udara seperti karakteristik fisik dan kimia polutan, geografis, tingkat perkembangan sosial ekonomi, struktur industri dan energi, tingkat urbanisasi, dan kondisi iklim. Metode yang dapat dilakukan untuk menganalisis polusi adalah mendefinisikan cakupan wilayah berdasarkan teknologi penambangan, Menentukan prioritas wilayah berdasarkan intensitas polusi [40].

c) Perencanaan pascatambang melibatkan tokoh adat dan budaya

Ketika penambangan berhenti, masyarakat sekitar seringkali berharap untuk kembali sesuai adat, dan mendapatkan kembali hubungan dengan alam dari lingkungan yang direklamasi. Dengan menegakkan komitmen pasca penutupan melibatkan tokoh adat dan budaya rencana akan berfokus pada proses reklamasi lahan yang efektif untuk penggunaan lahan pascatambang. Namun perencanaan lahan pascatambang seperti itu jarang masyarakat dilibatkan dengan pengelolaan dan penatagunaan lahan. Baru-baru ini, perdebatan di negara Australia telah secara bertahap bergeser dari penekanan pada kondisi biofisik tanah dan vegetasi ke pemahaman tentang dampak kumulatif dan kemungkinan manfaat yang akan diperoleh dari lahan pascatambang di sebutkan oleh masyarakat sekitar.

Kegiatan penutupan tambang di negara Australia banyak dikritik karena terlalu terfokus pada pengambilan keputusan dari internal perusahaan, sering mengabaikan keterlibatan dan partisipasi masyarakat sekitar. Menurut penilaian pemerintahan hampir 30 rencana, sebagian besar kegiatan kurang keterlibatan atau masyarakat sekitar dari kegiatan penutupan dan pascatambang. Contoh partisipasi yang dalam penutupan tambang yang baik biasanya membuat proses konsultasi kepada masyarakat lokal untuk pengembangan rencana (misalnya rencana aksi rekonsiliasi pengelolaan warisan budaya). Konsultasi publik merupakan sebuah proses dari pada jalan menuju keterlibatan praktis yang berarti bagi masyarakat sekitar, menurut hasil wawancara. Keadilan lingkungan adat mencari peran penting ontologi dan kemampuan masyarakat adat dalam mengubah pendekatan berbasis hak untuk memasukkan penentuan lingkungan. Nilai-nilai budaya di lingkungan tambang yang ini menyoroti dimensi pribumi yang umumnya tidak diakui dalam proses pascatambang, seperti pengetahuan pribumi dan hubungan dengan alam sekitar yang menganggap sakral. Keadilan lingkungan adat menekankan pentingnya lembaga politik adat dalam menentukan kemampuan yang diperlukan untuk praktik budaya yang berkelanjutan, dan hubungan dengan alam. Untuk membangun perencanaan pascatambang melibatkan tokoh adat dan budaya perlu di perhatikan tiga poin penting yakni: membangun kemitraan multilateral, memobilisasi organisasi-organisasi yang dipimpin oleh masyarakat adat, dan pluralitas dalam praktik pengetahuan [36]. Dari

studi kasus tersebut perlunya kerjasama dengan organisasi atau masyarakat adat sekitar, sangat penting untuk proposisi keberlanjutan pertambangan di masa depan jika sudah di tutup [38].

d) Perencanaan melibatkan pemangku kepentingan

Pemicu utama penurunan lahan pascatambang adalah erosi tanah, banjir, kekeringan. Penurunan kualitas lahan merupakan hal penting untuk ditangani, terutama pada erosi tanah, banjir dan lain-lain. Hal tersebut perlu ditangani bersama dengan *stakeholder* untuk arah perencanaan pascatambang kedepan, sebagian besar pemangku kepentingan sedikit atau tidak sama sekali memahami pemicu dan dampak penurunan lahan atau konsep pascatambang [21], untuk itu pada perencanaan pascatambang perlu mengikutsertakan anggota masyarakat lokal yang berkepentingan dalam pengelolaan yang bertanggung jawab atas wilayah-wilayah lahan dalam berkontribusi pada beberapa keputusan, yang dapat diwujudkan dengan pendekatan pemangku kepentingan yang inklusif dan partisipatif dalam pengambilan keputusan untuk lahan pascatambang dan bagaimana pendekatan semacam itu dapat membantu mengatasi hambatan lahan bekas tambang [16], hal tersebut memberi manfaat bagi para pemangku kepentingan dan perusahaan [23].

Dengan melibatkan pemangku kepentingan dapat berfokus pengelola lahan, dalam mempertimbangkan penggunaan lahan pascatambang yang sesuai.

Peran masukan dari pemangku kepentingan dalam proses pascatambang

1. Mengidentifikasi penggunaan lahan yang dapat diterima sebelum penambangan, penggunaan lahan, dan mengidentifikasi persyaratan untuk membuat lahan sesuai peruntukannya (yaitu membuat lahan aman, stabil dan tidak menimbulkan polusi untuk penggunaan tersebut dan memenuhi persyaratan fungsional lainnya misalnya kelangsungan hidup, gaya hidup dll).
2. Sebagai orientasi sehingga mereka diberi tahu tentang opsi yang dipertimbangkan dan dapat memberikan perspektif tentang opsi tersebut.
3. Terlibat erat dalam persiapan analisis mengenai dampak lingkungan (AMDAL) bertujuan untuk memasukkan pertimbangan lingkungan ke dalam pengambilan keputusan dan pembangunan berkelanjutan [22], termasuk komponen penilaian dampak sosial dan dalam perencanaan tambang dan penilaian risiko.
4. Dapat membuat pengajuan selama periode konsultasi publik.
5. Partisipasi dalam pemantauan dan pengelolaan rehabilitasi.
6. Memberikan informasi ke perusahaan dan pemerintah tentang penilaian pemangku kepentingan tentang apakah standar mereka telah terpenuhi
7. Berkontribusi pada kesepakatan bersama tentang risiko yang dapat diterima atau menunjukkan area di mana lebih di prioritaskan dalam pengelolaan lingkungan [10].

e) Menentukan penggunaan di lokasi pascatambang sesuai dengan pendekatan desain bentang alam

Wilayah pascatambang mewakili lahan khas Antroposen. Modifikasi relief yang kuat sangat jelas terlihat pada penambangan terbuka. geomorfologi dapat mendeteksi, mengukur dan memantau tidak hanya alam tetapi juga bantuan antropogenik dan perubahan bentang alam [34]. Memahami bentang alam sebelum dan pascatambang, model dapat digunakan untuk memandu strategi rehabilitasi [27], serta mengikuti ekosistem sekitar [9]. Upaya pemulihan pada lahan pascatambang mencakup dua isu dasar, isu pertama adalah rehabilitasi (perbaikan) dan pembaharuan, yang kedua adalah penentuan penggunaan lahan alternatif dan desain berdasarkan penggunaannya.

1. Membangun desain dan penggunaan

Konstruksi skenario penggunaan lahan tergantung pada penentuan bentang alam yang dominan dan kualitas fungsional. Dalam ruang lingkup studi, untuk mengidentifikasi bentang alam yang dominan di wilayah studi, dilakukan survei di lapangan dengan menggunakan metode sesuai keahlian. Pekerjaan dalam desain di mulai dari ahli pertambangan, sipil, lingkungan dan akademisi yang berpartisipasi dalam metode yang dilakukan berdasarkan pendekatan metode ahli. Sangat penting untuk menentukan ukuran sampel jenis sampel dengan benar sebelum memulai studi survei. Dalam pengertian ini, saat menentukan ukuran sampel jenis sampel dalam penelitian, ukuran sampel dalam penelitian yang dilakukan dengan metode ahli dilakukan pengecekan terlebih dahulu.

2. Membuat paradigma penggunaan

Untuk mewujudkan potensi tata guna lahan di daerah pascatambang secara maksimal, skenario penggunaan yang dibuat berdasarkan bentang alam dikelompokkan dan diberi peringkat berdasarkan kepadatannya dan kemudian diubah menjadi paradigma dibagi berdasarkan penggunaan proporsional yang berbeda sebagai rendah, sedang, dan tinggi. Sebagai sumber data untuk membuat paradigma, klasifikasi penambangan metode *quarry* dalam perkembangan ilmu sampai saat ini, setelah aktivitas penambangan, telah digunakan. Untuk melakukannya, peserta survei yang diberikan kepada para ahli diminta untuk membuat peringkat skenario penggunaan untuk lokasi pertambangan yang direklamsi dalam urutan kepentingan rentang penggunaan pada skala dari 1 (paling penting) hingga 10 (paling tidak penting) berdasarkan faktor dari pendekatan desain yang berbeda. [16] berikut disajikan di **TABEL 1** beberapa referensi jurnal perencanaan tatakelola pascatambang.

TABEL 1. Referensi jurnal perencanaan tatakelola pascatambang

Referensi	Tahun	Tujuan	Review
[17]	2020	Untuk memetakan, mengkategorikan, dan menganalisis habitat pascatambang non-produktif dan menetapkan langkah-langkah pengelolaan yang sesuai yang berlaku di bawah kerangka hukum saat ini	Menunjukkan bahwa habitat non-produktif mencakup 9,9% dari wilayah studi dan habitat non-produktif secara signifikan lebih kecil daripada habitat produktif. Ada rata-rata luas 1 ha untuk habitat non-produktif dan rata-rata 4 ha untuk habitat produktif.
[3]	2022	Kerangka kerja metode campuran konseptual untuk perencanaan penggunaan lahan pascatambang yang menghubungkan keterlibatan pemangku kepentingan, GIS, pengambilan keputusan multi-kriteria dan teori fuzzy.	Mendukung pemangku kepentingan dalam mencari alternatif yang layak untuk pascatambang, penggunaan terintegrasi GIS, pengambilan keputusan, dan konsultasi pemangku kepentingan memperkenalkan efisiensi baru ke dalam proses perencanaan tata guna lahan
[37]	2009	Bagaimana perubahan global dalam industri mengikuti liberalisasi rezim investasi, dan aliansi strategis antara perusahaan-perusahaan, berdasarkan teknologi baru, mengarah pada peluang lebih lanjut untuk mencegah polusi dan mengoptimalkan penggunaan lahan.	Kebijakan yang dirancang baik untuk inovasi teknologi dan praktik terbaik dalam pengelolaan lingkungan dalam operasi untuk mengurangi kontaminasi tanah di yang akan datang, dan untuk mendorong komersialisasi dan inovasi penggunaan lahan pasca penutupan penambangan.
[24]	2017	Merumuskan rencana tata ruang lahan bekas tambang batubara agar menjadi terpadu dan multifungsi dengan mengintegrasikan kawasan lindung, kawasan konservasi, dan kawasan budidaya untuk mendukung pembangunan berkelanjutan.	Lahan tambang batubara yang mengintegrasikan kawasan lindung lokal seperti perlindungan sungai, anak sungai dan danau, konservasi keanekaragaman hayati, dan kawasan budidaya dalam satu tata guna lahan dapat dilaksanakan. Melalui penggunaan lahan yang beragam, lahan bekas tambang dapat dijadikan sebagai kawasan alami yang lengkap yang dapat dimanfaatkan untuk agro-ekowisata.

[36]	2022	Ketidakadilan lingkungan yang kritis dan praktik masyarakat untuk mengkonseptualisasi ulang partisipasi Penduduk Asli Australia	Kegiatan penambangan bersama masyarakat melalui kerjasama yang baik, organisasi yang dipimpin oleh masyarakat adat, dan sistem pengetahuan menyeluruh. Kepemimpinan Penduduk Asli Australia dalam mengoordinasikan investasi, kolaborasi, dan operasi bisnis sangat penting untuk rencana penutupan tambang.
[10]	2022	Menginformasikan kebijakan dan proses baru dan yang direvisi untuk mengoptimalkan perencanaan penggunaan lahan rehabilitasi dan pascatambang sangat penting dalam membantu ekonomi regional untuk transisi ke konteks pascatambang.	Mengeksplorasi potensi panel yang terdiri dari pemangku kepentingan untuk menyepakati penggunaan lahan yang menguntungkan, yang merupakan salah satu dari tujuan rehabilitasi dan penutupan tambang yang ditentukan oleh pemerintah Queensland.
[34]	2021	Mengukur perubahan relief akibat penambangan permukaan di salah satu distrik lignit tertua dan terbesar saat ini di Eropa	Untuk memfasilitasi rekonstruksi dari relief sebelum penambangan, peta adalah salah satu sumber yang paling terutama untuk perbandingan dengan data satelit atau geodetik dari tahun 1893 mewakili topografi alami dari bagian tertua distrik lignit terbesar saat ini di Eropa tengah, horst Ville di Embayment Rhine selatan. Dengan perbandingan DEM yang dihitung dengan topografi modern membatasi pendekatan dari penelitian lain dengan fokus pada topografi yang diinduksi penambangan berdasarkan parameter morfometrik dari relief saat ini.
[16]	2021	Menentukan penggunaan lahan multiguna yang diperlukan untuk kebutuhan alam dan manusia di lokasi pertambangan yang akan direklamasi.	Ketika kerangka desain dan aplikasi yang tepat, dapat memberikan kesempatan untuk membentuk tata guna lahan baru yang berkelanjutan yang dapat berkontribusi pada pengembangan lebih lanjut suatu wilayah.
[21]	2020	Menyelidiki persepsi pemangku kepentingan atas lahan dan sikap mereka terhadap kerangka legislatif dan strategis yang ada terkait dengan penurunan struktur tanah, melaporkan keadaan tanah dan memeriksa erosi tanah sebagai pendorong utama penurunan struktur tanah.	Pengetahuan sangat penting untuk partisipasi dalam desain pascatambang, sehingga peningkatan kesadaran adalah kesempatan untuk membangun kapasitas individu dan pemerintah dalam hal ini, komunikasi dan kerjasama politik merupakan tantangan terbesar bagi pengelolaan lahan dalam masyarakat pasca-konflik.

3. 5 KESIMPULAN

Kesimpulan makalah ini berdasarkan hasil telaah dari berbagai jurnal, untuk perencanaan lahan pascatambang perlu diperhatikan beberapa hal untuk mencapai *good mining practice* adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan tata guna lahan pada akhir penambangan berfokus pada perencanaan tata ruang dengan mengatur hubungan antara fungsi dan penggunaan lahan
2. Perencanaan pencegahan polusi diawal merupakan strategi hemat biaya untuk pengembangan

- pertambangan berkelanjutan
3. Perencanaan pascatambang perlu melibatkan tokoh adat dan budaya
4. Perencanaan pascatambang dengan melibatkan pemangku kepentingan dapat mempertimbangkan penggunaan lahan pascatambang yang sesuai.
5. Menentukan desain penggunaan di lokasi pascatambang sesuai dengan pendekatan bentang alam.

3.6 UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam penyusunan makalah ini, dukungan dari berbagai pihak, Kepada Prodi Magister Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Annisa. 2017. *Reklamasi Lahan Pasca Tambang di Desa Bukit Mulia Dan Sumber Jaya PT Akbar Mitra Jaya Kabupaten Tanah Laut Provinsi Kalimantan Selatan*. Jukung Jurnal Teknik Lingkungan, Vol 3 No. 2 : hal. 70-81 <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/mining/article/download/101403/100559>.
- [2] Arif, I., 2021. *Good mining Practice di Indonesia*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- [3] Arratia-Solar, A., Svobodova, K., Lèbre, & Owen, J. R. 2022. *Conceptual framework to assist in the decision-making process when planning for post-mining land uses*. The Extractive Industries and Society, 10, 101083. <https://doi.org/10.1016/J.EXIS.2022.101083>.
- [4] Awotwi, A., Anornu, G. K., Quaye-Ballard, J. A., Annor, T., Nti, I. K., Odai, S. N., Arhin, E., & Gyamfi, C. 2021. *Impact of post-reclamation of soil by large-scale, small-scale and illegal mining on water balance components and sediment yield: Pra River Basin case study*. Soil and Tillage Research, 211, 105026. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105026>.
- [5] Bucka, F. B., Pihlap, E., Kaiser, J., Baumgartl, T., & Kögel-Knabner, I. 2021. *A small-scale test for rapid assessment of the soil development potential in post-mining soils*. Soil and Tillage Research, 211, 105016. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105016>.
- [6] Čečko, A., Jelonek, I., & Jelonek, Z. 2022. *Study on restoring abandoned mine lands to economically usable state using the post-occupancy evaluation method*. Land Degradation & Development, 33(11), 1836–1845. <https://doi.org/10.1002/LDR.4265>.
- [7] Dong, L., Tong, X., Li, X., Zhou, J., Wang, S., & Liu, B. 2019. *Some developments and new insights of environmental problems and deep mining strategy for cleaner production in mines*. Journal of Cleaner Production, 210, 1562-1578. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.291>
- [8] Everingham, J., Rolfe, J., Lechner, A. M., Kinnear, S., & Akbar, D. 2018. *A proposal for engaging a stakeholder panel in planning post-mining land uses in Australia’s coal-rich tropical savannahs*. Land Use Policy, 79, 397-406. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.08.038>.
- [9] Ezeokoli, O. T., Mashigo, S. K., Maboeta, M. S., Bezuidenhout, C. C., Khasa, D. P., & Adeleke, R. A. 2020. *Arbuscular mycorrhizal fungal community differentiation along a post-coal mining reclamation chronosequence in South Africa: A potential indicator of ecosystem recovery*. Applied Soil Ecology, 147, 103429. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103429>.
- [10] Feng, Z., Hu, Z., Li, G., Zhang, Y., Zhang, X., & Zhang, H. 2022. *Improving mine reclamation efficiency for farmland sustainable use: Insights from optimizing mining scheme*. Journal of Cleaner Production, 379, 134615. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134615>
- [11] Galo, D. D. B., dos Anjos, J. A. S. A., & Sánchez, L. E. 2022. *Are mining companies mature for mine closure? An approach for evaluating preparedness*. Resources Policy, 78, 102919. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102919>.
- [12] García-Sánchez, L., Canet, C., Cruz-Pérez, M., Morelos-Rodríguez, L., Salgado-Martínez, E., & Corona-Chávez, P. 2021. *A comparison between local sustainable development strategies based on the geoheritage of two post-mining areas of Central Mexico*. International Journal of Geoheritage and Parks, 9(4), 391–404. <https://doi.org/10.1016/J.IJGEOP.2021.10.001>.
- [13] Gunawan, R., Nurkhamim dan Izza, R.F. 2021. *Overview Metode Perencanaan Pengelolaan Lahan Bekas Penambangan*. ReTII, pp.345-350.
- [14] Gunawan, R., dan Nurkhamim. 2021. *Rencana Pascatambang Tambang Batubara PT. Tubindo Kabupaten Bulungan Provinsi Kalimantan Utara*. Jurnal Teknologi Mineral Ft Unmul. Vol 9, No 2.
- [15] Hanapi, R. A., Ahmad H, K., dan Aswandi R., 2019. *Komisi Pengelola Dana Jaminan Reklamasi dalam Upaya Pemulihan Wilayah Bekas Tambang Batu Bara*. Legislatif. Vol. 03 No 01. Hal 151-166. <https://journal.unhas.ac.id/index.php/jhl/article/view/10212/pdf>.

- [16] Henselowsky, F., Rölkens, | Julian, Kelterbaum, D., & Bubenzer, Olaf. 2021. *Anthropogenic relief changes in a long-lasting lignite mining area ("Ville", Germany) derived from historic maps and digital elevation models Anthropocene, anthropogeomorphology, digital elevation model, historic maps, mining*. Earth Surf. Process. Landforms, 46, 1725–1738. <https://doi.org/10.1002/esp.5103>.
- [17] Hendrychová, M., Svobodová, K., & Kabrna, M. 2020. *Mine reclamation planning and management: Integrating natural habitats into post-mining land use*. Resources Policy, 69, 101882. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2020.101882>.
- [18] Heriyansyah,. 2015. *Implementasi Peraturan Pemerintah Nomor 78 Tahun 2010 Tentang Reklamasi Dan Pascatambang*. eJournal Ilmu Pemerintahan, Vol. 3
- [19] Hertanto R., S dan Dani H., 2020. *Studi Literatur : Pengembangan Media Pembelajaran Dengan Software Autocad*. Jurnal Kajian Pendidikan Teknik Bangunan. Vol. 6 No. 1.
- [20] Hirfan,. 2016. *Strategi Reklamasi Lahan Pasca Tambang*. Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik Vol. 1 No. 1. hal 101-108.
- [21] Kapovi Solomun, M., S Ferreira, C. S., Barger, N. N., Toši, R., & Eremija, S. 2020. *Understanding the role of policy frameworks in developing land degradation in stakeholders' perception from a post-conflict perspective in Bosnia and Herzegovina*. <https://doi.org/10.1002/ldr.3744>.
- [22] Kilajian, A., & Chareonsudjai, P. 2021. *Conflict resolution and community engagement in post-audit EIA environmental management: Lessons learned from a mining community in Thailand*. Environmental Challenges, 5, 100253. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100253>.
- [23] Kumar, E., Subramani, T., & Karunanidhi, D. 2022. *The integrated approach of ecosystem services for mine reclamation in a clustered mining semi-urban region of South India*. Urban Climate, 45, 101246. <https://doi.org/10.1016/J.UCLIM.2022.101246>.
- [24] Kodir, A., Hartono, D. M., Haeruman, H., & Mansur, I. 2017. *Integrated post mining landscape for sustainable land use: A case study in South Sumatera, Indonesia*. Sustainable Environment Research, 27(4), 203–213. <https://doi.org/10.1016/J.SERJ.2017.03.00>.
- [25] Lawing, Yustina, Hong 2021. *Reklamasi Lahan Pasca Tambang Batubara*. Magrobis Journal. Vol 21. No.2. Hal 304-311
- [26] Lechner, A. M., McIntyre, N., Witt, K., Raymond, C. M., Arnold, S., Scott, M., & Rifkin, W. 2017. *Challenges of integrated modelling in mining regions to address social, environmental and economic impacts*. Environmental Modelling & Software, 93, 268-281. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.03.020>
- [27] Lowry, J., Narayan, M., Hancock, G., & Evans, K. 2019. *Understanding post-mining landforms: Utilising pre-mine geomorphology to improve rehabilitation outcomes*. Geomorphology, 328, 93-107. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.11.027>.
- [28] Marot, N., & Harfst, J. (2021). *Post-mining landscapes and their endogenous development potential for small- and medium-sized towns: Examples from Central Europe*. The Extractive Industries and Society, 8(1), 168–175. <https://doi.org/10.1016/J.EXIS.2020.07.002>.
- [29] Puspandanda D, R,. 2022. *Studi Literatur: Komik Sebagai Media Pembelajaran Yang Efektif*. JPE (Jurnal Pendidikan Edutama) Vol. 9 No. 1 Januari 2022.
- [30] Siddiqui, A. U., & Jain, M. K. 2022. *Change analysis in land use land cover due to surface mining in Jharia coalfield through Landsat time series data*. Materials Today: Proceedings, 49, 3462–3468. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.04.277>.
- [31] Singh, P., Ghosh, A., Kumar, S., Kumar, M., & Sinha, P. K. 2022. *Influence of input litter quality and quantity on carbon storage in post-mining forest soil after 14 years of reclamation*. Ecological Engineering, 178, 106575. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106575>.
- [32] Syahrir, R., Wall, F., & Diallo, P. 2020. *Socio-economic impacts and sustainability of mining, a case study of the historical tin mining in Singkep Island-Indonesia*. The Extractive Industries and Society, 7(4), 1525-1533. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.07.023>
- [33] Soulodre, E. M., Dhar, A., & Naeth, M. A. 2021. *Mixed-Prairie Well Site Reclamation with Natural Recovery, Seeding, and Grazing*. Rangeland Ecology & Management, 79, 208-216. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2021.09.002>
- [34] Ulku, D., Sekban, G., & Acar, C. 2021. *Determining usages in post-mining sites according to landscape design approaches evaluation of landscaping potential, rehabilitated mining sites, reuse of mines, use of landscape elements, and post-mining land use*. <https://doi.org/10.1002/ldr.3933>.
- [35] UU 03 Tahun. 2020. *Perubahan Atas Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 Tentang Mineral Batubara*.
- [36] Urzedo, D., Pedrini, S., Hearps, C., Dixon, K., & van Leeuwen, S. 2022. *Indigenous environmental justice through the coproduction of mining restoration supply chains in Australia*. <https://doi.org/10.1111/rec.13748>.

- [37] Warhurst, A., & Noronhab, L. 2009. *Natural Resources FORUM PERGAMON Natural Resources Forum 24 (2000) 153-164 Corporate strategy and viable future land use: planning for closure from the outset of mining*. <https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2000.tb00939>.
- [38] Wang, H., Owen, J. R., & Shi, G. 2020. *Land for equity? A benefit distribution model for mining-induced displacement and resettlement*. *Business Strategy and the Environment*, 29(8), 3410–3421. <https://doi.org/10.1002/BSE.2585>.
- [39] Wibowo Mardi. 2017. *Kajian Kondisi Lingkungan Abiotik Sebagai Titik Awal Analisis Dampak Lingkungan Rencana Pembangunan Kawasan Marina Belitung*. *JRL Vol.10 No.2 Hal.76-90*. <https://ejurnal.bppt.go.id/index.php/JRL/article/download/2848/2400/5844>.
- [40] Xie, Y., Zhao, L., Xue, J., Gao, H. O., Li, H., Jiang, R., Qiu, X., & Zhang, S. 2018. *Methods for defining the scopes and priorities for joint prevention and control of air pollution regions based on data-mining technologies*. *Journal of Cleaner Production*, 185, 912–921. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.101>.

Evaluasi Pemanfaatan Limbah Slag Nikel pada Pengolahan Biji Nikel Laterit (Studi Kasus Pengolahan Biji Nikel Laterit Halmahera Selatan)

Sahrul Huda^{1, a)}, Tedy Agung Cahyadi^{1, b)}, Rika Ernawati^{1, c)}, Edy Nursanto^{1, d)}, Nur Ali Amri^{1, e)}.

¹Magister Teknik Pertambangan UPN, SWK 104 Lingkar Utara, Yogyakarta, 55283, Indonesia

^{a)} Corresponding author: sahrulhudaodesami@gmail.com: ^{b)}tedyagungc@upnyk.ac.id: ^{c)}rika.ernawati@upnyk.ac.id: ^{d)}edynursanto@upnyk.ac.id: ^{e)}nuraliamri@upnyk.ac.id

Abstrak. Pertumbuhan industri yang pesat dapat berdampak negatif pada peningkatan volume limbah yang berpotensi menjadi masalah serius bagi lingkungan. Nikel merupakan salah satu logam terpenting dalam industri. Salah satu klasifikasi sumber nikel yaitu nikel laterit, limbah yang terbentuk saat pengolahan biji nikel yaitu slag nikel. Slag nikel adalah limbah padat metalurgi dari kilang nikel yang dapat didaur ulang sebagai salah satu sumber sekunder yang unggul karena kandungan besi yang berharga. Slag nikel termasuk dalam bahan berbahaya dan beracun (B3) yang dihasilkan dari peleburan bijih nikel dan memiliki kandungan deposit yang besar. Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi pemanfaatan slag nikel dari PT. X yang merupakan pabrik pengolahan pemurnian bijih nikel. Dari hasil analisis data yang dapat ditemukan bahwa slag nikel hasil dari pabrik pengolahan tergolong besar, pemanfaatan slag nikel menjadi batako, beton dan perkerasan jalan, harus ditingkatkan lagi melihat masih minimnya slag nikel yang dimanfaatkan dan dilakukan penimbunan, untuk itu perlu adanya sistem terpadu yang mengelola pemanfaatan limbah slag nikel.

Kata kunci: Limbah slag nikel, Pemanfaatan limbah padat, Penimbunan.

Abstract. Rapid industrial growth can hurt increasing the volume of waste which has the potential to become a serious problem for the environment. Nickel is one of the most important metals in industry. One of the classifications of nickel sources is nickel laterite, the waste formed during nickel ore processing is nickel slag. Nickel slag is metallurgical solid waste from nickel refineries which can be recycled as an excellent secondary source because of its valuable iron content. Nickel slag is included in the hazardous and toxic materials (B3) produced from nickel ore smelting and has a large deposit content. The purpose of this research is to evaluate the utilization of nickel slag from PT. X which is a nickel ore refining processing plant. From the results of analysis data it is known that the nickel slag produced by the processing plant is relatively large, the utilization of nickel slag into bricks, concrete and road pavements, must be increased considering that the amount of nickel is still minimal. slag used and stockpiled, for this reason an integrated system is needed that regulates the utilization of nickel slag waste.

Keywords: Nickel slag waste, Utilization of solid waste, Stockpiling.

4.1 PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri yang pesat dapat berdampak negatif pada peningkatan volume limbah yang berpotensi menjadi masalah serius bagi lingkungan. Nikel merupakan salah satu logam terpenting dalam industri. Salah satu klasifikasi sumber nikel yaitu nikel laterit, limbah yang terbentuk saat pengolahan biji nikel yaitu slag nikel. Slag nikel adalah limbah padat metalurgi dari kilang nikel yang dapat didaur ulang sebagai salah satu sumber sekunder yang unggul karena kandungan besi yang berharga. Slag nikel termasuk dalam bahan berbahaya dan beracun yang dihasilkan dari peleburan bijih nikel. Slag nikel merupakan jenis limbah padat granular yang dibentuk dengan pendinginan lelehan suhu tinggi dalam proses peleburan logam nikel atau paduan nikel-besi [1]. Permintaan logam nikel cukup tinggi dan pada saat yang sama pelepasan slag nikel meningkat. Karena pemanfaatan yang kurang rasional, jumlah kumulatif slag nikel mencapai puluhan juta ton. Selain itu, jutaan ton slag nikel diproduksi setiap tahun menurut statistik dalam jumlah besar. Proses ini tidak hanya menempati lahan yang luas tetapi juga

berdampak buruk bagi lingkungan sekitar. Oleh karena itu, pemanfaatan slag nikel telah menarik perhatian yang luas, komposisi kimia slag nikel sangat bervariasi dengan sumber bahan mineral dan proses peleburan. Slag nikel sering terdiri dari SiO_2 , MgO , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO , dll, serta dianggap sebagai sejenis slag sistem FeO-SiO_2 [8]. Mineral-mineral dalam slag nikel sebagian besar berada dalam fase gelas dan hanya terdapat sedikit fase kristal forsterit dan SiO_2 , sehingga slag nikel memiliki potensi aktivitas pozzolan. Telah banyak penelitian dan teknologi terkait pemanfaatan slag nikel seperti ekstraksi logam berharga dari residu nikel namun dengan perbaikan terus-menerus dari proses peleburan paduan nikel serta jumlah logam berharga dalam slag nikel menjadi semakin sedikit dengan demikian ekstraksi tidak lagi hemat biaya. Slag nikel juga digunakan sebagai bahan pencampur semen. Namun, karena kandungan besi yang tinggi dalam slag nikel dan adanya komponen refraktori, penambahan slag nikel tidak menguntungkan untuk meningkatkan distribusi ukuran partikel dalam produksi semen yang sebenarnya. Persiapan keramik kaca dan serat mineral anorganik dengan slag nikel telah dipelajari, tetapi rasionalitas ekonomi bahan ini perlu diverifikasi lebih lanjut. Ada juga studi yang relevan tentang slag nikel yang digunakan sebagai campuran beton dan agregat, tetapi masih dalam tahap awal. Sejauh ini, hanya sejumlah kecil slag nikel yang digunakan untuk memproduksi campuran semen dan tingkat pemanfaatan tahunan tidak lebih dari 10%. Oleh karena itu, sangat mendesak untuk mengembangkan produk bernilai tambah tinggi dari slag nikel. Pada tulisan ini bertujuan untuk mengetahui pemanfaatan slag nikel dari limbah pengolahan dan pemurnian biji nikel pada PT. X.

4.2 METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan pada penelitian ini ada dua yaitu mempelajari kajian literatur, kemudian melakukan kegiatan pengamatan secara langsung proses pemanfaatan limbah slag nikel pada area perusahaan serta pengambilan data pendukung yaitu pemanfaatan nikel pada tahun 2019 hingga 2021. Data tersebut dilakukan analisis kemudian dievaluasi pemanfaatan efektivitas pemanfaatan slag nikel pada PT. X.

4.3 HASIL DAN ANALISIS

Rata-rata Produksi Limbah Slag Nikel Tahunan

Berbagai aliran limbah padat dihasilkan selama produksi nikel, tergantung pada rute ekstraksi primer yang digunakan. Diantaranya, dua jenis limbah padat yang dihasilkan selama proses pirometalurgi dan hidrometalurgi bijih nikel memiliki pangsa volume terbesar, yaitu slag nikel dan residu pelindian, yang masing-masing mengandung logam berat beracun dan dapat tercuci sehingga menimbulkan ancaman signifikan terhadap kesehatan manusia dan lingkungan dalam jangka panjang jika dibiarkan tidak terpantau atau tidak dikelola dengan baik. PT. X melakukan pendataan limbah slag nikel yang dihasilkan untuk dilakukan pemanfaatan agar tidak menghasilkan limbah yang membahayakan lingkungan. Pada tahun 2019-2021, sebagaimana **TABEL 1** PT. X telah menghasilkan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) sumber spesifikasi khusus berupa Slag Nikel sebanyak $\pm 1.947.394$ ton.

TABEL 1. Produksi Slag Nikel PT. X

Bulan	Produksi Slag Nikel (Ton)		
	2019	2020	2021
Januari	34.130	42.292	83.254
Februari	27.658	56.991	60.905
Maret	54.406	67.333	63.615
April	66.780	50.373	46.256
Mei	88.601	60.975	58.305
Juni	88.487	61.999	-
Juli	93.202	70.471	-
Agustus	102.633	70.864	-
September	81.040	65.292	-
Oktober	78.536	66.004	-
November	72.812	71.549	-
Desember	84.373	78.258	-
Total	872.658	762.401	312.335
Grand Total	1.947.394		

Produksi slag nikel dipengaruhi oleh jumlah pengolahan nikel yang masuk pada PT.X. Slag nikel merupakan hasil samping/limbah dari produksi ferronikel. Slag nikel dikategorikan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) sumber spesifik khusus dengan kode B403 yang termuat didalam PP 101/2014. Perusahaan telah memegang izin pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun B3 untuk kegiatan pemanfaatan Limbah B3 dari KLHK No.SK.5/Menlhk/Setjen/PLB.3/I/2018. Pada tahun 2019-2021 PT. X telah menghasilkan limbah B3 sumber spesifikasi khusus berupa Slag Nickel (SN) $\pm$ 1.947.394 ton. Slag ditempatkan di fasilitas penempatan kembali di area lahan bekas tambang Pit Raja Ampat. Slag yang telah ditimbun disolidifikasi yang merupakan semen, air serta limbah itu sendiri, solidifikasi ini bertujuan untuk mengubah bentuk fisik limbah yang sebelumnya cair menjadi padat (solid).

Pemanfaatan Limbah Slag Nikel

Slag nikel dari smelter dan residu pelindian yang dimana masing-masing residu mengandung logam berat beracun dan dapat tercuci sehingga menimbulkan dampak yang signifikan sehingga akan menyebabkan ancaman terhadap kesehatan manusia dan lingkungan dalam jangka panjang jika dibiarkan tanpa pengawasan atau tidak dikelola dengan baik. Maka dari itu diperlukan pemanfaatan limbah slag nikel untuk meminimalisir ancaman negatif pada pengelolaan nikel. PT. X telah melakukan upaya pemanfaatan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) sumber spesifikasi khusus berupa Slag Nickel, diantaranya dapat dilihat pada **TABEL 2**.

TABEL 2. Material Slag Nikel PT. X yang Dimanfaatkan

Bulan	Jumlah Material SN (Ton) Dimanfaatkan 2019			Jumlah Material SN (Ton) Dimanfaatkan 2020			Jumlah Material SN (Ton) Dimanfaatkan 2021		
	Batako	Concrete	Perkerasan Jalan	Batako	Concrete	Perkerasan Jalan	Batako	Concrete	Perkerasan Jalan
Januari	-	-	-	-	410	-	-	338.2	-
Februari	-	-	-	-	849	-	-	35.4	-
Maret	-	-	-	-	649	-	27.30	89.1	-
April	-	-	-	-	2205	-	129	592	-
Mei	8.5	-	-	-	1511	-	50	137	-
Juni	303.1	-	-	-	508	-	-	-	-
Juli	485.1	117.3	-	-	279	-	-	-	-
Agustus	341.9	810.0	-	-	369	-	-	-	-
September	-	392.4	308.9	-	69	-	-	-	-
Oktober	57.9	839.2	-	-	0	-	-	-	-
November	-	778.6	-	-	317	-	-	-	-
Desember	-	881.5	-	-	1443	-	-	-	-
Total	1,196	3,819	309	0	8,610	0	206.3	1,192	0
Grand Total	15,333								

Sumber: *HSE PT.X 2021*

PT. X memanfaatkan Slag nikel hasil limbah pengolahan nikel menjadi tiga produk, yaitu produl Batako, Concrete (Beton/cor), dan digunakan sebagai perkerasan jalan. Pemanfaatan menjadi produk tidak selalu dilakukan karena membutuhkan biaya tambahan untuk campuran dan menunggu permintaan kebutuhan serta membutuhkan area yang cukup besar untuk sarana produksi. Pada tahun 2019-2021 produksi batako mencapai 1.402,3 ton, untuk beton sebesar 13.930 ton dan yang digunakan sebagai perkerasan jalan sebesar 309 ton. Slag nikel yang tidak dimanfaatkan dilakukan penimbunan. Sebelumnya penggunaan dilakukan uji tekan untuk mengetahui apakah kekuatan beton sesuai dengan kebutuhan struktur bangunan yang direncanakan. Berikut adalah hasil uji tekan.

Berdasarkan tabel di atas terlihat persentase uji tekan dan penyerapan air dari batako dengan campuran slag nikel. Batako yang sudah dikeringkan kemudian dilakukan pengujian. Kode sampel F1 setelah dikeringkan 7 hari kemudian dilakukan pengujian menghasilkan kuat tekan sebesar 267.23 kg/m², pada pengujian umur 28 hari menghasilkan kuat tekan 324.57 dan penyerapan air 1.67%. Pada sampel F1.2 hasil pengujian pada umur 7 hari

menghasilkan 328.92 kg/m² dan pada umur 28 hari menghasilkan 170.44 serta memiliki penyerapan air 3.49%. Pada kode sampel S3 hasil uji tekan pada umur batako 7 hari menghasilkan 352.29 kg/m², pada umur 28 hari 221 kg/m² serta memiliki penyerapan air sebesar 3.56%. Pada gambar 1 memperlihatkan pemanfaatan slag nickel untuk batako untuk pembangunan di area perusahaan.

TABEL 3. Hasil pengujian dan SNI Beton

Kode Formula	Hasil Uji Tekan (Kg/cm2)		Hasil Uji Penyerapan Air (%)	SNI 03-0349-1989 (Uji Tekan / Penyerapan Air)							
	Umur 7 hari	Umur 28 hari		I		II		III		IV	
				Kg/cm2	%	Kg/cm2	%	Kg/cm2	%	Kg/cm2	%
F1	267.23	324.57	1.67	100	25	70	35	40	-	25	-
F1.2	328.92	170.44	3.49								
S3	352.29	221	3.56								



GAMBAR 1. Uji Coba Pembuatan Batako

A&B. Pembangunan septik tank, C. Pembuatan toilet, D. Pembangunan gedung pos *Security*, E. Pembangunan Gedung untuk pembuatan batako, F. Contoh batako G. Penyusunan batako yang sudah kering, H. Stock batako I. Hasil pembuatan batako.



GAMBAR 2. Pembuatan jalan beton dengan pemanfaatan slag nickel +FABA

A). dan B). Proses pengecoran jalan beton di Area jalan menuju office; C). dan D). Hasil akhir concrete jalan beton di Area jalan menuju office.

Efektivitas Pemanfaatan Limbah Slag Nikel

Penggunaan Slag nikel secara efektif perlu diketahui bagaimana komposisi kimia dan mineralnya mempengaruhi sifat negatif potensial (misalnya ekspansi volume), dan bagaimana sifat negatif dapat mempengaruhi kinerja produk. Hubungan modifikasi yang digunakan dari sifat-sifat slag nikel spesifik dan kontrol kualitas saling terkait. Penting untuk mengetahui slag dengan sifat yang diketahui atau dimodifikasi, sebagai penggunaan dalam konstruksi sipil atau jalan raya.

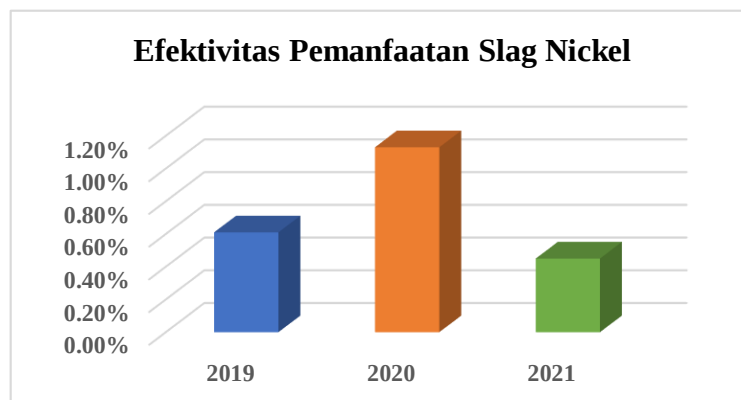


GAMBAR 3. Pengelolaan Sisa Pemanfaatan Slag Nikel; A). Loading Slag Nickel dari Slag Pool ke truck, B). Fasilitas penimbunan Pit Raja Ampat, C). Penataan slag nikel pada Pit Raja Ampat, dan D). IPAL Slag Nikel

Secara umum efektivitas menunjukkan sampai seberapa jauh tercapainya suatu tujuan yang telah ditentukan. Efektivitas adalah suatu ukuran yang menyatakan seberapa jauh target (kuantitas, kualitas dan waktu) telah tercapai dimana semakin besar persentase target yang dicapai, makin tinggi efektivitasnya. Dapat dilihat pada tabel 3 persentase pemanfaatan slag nikel pada PT. X.

TABEL 3. Efektivitas Pemanfaatan Slag Nikel

Th 2019	Th 2020	Th 2021
0.61%	1.13%	0.45%



GAMBAR 4. Diagram efektivitas pemanfaatab slag nikel

Berdasarkan tabel dan grafik diatas menunjukkan bahwa masih minimnya pemanfaatan slag nikel pada PT. X yang belum maksimal, bahkan bisa dikatakan sangat minim, melihat pada tiap tahunnya pemanfaatan Slag nikel PT. X masih dibawah 5%. Sebagian besar slag nikel ditimbun dengan disolidkan oleh *fly ash* dan *bottom ash*.

TABEL 4. Penimbunan Slag Nikel

Penimbunan Slag Nikel (Ton) Tahun		
2019	2020	2021
867,333.71	753,791.39	310,936.27
Total =	1,932,061.37	

Dapat dilihat pada **TABEL 4** bahwa penimbunan slag nikel masih begitu besar, penimbunan slag nikel ini dilakukan pada pit hasil bukaan tambang. Pada saat penimbunan digunakan persentase campuran *fly ash* dan *bottom ash*. Dapat dilihat pada Gambar 3.B Pengelolaan sisa pemanfaatan slag yang menggambarkan penimbunan slag yang tidak dimanfaatkan.

4.4 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini ditemukan bahwa tahun 2019-2021 PT.X telah menghasilkan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) sumber spesifikasi khusus berupa Slag Nickel (SN) $\pm 1.947.394$ ton, produksi slag nikel tersebut dipengaruhi oleh jumlah pengolahan nikel yang masuk pada PT.X. Pemanfaatan Slag nikel pada PT. X dibuat menjadi Batako, Concrete, dan sebagai bahan untuk perkerasan jalan. Penimbunan nikel masih begitu besar sehingga persentasi efektivitas pemanfaatan slag nikel masih sangat kecil dibawah 2%.

4.5 UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis Mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Mineral Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, Indonesia dan terimakasih kepada rekan rekan yang telah membantu menyusun artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wang, Qi. Yang, Jianmin. Lu, Jingwen. Xia, M F. 2019. Influence of nickel slag powders on properties of magnesium potassium phosphate cement paste. *Construction and Building Materials*, 205: 668-678.
- [2] RAO, Mingjun,. Li, Guanghui,. Luo, Jun,. Jiang, Tao,.2013. Carbothermic reduction of nickeliferous laterite ores for nickel pig iron production in China: a review. *Jom*, 65.11: 1573-1583.
- [3] Samir, Mourad,. Alama, Faruz,. Buysse, Paul,. Nylen, T V, Ostain, Oleg. 2018. "Disposal of mining waste: Classification and international recycling experience." *E3S Web of Conferences*. Vol. 41. EDP Sciences.
- [4] Petlovanyi, M., Lozynskyi, Vasyi,. Popovych, V V,. Kuzmenko, O. 2019. "Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine." *Mining of Mineral Deposits* 13, Iss. 1: 24-38.
- [5] Pan, De'an, Tian, Xia, Wu, Yufeng, Li, Lili. 2019. "A review on lead slag generation, characteristics, and utilization." *Resources, Conservation and Recycling* 146: 140-155.
- [6] Yan, Pengze, Shen, Yonggjan, Du, Xueyan, Chong, Junkai. 2020. "Microwave Absorption Properties of Magnetite Particles Extracted from Nickel Slag." *Materials* 13.9: 2162.
- [7] Xu, Da-Mao,. Fu, R B,. Tong, Y H, Shen, D L, Guo, X P. 2021. "The potential environmental risk implications of heavy metals based on their geochemical and mineralogical characteristics in the size-segregated zinc smelting slags." *Journal of Cleaner Production* 315: 128199.
- [8] Zhang, Guangzong, Wang, Nan, Chen Min. Cheng, Yanqing. 2019. "Comprehensive Recovery of Multisource Metallurgical Wastes: Recycling Nickel Slag by Aluminum Dross with Converter-Slag Addition." *ISIJ International* (2020): ISIJINT.
- [9] Zhang, Tingting, Haoliang, Jin, Guo, Lijie, Li, Wenchen. 2020. "Mechanism of alkali-activated copper-nickel slag material." *Advances in Civil Engineering* 2020.
- [10] Xiao, Wanhai,. Chen, Xingyu,. Liu, Xuheng,. Zhao, Zhongwei, Li, Yongli. 2021. "A method for extracting valuable metals from low nickel matte by non-oxidative leaching with H₂SO₄." *Separation and Purification Technology* 270: 118789.
- [11] Binnemans, Koen. Jones, P T, Blanpain, Bart,. Gerven, T V, Yang, Yongxiang, Walton, Allan, Buchert, Matthias, 2013. "Recycling of rare earths: a critical review." *Journal of cleaner production* 51: 1-22.

- [12] Zhang, Zuhau, Zhu, Yingcan, Yang, Tao, Li, Liangfeng, Zhu, Huajun, Wang, Hao. 2017. "Conversion of local industrial wastes into greener cement through geopolymer technology: A case study of high-magnesium nickel slag." *Journal of cleaner production* 141: 463-471.
- [13] Peng, Zhiwei, Gu, Foquan, Zhang, Yuanbo, Tang, Huimin, Ye, Lei, Tian, Guoshen, Rao, Mingjun, Li, Guangi, Jiang, Tao. 2018. "Chromium: A double-edged sword in preparation of refractory materials from ferronickel slag." *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 6.8: 10536-10544.
- [14] Das, Pallabi, Dubey, Sudarshan, Singh, K K, Upadhyay, Sidhidatri. 2021. "Waste to wealth: Recovery of value-added products from steel slag." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 9.4: 105640.
- [15] Binnemans, Koen, Dupont, David. 2013. "Recycling of rare earths: a critical review." *Journal of cleaner production* 51: 1-22.

Pengelolaan Lahan Pascatambang Berbasis Berkelanjutan

Literatur Review

Risal Gunawan^{1, a)}, Waterman Sulistyana Bargawa^{1, b)} Nur Ali Amri^{*1, c)}

¹Program Magister Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta Jl. SWK No.104 (Lingkar Utara), Ngropoh, Condongcatur, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

^{a)}Corresponding author: risalgunawan92@gmail.com

^{b)} waterman.sb@upnyk.ac.id; ^{*c)} nuraliamri@upnyk.ac.id

Abstrak. Penggunaan lahan pertambangan yang berkelanjutan untuk generasi mendatang sangat penting untuk keberhasilan jangka panjang, dengan solusi pasca penambangan yang efektif dan berkelanjutan dapat mencakup pembentukan kembali lahan produktif, peningkatan nilai tata budaya, pengaturan iklim, Masalah lingkungan yang disebabkan oleh penambangan bersifat terus menerus dan beragam. Untuk itu hadir program Pascatambang yang diatur oleh peraturan-peraturan yang berlaku bertujuan untuk memulihkan atau memperbaiki kondisi sumber daya sisa kegiatan penambangan agar dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin. Tujuan dari penelitian ini adalah pengelolaan lahan pascatambang berbasis berkelanjutan berdasarkan metode literatur review, hasil penelitian menunjukkan bahwa strategi pengelolaan wilayah pascatambang untuk berbasis berkelanjutan, dimulai dari analisis laboratorium, memperhatikan faktor eksternal dan internal, pendekatan industri, bekerjasama dengan lembaga swadaya masyarakat (LSM), pendekatan lingkungan dan sosial ekonomi, mereklamasi pada saat operasi penambangan dan melakukan rehabilitasi ekonomi.

Kata kunci: pengelolaan, lahan pascatambang, berkelanjutan

Abstract. The sustainable use of mining land for future generations is critical to long-term success, with effective and sustainable post-mining solutions that can include re-establishing productive land, enhancing cultural values, and climate regulation. The environmental problems caused by mining are continuous and varied. For this reason, there is a Postmining program which is regulated by applicable regulations aimed at restoring or improving the condition of the remaining resources from mining activities so that they can be utilized as much as possible. The purpose of this study is sustainable-based management of post-mining land based on the literature review method, the results of the study indicate that the post-mining area management strategy for a sustainable basis, starting from laboratory analysis, paying attention to external and internal factors, industrial approach, in collaboration with non-governmental organizations (NGOs), environmental and socio-economic approaches, reclamation during mining operations and carrying out economic rehabilitation.

Keywords: management, post-mining land, sustainable

5.1 PENDAHULUAN

Pertambangan memainkan peran penting dalam pertumbuhan ekonomi dan pembangunan manusia. Namun, disisi lain manfaat manfaatnya harus dikelola berdasarkan aturan yang dikeluarkan pemerintah [23], dari segi lingkungan, masyarakat dan ekonomi untuk mengarah tujuan pembangunan berkelanjutan [4], dengan solusi pasca penambangan yang efektif [5]. Pascatambang selalu dikaitkan dengan karakteristik fisik tanah (pengendalian erosi, kesuburan, penyaringan air) selain itu [6], layanan sasaran dapat mencakup pembentukan kembali lahan produktif (penyediaan) [15], peningkatan nilai tata (budaya), pengaturan iklim, dan pengendalian[6]. Program pascatambang bertujuan untuk memulihkan atau memperbaiki kondisi sumber daya sisa kegiatan penambangan agar dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin untuk tujuan pembangunan berkelanjutan pascatambang. Dengan memperhatikan ketentuan hukum dan peraturan, informasi dari pihak yang berkepentingan, serta aspek teknis, lingkungan, ekonomi dan sosial budaya yang sesuai [12]. Konsep pembangunan berkelanjutan adalah pembangunan yang dilakukan untuk memenuhi kebutuhan saat ini, tetapi tidak membatasi kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhannya Konsep keberlanjutan dapat dibagi menjadi tiga dimensi keberlanjutan ekonomi, keberlanjutan lingkungan dan keberlanjutan sosial [9]. Praktik pertambangan dianggap berkelanjutan jika mendukung indikator lingkungan dan sosial ekonomi, dengan

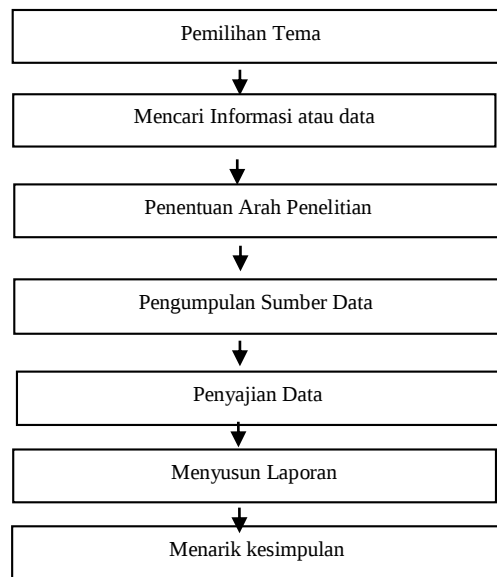
cara yang selaras dengan tujuan pembangunan berkelanjutan [14]. Salah satu pendekatan yang paling komprehensif untuk menginterpretasikan kerangka kerja pembangunan berkelanjutan yang diterima secara luas [23].

5.2 TINJAUAN LITERATUR

Pascatambang, adalah kegiatan terencana, sistematis, dan berlanjut setelah akhir sebagian atau seluruh kegiatan usaha pertambangan untuk memulihkan fungsi lingkungan alam dan fungsi sosial menurut kondisi lokal di seluruh wilayah pertambangan [16]. Namun jika tidak dilakukan pengelolaan yang baik, menyebabkan kualitas lingkungan menurun dan tidak memenuhi baku mutu lingkungan [17]. Akumulasi limbah ini telah menimbulkan kekhawatiran yang semakin meningkat di seluruh dunia. Oleh karena itu, perlu ditentukan teknologi alternatif berkelanjutan yang tidak hanya membantu dalam mengurangi masalah lingkungan tetapi juga meningkatkan nilai ekonomi dari limbah padat yang dibuang [21]. Penggunaan lahan pertambangan yang berkelanjutan dan efektif untuk generasi mendatang sangat penting untuk keberhasilan jangka panjang dan profitabilitas operasi pertambangan dan untuk kepentingan ekonomi pemilik tanah di masa depan [18]. Pemulihan fungsi ekologi lahan pascatambang dapat dicapai dengan reklamasi terkontrol mulai dari perencanaan sampai dengan pemantauan [19]. Sektor pertambangan telah berupaya keras untuk mengatasi masalah keberlanjutan seperti perubahan iklim, polusi, degradasi lahan dan kondisi masyarakat sekitar. Namun, jika tujuan keberlanjutan belum ditetapkan, akan sangat sulit untuk mencapai kesepakatan tentang solusi dalam situasi yang kompleks. Isu-isu utama yang harus didiskusikan oleh industri pertambangan menuju pertambangan yang berkelanjutan termasuk kelangsungan hidup sektor mineral, kontrol atas penggunaan dan pengelolaan lahan [13], pembangunan sosial dan ekonomi nasional dan lokal, pengelolaan lingkungan, pengelolaan bahan, dan akses informasi [22]. Industri pertambangan harus menerapkan alat pengumpulan dan pemrosesan data modern, dan menerapkan tindakan pemantauan untuk mendukung proses mengatasi tantangan ini, untuk mendorong upaya mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan [13]. Penghijauan di lokasi penambangan terbukti menjadi teknik utama untuk memulihkan semua fungsi ekosistem [19]. Masalah lingkungan yang disebabkan oleh penambangan bersifat terus menerus dan beragam, untuk membantu mengelola dan merencanakan area penambangan yang akan di reklamasi [20]. Berdasarkan permasalahan tersebut penelitian ini melakukan pendekatan pengelolaan lahan pascatambang berbasis berkelanjutan berdasarkan *literatur review*, dengan tujuan strategi pengelolaan lahan pascatambang berbasis berkelanjutan.

5.3 METODE DAN BAHAN

Pendekatan dalam penelitian ini adalah menggunakan jenis penelitian Studi Literatur. *Literatur review* merupakan suatu kajian ilmiah yang berfokus pada topik tertentu, sebuah survei literatur memberikan gambaran tentang perkembangan topik tertentu, kegiatan dimulai mengumpulkan data/informasi, mengevaluasi data, teori, informasi atau hasil penelitian, dan menganalisis buku, makalah penelitian, atau publikasi lain tentang pertanyaan penelitian yang dikembangkan sebelumnya [8]. Penelitian dimulai dengan penelitian sejenis sebelumnya dan buku-buku terkait dengan metode pengumpulan data pustaka, membaca dan mencatat, serta mengelola bahan penelitian [7]. Dalam kajian ini, kegiatan yang dilakukan disajikan seperti pada **GAMBAR 1**: [11]



GAMBAR 1. Diagram Alir Penelitian

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan teknik analisis isi yang dapat digunakan untuk menarik kesimpulan yang valid dan ditinjau dalam konteks. Analisis meliputi memilih, membandingkan, menggabungkan, dan menyortir untuk menemukan item terkait [10].

5.4 HASIL DAN DISKUSI

Strategi berdasarkan mineralogi tanah, sifat kimia dan ukuran partikel tanah Komposisi mineralogi [2], wilayah pascatambang berperan penting dalam memahami sumber hara asli tanaman dan logam berat baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang, untuk mengevaluasi kandungan mineralogi, ukuran partikel, sifat kimia dan fisika serta kandungan logam berat pada material bekas tambang di area pasca penambangan. Ada beberapa tahapan yaitu:

a) Menentukan lokasi

Mengetahui litologi, iklim dan metode penambangan daerah yang akan lebih mudah mengetahui jenis pengelolaan lahan pascatambang Kegiatan penambangan secara drastis mengubah fitur morfologi tanah. Pada tailing yang berasal dari bahan batupasir, kegiatan penambangan timah mengubah ciri morfologi tanah dari tekstur lempung liat berpasir, lapisan tanah atas berwarna coklat tua dan lapisan tanah bagian bawah coklat kekuningan pada tanah asli

b) Analisis laboratorium

Potensi sumber hara tanah dalam limbah dan tailing dinilai dengan menganalisis komposisi mineralogi primer dari fraksi pasir. Jumlah masing-masing jenis mineral dihitung dari 300 butir dengan lintasan hitungan garis. Analisis difraksi sinar-X (XRD) untuk bijih timah dan endapan lempung putih dilakukan dengan menggunakan Rigaku (SmartLab, Jepang). Bijih timah dan lempung putih dianalisis untuk menentukan mineral inang Sn dan jenis mineral lempungnya. Lapisan lempung putih yang dibuang selama penambangan timah berpotensi digunakan sebagai amelioran tailing berpasir untuk meningkatkan kemampuannya dalam menahan air dan nutrisi untuk tanaman. Bijih timah dikumpulkan dari tailing yang ditambang kembali oleh penambang lokal di dekat lokasi penelitian. Bijih timah dikeringkan dan digiling halus sebagai bubuk untuk melewati saringan 50 m dan disimpan untuk analisis XRD. Tanah liat putih dikumpulkan dari profil kerusakan, dikeringkan dan digiling halus sebagai bubuk untuk melewati saringan 50 m. Spesimen bubuk dipasang pada slide kaca dan dijalankan pada difraktometer sinar-X, menggunakan target radiasi Cu-alpha, dan dioperasikan pada 40 kV dan 25 mA. Spesimen serbuk dipindai dari 3 sampai $45^\circ 2\theta$ pada $1^\circ/\text{menit}$.

Analisis mikroskop elektron pemindaian (SEM) dilakukan untuk bijih timah yang ditumbuk halus ($<50\ \mu\text{m}$) menggunakan EVO MA10 untuk mengamati ciri morfologi dan ketahanannya terhadap proses pelapukan. Spesimen dikeringkan dengan oven sebelum direkatkan ke dalam stub aluminium dan kemudian dilapisi dengan karbon dan emas/paladium dalam evaporator vacuum. Spesimen dilihat pada 11,0 dan 15,0 kV, menggunakan detektor elektron sekunder. Sinar-X dispersif energi (EDX) digunakan untuk menentukan konstituen unsur permukaan spesimen.

Ukuran partikel tanah ditentukan dengan metode pipet. Fraksi pasir dipisahkan dari fraksi liat dan lanau dengan pengayakan basah. Fraksi berukuran lanau dan lempung diukur dengan sedimentasi menurut hukum Stokes. pH dan konduktivitas listrik (EC) diukur dalam air dengan rasio tanah:larutan 1:5 masing-masing menggunakan pH meter Orion dan pengukur konduktivitas. Kandungan C organik total diukur menurut metode oksidasi basah.

Analisis unsur total dari tanah asli, limbah dan tailing ditentukan dengan menggunakan fluoresensi sinar-X (XRF). Tanah, limbah dan tailing digiling halus menggunakan ball mill/pulverizer untuk melewati saringan 100-200 mesh sebagai bubuk. Pengukuran elemen utama dan jejak dilakukan pada pelet yang dipres, disiapkan mengikuti prosedur Norrish dan Chappell. Serbuk sampel dicampur dengan karboksil metil selulosa (CMC) sebagai pengikat dengan cara ditumbuk ringan. Sampel ditekan menjadi pelet dengan asam boratbacking dalam cincin stainless steel, dan oven dikeringkan pada suhu 55°C selama sekitar setengah jam. Komposisi unsur ditentukan menggunakan X-Ray Fluorescence dengan tabung Be yang beroperasi pada 60 kV, 40 mA untuk Ba, Sn, Cd, Ag, Rb, Mo, Zr, Y, Pb, As, Se, Hg, Zr dan Y; pada 40 kV, 60 mA untuk Ni, Cu, Co, Si, Al, Fe, Mn, V, Cr, Ti, Ca, K; dan pada 30 kV, 80 mA untuk Mg dan Na menggunakan pencacah sintilasi. Logam berat yang tersedia diekstraksi dengan 0,05 M CaCl_2 . Penggunaan CaCl_2 sebagai pengganti 1 M MgCl_2 , karena tailing mengandung Ca lebih tinggi daripada Mg, maka digunakan CaCl_2 solusi ekstraktan lebih dekat mewakili kondisi asli. Konstituen Ca, Mg, K, P dan S potensial dari tailing untuk tanaman dinilai dari analisis XRF. Kandungan logam berat total yang

ditentukan dengan analisis XRF dikorelasikan dengan logam berat yang diekstraksi dengan 0,05 M CaCl₂ untuk menilai fraksi logam berat yang dilepaskan dari mineral tailing [1].

Berdasarkan beberapa kasus yang ditemukan, serangkaian faktor yang mempengaruhi terjadinya, beberapa pengamatan tentang pendekatan untuk pascatambang, faktor-faktor yang memungkinkan atau menghambat pascatambang dengan analisis yakni:

a) Faktor eksternal dan internal

Faktor eksternal pertama adalah lokasi operasi penambangan, yang penting mencakup kedekatan tambang dengan masyarakat. Jika itu adalah tambang berumur panjang, kemungkinan besar akan berubah selama masa operasi karena baik tambang maupun tapak wilayah sekitar dan dengan demikian populasinya, berkembang. Demikian pula, selama beberapa generasi keterikatan penduduk dengan kota-kota dapat menahan penduduk yang mendukung peralihan tujuan dan transisi ekonomi. Lokasi infrastruktur yang ada, seperti jalan raya, rel kereta api, jaringan energi, dan dengan demikian siap terhubung ke konektivitas juga dianggap penting. Demikian pula, nilai ekologis lokasi tambang, dalam konteks regional, dan potensinya untuk menambah layanan ekosistem [25], habitat, dan nilai komunitas terkait. Terakhir, jenis zonasi lahan dan penguasaannya dapat menghambat, atau membantu, dalam mengembangkan kembali dan membayangkan kembali lokasi tersebut. Secara umum, faktor eksternal kedua adalah kelayakan ekonomi potensial dari transisi ke lokasi yang bertujuan ulang. Faktor ekonomi ini akan mencakup masalah penawaran dan permintaan lokal, jika tujuannya adalah usaha komersial. Sementara konstelasi proyek pascatambang yang saling terkait yang bersinergi satu sama lain lebih cenderung efektif secara ekonomi. contoh perusahaan industri ekstraktif yang melakukan diversifikasi ke proyek sumber daya energi alternatif, Investasi Regional Pilbara adalah contoh yang muncul dari kerangka kerja regional untuk pendekatan yang lebih terstruktur dan terkoordinasi untuk penutupan dan pemanfaatan kembali tambang [3].

Yang pertama dari tiga faktor internal industri/perusahaan yang kami identifikasi adalah praktik keterlibatan pemangku kepentingan dan komunitas. Ini termasuk apakah perusahaan memiliki pendekatan untuk keterlibatan pemangku kepentingan lokal/regional. Perusahaan memiliki kebijakan dan prosedur untuk memastikan bahwa mereka melihat di luar faktor operasional dan teknis lapangan yang terjadi dalam pertambangan terhadap dampak sosial dari operasi tersebut. Pendekatan inklusif terhadap keterlibatan masyarakat sepanjang tambang berlangsung, termasuk selama reklamasi bersamaan atau progresif, kemungkinan besar akan mengarah pada transisi penggunaan lahan pasca-tambang yang berkelanjutan [4]. Demikian pula, pendekatan inovatif termasuk membangun yayasan bagi masyarakat lokal untuk mengembangkan usaha lokal dan inisiatif pembangunan mereka sendiri. Struktur internal yang ada dapat membantu dalam membangun bisnis. penggunaan lahan pasca-tambang yang menguntungkan dan pertimbangan kegiatan ekonomi berikutnya, konservasi atau penggunaan masyarakat [26], yang sering dijumpai tentang pascatambang yang berkelanjutan adalah perusahaan pertambangan dengan tambang berumur panjang umumnya memiliki kerjasama yang baik [27], dengan wilayah setempat, termasuk operasi penambangan skala kecil, berbasis lokal dengan komitmen keterikatan masyarakat sekitar yang diinvestasikan dalam transisi penggunaan lahan yang saling menguntungkan [3].

b) Pendekatan industri

Transisi dari produksi sumber daya energi karbon ke alternatif terbarukan dan berkelanjutan [31] terkait dalam banyak kasus dengan transisi energi, atau sering di sebut pemanfaatan danau [30], pascatambang menjadi energi [29]. Hubungan antara tambang berumur panjang dan investasi industri dalam penggunaan lahan pascatambang dan transisi ekonomi berkaitan antara perusahaan tambang yang meletakkan jaminannya [28], atau biasa disebut jaminan pascatambang sebagai bagian dari investasinya [32], dalam tambang berumur panjang dan juga menaruh minat dan tanggung jawab atas penggunaan lahan pascatambang dan transisi ekonomi pada penutupan [28]. Pendekatan yang mengakui dampak kumulatif wilayah tambang/kluster tambang [34]. Sebagian besar pascatambang skala regional dipimpin oleh negara dan diatur dalam undang-undang yang berlaku [33]. Seperti di jelaskan dalam Kepmen 1827 negara dalam hal pengembangan kebijakan dan dukungan keuangan, membangun transisi sosial-ekonomi di wilayah pascatambang [16].

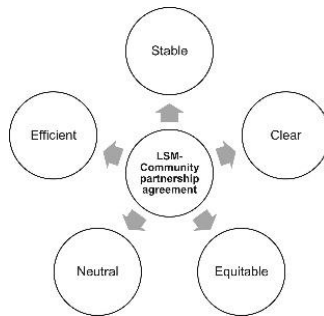
Jangkauan untuk masukan dan inovasi dikemas dalam *corporate social responsibility* (CSR). contohnya perusahaan yang menjangkau komunitas dan kelompok pendidikan untuk mendapatkan masukan ke dalam opsi penggunaan kembali yang potensial [35]. seperti memberikan wawasan pendidikan masyarakat sekitar untuk mengembangkan konsep penggunaan kembali fasilitas permukaan dan kepemilikan lahan yang

berkelanjutan yang memberikan manfaat sosial ekonomi bagi masyarakat sekitar, berkelanjutan secara ekonomi, diterima secara sosial [36].

Bekerjasama masyarakat dalam rehabilitasi. Beberapa perusahaan telah membentuk kemitraan masyarakat untuk mengembangkan tujuan bersama dalam pendidikan dan konservasi dalam pekerjaan reklamasi kemitraan masyarakat adalah salah satu jalan untuk mengintegrasikan penggunaan lahan pascatambang dengan hasil rehabilitasi. Menciptakan penggunaan lahan yang sesuai dengan tujuan keberlanjutan masyarakat dan potensi penggunaan lahan reklamasi [37] .

c) Bekerjasama dengan lembaga swadaya masyarakat (LSM)

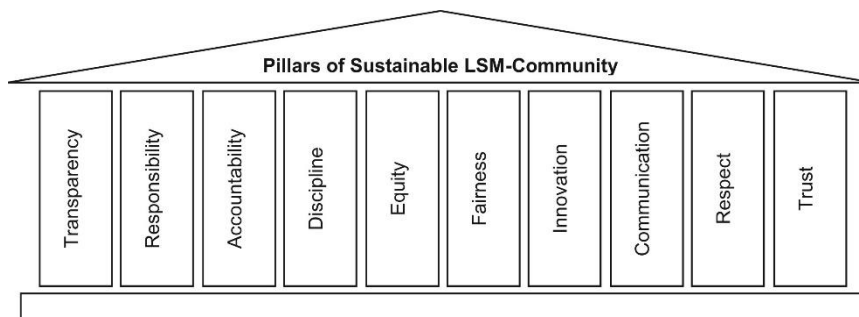
Kerjasama timbal balik yang langgeng berdasarkan kepercayaan yang baik adalah landasan kemitraan yang sukses antara perusahaan dan LSM. Lingkungan kerja sama yang kondusif yang dibangun melalui rasa saling percaya yang kuat antara LSM dan masyarakat [39].



GAMBAR 1. Perjanjian kerjasama yang berkelanjutan

Seperti investasi dalam pelatihan kerja, yang dapat membuka lapangan kerja di sektor-sektor ekonomi, pendirian proyek-proyek masyarakat, investasi dalam kepercayaan masyarakat yang dikelola secara berkelompok, untuk regenerasi penggunaan lahan dan rehabilitasi ekonomi pasca-penambangan yang berhasil. Agar sesuai dengan keadaan lokal (maka kebutuhan penting untuk berkonsultasi secara lokal); kemitraan kreatif untuk pendanaan, pengembangan dan implementasi (koalisi LSM dan kelompok masyarakat); kolaborasi dengan beragam minat dan keahlian; dan keterlibatan dan konsultasi masyarakat, mengembangkan tanggung jawab dan kepemilikan bersama

Dasar-dasar yang mendukung kerjasama yang berkelanjutan yakni [40] : Keterlibatan masyarakat yang jujur dan transparan, Saluran komunikasi yang disederhanakan, tujuan yang realistis dan dapat dicapai ditetapkan melalui konsultasi dengan masyarakat, Investasi dalam pendidikan, Pembentukan usaha bisnis mandiri yang keuntungannya dapat berkelanjutan, mengelola konflik dan kepercayaan, Pengadaan tenaga kerja dari masyarakat sedapat mungkin, Penyediaan air bersih yang berkelanjutan [38].



GAMBAR 2. Kerjasama yang baik bagi kerjasama LSM-Masyarakat yang efektif.

d) Pendekatan lingkungan dan sosial ekonomi

Komponen utama dari konsep ini adalah integrasi lokasi tambang dan lanskap kerja yang mengakui pentingnya kegiatan ekstraksi sumber daya dan memasukkan persyaratan ini ke dalam rencana komprehensif untuk lingkungan, sosial dan ekonomi yang berkelanjutan.

Konsep ini diterapkan pada peruntukan kembali tambang yang terbengkalai [42]. Lahan pertambangan memiliki nilai ekonomi, tetapi juga sosial dan ekologis yang, jika dikombinasikan dengan redistribusi risiko dan keuntungan yang tidak seimbang yang terkait dengan kegiatan pertambangan, dapat menyebabkan protes kekerasan oleh masyarakat yang terkena dampak dengan melibatkan pendekatan ini dapat membantu manajemen situs jangka panjang, secara intuitif pengembangan rencana pasca penggunaan yang menggabungkan akses rekreasi dan perlindungan lingkungan dapat membantu dalam jangka menengah dan panjang dengan mendorong pengawasan biasa oleh pengguna rekreasi. Fasilitas rekreasi yang dikembangkan sebagai bagian dari rencana yang sering dilakukan dengan dukungan dan kontribusi dari kelompok pengguna rekreasi dan organisasi lingkungan. Kontribusinya signifikan untuk manfaat awal yang jelas yaitu menurunkan biaya implementasi membangun dukungan publik [43].

e) Mereklamasi pada saat operasi penambangan.

Rehabilitasi serentak atau progresif telah menjadi praktik standar selama masa tambang di banyak negara maju. Manfaat bagi lingkungan dalam rehabilitasi selama umur tambang, serta manfaat bagi perusahaan dalam membagi biaya reklamasi, dalam konteks transisi pascatambang ini, implikasi dari praktik ini perlu dipertimbangkan [44]. Pertanyaan yang perlu dipertimbangkan termasuk, apakah kegiatan yang sedang berlangsung ini menghalangi keterlibatan masyarakat dan pemangku kepentingan dalam perencanaan pascatambang, atau apakah rehabilitasi progresif merupakan bagian dari rencana penutupan yang disetujui bersama masyarakat dan pemangku kepentingan lainnya. Masalah lain mungkin adalah jika rehabilitasi progresif berpotensi berdampak pada, atau membatasi, opsi penggunaan lahan akhir yang kreatif. Di sisi lain, reklamasi bersamaan dapat berkontribusi pada perencanaan tata guna lahan pascatambang [45].

f) Rehabilitasi ekonomi

Teknik dan metode untuk reklamasi vegetasi sangat berbeda dalam hal biaya ekonomi, dan efisiensi dalam hal kelangsungan hidup, pertumbuhan, ketahanan, dan layanan ekosistem yang disediakan [51]. Dalam konteks penggunaan dan peruntukan kembali lahan pascatambang, konsep rehabilitasi ekonomi sangat berguna [46]. Namun, perlu dicatat memiliki dua definisi definisi yang paling dominan dalam konteks pertambangan yang diterapkan mengaitkan rehabilitasi ekonomi dengan penambangan kembali yang sebelumnya tidak ekonomis, seringkali karena munculnya teknologi baru atau perubahan harga komoditas. Sebagai bentuk transisi ke ekonomi tambang lokal skala kecil, rehabilitasi ekonomi terkait dengan penambangan kembali dapat menggunakan tenaga kerja atau keterampilan yang ada [48]. Ini dapat dilakukan oleh perusahaan asal dalam menjual aset ke perusahaan yang lebih kecil [49], karena hal ini juga mengurangi kewajiban bagi perusahaan yang menjual. Meskipun mungkin ada manfaat jangka pendek yang jelas bagi perusahaan penjual, basis karyawan dan area lokal, dalam konteks mempertimbangkan transisi penggunaan lahan pascatambang, ada juga risiko dengan bentuk transisi ini [47].

Salah satu risikonya adalah bentuk rehabilitasi ekonomi ini bersifat jangka pendek atau terbatas. Penjualan aset ini juga berpotensi meningkatkan risiko pascatambang bagi masyarakat lokal [50], dan wilayah karena biasanya perusahaan yang lebih kecil kemungkinan akan memiliki investasi CSR yang lebih sedikit di wilayah tersebut karena perjanjian manfaat masyarakat lokal dan rencana penutupan tambang telah dinegosiasikan dan dilaksanakan dengan perusahaan asal, mungkin terdapat sedikit komitmen perusahaan untuk, dan investasi dalam, memastikan komitmen ini terpenuhi [41]. Penambangan ulang kemungkinan akan memiliki umur yang jauh lebih pendek daripada tambang sebelumnya penambangan ulang adalah bentuk transisi. Beberapa contoh memerlukan diversifikasi ekonomi, tidak hanya masyarakat atau wilayah setempat, tetapi juga perusahaan pertambangan karena mereka berinovasi dan mengejar bentuk-bentuk investasi baru dari ekstraktif yang tidak terbarukan dan ke dalam pengembangan sumber energi alternatif, terutama dalam kasus batubara termal [3].

5.5 KESIMPULAN

Pengelolaan lahan pascatambang berbasis berkelanjutan perlu di perhatikan yakni : Strategi berdasarkan mineralogi tanah, sifat kimia dan ukuran partikel tanah komposisi mineralogi wilayah pascatambang berperan penting dalam memahami sumber hara dengan cara menentukan lokasi penelitian, analisis laboratorium, memperhatikan faktor eksternal dan internal, pendekatan industri, bekerjasama dengan lembaga swadaya masyarakat (LSM), pendekatan lingkungan dan sosial ekonomi , mereklamasi pada saat operasi penambangan, dan rehabilitasi ekonomi

5.6 UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan makalah ini, dukungan dari berbagai pihak, Kepada Prodi Magister Teknik Pertambangan UPN "Veteran" Yogyakarta. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anda, M., Diah Purwantari, N., Yulistiani, D., Suryani, E., & Agus, F. 2022. *Reclamation of post-tin mining areas using forages: A strategy based on soil mineralogy, chemical properties and particle size of the refused materials*. CATENA, 213, 106140. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106140>
- [2] Kalisz, S., Kibort, K., Mioduska, J., Lieder, M., & Małachowska, A. 2022. *Waste management in the mining industry of metals ores, coal, oil and natural gas - A review*. Journal of Environmental Management, 304, 114239. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.114239>
- [3] Keenan, J., & Holcombe, S. 2021. *Mining as a temporary land use: A global stocktake of post-mining transitions and pascatambang*. The Extractive Industries and Society, 8(3), 100924. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.100924>.
- [4] Amirshenava, S., & Osanloo, M. 2022. *Strategic planning of post-mining land uses: A semi-quantitative approach based on the SWOT analysis and IE matrix*. Resources Policy, 76, 102585. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102585>.
- [5] Zhang, C., Zhao, Y., Li, T., & Zhang, X. 2020. *A post mining method for extracting value from massive amounts of building operation data*. Energy and Buildings, 223, 110096. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110096>
- [6] Łowicki, D., & Fagiewicz, K. 2021. *A new model of pollination services potential using a landscape approach: A case study of post-mining area in Poland*. Ecosystem Services, 52, 101370. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101370>
- [7] Prasetyo, Wijar., 2017. *Literature Review: Stres Perawat Di Ruang Instalasi Gawat Darurat*. Jurnal Ners Lentera, Vol. 5, No. 1,
- [8] Agus Cahyono, E., Sutomo, N., & Hartono, A. 2019. *Literatur Review ; Panduan Penulisan Dan Penyusunan*. Jurnal Keperawatan, 12(2), 12. Retrieved from <https://ejournal.lppmdianhusada.ac.id/index.php/jk/article/view/43>
- [9] Gunawan, R., Nurkhamim dan Izza, R.F., 2021. *Overview Metode Perencanaan Pengelolaan Lahan Bekas Penambangan*. ReTII, pp.345-350.
- [10] Fitriani, D., dan Putra, A., 2022. *Systematic Literature Review (SLR): Eksplorasi Etnomatematika pada Makanan Tradisional*. Journal of Mathematics Education and Learning. Vol 2 No 1. Hal 18-26
- [11] Hertanto R., S dan Dani H., 2020. *Studi Literatur : Pengembangan Media Pembelajaran Dengan Software Autocad*. Jurnal Kajian Pendidikan Teknik Bangunan. Vol. 6 No. 1.
- [12] Gunawan, R., dan Nurkhamim,. 2021. *Rencana Pascatambang Tambang Batubara PT. Tubindo Kabupaten Bulungan Provinsi Kalimantan Utara*. Jurnal Teknologi Mineral Ft Unmul. Vol 9, No 2
- [13] Deveci, M., Brito-Parada, P. R., Pamucar, D., & Varouchakis, E. A. 2022. *Rough sets based Ordinal Priority Approach to evaluate sustainable development goals (SDGs) for sustainable mining*. Resources Policy, 79, 103049. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103049>
- [14] Brodny, J., & Tutak, M. 2022. *Challenges of the polish coal mining industry on its way to innovative and sustainable development*. Journal of Cleaner Production, 375, 134061. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134061>.
- [15] Singh, K., Byun, C., & Bux, F. 2022. *Ecological restoration of degraded ecosystems in India: Science and practices*. Ecological Engineering, 182, 106708. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106708>.
- [16] Keputusan Menteri ESDM No 1827 Tahun 2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik.
- [17] Undang-undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta: Sekretariat Negara.
- [18] Aipassa, M.I., Hasan, H., Dan Zainuddin. 2020. *Tingkat keberhasilan reklamasi lahan bekas tambang batubara pada PT Bukit Baiduri Energi Kabupaten Kutai Kartanegara kota Samarinda Kalimantan Timur*. Dinamika Lingkungan Indonesia. Volume 7, Nomor 2. Hal 102-110.
- [19] Veselá, H., Lhotáková, Z., Albrechtová, J., & Frouz, J. 2021. *Seasonal changes in tree foliage and litterfall composition at reclaimed and unreclaimed post-mining sites*. Ecological Engineering, 173, 106424. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106424>

- [20] Ma, T., Luo, H., Huang, K., Tao, X., Sun, J., & Lu, G. 2022. *Hierarchical health risk assessment and influence factors of an ecological post-restoration oil shale mining area based on metal bioavailability*. Science of The Total Environment, 821, 153480. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153480>
- [21] Tejaswini, M., Pathak, P., & Gupta, D. 2022. *Sustainable approach for valorization of solid wastes as a secondary resource through urban mining*. Journal of Environmental Management, 319, 115727. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115727>
- [22] Krzysztofik, R., Dulias, R., Kantor-Pietraga, I., Spórna, T., & Dragan, W. 2020. *Paths of urban planning in a post-mining area. A case study of a former sandpit in southern Poland*. Land Use Policy, 99, 104801. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104801>
- [23] Endl, A., Tost, M., Hitch, M., Moser, P., & Feiel, S. 2021. *Europe's mining innovation trends and their contribution to the sustainable development goals: Blind spots and strong points*. Resources Policy, 74, 101440. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101440>
- [24] Samaei, S. M., Gato-Trinidad, S., & Altaee, A. 2020. *Performance evaluation of reverse osmosis process in the post-treatment of mining wastewaters: Case study of Costerfield mining operations, Victoria, Australia*. Journal of Water Process Engineering, 34, 101116. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101116>
- [25] Durkalec, M., Martinez-Haro, M., Nawrocka, A., Pareja-Carrera, J., Smits, J. E., & Mateo, R. 2022. *Factors influencing lead, mercury and other trace element exposure in birds from metal mining areas*. Environmental Research, 212, 113575. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113575>
- [26] Toumbourou, T., Muhdar, M., Werner, T., & Bebbington, A. 2020. *Political ecologies of the post-mining landscape: Activism, resistance, and legal struggles over Kalimantan's coal mines*. Energy Research & Social Science, 65, 101476. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101476>
- [27] Blanchette, M. L., & Lund, M. A. 2016. *Pit lakes are a global legacy of mining: an integrated approach to achieving sustainable ecosystems and value for communities*. Current Opinion in Environmental Sustainability, 23, 28-34. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.11.012>
- [28] Galo, D. D. B., dos Anjos, J. A. S. A., & Sánchez, L. E. 2022. *Are mining companies mature for mine closure? An approach for evaluating preparedness*. Resources Policy, 78, 102919. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102919>
- [29] Werner, F., Bilek, F., & Luckner, L. 2001. *Impact of regional groundwater flow on the water quality of an old post-mining lake*. Ecological Engineering, 17(2-3), 133-142. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(01\)00061-1](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(01)00061-1)
- [30] Sienkiewicz, E., & Gąsiorowski, M. 2017. *The diatom-inferred pH reconstructions for a naturally neutralized pit lake in south-west Poland using the Mining and the Combined pH training sets*. Science of The Total Environment, 605-606, 75-87. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.17>
- [31] Krane, J., & Idel, R. 2021. *More transitions, less risk: How renewable energy reduces risks from mining, trade and political dependence*. Energy Research & Social Science, 82, 102311. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102311>
- [32] Permana, I, S., Toha, M, T., dan Nurhayati., 2022. *Analisis Rencana Reklamasi dan Rencana Pascatambang PT. Tambulun Pagian Indah di Desa Rantau Ikil Kecamatan Jujuhan Kabupaten Bungo Provinsi Jambi*. Syntax Literate ; Jurnal Ilmiah Indonesia, Vol 07 No. 08. Hal 10337-10346.
- [33] Mukti, H. 2022. *Perizinan Pertambangan Batubara Terintegrasi dalam Mewujudkan Perkembangan Daerah Berkelanjutan*. Yogyakarta: CV Budi Utama.
- [34] Chernos, M., MacDonald, R., Straker, J., Green, K., & Craig, J. 2022. *Simulating the cumulative effects of potential open-pit mining and climate change on streamflow and water quality in a mountainous watershed*. Science of The Total Environment, 806, 150394. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150394>
- [35] Bester, V. 2022. *A corporate social responsibility conceptual framework to address artisanal gold mining in South Africa*. Resources Policy, 79, 103030. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103030>
- [36] Isacowitz, J. J., Schmeidl, S., & Tabelin, C. 2022. *The operationalisation of Corporate Social Responsibility (CSR) in a mining context*. Resources Policy, 79, 103012. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103012>
- [37] Gillespie, M., Glenn, V., & Doley, D. 2015. *Reconciling waste rock rehabilitation goals and practice for a phosphate mine in a semi-arid environment*. Ecological Engineering, 85, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.063>
- [38] Zvarivadza, T. 2018. *Large scale miners - Communities partnerships: A plausible option for communities survival beyond mine closure*. Resources Policy, 56, 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.12.005>
- [39] Muttaqin, M Z,. 2021. *Analisis Keterlibatan Lembaga Swadaya Masyarakat dalam Program Hutan Kemasyarakatan di Provinsi Nusa Tenggara Barat*. POLITICOS: Jurnal Politik dan Pemerintahan, Vol 01 No. 01. Hal 01-13.
- [40] Mbilima, F. 2021. *Extractive industries and local sustainable development in Zambia: The case of corporate social responsibility of selected metal mines*. Resources Policy, 74, 101441. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101441>

- [41] Bezzola, S., Günther, I., Brugger, F., & Lefoll, E. 2022. *CSR and local conflicts in African mining communities*. World Development, 158, 105968. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2022.105968>.
- [42] Sulista, S., & Rosyid, F. A. 2022. “*The economic impact of tin mining in Indonesia during an era of decentralisation, 2001–2015: A case study of Kepulauan Bangka Belitung Province*”. The Extractive Industries and Society, 10, 101069. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101069>.
- [43] Dresse, A., Nielsen, J. Ø., & Fischhendler, I. 2021. *From corporate social responsibility to environmental peacebuilding: The case of bauxite mining in Guinea*. Resources Policy, 74, 102290. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102290>.
- [44] Squillace, M. 2021. *Best regulatory practices for deep seabed mining: Lessons learned from the U.S. Surface Mining Control and Reclamation Act*. Marine Policy, 125, 104327. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104327>.
- [45] Lima, A. T., Mitchell, K., O’Connell, D. W., Verhoeven, J., & Van Cappellen, P. 2016. *The legacy of surface mining: Remediation, restoration, reclamation and rehabilitation*. Environmental Science & Policy, 66, 227-233. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.07.011>.
- [46] Mills, L. N. 2022. *Getting closure? Mining rehabilitation reform in Queensland and Western Australia*. The Extractive Industries and Society, 11, 101097. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101097>.
- [47] Liesch, M. 2016. *Creating Keweenaw: Parkmaking as response to post-mining economic decline*. The Extractive Industries and Society, 3(2), 527-538. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2015.12.009>
- [48] Aguirre Unceta, R. 2021. *The economic and social impact of mining-resources exploitation in Zambia*. Resources Policy, 74, 102242. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102242>.
- [49] Tsuji, H., & Otsuki, K. 2022. *The trajectory of extractive urbanism: Examining the implications of Vale's presence and withdrawal for the coal frontier and its urban spaces in Tete*. The Extractive Industries and Society, 101170. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101170>.
- [50] Prasad, S. K. 2018. *Business model for transforming a coal mining asset into a rent generating resource: A study under multiple strategic frameworks*. Resources Policy, 55, 163-170. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.11.014>.
- [51] Lorite, J., Ballesteros, M., García-Robles, H., & Cañadas, E. M. 2021. *Economic evaluation of ecological restoration options in gypsum habitats after mining*. Journal for Nature Conservation, 59, 125935. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125935>.

Comparison of VES and *IPI2WIN* Result with Drilling Groundwater at Wonogiri Garmen Factory Project Site

Winda

¹Mine Engineering Study Program, Faculty of Mineral Technology, UPN "Veteran" Yogyakarta
Email; winda@upnyk.ac.id

Abstrak. Di atas lahan seluas 30 hektar telah berdiri pabrik garmen di Desa Manjung, Kecamatan Wonogiri, Kabupaten Wonogiri, Provinsi Jawa Tengah. Informasi awal, terdapat sumber mata air di sebelah barat area penelitian dan juga telah dibuat sumur bor air tanah dangkal sedalam 21 meter di sekitar Basecamp. Namun, hal tersebut belum cukup untuk mendukung operasional pabrik. Direncanakan akan dilakukan pengeboran antara 3 sampai 4 titik bor air. Sebelumnya telah dilakukan geolistrik dengan alat "Naniura" dengan bentangan kabel sepanjang 300 m., dapat mendeteksi hingga kedalaman sekitar 150 m. Metode yang digunakan Vertical Electrical Sounding (VES) sebanyak 11 titik pendugaan, serta aplikasi perangkat lunak Ipi2win. Dari hasil interpretasi data tersebut direkomendasikan untuk mengebor 4 titik, yaitu pada titik VES-1, 7, 9, dan 10. Kemudian yang pertama kali dibor adalah di titik VES-1. Hasilnya didapatkan 3 lapisan air tanah, yaitu pada kedalaman (30-36)m, (42-68)m, dan (72-82)m. Dari hasil interpretasi diduga terdapat lapisan akuifer yang sangat tebal, yaitu antara 40 m hingga 80 m.
Kata kunci: air tanah, vertical electrical sounding, ipi2win

Abstract. On 30 hectares of land, a garment factory was built in Manjung village, Wonogiri district, Wonogiri regency, Central Java province. Preliminary information, there is a spring to the West of the research area and has also been created a shallow groundwater drill 21 m deep around the Basecamp. However, it is not enough to support the operation of the plant.

It is planned to be drilled between 3 to 4 water drill points. Previously geoelectric with the tool "Naniura" with a cable stretch of 300 m., it can detect to a depth of about 150 m. The method used by Vertical Electrical Sounding (VES) is 11 points of guess, as well as the Ipi2win software application. From the interpretation of the data it is recommended to drill 4 points, namely at points VES-1, 7, 9, and 10. Then the first to be drilled was in VES-1. The result obtained 3 layers of groundwater, namely at a depth of (30–36)m, (42–68)m, and (72–82)m. It has been suspected from the interpretation that there is a very thick layer of aquifers, which is between 40 m and 80 m.

Keywords: groundwater, vertical electrical sounding, ipi2win

6.1 INTRODUCTION

The use of geoelectricity is most widely used for modeling subsurface rocks in 2D. In addition, geoelectricity has also long been known for estimating the groundwater layer (aquifer). This is because the earth that can store water is the aquifer layer, where this layer is usually composed of sand-sized material.

Around the construction site of the Garment factory in Manjung and Sonoharjo villages, Wonogiri District, Wonogiri Regency, 4 drilling points will be carried out. For this reason, it is necessary to investigate the estimation of groundwater layers, according to 11-geoelectric point of type Resistivity, especially Vertical Electrical Sounding (VES) methods.

The first drilling has been carried out on March 29, 2022. The results are encouraging as it has been shown to find deep groundwater sources. Of course, this is inseparable from the results of estimating the groundwater carrier layer at the VES-1 point

The location of geoelectric measurements and groundwater drilling can be reached by 4-wheeled vehicles from Jogjakarta for 2 hours (**FIGURE 1**).

6.2 PAST GEOELECTRIC RESEARCH

The location of measurements is carried out on the plain near the planned construction of a garment Factory that has been boxed in. This geoelectric measurement is intended to obtain data from the field in the form of the amount of current injected into the earth through both current electrodes. In addition to the magnitude of the injected current, in this measurement also obtained the potential difference arising between the two potential electrodes [1].

From the data from the results of 1D geoelectric measurements or known as Vertical Electrical Sounding (Ves) on November 25, 2021 [2], the magnitude of the current and the difference in potential were obtained, then it is known that the resistance of the type of rock, then from that type of resistance so that it can be suspected that the type of water-carrying layer (aquifer) is that there are 2 layers of aquifer at a depth of (9.98 -22.4) m. and (30.9 - 69.5) m.

These data are obtained after being plotted into IP2Win software, and from this data will produce a sounding curve [4]. From this picture of the sounding curve, it can be estimated the possibility of groundwater below the measurement point based on the resistance value of the layer type, which is between 20-60 Ohm.m. (like table 2.1 above).

Then in the field also pay attention to the condition of the surrounding groundwater, namely the emergence of springs in the South Base Camp (office). There is a spring that continuously comes out that can irrigate the rice fields below which is towards the West [3]. In addition, the location has also been drilled near the office and the water can be at a depth of 21 m (information from Mr. Dandong). See Figure 2, namely the position of the spring, office (water reservoir) and the location of point-1 with the code WG-1 in front of the office (the North is about 15 m).

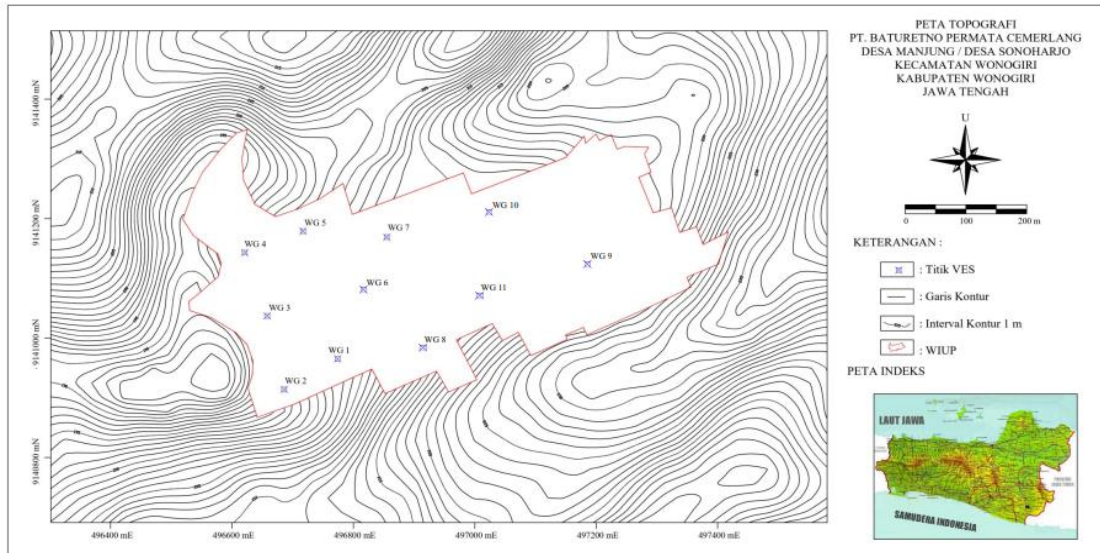


FIGURE 1. Location of study area



FIGURE 2. The position of the WG-1 point is taken the North of springs and drill point (water torn)
 The results of measuring the sounding curve or Vertical Electrical Sounding (VES) at the WG-1 point are as shown in Figure 3 and Table-1, the interpretation results can be seen below.

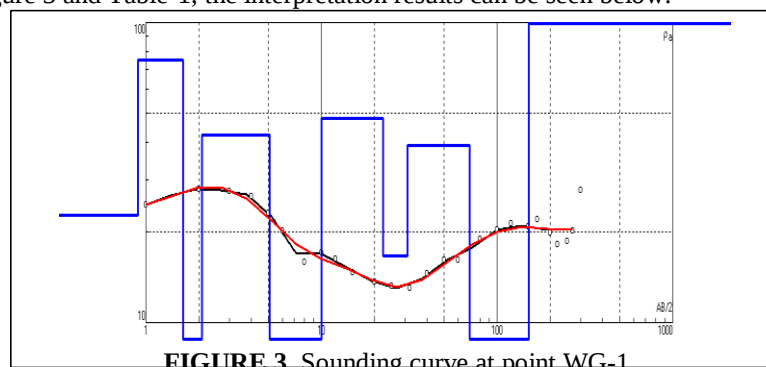


FIGURE 3. Sounding curve at point WG-1

Then the table of calculation results is as follows:

TABLE 1. Interpretation of Resistivity Values at point WG-1

N	ρ	h	d	Interpretation
1	22.7	0.901	0.901	Cover soil
2	75.2	0.723	1.62	
3	1.76	0.46	2.08	
4	42.2	2.99	5.07	Surface water
5	2.95	4.91	9.98	Claystone
6	47.8	12.4	22.4	Shallow groundwater
7	16.6	8.49	30.9	Silt (silt)
8	39	38.6	69.5	Suspected Deep groundwater
9	6.08	81.5	151	Claystone
10	240			Sandstone,

Information:

N = number of layers, ρ = type resistance, h = layer thickness, d = layer depth

From this point WG-1 will be combined with point WG-6, WG-7, WG-10, WG-9, WG-11, and WG-8 a fence diagram will be made complete with the animation.

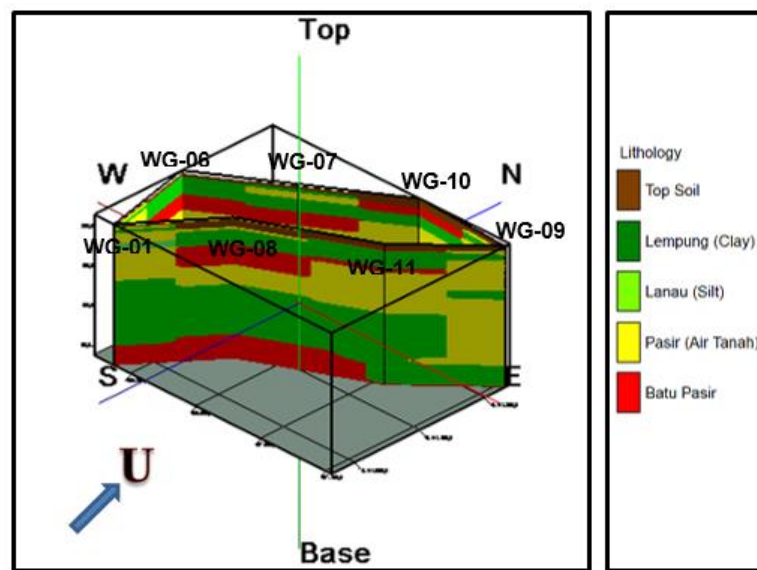


FIGURE 4. Fence

diagram of groundwater estimation

6.3 GROUNDWATER DRILLING RESULTS AT WG-1 POINT

Most of the clients who requested groundwater investigation services in their place, never reported the results of the drilling so we as a survey team are still undecided whether the results of the estimation that has been carried out are suitable or not with subsurface conditions. Coincidentally, this time the *client* is good so it reports the results of the drill log conducted by PDA on March 29, 2022 [5] (FIGURE 5).

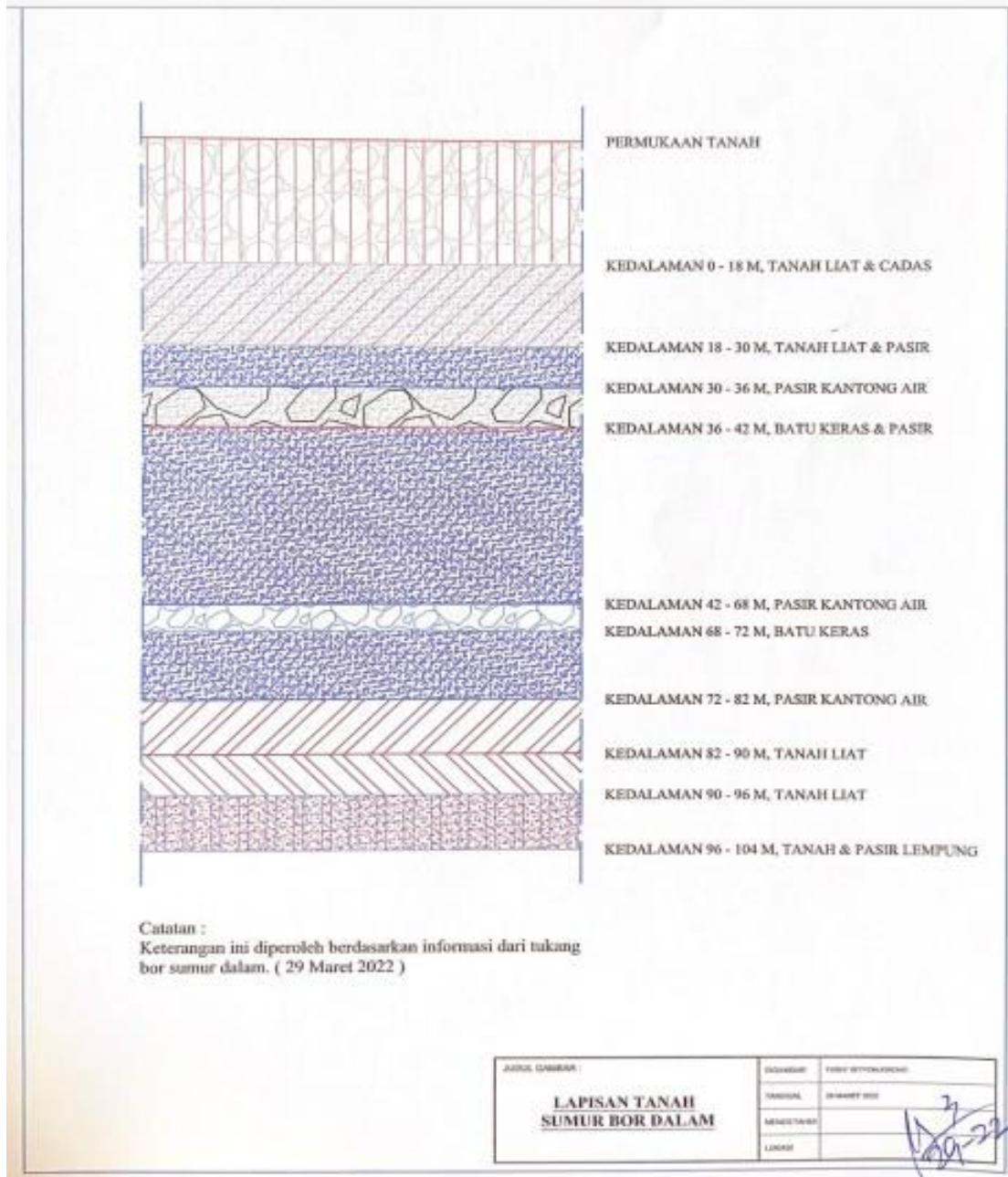


FIGURE 5. Results of groundwater drilling at point WG-1

6.4 COMPARISON OF SOUNDING CURVES WITH DRILL LOGS

Considering that the results even though they can get water, as researchers are still not satisfied because they are not suitable or not very suitable between the results of geoelectric interpretation and the results of groundwater drilling carried out in the area, it will be re-examined starting from the basis of sounding curve theory, data processing with IPI2win, and trying to reinterpret so that in the future the interpretation results are close to the real situation.

According to Schlumberger's method, that the sounding curve that will result from measurements in the field will not be more than 4 types of curves, namely the curve types H, A, Q, and K

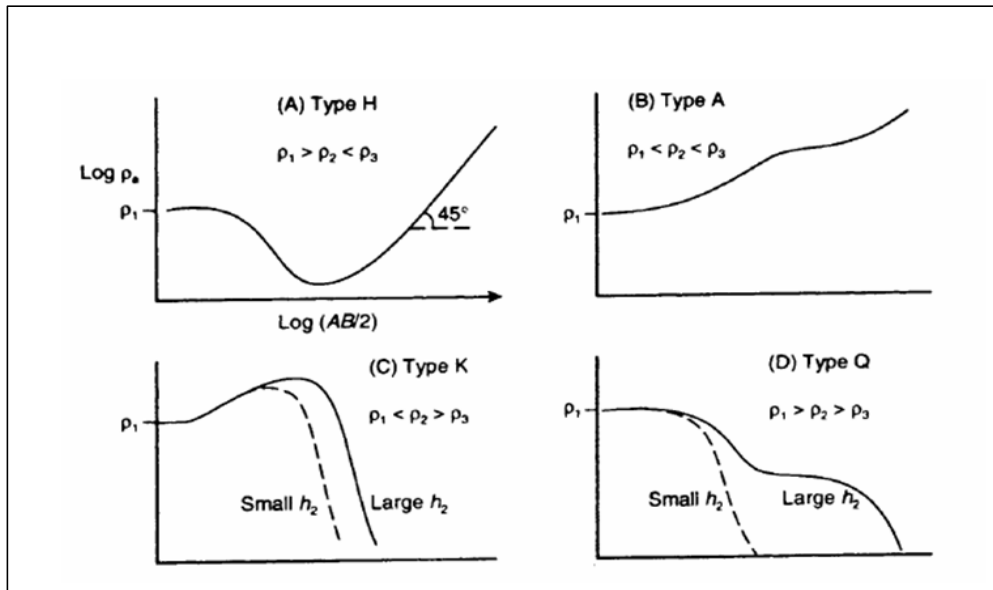


FIGURE 6. Types of sounding curves

From the data obtained and the depiction of the sounding curve, it can be corrected on the 4th and 5th layers changed from type K and H (meaning it goes up and down once) to type Q which means there is a long layer where the curve goes down and down again (2x down). Apart from that the latest measurement data point, the ascending curve is more than 45° so it needs to be ignored.

To correct the results of its interpretation, the following steps will be carried out:

➤ Qualitative Interpretation

What is meant by qualitative interpretation is an interpretation based on the sounding curve pattern obtained from the field. If you have understood this qualitative interpretation, you still know whether this measured point has water or not (?!).

- Curves such as type H / Q

In this case, what is often encountered is the H curve type, that is, the pattern is falling steadily, where the presence of water is usually on the rock, see Figure-7. In addition to the H curve type which is similar to the Q type.

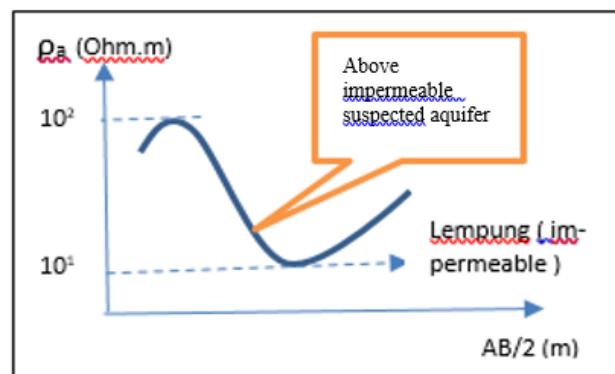


FIGURE 7. Groundwater estimation of the H curve type

- Curves like type K

Usually for sedimentary or alluvial areas, there is often a low jeis resistance value below 10 Ohm.m. However, suddenly there is a curve shape like type K and usually also trapped groundwater (aquifer) as **FIGURE 8**

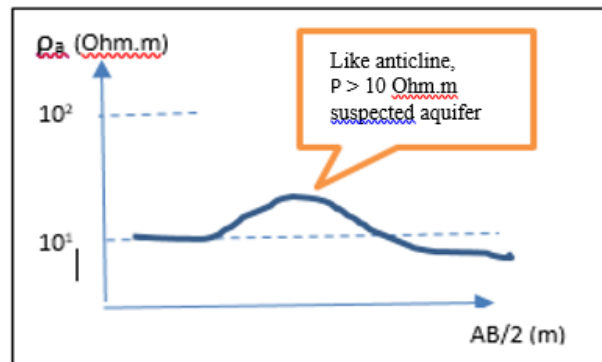


FIGURE 8. Groundwater estimation of the K curve type

➤ Quantitative Interpretation

This interpretation requires quantity, namely the Resistivity numbers obtained from matching curves (*matching*). In this case used program or software IPI2Win.

Such programs can be very helpful but can also be misleading. This is usually for novice interpreters who only rely on minor mistakes but do not understand the philosophy of sounding curves of which there are 4 types. For example, someone writes that there is a layer that drops or rises 3x. It's likely that interpreters haven't tried it manually so the program could be misleading.

Or it could be people who have experience in geoelectric interpretation but because the data is not good or not *smoothing* so that the data input is a lot of layers (for example > 10 layers), even though the possibility is only a few layers (for example the curve curve is only 3-4 layers) this can be wrong too.

Then what often happens is also to rely only on the resistivity value in Table-2, for example the groundwater value between (20-60)Ohm.m. In fact, not all values that fall within the range of this figure are definitely groundwater but depending on the location if it is on the surface, it is likely that it is only a rather dry clay stone. But if it is below a depth of 5 m. or more, then the value of 20-60 applies. Especially look at the qualitative interpretation, whether it is like Figures 6 and 7 or not (!)

To determine whether or not this layer will be aquifer (?) must be with field experience, starting from data retrieval, understanding computer programs, and soft skills, namely our ability to understand that groundwater, especially in sedimentary areas or in the form of layers, will be trapped in sandstone (*permeable*.)

TABLE 2. Table of Rock Resistivity (John Willey & Sans)

Layer	ρ (Ohm.m.)
Water (air)	0
Sandstone	200 – 800
Sand	1 – 1000
Clay	1 -100
Groundwater	20 – 60
Gravel	100 - 600

It will now be analyzed from the results of the WG-1 point which has been proven to be drilled out of the water but is still inaccurate about its thickness and depth. For that we try another way in processing the data, namely not

followed by a layer of layering but directly we select Minimize first and then add a layer to the layer that is considered a prospect of water

- Make minimize.

At this minimize stage, the interpretation is selected a minimal number of layers according to the program, that is, there are 6 layers like Figure 9 below

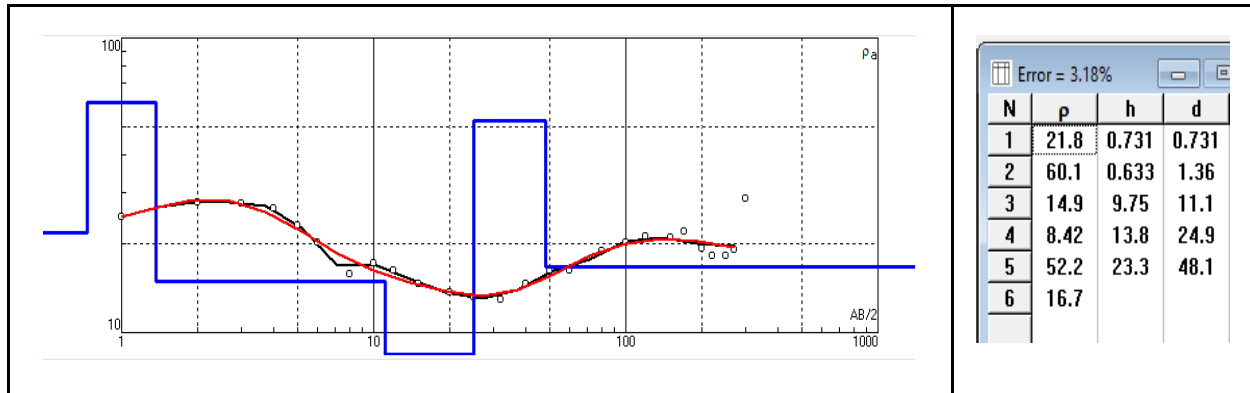


FIGURE 9. Minimize results from the Ipi2win program and quantitative interpretation table

Considering that there are still at least 2 more layers or at least layers of the sounding curve, 2 more layers can still be added. This is because it looks like the latest depth is 48.1 m even though the cable span is up to 250 m, so the depth that can be detected is around 125 m.

- Add a layer

In the 3rd and 4th layers, there is a change, namely the curve goes down and down again. Furthermore, because it is a minimal result, it can still be added again, namely on the 6th layer, you can add 2 more layers like

FIGURE 10

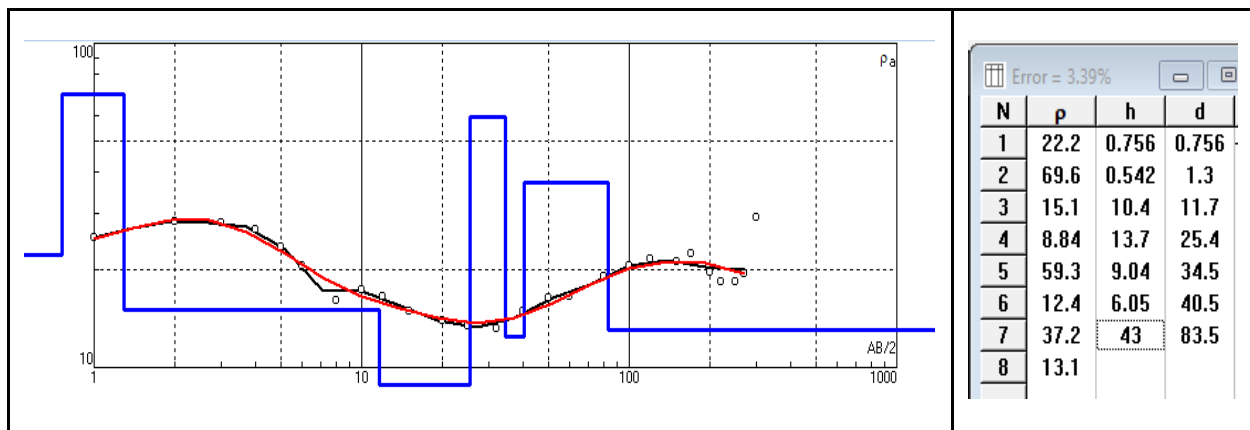


FIGURE 10. Resistivity sounding curve plus 2 layers and quantitative interpretation table

Notes for thin hard rock layers between depths (68-72) m are not detected in the 7th layer unless forced because at a depth of about 70 m., a current stretch of 20 m means detection every 10 m. so if the thickness is less than 10 m is not accurately detected.

6.5 RESULTS AND DISCUSSION

The above interpretation is a stage in the assessment of water-containing formations or layers. However, if there is expert experience, it would be better for completeness in the interpretation of groundwater.

Why is that ?

Because the author often sees on the internet writings about this interpretation of groundwater the results are disappointing and can even be said to be deviant, so the author often hears the impressions of geoelectric users by saying ; what do you make with geoelectricity if the results are inconsistent or incorrect....?, he said at such a depth there is water but in fact it is just mud.

A few years ago the author went to Makassar, especially in Jeneponto regency, when with the team measuring geoelectricity, the person who helped pull the cable said this: Sir, actually people here do not believe in geoelectricity because the results do not match reality, so he said, it is useless to use technology if the results are not correct.

So the author asked the person, Is the method the same?

Yes, he replied ! Only the stretch is only 100 m but can already interpret there is water at a depth of 160 m ?!. This is the problem just discovered, apparently the person who surveyed earlier lied to the client because it is impossible for a stretch of 100 m cable to be able to guess the water at a depth of 160 m.

Now look at **FIGURE 10** which is the result of a comparison of drill/cutting logs (linear scale) and interpretation of VES curves (logarithm scale). In general, it can be said to be suitable but because the difference in scale looks different and the parting is not detected, therefore in order for the thin layer to be well detected, the electrode space needs to be narrowed

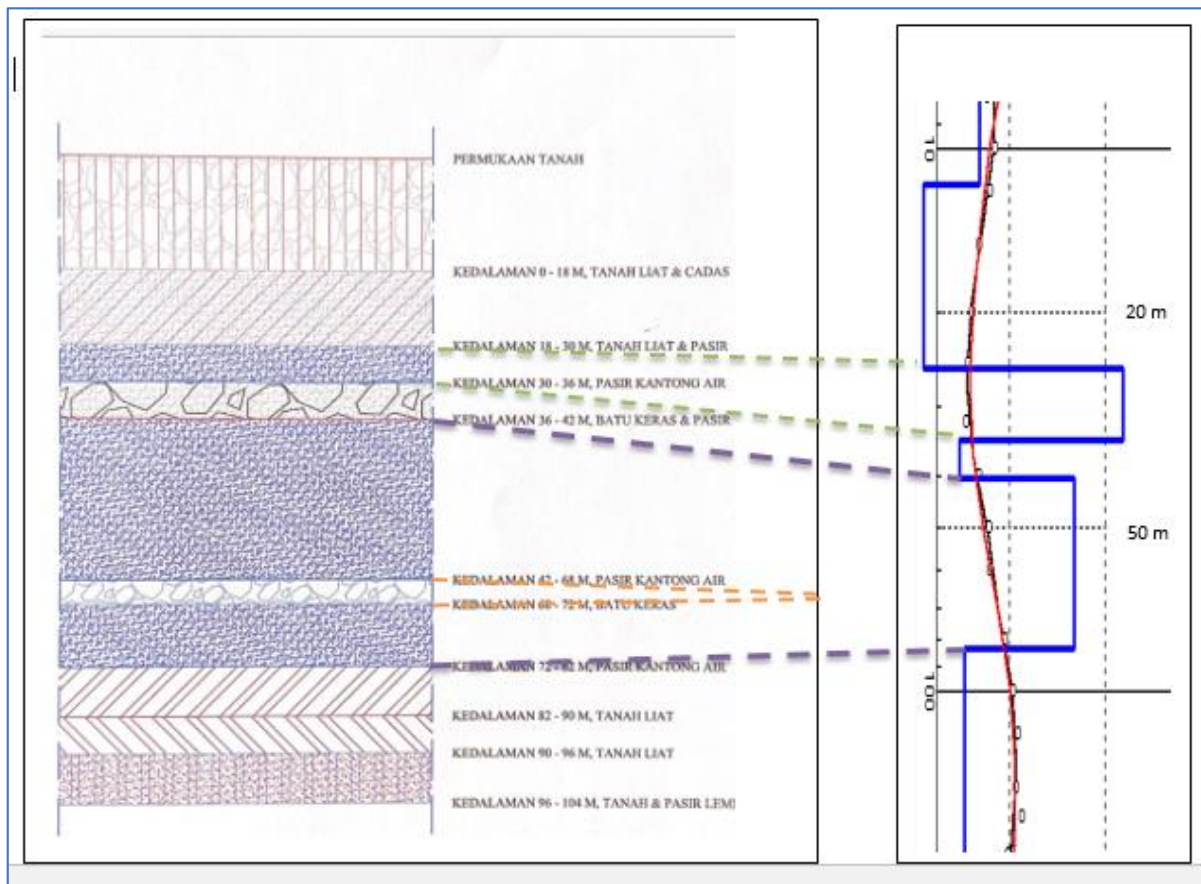


FIGURE 11. Comparison of VES curve interpretation with groundwater drilling results

6.6 CONCLUSION

Geoelectric measurements by means of VES and with the help of the Ipi2win program are very helpful interpretation about the presence of aquifers, although for thickness and depth it is less accurate but the estimation of groundwater below the surface results never deviate far.

From the qualitative analysis of the sounding curve, since the field, it can be suspected about the presence of groundwater at the investigation site. This is because water is a good conductor so that the resistance of the type is low, there are even lower rocks, namely claystones that act as impermeables. Therefore, if it can be estimated that the rock is lying on it, it can be suspected that there is water trapped on it.

Then in addition to the qualitative interpretation, there is also a quantitative interpretation which based on the numbers of the data processing results with IPI2win will be obtained the number of layers of resistivity values, thickness and depth of layers accurately if an interpreter has experience using Ipi2win.

Comparison at point-1 of the groundwater drilling results on March 29, 2022 there are 3 layers of groundwater, while from the VES interpretation on November 25, 2021, only 2 layers of groundwater are caused by the presence of a thin layer at a depth (68-72) m that is not detected by geoelectric measurements because at a depth of 70 m the current cable stretch is about 150, 170 and 200 m so that the space is quite wide.

This experience is deliberately conveyed by the author at this Seminar so that the successors of groundwater exploration can be successful or the results of the estimation if drilled, yes.... there is water. Or if it fails lest it diplomacy be this way ; this is still exploration or estimation so that it can be successful or may also fail to get groundwater

6.7 ACKNOWLEDGEMENTS

On this occasion, the author would like to thank Mr. Hariman for being trusted by Mr. Hariman, a young entrepreneur who does not want to be named and usually known only by his subordinates, namely Mr. Juwari. It is through them that the author has often conducted groundwater investigations since 2017 in the Tangerang, Blora, Sukoharjo, and Jepara areas. Usually for the provision of clean water in residential projects and factories.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Gatot Hari P. 1991, *Administrative Procedures for Exploration Drilling Work*, Training on Provision of clean water and Environmental sanitation, ITB Bandung.
- [2] Reynolds, J.M. 1998. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. New York: John Willey and Sons.
- [3] Suyono Sosrodarsono, 2003., *Hydrology for irrigation*, Pradnya Paramita, Jakarta
- [4] Telford, W.M., Gedaart, L.P. & Sheriff, R.E. 1990. *Applied Geophysics*. New York: Cambridge.
- [5] Winda, 2021., Report on estimation of groundwater layers using geoelectricity in Manjung and Sonoharjo villages, Wonogiri district, Wonogiri kabupaten Wonogiri - Central Java

Studi Karakteristik Geologi Dalam Penentuan Lokasi As Calon Bendungan Di Sungai Nungga Kota Bima Nusa Tenggara Barat

Husni Randa^{1,a)}, Barlian Dwinagara^{1,b)}, Muhammad Fathin Firaz^{2,c)}, Arif
Wijaya^{2,d)}

¹Program Studi Magister Teknik Pertambangan, UPN "Veteran" Yogyakarta, Indonesia

²Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Muhammadiyah Mataram, NTB, Indonesia

^{a)}Corresponding author: randahusni@gmail.com

^{b)}barliandn@upnyk.ac.id

^{c)}fathinfiraz@gmail.com

^{d)}arif.wijaya@ummat.ac.id

Abstrak. Pembangunan Bendungan Nungga diharapkan dapat berdampak positif bagi Kota Bima yaitu terbangunnya waduk pengendali banjir Kota Bima. Pembangunan Bendungan tersebut juga dimanfaatkan sebagai irigasi serta penyediaan air baku bagi masyarakat setempat. Pembangunan bendungan perlu dilakukan dalam rangka untuk menangkap debit banjir untuk kemudian di lepas secara bertahap agar tidak terjadi banjir. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan kajian terkait potensi dan perencanaan bendungan Nungga guna pemenuhan kebutuhan air irigasi di Kota Bima. Metodologi penelitian yang digunakan yakni metode survei lapangan dengan mengidentifikasi sifat dan karakteristik geologi yang ada secara langsung. Morfologi penelitian adalah daerah perbukitan bergelombang kuat yang disayat oleh sistim perlembahan bararah relatif utara-selatan yang dikontrol oleh sungai Nungga dengan litologi yang didominasi oleh breksi vulkanik dan alluvial. Pada titik pengamatan arah utara ditemukan kekar gerus dengan arah umum N164°E/76°. Dari hasil analisis geologi yang telah dilakukan maka diusulkan lokasi as pembangunan Bendungan Nungga berada pada koordinat 8°28'17.41" Lintang Selatan dan 118°49'20.80" Bujur Timur.

Kata kunci: *Pembangunan Bendungan, Analisis Geologi.*

Abstract. The construction of the Nungga Dam is expected to have a positive impact on Bima City, namely the construction of a flood control reservoir for Bima City. The construction of the dam is also utilized as irrigation and raw water supply for the local community. The construction of the dam needs to be done in order to capture flood discharge and then release it gradually to prevent flooding. The purpose of this research is to conduct a study related to the potential and planning of the Nungga dam to fulfill irrigation water needs in Bima City. The research methodology used is the field survey method by identifying the nature and characteristics of the existing geology directly. The morphology of the study is a strongly undulating hilly area cut by a relatively north-south oriented dissemination system controlled by the Nungga river with lithology dominated by volcanic and alluvial breccias. At the observation point in the north direction, there is a scouring bridle with a general direction of N164°E/76°. From the results of the geological analysis that has been carried out, it is proposed that the location of the Nungga Dam is located at coordinates 8°28'17.41" South latitude and 118°49'20.80" East longitude.

Keywords: Dam Construction, Geological Analysis.

7.1 PENDAHULUAN

Siklus yang terjadi di alam selalu berproses dengan kondisi tertentu dan sangat sulit untuk memperkirakan peristiwa geologi yang akan terjadi, namun gejala tersebut masih bisa diprediksi dengan solusi efektif yang telah dirancang sebelumnya. Data Hidrologi dari Dinas Pekerjaan Umum Dan Penataan Ruang Kota Bima oleh CV. Helium Consulting Engineer pada tahun 2022 menunjukkan bahwa fluktuasi debit air di Sungai Nungga yang tercatat calon bendungan mencapai $Q_{max} = 199,60 \text{ m}^3/\text{det}$; $Q_{min} = 4,64 \text{ m}^3/\text{det}$, dengan Ratio = 1,45 [2]. Ini menunjukkan bahwa debit di sungai Nungga tersebut tidak terlalu besar dan dengan ratio yang sedang, untuk memperkirakan terjadinya kelimpahan pada suatu waktu sangat sulit [1]. Pada besaran nilai curah hujan juga menunjukkan angka yang sulit untuk diprediksi, data curah hujan harian dapat mencapai mencapai 194,74 mm dengan rata-rata perbulannya maksimal hanya 37,77 mm [7]. .Dalam pembangunan bendungan tersebut diperlukan banyak informasi data dan kajian untuk menunjang pembangunannya, salah satunya adalah data karakteristik geologi [8]. Hal ini

dikarenakan banyaknya potensi untuk bendungan tersebut mengalami kerusakan yang nantinya dapat menimbulkan kerugian yang besar bagi masyarakat sekitar. Salah satu potensi kerusakan infrastruktur bendungan tersebut dapat berasal dari kondisi geologi permukaan seperti sebaran batuan yang tidak merata ataupun struktur geologi yang memungkinkan dapat mengakibatkan ketidakstabilan fondasi bendungan tersebut. Oleh karena itu, diperlukan studi untuk meminimalisir terjadinya kerusakan pada infrastruktur bendungan tersebut. Selain itu data geologi akan sangat membantu dalam pemeliharaan dan mengevaluasi suatu perencanaan konstruksi teknik terkhususnya untuk pembangunan bendungan Nungga, Kota Bima, Nusa Tenggara Barat.

Dalam penyelidikan kondisi geologi bawah permukaan pada penyelidikan ini dilakukan dengan memanfaatkan pengukuran Geolistrik [9]. Pengukuran geolistrik dilakukan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan pada lokasi rencana Bendungan Nungga. Pengukuran dilakukan menggunakan geolistrik resistivitas konfigurasi schlumberger sebanyak 2 titik, yakni diperkirakan lokasi pembangunan Bendung Nungga. Pengukuran bawah permukaan lokasi rencana pembangunan Bendung Nungga dilakukan menggunakan metode Geolistrik 1D konfigurasi Schlumberger menggunakan alat OJS Electrical Resistivity Meter V.RM.02.19. Pengukuran dilakukan dengan panjang lintasan pengukuran 120–150 m [10].

7.2 LOKASI PENELITIAN

Lokasi perencanaan pembangunan Bendungan Nungga berada pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Rontu dan pada Sub DAS Nungga. Secara administratif lokasi penelitian terletak di Kelurahan Nungga, Kecamatan Rasanae Timur, Kota Bima, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Tepatnya berjarak sejauh 13,5 km ke arah timur dari Kota Bima.

7.3 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan yaitu dengan mengidentifikasi sifat dan karakteristik geologi secara langsung pada lokasi penelitian. Sifat dan karakteristik ini kemudian saling dihubungkan antara satu lokasi dengan lokasi lainnya sehingga nantinya dihasilkan kondisi yang cocok dan cukup ideal secara geologi untuk dibangunnya calon bendungan. Selain itu, untuk memperkuat hasil kajian awal dari lapangan ini juga disajikan pustaka dan peneliti terdahulu.

7.4 GEOLOGI REGIONAL GEOMORFOLOGI REGIONAL

Secara fisiografi wilayah Kota Bima dan sekitarnya termasuk dalam Busur Gunungapi Nusa Tenggara yang merupakan bagian dari Busur Sunda sebelah Timur dan Busur Banda sebelah Barat. Busur tersebut terbentang mulai dari Pulau Jawa ke Nusa Tenggara yang selanjutnya melengkung mengitari Samudra Indonesia. Wilayah Kota Bima dan sekitarnya secara geomorfologi dan berdasarkan morfometri dan morfogenesis dapat dikelompokkan ke dalam 4 satuan geomorfologi, yaitu: Satuan Geomorfologi Dataran Fluvial, Dataran Endapan Pantai, Bergelombang Denudasional dan Bergelombang Lemah-Kuat Vulkanik [6].

7.5 STRATIGRAFI REGIONAL

Berdasarkan Peta Geologi Regional Lembar Komodo, Jawa Skala 1 : 250.000 , urutan stratigrafi regional terdiri dari beberapa satuan batuan antara lain dari tua ke muda yakni, (Tlml) dan (Tlmv) berumur Miosen Bawah. Selanjutnya diendapkan secara tidak selaras (Tmdt) (Tml) (Tmv) dan (Tg di,sy,t,a,da) berumur Miosen bawah sampai Miosen Tengah. Selanjutnya secara selaras pula diendapkan (Tmpl) berumur Miosen Atas. Setelah itu diendapkan pula Formasi Batuan Vulkanik Tua (QTv l,m,s,g,d,o,b) berumur Pliosen - Plistosen. Dan paling akhir aktivitas geologi paling muda diendapkan secara tidak selaras adalah endapan sekarang yaitu berupa Endapan Alluvial, yang terdiri dari (Qa) (Ql) (Qv sn,ws) berumur Holosen [3].

7.6 STRUKTUR GEOLOGI REGIONAL

Berdasarkan Peta Geologi Regional Lembar Komodo, Jawa Skala 1 : 250.000 . Daerah pemetaan terletak di dalam Busur Dalam Kepulauan Banda. Batuan gunungapi yang berumur antara Tersier dan Kwartir di Pulau Sumbawa menempati jalur bagian utara dan bagian selatan. Struktur geologi yang terdapat di Pulau Sumbawa terdiri dari

beberapa sesar normal dan kelurusan yang umumnya berarah timurlaut – baratdaya dan baratlaut – tenggara. Struktur tersebut umumnya terdapat pada batuan-batuan gunungapi dan sedimen Tersier. Struktur Geologi daerah ini mungkin berhubungan erat dengan pembentukan batuan beku dalam pada kala Miosen Muda [5].

7.7 PEMBAHASAN GEOMORFOLOGI

Lokasi pembangunan calon bendungan nungga termasuk kedalam bentang alam perbukitan structural. Perbukitan struktural ini sangat terlihat jelas pada bentukan morfologi berupa triangular faced dan gawir sesar disepanjang perbukitan di bagian timur dan barat dari lokasi penelitian. Lokasi calon bendungan sendiri bagian dari bentang alam tersebut yang merupakan daerah perbukitan bergelombang kuat yang disayat oleh sistim perlembahan berarah relatif utara-selatan yang dikontrol oleh sungai Nungga. Litologi penyusun dari daerah telitian antara lain terdiri dari satuan batuan vulkanik dan satuan alluvial yang merupakan endapan dari sungai Nungga. Elevasi Morfologi daerah penelitian berkisar antara 160-238 meter diatas permukaan laut dengan kemiringan lereng 0-65 % (Datar-Curam). Besarnya relief topografi dan tingkat kelurusan lembah memiliki pengaruh terhadap aktivitas erosi. Semakin curam relief topografi semakin besar kemungkinan terjadinya longsor sehingga aliran airnya nanti akan semakin cepat. Sungai utama yang menjadi lokasi dari Bendungan adalah Sungai Nungga yang merupakan sungai permanen yang selalu berair sepanjang tahun, Sungai Nungga ini mengalir kearah barat dan bermuara ke teluk Bima. Berdasarkan intepretasi peta topografi regional , pola pengaliran Sungai Nungga cenderung membentuk Pola Sub Trellis pada bagian Hulu dan Sub Dendritik pada bagian Hilir. Berdasarkan Analisa peta topografi dan pengamatan lapangan dengan mengacu pada klasifikasi Van Zuidam [11]. Maka bentukan asal daerah penelitian dapat dibagi menjadi 2 bentukan asal yaitu bentukan asal struktural dan bentukan asal fluvial.

Bentukan asal struktural ini hanya terdiri dari satuan geomorfologi, yaitu Satuan Geomorfologi Perbukitan Bergelombang Kuat Vulkanik. Satuan ini menempati kurang lebih 50% dan terletak pada bagian Utara dan Selatan pada rencana calon Bendungan. Topografi bergelombang kuat dengan kemiringan lereng berkisar antara 4 – 65 % (landau-curam). Beda tinggi 165-238 meter diatas permukaan laut. Dataran Fluvial ini hanya terdiri dari satuan geomorfologi, yaitu satuan Geomorfologi Dataran Alluvial. Satuan ini menempati 50% dari daerah penelitian dan tepat pada perencanaan calon bendungan. Topografi datar-landai dengan kemringan lereng berkisar antara 0-5%. Elevasi berkisar antara 160-165 meter diatas permukaan laut. Dataran banjir Sungai Nungga sebagai hasil dari pelapukan batuan yang berwarna coklat kemerahan dimanfaatkan sebagai lahan pertanian oleh penduduk setempat.

Litologi Permukaan

Breksi Gunungapi dari Formasi Batuan Vulkanik Tua Doro Maria (QTvm)

Terdiri dari Hasil Gunungai Tua Doro Maria (QTvm), terdiri dari Breksi Gunungapi, lahar, lava bersifat andesit dan basal. Penyebaran satuan ini pada pada bagian Utara dan selatan perbukitan di sekitar downstream calon bendungan. Breksi vulkanik merupakan batuan yang kompak dan susah dihancurkan, namun apabila tingkat pelapukan yang dominan dan bagian permukaan mengalami retakan maka fragmen batuan jadi mudah lepas, ini menjadi pemicu terjadinya longsor. Kenampakan lapangan memperlihatkan warna Abu Kehitaman dengan krista-kristal kwarsa serta dijumpai struktur geologi berupa kekar gerus (*Shear Joint*).

Endapan Resen (Aluvial)

Terdiri dari satuan endapan sungai, bahan rombakan yang berupa endapan yang belum terkonsolidasi dengan baik, bersifat lepas berukuran lempung dan pasir sampai bongkah. Diendapkan terutama pada palung sungai, bantaran sungai dan endapan Alluvial terutama pada bagian bawah dari tebing bukit. Satuan ini merupakan endapan yang terbentuk pada masa sekarang sebagai produk erosi dan sedimentasi dari batuan yang lebih tua

Litologi Bawah Permukaan

Koordinat pengukuran geolistrik di lokasi perencanaan pembangunan calon Bendungan Nungga S08°28'16.8" - E118°49'21.0". Litologi batuan bawah permukaan pada daerah pengukuran ini berupa perselingan antara lapisan lempung dengan breksi andesit karena terletak pada daerah aliran sungai. Lapisan keras terletak pada kedalaman

1.09 – 3.46 m dan 8.37 – 12.6 m. Pembuatan pondasi bangunan bendungan sebaiknya dilakukan hingga lapisan keras kedua.

TABEL 1. Hasil Interpretasi Geolistrik Calon Bendungan Nungga

Tahanan Jenis (Ωm)	Ketebalan (m)	Kedalaman di bawah muka tanah (m)	Jenis Batuan	Keterangan
12329.94	0.38	0 – 0.38	Breksi	12329.94
39.75	0.71	0.38 – 1.09	Lempung	39.75
720.67	1.56	1.09 – 3.46	Breksi	720.67
9.53	4.91	3.46 – 8.37	Lempung	9.53
788.91	4.23	8.37 – 12.6	Breksi	788.91

Struktur Geologi

Dari penyelidikan geologi yang dilakukan, singkapan-singkapan batuan yang ditemukan di lokasi penelitian terganggu oleh struktur mayor berupa sesar normal. Tentunya ini sangat mempengaruhi untuk penentuan lokasi as bendungan. Lokasi yang ideal adalah lokasi yang tidak diganggu oleh struktur tersebut. Bukti adanya sesar normal pada bagian lembah sungai berbentuk V dan beberapa keruntuhan yang terjadi disisi timur daerah penelitian. Patahan ini diidentifikasi sesar normal nungga, banyak juga ditemukan kekar pada lapisan breksi vulkanik yang sudah terkompaksi dalam berbagai arah. Latak dan arah sesar sangat berhubungan dalam penentuan rembesan pada pembangunan calon bendungan. Arah sesar yang tegak lurus terhadap poros bendungan dibawah sungai merupakan rembesan terpendek dengan tekanan air yang besar. Selain dapat menimbulkan rembesan diluar perhitungan, juga dapat menimbulkan erosi internal yang dapat mempengaruhi stabilitas calon bendungan tersebut. Pada titik pengamatan arah utara lokasi penelitian ditemukan kekar gerus (*Shear Joint*) yang dicirikan oleh rekahan-rekahan yang saling berpasangan, cukup rapat dan bersifat tertutup. Kekar ini juga memotong tubuh batuan dan berdasarkan hasil Analisa struktur geologi, maka didapatkan arah umum kekar gerus (*Shear Joint*) di lapangan dengan nilai rata-rata N 164° E / 76°.

Kerentanan Gerakan Tanah

Berdasarkan Peta Zona Kerentanan Gerakan Tanah Jawa Nusa Tenggara Barat, skala: 1: 100.000 (Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, 2009) (Gambar 5) daerah bima merupakan wilayah atau Zona kerentanan gerakan tanah menengah hingga tinggi. Wilayah yang memiliki tingkat kerentanan tinggi berupa gerakan tanah lama dan gerakan tanah baru yang masih aktif bergerak akibat curah hujan yang tinggi dan erosi yang kuat (dengan curah hujan tahunan antara 1600 – 2900 mm, dan koefisien *run-off* selama 5 tahun cenderung regresi naik dari 0.4 sampai 0.6 (Data Hidrologi Pos ARR Kumbe Kecamatan Rasanae Timur Kota Bima,)). Daerah hilir lokasi penelitian merupakan daerah yang termasuk dalam Zona kerentanan gerakan tanah menengah dan tinggi. Tanah yang berasal dari pelapukan breksi vulkanik menunjukkan ketidakstabilan pada lereng lebih dari 45°. Di lokasi rencana as bendungan pada kedua tebing dijumpai longsor dimana bongkah jatuhan ke arah utara pada zona lemah di zona kontak dengan alluvial. Pada pengamatan lapangan yang dilakukan, proses penanganan terhadap longsor yang terjadi telah dilakukan dengan pemasangan bronjong. Ini disebabkan zona kerentanan yang menyebar pada lokasi penelitian cenderung menunjukkan tingkat kerentanan yang tinggi.

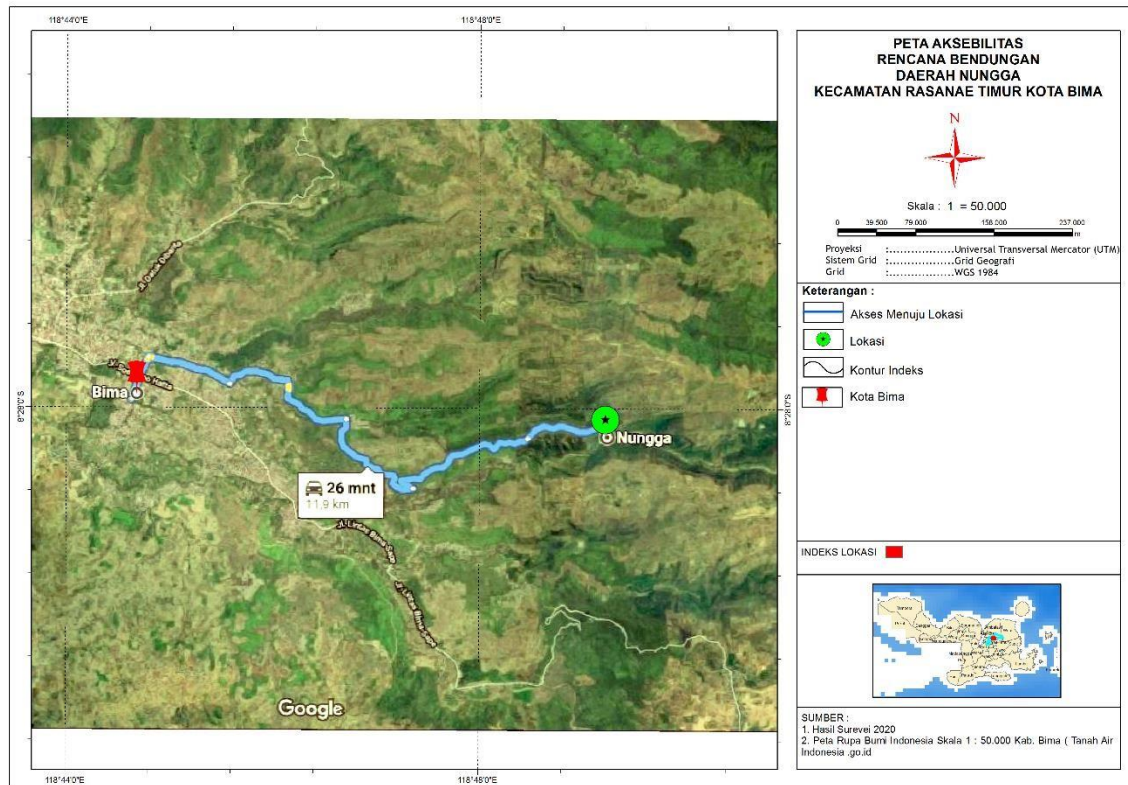
7.8 KESIMPULAN

Berdasarkan interpretasi morfologi, litologi dan struktur geologi yang diidentifikasi di lokasi penelitian dan dihubungkan dengan data-data sekunder penelitian terdahulu, maka berdasarkan karakteristik geologi tersebut sebagai awal rekomendasi lokasi as bendungan pada koordinat 8°28'17.41" Lintang Selatan dan 118°49'20.80" Bujur Timur. Tapi dibutuhkan penelitian lanjutan terkait analisa sifat keteknikan batuan dan tanah dari lokasi rencana pembangunan bendungan sehingga menghasilkan gambaran kondisi geologi yang lebih detail.

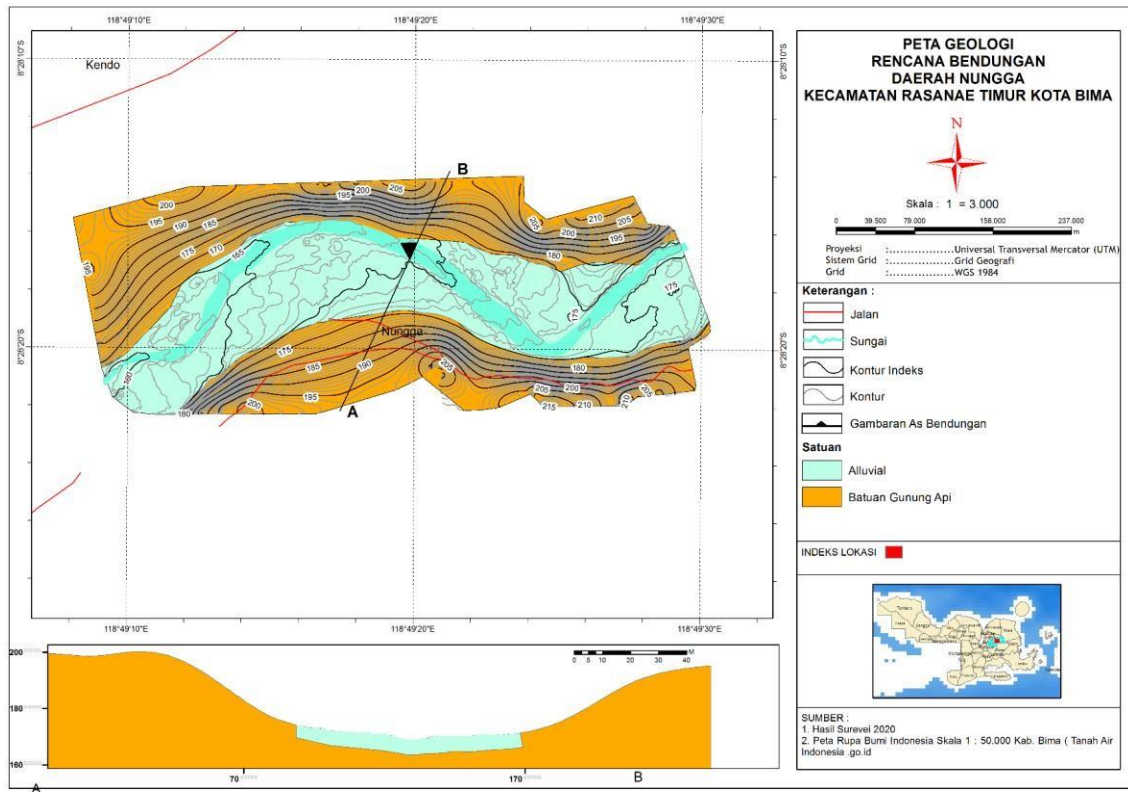
DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, 1986, *Dams In Indonesia*, Indonesian National Committee On Large Dam.
- [2] Badan Pusat Statistik, 2021, Data Luas Wilayah Kota Bima, BPS Wilayah Bali dan Nusa.
- [3] Bemmelen, R.W.V., 1949. *The Geology of Indonesia Vol. 1 A*. Government Printing Office, The Hague, Amsterdam.
- [4] Creager, W.P., Justin, J.D. & Hinds, J. 1945. *Engineering for Dams*, Volumes I, II & III. John Wiley & Sons, New York,
- [5] Mangga, Andi S., Atmawinata S., Hermanto B., Setyogroho B dan Amin TC. 1994. Peta Geologi Lembar Lombok, Nusa Tenggara Barat. Pusat Penelitian Dan Pengembangan Geologi: Bandung
- [6] Toto Ridwan dan Purwanto. 2000. Peta Hidrogeologi Pulau Lombok dan Pulau Sumbawa Bagian Barat. Kantor Wilayah Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral: Propinsi Nusa Tenggara Barat
- [7] Tim Hidrologi, 2022. Curah Hujan Proyek Pembangunan Nungga, Station Klimatologi Kota Bima, NTB
- [8] Soedibyo, 2003. *Teknik Bendungan*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [9] Suharyadi, 2004, *Pengantar Geologi Teknik Edisi-4*, Biro Penerbit Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- [10] Zainudin, Oetomo B.P., Rizal M., Zubir Y., Soedaryanto, 2003, *Pedoman Kajian Kemanan Bendungan*, Balai Keamanan Bendungan, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.
- [11] Zuidam, R.A. Van., 1983, *Aspects of the Applied Geomorphologic Map of the Republic of Indonesia*, Department of Geomorphology and Geography, ITC, Enschede, Netherlands.

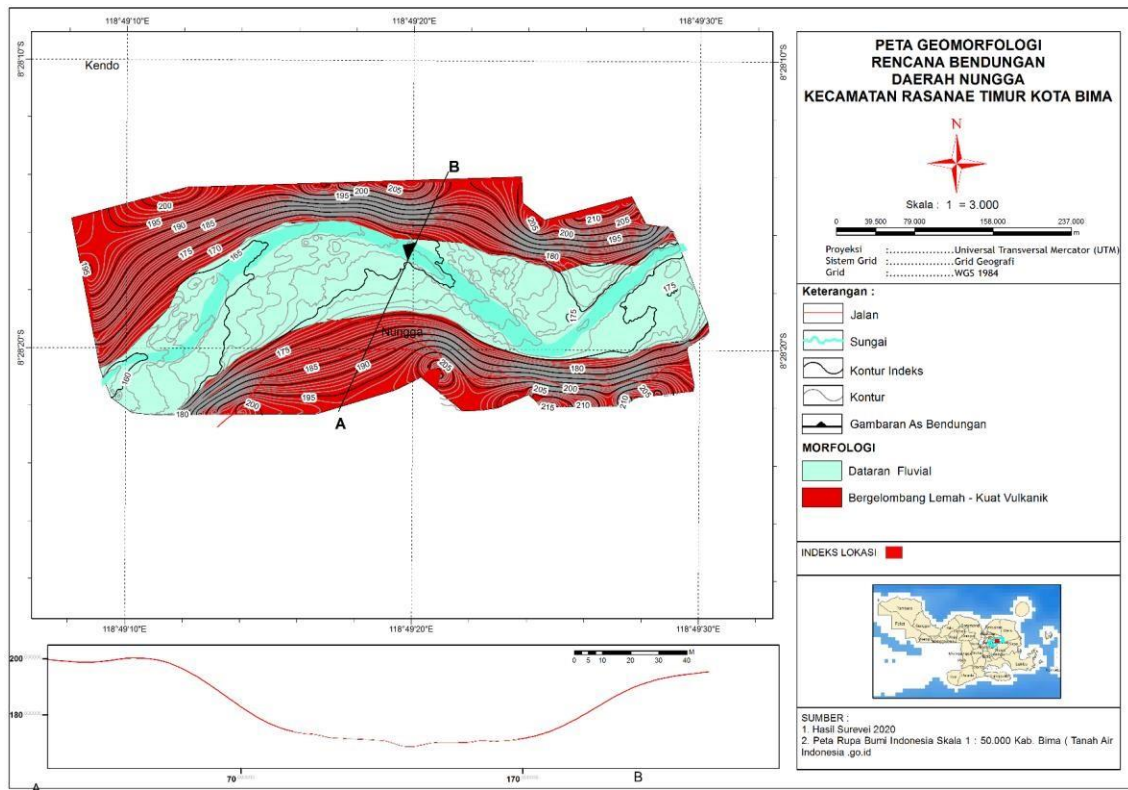
LAMPIRAN



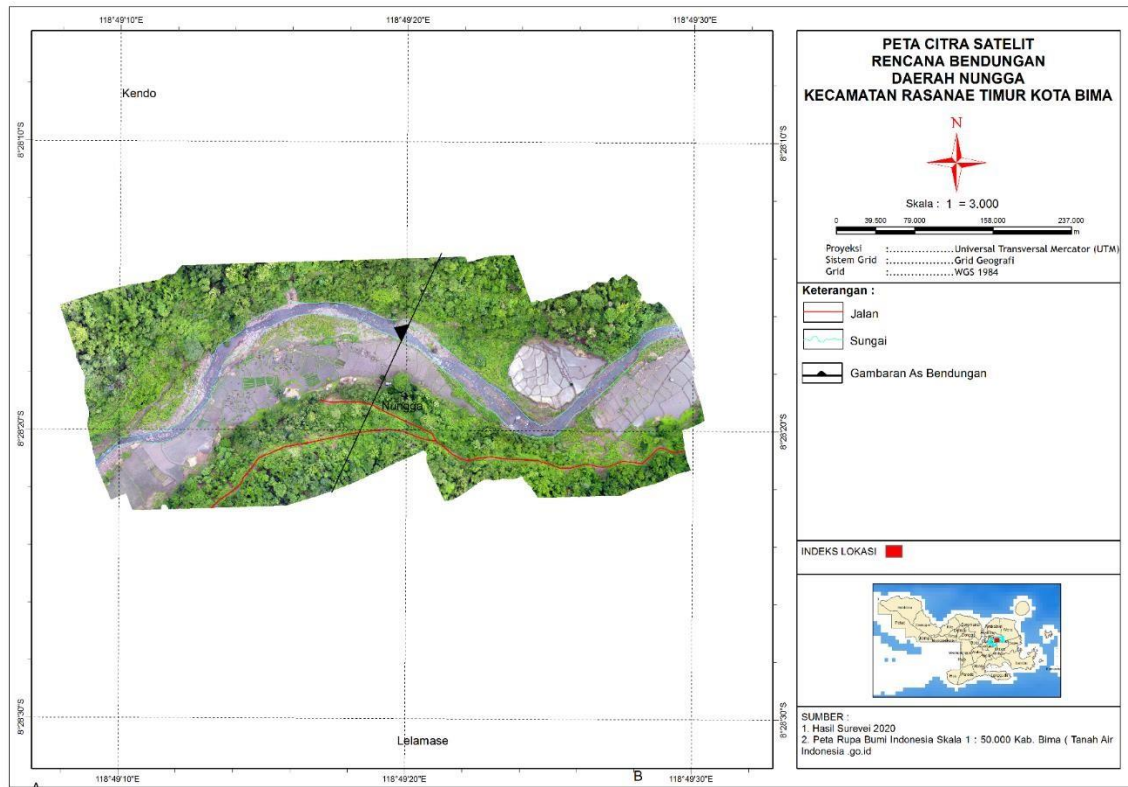
GAMBAR 1. Lokasi dan kesampaian daerah penelitian



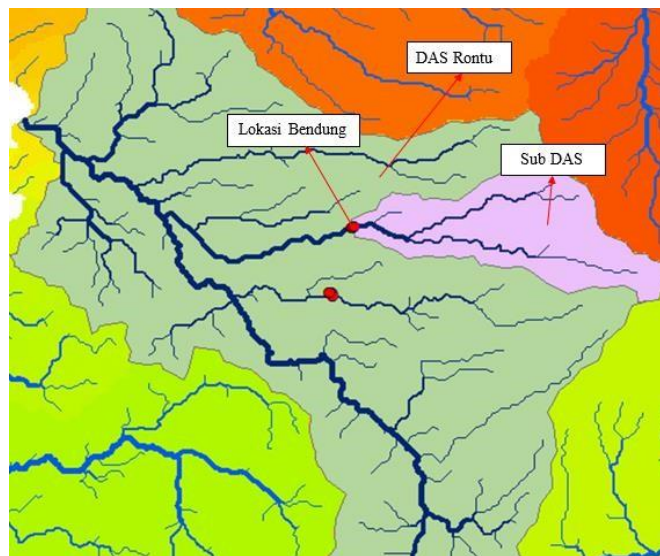
GAMBAR 2. Peta Geologi Lokal Lokasi Rencana As Calon Bendungan Nungga



GAMBAR 3. Peta Geomorfologi Lokal Lokasi Rencana As Calon Bendungan Nungga



GAMBAR 4. Peta Citra Lokasi Perencanaan As Calon Bendungan Nungga



GAMBAR 5. DAS Rontu, Lokasi Bendung Nungga dan Sub DAS Nungga



GAMBAR 8. Kenampakan satuan alluvial dari ukuran lempung – bongkah



GAMBAR 9. Kenampakan sesar gerus (*Shear Joint*) pada singkapan Batuan Gunungapi.



GAMBAR 10. Kenampakan satuan geomorfik perbukitan bergelombang kuat dan geomorfik fluvial.

Analisis Penurunan Muka Tanah Akibat Beban Fondasi Dangkal Pada Calon Bendungan Dodu Rasanae Timur Kota Bima Nusa Tenggara Barat

Husni Randa^{1,a)}, Barlian Dwinagara^{1,b)}, Muhammad Fathin Firaz^{2,c)},
Diah Rahmawati^{2,d)}, Alpiana^{2,e)}

¹Program Studi Magister Teknik Pertambangan, UPN "Veteran" Yogyakarta, Indonesia

²Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Muhammadiyah Mataram, NTB, Indonesia

^{a)}Corresponding author: randahusni@gmail.com

^{b)}barliandn@upnyk.ac.id

^{c)}fathinfiraz@gmail.com

^{d)}dee.rahmawati@gmail.com

^{e)}alpiana0901@gmail.com

Abstrak. Pembangunan bendungan merupakan salah satu rencana pembangunan infrastruktur di Kota Bima. Potensi kerusakan infrastruktur bendungan dapat berasal dari penurunan tanah dan kemungkinan dapat menyebabkan ketidakstabilan pijakan bendungan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kondisi geologi teknik, sehingga dapat mengkaji daya dukung dan juga peran konsolidasi terhadap amblesan di daerah penelitian. Analisis penurunan tanah dilakukan pada 4 titik (S1, S2, S3 dan S4) yang akan ditempatkan untuk lokasi penimbunan bendungan. Perhitungan penurunan muka tanah menggunakan persamaan Terzaghi dan Peck dengan beban tambahan dari beban pijakan. Tanah pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir dengan plastisitas tinggi (SH), berasal dari pelapukan batuan Vulkanik Breksi, merupakan tekanan prakonsolidasi yang dianggap terkonsolidasi normal. Berdasarkan perhitungan daya dukung tanah di permukaan pada kondisi keruntuhan geser umum, jenis pondasi yang cocok adalah pondasi menerus atau pondasi persegi dengan daya dukung yang diijinkan sekitar 1,63-4,12 kg/cm². Dengan asumsi penambahan beban sama dengan nilai daya dukung yang diperbolehkan, penurunan yang terjadi berada pada kisaran 12.045-14.301 cm.

Kata kunci: Konsolidasi, Subsiden, Pondasi, Daya Dukung, Bendungan

Abstract. The construction of a dam is One of the infrastructure development plans in Kota Bima. The potential damage from the dam's infrastructure can come from any land subsidences and it can possibly cause the instability of the dam's footing. The purpose of this research is to identify engineering geology conditions, so as assess the bearing capacity and also the role of consolidation on subsidence in the research area. The land subsidence analysis was carried out at 4 points (S1, S2, S3 and S4) which will be the placed for dam filling site. The land subsidence calculation uses Terzaghi and Peck's equation with the additional load from the footing load. The sand soil used in this research is sand with high plasticity (SH), originated from weathered Breccia Volcanic rock, is a pre-consolidated pressure which consider to normally consolidated. Based on the calculation of the bearing capacity of the soil on the surface in general shear failure conditions, the suitable type of footing is continuous footing or square footing with the allowable bearing capacity around 1,63 – 4.12 kg/cm². Assuming the additional load is the same as the value of the allowed bearing capacity, the subsidence that occurs is in the range 12,045 – 14,301 cm.

Keywords: Consolidation, Subsidence, Footing, Bearing Capacity, Dam

8.1 PENDAHULUAN

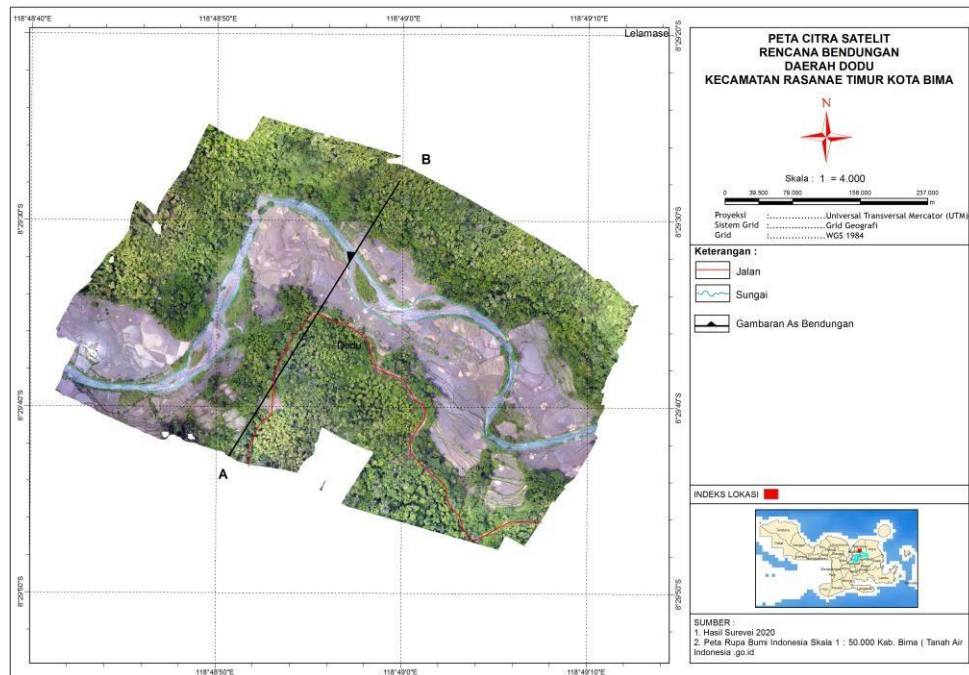
Permasalahan pemenuhan kebutuhan air baku untuk air irigasi dan air bersih saat ini dialami masyarakat di sekitar lokasi rencana pembangunan bendungan. Kondisi existing pemenuhan kebutuhan air di daerah tersebut adalah dengan memanfaatkan aliran sungai dan air hujan. Namun, penurunan debit air sungai mengakibatkan masyarakat mengalami kesulitan dalam memenuhi kebutuhan air terutama pada musim kemarau. Sarana penyediaan air baku berupa bendungan sebagai tempat tampungan air merupakan suatu alternatif dalam mengatasi masalah pemenuhan kebutuhan air. Penyediaan air melalui pembangunan bendungan ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan air bersih serta untuk irigasi pertanian yang akan memberi dampak positif bagi sektor pertanian, sehingga dapat memberikan kontribusi bagi masyarakat di sekitarnya. Menyadari ketergantungan tersebut manusia dituntut untuk selalu dapat menyediakan air

bersih guna dimanfaatkan untuk dapat menghadirkan air di tengah kehidupan manusia walaupun kondisi alam yang tidak memungkinkan. Kebutuhan air bersih di suatu wilayah dari tahun ke tahun semakin meningkat sejalan dengan perkembangan wilayah tersebut yang sedemikian pesat terlebih bagi suatu wilayah yang baru terbentuk. Dengan mempertimbangkan Pembangunan Bendungan Dodu diharapkan dapat berdampak positif bagi Kota Bima yaitu terbangunnya waduk retensi/pengendali banjir kota Bima dan Penambahan kapasitas penyediaan air baku di kota Bima dan sekitarnya. Pembangunan Bendungan tersebut juga dimanfaatkan sebagai irigasi serta penyediaan air baku bagi masyarakat setempat. Pembangunan bendungan perlu dilakukan dalam rangka untuk menangkap debit banjir untuk kemudian di lepas secara bertahap agar tidak terjadi banjir [4].

Dalam pembangunan bendungan tersebut diperlukan banyak informasi data dan kajian untuk menunjang pembangunannya, salah satunya adalah data geologi teknik [8]. Hal ini dikarenakan banyaknya potensi untuk bendungan tersebut mengalami kerusakan yang nantinya dapat menimbulkan kerugian yang besar bagi masyarakat sekitar. Salah satu potensi kerusakan infrastruktur bendungan tersebut dapat berasal dari adanya penurunan muka tanah atau amblesan yang memungkinkan dapat mengakibatkan ketidakstabilan fondasi bendungan tersebut, amblesan itu sendiri salah satunya dapat diakibatkan oleh beban yang berat di atasnya [6]. Oleh karena itu, diperlukan studi untuk meminimalisir terjadinya kerusakan pada infrastruktur bendungan tersebut, salah satunya mengenai analisis peranan konsolidasi tanah di tempat pembangunan bendungan terhadap penurunan muka tanahnya [10]. Pihak Pemerintah daerah sudah memiliki rencana geometri calon bendungan yang akan digunakan pada saat konstruksi yaitu tinggi mercu bendungan 5,5 meter , lebar mercu bendungan 24 meter dan panjang mercu bendungan 8 meter. Kondisi existing di lokasi perencanaan pembangunan bendungan nungga meliputi elevasi sawah tertinggi 174,60 mdpl, elevasi dasar sungai 166,40 mdpl, tinggi tebing kiri 3,10 meter, tinggi tebing kanan 2,20 meter dan lebar rata-rata sungai dari hulu ke hilir 20,50 meter. Tujuan penelitian ini dilakukan salah satunya untuk merekomendasikan jenis fondasi yang bisa diterapkan di lapangan, apakah fondasi menerus, bujur sangkar atau lingkaran.

8.2 BAHAN DAN METODOLOGI PENELITIAN

Penyelidikan lapangan, pengambilan conto dan uji laboratorium dilakukan untuk menunjang kajian Geomekanika pada lokasi penelitian. Pengambilan conto tanah dilakukan dengan cara *auger boring*. Pada lokasi penelitian secara megaskopis sebaran lapisan permukaan pada tempat lokasi calon bendungan berupa fluvial yang berukuran pasir, oleh karena itu pengeboran dilakukan pada 4 Titik yang berdasarkan geometri calon bendungan berdasarkan posisi *upstream* (hulu), *downstream* (hilir), tapak kanan, tapak kiri dan as calon bendungan. Pengujian sifat fisik dan mekanik di laboratorium dilakukan untuk menghasilkan nilai kuat geser, konsolidasi, kadar air, berat volume, berat jenis, plastisitas, gradasi dan permeabilitas. Variabel tersebut digunakan dalam perhitungan nilai daya dukung tanah berdasarkan masing-masing jenis fondasi dan perhitungan besar dan waktu penurunan muka tanah pada daerah penelitian [13].



GAMBAR 1. Peta Citra Satelit Lokasi Penelitian
Batasan permasalahan pada penelitian ini, yaitu :

1. Pembahasan penelitian ini dilakukan hanya di Daerah Aliran Sungai Nungga
2. Pengambilan sampel tanah sebanyak 4 sampel sesuai dengan kondisi geometri calon bendungan.
3. Analisa daya dukung tanah dihitung berdasarkan perhitungan Terzaghi and Peck 1964.
4. Faktor yang diperhitungkan sebagai tekanan tambahan penurunan muka tanah daerah penelitian yakni beban fondasi dari nilai hasil perhitungan daya dukung yang diizinkan.[12]

Geologi Regional

Secara fisiografi wilayah lokasi penelitian termasuk dalam Busur Gunungapi Nusa Tenggara yang merupakan bagian dari Busur Sunda sebelah Timur dan Busur Banda sebelah Barat. Busur tersebut terbentang mulai dari Pulau Jawa ke Nusa Tenggara yang selanjutnya melengkung mengitari Samudra Indonesia. (Sembiring, 1993). Berdasarkan Peta Geologi Regional Lembar Komodo, Jawa (Nana Ratman & Aswan Yasin, 2007) Skala 1 : 250.000 , urutan stratigrafi regional terdiri dari beberapa satuan batuan antara lain dari tua ke muda yakni, (Tlml) dan (Tlmv) berumur Miosen Bawah. Selanjutnya diendapkan secara tidak selaras (Tmtd) (Tml) (Tmv) dan (Tg di,sy,t,a,da) berumur Miosen bawah sampai Miosen Tengah. Selanjutnya secara selaras pula diendapkan (Tmpl) berumur Miosen Atas. Setelah itu diendapkan pula Formasi Batuan Vulkanik Tua (QTv l,m,s,g,d,o,b) berumur Pliosen - Plistosen. Dan paling akhir aktivitas geologi paling muda diendapkan secara tidak selaras adalah endapan sekarang yaitu berupa Endapan Alluvial, yang terdiri dari (Qa) (Ql) (Qv sn,ws) berumur Holosen [11]. Lokasi penelitian terletak di dalam Busur Dalam Kepulauan Banda. Batuan gunungapi yang berumur antara Tersier dan Kwartir di Pulau Sumbawa menempati jalur bagian utara dan bagian selatan. Struktur geologi yang terdapat di Pulau Sumbawa terdiri dari beberapa sesar normal dan kelurusan yang umumnya berarah timurlaut – baratdaya dan baratlaut – tenggara. Struktur tersebut umumnya terdapat pada batuan-batuan gunungapi dan sedimen Tersier.Struktur Geologi daerah ini mungkin berhubungan erat dengan pembentukan batuan beku dalam pada kala Miosen Muda[3].

Klasifikasi Tanah

Iman Subarkah (1947), hal yang harus diperhatikan sebelum membuat pondasi untuk suatu bangunan adalah harus diselidiki dahulu keadaan dan sifat tanah dasarnya, mengenai jenis, letak dan tebal lapisan tanah kerasnya. Keadaan tanah tersebut pada saat musim kemarau ataupun pada saat musim penghujan, dan juga tinggi-rendahnya air tanah. Tanah merupakan hasil dari proses pelapukan baik biologis ataupun mekanik, terdiri dari bagian yang kecil

ataupun bagian yang lebih besar yang tercampur merata, tanah hasil pelapukan biasanya terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan dan hewan, berdasarkan susunan materialnya maka tanah dibagi atas:

1. Kerikil, adalah atas butir-butir dengan diameter (2-20 mm), oleh sebab itu sangat rembes air dan lepaslepas. Karena tidak banyak mengandung air dan tidak dapat menjadi lembek oleh karena air, jika digunakan sebagai tanah dasar cukup dengan ketebalan (2-3 m) tebalnya. Kerikil merupakan tanah dasar yang baik, terlebih jika dicampur dengan pasir, dapat dijadikan tanah dasar yang kuat. Sifatnya boleh dikatakan menjadi seperti beton. Kerikil dengan diameter > 20 mm dinamai kerikil kasar. [2]
2. Pasir, terdiri atas butir-butir dengan diameter sebesar 0,02-2 mm dan lepas-lepas. Terdapat beberapa istilah, jika butir pasir tajam atau lancip dinamai pasir tajam. Pada umumnya pasir merupakan tanah dasar baik, tidak mengandung air. Karena getaran, susunan butir pasir dapat menjadi lebih padat lagi, sehingga menjadi lebih kuat. Jika jumlah isi pori kurang dari 36% dari isi seluruhnya, pasir dapat dikatakan sebagai tanah dasar baik. Selain itu, dibedakan juga antara lain: pasir sungai, pasir gunung, pasir apung yang mempunyai lubang atau pori yang besar, pasir apung tidaklah terlalu baik untuk tanah dasar.
3. *Leem*, seperti tanah liat hanya mengandung lebih banyak butiran kasar daripada tanah liat, oleh karena itu leem tidak mudah pecah-pecah atau susut, dan juga lebih rapat. Sebagai tanah dasar merupakan tanah dasar yang cukup baik, semakin banyak campuran pasir didalamnya semakin baik tanah tersebut, asal tidak mengandung banyak air di dalamnya.
4. Tanah liat atau lempung, lempung terdiri dari pengendapan dalam air dan terdiri dari bagian-bagian mineral yang halus sekali. Tanah liat memiliki susunan yang rapat, baik digunakan sebagai tanah dasar dalam keadaan basah maupun kering tidak lepas-lepas. Oleh tekanan bangunan, air dapat terdesak dari lubang pori ke luar. Akibatnya adalah pengurangan volume dan memadat, bangunan dapat mengalami hidrodinamis, butiran-butiran akan tertekan lebih rapat lagi dan mengakibatkan turunnya bangunan settlement.
5. *Loss*, terjadi oleh karena erosi angin. *Loss* memiliki butiran yang lebih halus dan rata mengandung banyak kapur. Dalam keadaan kering kekuatannya menjadi lebih besar, tetapi jika terkena air mudah menjadi bubur. Sebagai tanah dasar *loss* cukup baik, akan tetapi harus dilindungi dari air.
6. *Mergel*, terdiri dari tanah liat, pasir dan kapur. *Mergel* ini terbentuk dari penguraian jasad binatang. Cukup baik jika digunakan sebagai tanah dasar.
7. *Veen*, terbentuk akibat sisa tumbuhan yang mengendap di dalam air. tidak baik untuk dijadikan tanah dasar, oleh karena strukturnya yang labil dan tidak kuat .
8. Tanah keras, seperti gunung batu, cadas, dan sebagainya adalah tanah dasar yang baik, dengan ketebalan tertentu yaitu 2,5 m. Jika struktur tanah keras ini berlapis dan bersusun miring, dimungkinkan terjadi bahaya penggeseran, terlebih jika terdapat lempung di bawahnya, tingkat penggeseran menjadi lebih tinggi. [1]

Daya Dukung Fondasi Dangkal

Dalam perancangan suatu fondasi, diperlukan perhitungan kekuatan tanah untuk mengetahui besar dari daya dukung tanah bagi peletakan struktur bangunan. Daya dukung tanah sendiri adalah besarnya tekanan atau kemampuan tanah untuk menerima beban dari luar sehingga menjadi stabil. Antara kekuatan daya dukung tanah dengan beban dikenal beberapa kondisi, yakni untuk kondisi "seimbang" dikenal dengan istilah *ultimate bearing capacity* (q_{ult} , daya dukung batas), sementara untuk kondisi aman, dikenal *allowable bearing capacity* (q_a , daya dukung diizinkan dengan melibatkan Faktor Keamanan ($F = 2$ s.d. 5) yang dikehendaki. Keruntuhan tanah akibat beban sehubungan dengan fondasi akibat melampaui daya dukung tanahnya, diantaranya *General shear failure* (keruntuhan geser menyeluruh dari tanah dibawah fondasi), *Local shear failure* (keruntuhan geser setempat dari tanah bawah fondasi) dan *Punching shear failure* (keruntuhan geser setempat ke arah bawah fondasi). Kapasitas daya dukung tanah untuk beberapa beberapa jenis fondasi dapat ditentukan oleh persamaan Terzaghi [5]:

a) Fondasi lajur/menerus :

$$q_{ult} = c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad (1)$$

b) Fondasi segi empat / bujur sangkar :

$$q_{ult} = 1,3 c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,4 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad (2)$$

c) Fondasi lingkaran :

$$q_{ult} = 1,3 c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,3 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad (3)$$

Dimana:

q_{ult} = ultimate soil bearing capacity

- C = kohesi tanah
 $q = \gamma \times D$ (bobot satuan isi tanah x kedalaman)
 B = dimensi lebar atau diameter fondasi
 Φ = sudut geser dalam

N_c, N_q, N_γ adalah faktor dayadukung tanah yang bergantung pada Φ

Penurunan Muka Tanah (Land Subsidence)

Konsolidasi merupakan proses terkompresinya bagian atas tanah atau lapisan tanah oleh beban struktur yang menyebabkan mengecilnya angka pori (e) diikuti dengan keluarnya air dengan menampilkan pemadatan, seperti wujud penurunan dan settlement struktur tanah. Penurunan muka tanah atau yang sering disebut juga amblesan tanah adalah proses turunnya permukaan tanah secara regional akibat pemompaan cairan / gas dalam tanah yang berlebihan di daerah tersebut akibat konsolidasi alami (pembatuan endapan muda secara alamiah) ataupun disebabkan oleh faktor tektonik [9]. Faktor utama yang dapat menyebabkan terjadinya amblesan tanah adalah permasalahan geologi teknik yang sangat dipengaruhi oleh sifat fisik keteknikan lapisan batuan/tanah penyusunnya.

Indeks pemampatan digunakan untuk menghitung besarnya penurunan yang terjadi di lapangan sebagai akibat dari konsolidasi dapat ditentukan dari kurva yang menunjukkan hubungan antara angka pori dan tekanan yang didapat dari uji konsolidasi di laboratorium. Koefisien konsolidasi (C_v) biasanya akan berkurang dengan bertambahnya batas cair (LL) dari tanah. Rentang (*range*) dari variasi harga C_v untuk suatu batas cair tanah tertentu adalah agak lebar. Tekanan prakonsolidasi (p_c) sangat diperlukan untuk mengetahui sejarah tegangan pada tanah. Tekanan prakonsolidasi atau preconsolidation pressure adalah tekanan efektif overburden maksimum yang pernah dialami sebelumnya [5].

Ada 2 macam tekanan prakonsolidasi pada tanah, yakni:

1. Terkonsolidasi secara normal (*normally consolidated*), dimana tekanan efektif overburden pada saat ini (p_o) adalah merupakan tekanan maksimum yang pernah dialami oleh tanah itu. Jadi, dapat dikatakan $p_o > p_c$.
2. Terlalu terkonsolidasi (*overconsolidated*), dimana tekanan efektif overburden pada saat ini (p_o) adalah lebih kecil dari tekanan yang pernah dialami oleh tanah itu sebelumnya. Jadi, dapat dikatakan $p_o < p_c$.

Besar Dan Kecepatan Waktu Penurunan Oleh Konsolidasi

Besar Penurunan oleh Konsolidasi Primer Satu Dimensi Besar penurunan tiap lapisan dapat dihitung kemungkinan penurunannya yang disebabkan oleh konsolidasi primer di lapangan, dengan menganggap bahwa konsolidasi tersebut adalah satu-dimensi. Untuk suatu lapisan lempung yang tebal, adalah lebih teliti bila lapisan tanah tersebut dibagi menjadi beberapa sub- lapisan dan perhitungan penurunan dilakukan secara terpisah untuk tiap-tiap sub-lapisan (Das,1998). Jadi, penurunan total dari seluruh lapisan tersebut dapat dihitung dengan persamaan:

$$S = \sum \left[\frac{Cc \cdot H_i}{1 + e_0} \log \left(\frac{p_{o(i)} + \Delta p_{(i)}}{p_{o(i)}} \right) \right] \quad (4)$$

Dimana:

S = besar penurunan, H_i = tebal sub-lapisan i , e_0 = angka pori $p_{o(i)}$ = tekanan efektif overburden untuk sub-lapisan i $\Delta p_{(i)}$ = penambahan tekanan vertikal untuk sub-lapisan i

C_c = indeks pemampatan (compression indeks)

Terzaghi pada tahun 1925 memperkenalkan teori yang pertama kali mengenai kecepatan konsolidasi satu dimensi untuk tanah lempung yang jenuh air (Das, 1998). Waktu yang diperlukan untuk konsolidasi/amblesan dihitung dengan persamaan:

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H^2} \quad (5)$$

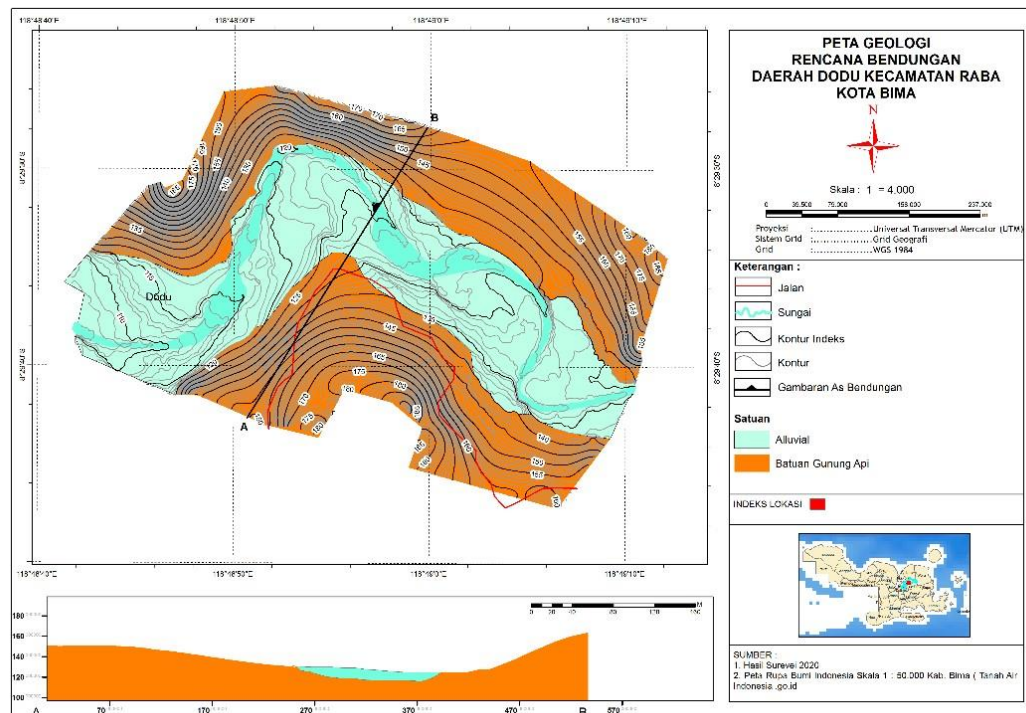
Dimana:

T_v = faktor waktu yang dipengaruhi derajat konsolidasi

C_v = koefisien konsolidasi, t = waktu tertentu untuk konsolidasi, H = ketebalan lapisan

8.3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil survey lapangan, Daerah penelitian merupakan daerah perbukitan bergelombang kuat yang disayat oleh sistem perlembahan bararah relative utara-selatan yang dikontrol oleh sungai Nungga. Litologi penyusun dari daerah telitian antara lain terdiri dari satuan batuan vulkanik dan satuan alluvial yang merupakan endapan dari sungai Dodu. Elevasi Morfologi daerah penelitian berkisar antara 99-148 meter diatas permukaan laut dengan kemiringan lereng 0-60 % (Datar-Curam). Litologi daerah penelitian mengacu pada stratigrafi yang disusun oleh Sudrajat, dkk (1997). Penamaan satuan litologi daerah penelitian berdasarkan Sandi Stratigrafi Indonesia (1996) dengan sistim penamaan tidak resmi. Satuan Batuan penyusun daerah penelitian terdiri dari satuan endapan sungai, bahan rombakan yang berupa endapan yang belum terkonsolidasi denga baik, bersifat lepas berukuran lempung, pasir sampai bongkah. Diendapkan terutama pada palung sungai, bantaran sungai dan endapan Alluvial terutama pada bagian bawah dari tebing bukit. Satuan ini merupakan endapan yang terbentuk pada masa sekarang sebagai produk erosi dan sedimentasi dari batuan yang lebih tua. **GAMBAR 2** menunjukkan kondisi geologi daerah penelitian



GAMBAR 2. Peta Geologi Daerah Penelitian

Analisis Daya Dukung Tanah

Nilai daya dukung suatu daerah sangat dipengaruhi oleh karakteristik tanahnya, salah satunya nilai kohesi, nilai sudut geser dalam dan distribusi butiran. Besar nilai kohesi dapat menunjukan daya rekat antar partikel dalam tanah. Semakin rekat partikel dalam tanah makan akan semakin kuat tanah tersebut dalam menopang beban, sehingga potensi keruntuhan tanah akan semakin kecil. Sifat kohesif lebih sering ditemukan pada jenis tanah lempung karena lempung memiliki sifat yang liat, berbeda hal dengan pasir yang memiliki sifat yang lepas tidak saling mengikat (Faizah, 2015).

Penentuan nilai daya dukung tanah fondasi dangkal menggunakan persamaan Terzaghi. Perhitungan dilakukan pada tiga jenis fondasi, yaitu fondasi menerus (*continous footing*), fondasi bujur sangkar (*square footing*), dan fondasi lingkaran (*circular footing*). Sesuai dengan literatur (Das, 1998), faktor keamanan yang digunakan adalah 3, dengan lebar fondasi 1,00 meter. Hasil perhitungan dapat dilihat pada **TABEL 1**.

TABEL 1. Hasil Perhitungan Nilai Daya Dukung Tanah Tiap Sampel

Titik Sampel		S1	S2	S3	S4	Satuan
Bobot Isi Tanah (γ_{sat})		0.00182	0.00173	0.00145	0.00165	(kg/cm ³)
Koheesi (c)		0.060	0.043	0.032	0.029	(kg/cm ²)
Sudut Geser Dalam (Φ)		28.50	25.6	22.7	26.6	
Faktor Daya Dukung	Nc	32.89	26.28	21.29	28.35	
	Nq	18.86	13.59	9.91	15.2	
	Ny	16.08	10.94	7.53	12.48	
Lebar Pondasi (B)		200	200	200	200	cm
Daya Dukung Batas (q_{ult})	Menerus	12.35	8.12	4.89	8.32	(kg/cm ²)
	Bujur Sangkar	12.36	8.08	4.88	8.16	(kg/cm ²)
	Lingkaran	11.77	7.71	4.66	7.75	(kg/cm ²)
Daya Dukung Diizinkan (q_a)	Menerus	4.12	2.71	1.63	2.77	(kg/cm ²)
	Bujur Sangkar	4.12	2.69	1.63	2.72	(kg/cm ²)
	Lingkaran	3.92	2.57	1.55	2.58	(kg/cm ²)

Berdasarkan hasil perhitungan, dalam kondisi keruntuhan geser umum (*general shear condition*), jenis fondasi yang cocok adalah fondasi menerus atau bujur sangkar. Hal ini dikarenakan fondasi menerus dan bujur sangkar memiliki nilai daya dukung yang diizinkan paling besar dari fondasi lingkaran, yakni berkisar 1,63 – 4.12 kg/cm². Sementara nilai daya dukung yang diizinkan pada fondasi lingkaran berkisar 1,55 – 3,92 kg/cm².

Sudut geser dalam merupakan sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material dikenai tegangan atau gaya terhadapnya yang melebihi tegangan gesernya. Semakin besar sudut geser dalam suatu material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan dari luar, sehingga semakin kuat tanah tersebut dapat menopang beban. Tanah yang berbutir halus biasanya akan memiliki nilai koheesi yang besar dan sudut geser dalam yang kecil, sedangkan tanah berbutir kasar akan sebaliknya. Karena nilai koheesi sudut geser dalam berhubungan dengan distribusi butiran pada tanah, maka presentase butiran kasar dan butiran halus juga mempengaruhi nilai daya dukungnya.

Penurunan Muka Tanah

Penentuan nilai penurunan muka tanah menggunakan persamaan Terzaghi dan Peck, dengan korelasi data hasil pengujian laboratorium, perhitungan penurunan yang terjadi dilakukan pada lapisan dasar tanah pasir tiap sampel. Nilai tekanan tambahan pada penurunan muka tanah dilakukan dengan mengasumsikan penambahan beban sama dengan nilai daya dukung yang diizinkan pada tiap sampel. Besaran penurunan untuk lapisan permukaan untuk tiap titik sampel akibat beban diatasnya dapat dilihat pada tabel 2.

Perhitungan waktu penurunan akibat konsolidasi primer dilakukan dengan menggunakan persamaan Terzaghi dan Peck dengan dipengaruhi variasi derajat konsolidasi rata-rata terhadap faktor waktu yang tak berdimensi (T_v) yang diberikan dan berlaku untuk keadaan dimana U_v tetap untuk seluruh kedalaman lapisan yang mengalami konsolidasi. Sedangkan faktor waktu yang digunakan diasumsikan jika U_v bernilai 90%, pada kenyataannya, konsolidasi primer tidak pernah berakhir, dan untuk semua tujuan praktis, 90% konsolidasi dilakukan sebagai akhir dari proses. Maka dari hasil perhitungan akan didapatkan waktu yang dicapai untuk mencapai penurunan sebesar 90% dari total penurunan pada setiap lapisan pasir lempungan di tiap titik sampel, **TABEL 3.** [7]

TABEL 2. Hasil Perhitungan Besar Penurunan Muka Tanah Pada Lapisan Pasir Tiap Sampel

Titik Sampel		S1	S2	S3	S4	Satuan
Tebal Lapisan Pasir (H)		125	125	125	125	(cm)
Tekanan Overburden (Po)		0.247	0.198	0.202	0.258	(kg/cm ²)
Tekanan Tambahan (ΔP)	Menerus	4.116	2.708	1.630	2.775	(kg/cm ²)
	Bujur Sangkar	4.118	2.695	1.626	2.720	(kg/cm ²)
	Lingkaran	3.923	2.569	1.553	2.582	(kg/cm ²)
Tekanan Total (Ptotal)	Menerus	4.363	2.906	1.832	3.033	(kg/cm ²)
	Bujur Sangkar	4.365	2.893	1.828	2.978	(kg/cm ²)
	Lingkaran	4.170	2.767	1.755	2.840	(kg/cm ²)
Angka Pori (e ₀)		1.624	1.734	1.817	1.432	
Indeks Pemampatan (Cc)		0.206	0.254	0.311	0.260	
Besar Penurunan (S)	Menerus	12.238	13.548	13.233	14.301	(cm)
	Bujur Sangkar	12.240	13.525	13.218	14.195	(cm)
	Lingkaran	12.045	13.301	12.974	13.921	(cm)

TABEL 3. Hasil Perhitungan Waktu Penurunan Muka Tanah Pada Lapisan Pasir Lempungan Tiap Sampel

Titik Sampel	S1	S2	S3	S4	Satuan
Tebal Lapisan Pasir (H)	125	125	125	125	(cm)
Derajat Konsolidasi (U _v)	90	90	90	90	(%)
Koefisien Konsolidasi (C _v)	0.0022	0.0035	0.0024	0.0019	
Faktor Waktu (T _v)	1.417	1.417	1.417	1.417	(cm ² /sec)
Waktu Penurunan (t)	10062500	6325000	9223958	11651316	Detik
	116.46	73.21	106.76	134.85	Hari
	0.32	0.20	0.29	0.37	Tahun

Analisis Penurunan Lapisan Dasar Permukaan

Lapisan dasar permukaan pasir lempungan pada lapisan dasar di titik S1, berdasarkan hasil perhitungan besar penurunannya memiliki potensi penurunan berkisar 12,045 – 12,240 cm dari total tebal lapisan pasir lempungan 125 cm, yang diakibatkan konsolidasi primer dan ditambah beban tambahan dari beban fondasi itu sendiri. Sedangkan, waktu yang ditempuh untuk lapisan pasir lempungan ini mengalami penurunan sebesar 90%, berdasarkan hasil perhitungan adalah 0,32 tahun atau sekitar 116, 46 hari. Lapisan pasir lempungan pada di titik S2, memiliki potensi penurunan berkisar 13,301 – 13,548 cm. Sedangkan, waktu yang ditempuh untuk lapisan pasir ini mengalami penurunan sebesar 90%, adalah 0,20 tahun atau sekitar 73,21 hari. Lapisan dasar titik sampel S3, memiliki potensi penurunan berkisar 12,974 – 13,233 cm. Sedangkan waktu yang ditempuh untuk lapisan ini mengalami penurunan sebesar 90%, adalah 0,29 tahun atau sekitar 106,76 hari. Lapisan dasar titik sampel S4, memiliki potensi penurunan total berkisar 13,921 – 14,301 cm. Pada titik ini potensi penurunan muka tanahnya yang paling besar diantara titik yang lainnya. Sedangkan waktu yang ditempuh untuk lapisan ini mengalami penurunan sebesar 90%, adalah 0,37 tahun atau sekitar 138,85 hari.

Hubungan Penurunan Muka Tanah Dengan Kondisi Geologi Serta Geoteknik Daerah Penelitian

Berdasarkan kondisi geologi daerah penelitian dan melihat karakteristik tanah di Bima yang pada umumnya memperlihatkan kondisi tanah residual, maka kemungkinan besar tanah pasir lempungan yang mengalami penurunan muka tanah akibat konsolidasi primer di daerah penelitian merupakan hasil dari pelapukan batuan asalnya, yakni breksi vulkanik. Selain itu, berdasarkan kondisi geologinya dan tinjauan langsung dilapangan, dapat menggambarkan karakteristik sejarah tegangan tanah atau tekanan pra-konsolidasi daerah penelitian. Dilihat dari keadaan lapangan yang masih utuh (belum pernah dilakukan pembangunan apapun sebelumnya), daerah penelitian terkonsolidasi secara normal (*normally consolidated*) yang berarti tanah belum pernah mengalami pembebanan yang lebih besar dari tekanan *overburden*. Hal ini juga dapat menggambarkan bahwa tekanan efektif *overburden* pada saat ini (p_o) adalah tekanan maksimum yang pernah (p_c) dialami oleh tanah itu.

Berdasarkan hasil perhitungan besar penurunan pada tabel 2, nilai penurunan muka tanah terbesar dengan ketiga jenis fondasi berbeda terjadi pada lapisan lempung titik S4, yakni sebesar 14,301 cm untuk fondasi menerus, 14,195 cm untuk fondasi bujur sangkar, dan 13,921 cm untuk fondasi lingkaran. Sedangkan untuk waktu penurunan muka tanah tercepat terjadi pada lapisan lempung titik S2, yakni sekitar 73,21 hari. Besar penurunan tanah pada daerah penelitian memiliki variasi yang beragam. Variasi tersebut dipengaruhi oleh perbedaan tingkat konsolidasi tanah yang disebabkan karakteristik dan sifat fisik serta sifat mekanik tanah yang berbeda. Tanah penyusun di daerah penelitian adalah tanah berbutir kasar dengan dominasi tanah pasir yang umumnya memiliki kompresibilitas tinggi, sehingga beban *overburden* dan beban bangunan di atasnya dapat menyebabkan terjadinya proses penurunan tanah yang cukup besar.

Tanah berbutir kasar yang jenuh air, dengan adanya penambahan beban pada permukaan tanah akan menyebabkan tekanan air pori dan tekanan efektif meningkat, sehingga air dalam tanah akan terdisipasi. Hubungan antara waktu dan besar penurunan akan menghasilkan nilai koefisien konsolidasi. Saat angka pori dan koefisien permeabilitas semakin besar, nilai koefisien konsolidasi juga akan besar. Hal ini yang menyebabkan waktu penurunan tanah semakin cepat. Saat terjadi konsolidasi primer, volume lapisan tanah akan berkurang karena keluarnya air dan pori tanah akan mengecil. Hubungan antara penambahan tegangan efektif dengan berkurangnya ruang antar pori akan menghasilkan indeks pemampatan tanah. Indeks pemampatan digunakan untuk menghitung besarnya penurunan yang terjadi. Semakin besarnya angka pori dan koefisien permeabilitas, maka indeks pemampatan juga akan semakin besar. Selain itu, ketika angka pori besar, maka akan semakin pula air yang terkandung dalam tanah yang menyebabkan tegangan pori bertambah dan tegangan efektif berkurang. Dengan demikian semakin tinggi kadar air, akan semakin tinggi pula nilai indeks pemampatan tanahnya.

8.4 KESIMPULAN

1. Berdasarkan kondisi geologi daerah penelitian dan melihat karakteristik tanah di Kota Bima, kemungkinan besar tanah pasir yang mengalami penurunan di daerah penelitian merupakan hasil pelapukan batuan asalnya, yakni Breksi Vulkanik. Selain itu, dilihat dari keadaan lapangan yang masih utuh, dapat menggambarkan karakteristik sejarah tegangan tanah atau tekanan pra-konsolidasi daerah penelitian yakni terkonsolidasi secara normal (*normally consolidated*).
2. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan Terzaghi, dalam kondisi keruntuhan geser umum (*general shear condition*), jenis fondasi yang cocok adalah fondasi menerus dan bujur sangkar memiliki nilai daya dukung yang diizinkan paling besar dari fondasi lingkaran, yakni berkisar 1,63 – 4,12 kg/cm². Sementara nilai daya dukung yang diizinkan pada fondasi lingkaran berkisar 1,55 – 3,92 kg/cm².
3. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan Terzaghi dan Peck, dengan korelasi data empirik hasil pengujian laboratorium, Lapisan dasar permukaan pasir lempungan dari total tebal lapisan 125 cm. Perhitungan penurunan yang diakibatkan konsolidasi primer dan ditambah beban tambahan dari beban fondasi itu sendiri serta waktu yang ditempuh untuk lapisan pasir lempungan ini mengalami penurunan sebesar 90%.. Pada titik S1 berdasarkan hasil perhitungan besar penurunannya memiliki potensi penurunan berkisar 12,045 – 12,240 cm dan waktu penurunan berdasarkan hasil perhitungan adalah 0,32 tahun atau sekitar 116, 46 hari. Lapisan pasir lempungan pada di titik S2, memiliki potensi penurunan berkisar 13,301 – 13,548 cm. Sedangkan, waktu penurunan adalah 0,20 tahun atau sekitar 73,21 hari. Lapisan dasar titik sampel S3, memiliki potensi penurunan berkisar 12,974 – 13,233 cm. Sedangkan waktu penurunan adalah 0,29 tahun atau sekitar 106,76 hari. Lapisan dasar titik sampel S4, memiliki potensi penurunan total berkisar 13,921 – 14,301 cm. Pada titik ini potensi penurunan muka tanahnya yang paling besar diantara titik yang lainnya. Sedangkan waktu penurunannya adalah 0,37 tahun atau sekitar 138,85 hari.

4. Variasi besar penurunan tanah pada daerah penelitian dipengaruhi oleh perbedaan tingkat konsolidasi tanah yang disebabkan karakteristik dan sifat fisik serta sifat mekanik tanah yang berbeda. Seperti tanah penyusun di daerah penelitian, koefisien permeabilitas, angka pori, indeks pemampatan, dan koefisien konsolidasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, 1986, *Dams In Indonesia*, Indonesian National Committee On Large Dam.
- [2] Badan Pusat Statistik, 2021, Data Luas Wilayah Kota Bima, BPS Wilayah Bali dan Nusa.
- [3] Bemmelen, R.W.V., 1949. *The Geology of Indonesia Vol. 1 A*. Government Printing Office, The Hague, Amsterdam.
- [4] Creager, W.P., Justin, J.D. & Hinds, J.: *Engineering for Dams*, Volumes I, II & III. John Wiley & Sons, New York, 1945.
- [5] Das, Braja. M. 1998. *Mekanika Tanah* (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik Jilid II). PT. Erlangga, Jakarta
- [6] Mangga, Andi S., Atmawinata S., Hermanto B., Setyogroho B dan Amin TC. 1994. Peta Geologi Lembar Lombok, Nusa Tenggara Barat. Pusat Penelitian Dan Pengembangan Geologi: Bandung.
- [7] Rajapakse, Ruwan. 2016. *Geotechnical Engineering Calculations and Rules of Thumb* SECOND EDITION. Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, UK [8] Soedibyo, 2003. *Teknik Bendungan*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [9] Sugalang, Taufik Wira Buana. 2017. Buku Seri Geologi Teknik “*Penyelidikan Geologi Teknik untuk Ketekniksipilan dan Lingkungan*” ISBN 978-602-73388-5-2. Penerbit Badan Geologi, Kem. ESDM.
- [10] Sophian, R. I., 2010. *Penurunan Muka Tanah di Kota-Kota Besar Pesisir Pantai Utara Jawa (Studi Kasus Kota Semarang)*. Bulletin of Scientific Contribution, Volume 8, Nomor 1, April 2010: 4 1-60.
- [11] Suharyadi, 2004, *Pengantar Geologi Teknik Edisi-4*, Biro Penerbit Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [12] Van Bemmelen. 1949. *The Geology of Indonesia*, vol 1, Martinus Nijhoff, The Hague. P. 732.
- [13] Zainudin, Oetomo B.P., Rizal M., Zubir Y., Soedaryanto, 2003, *Pedoman Kajian Kemanan Bendungan*, Balai Keamanan Bendungan, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.
- [14] Zuidam, R.A. Van., 1983, *Aspects of the Applied Geomorphologic Map of the Republic of Indonesia*, Department of Geomorphology and Geography, ITC, Enschede, Netherlands.

Literatur Review Pemanfaatan Limbah Slag Nikel Pada Kegiatan Pengolahan Bijih Nikel

Sahrul Huda Ode Sami^{1, a}, Tedy Agung Cahyadi^{1, b}, Rika Ernawati^{1, c}, Edy Nursanto^{1, d}, Nur Ali Amri^{1, e}.

¹Magister Teknik Pertambangan, UPN Veteran Yogyakarta, Jl. SWK No.104 (Lingkar Utara), Ngropoh, Condongcatur, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

Email: sahrulhudaodesami@gmail.com: tedyagungc@upnyk.ac.id :rika.ernawati@upnyk.ac.id :edynursanto@upnyk.ac.id: nuraliamri@upnyk.ac.id

Abstrak. Slag nikel di Indonesia belum dimanfaatkan dengan baik, pemanfaatan limbah padat merupakan tantangan bagi pemerhati lingkungan untuk memanfaatkan limbah dari industri yang berbeda agar unggul dalam pembangunan berkelanjutan dan pada saat yang sama sejalan dengan permasalahan biaya bahan pada saat ini. Slag nikel adalah produk sampingan yang diperoleh selama peleburan dan pemurnian Nikel. Pada sisi lain, bahan alami yang cocok untuk perkerasan jalan kurang tersedia. Pemanfaatan slag nikel untuk campuran bahan bangunan dengan masif, aman, dan memenuhi spesifikasi merupakan salah satu solusi terbaik yang ditawarkan. Terlepas dari meningkatnya tingkat penggunaan kembali slag nikel, sejumlah besar produksi tahunannya dibuang ke tempat pembuangan atau timbunan. Salah satu aplikasi potensial terbesar untuk menggunakan kembali slag nikel adalah dalam produksi semen dan beton. Limbah slag nikel dapat digunakan sebagai bahan konstruksi jalan, dan bahan baku industri lainnya. Banyak peneliti telah menyelidiki penggunaan slag nikel dalam produksi semen, mortar, dan beton sebagai campuran dengan bubuk kapur, debu, pengganti semen, digunakan sebagai pengganti sebagian agregat kasar, dan halus. Tujuan dari tulisan ini adalah sebagai informasi analisis terkait pemanfaatan Slag nikel untuk bahan dasar konstruksi atau pembangunan, melalui pengujian laboratorium yang terdiri dari uji fisik, uji kimia, TCLP, dan uji kuat mekanik. Tulisan ini bertujuan memberikan gambaran tentang pemanfaatan slag nikel dan mengulas berbagai metode analisis yang mendukung pemanfaatan slag nikel.

Kata kunci: Limbah padat, Slag Nikel, Pemanfaatan, Bahan Konstruksi Bangunan.

Abstract. Nickel slag in Indonesia has not been used properly, the utilization of solid waste is a challenge for environmentalists to utilize waste from different industries in order to excel in sustainable development and at the same time in line with current material cost issues. Nickel slag is a by-product obtained during the smelting and refining of Nickel. On the other hand, natural materials suitable for road pavement are less available. The use of nickel slag for a massive, safe, and specification-compliant mixture of building materials is one of the best solutions offered. Despite the increasing rate of reuse of nickel slag, a significant amount of its annual production is disposed of in landfills or landfills. One of the biggest potential applications for reusing nickel slag is in the production of cement and concrete. Nickel slag waste can be used as road construction material and other industrial raw materials. Many researchers have investigated the use of nickel slag in the production of cement, mortar, and concrete as an admixture with lime powder, dust, and cement substitute, used as a partial substitute for coarse and fine aggregates. The purpose of this research is to obtain analytical information related to the use of nickel slag for construction or construction, through laboratory tests consisting of physical tests, chemical tests, TCLP, and mechanical strength tests. This paper aims to provide an overview of the utilization of nickel slag and review various analytical methods that support the use of nickel slag.

Keywords: Solid Waste, Nickel Slag, Utilization, Building Construction Materials.

9.1 PENDAHULUAN

Sektor industri merupakan prioritas nasional untuk meningkatkan perekonomian Indonesia [1]. Selain memberikan dampak positif terhadap peningkatan perekonomian, pesatnya pertumbuhan sektor industri dapat memberikan dampak negatif yaitu meningkatnya jumlah limbah [2]. Limbah industri dengan jumlah deposit yang besar menyebabkan masalah lingkungan yang serius dalam hal tempat pembuangan [3]. Isu-isu ini mendapat perhatian serius dari lembaga lingkungan nasional dan internasional. Pemerintah senantiasa mengembangkan industri yang berwawasan lingkungan dan mendorong pemanfaatan yang tepat serta peningkatan efisiensi limbah industri menuju penerapan teknologi material yang berkelanjutan [4]. Di sisi lain, karena penggunaan yang cukup besar dari berbagai bahan yang tersedia secara alami untuk konstruksi jalan dan infrastruktur lainnya, bahan-bahan ini secara bertahap menipis. Biaya pengadaan dan pemrosesan bahan-bahan tersebut meningkat dari hari ke hari [5]. Slag adalah produk sampingan atau produk sampingan dari banyak operasi metalurgi dan khusus (pembangkit termal berbahan bakar batubara misalnya), yang kemudian didinginkan (udara, pelet, busa, atau butiran) untuk digunakan, atau dalam banyak kasus dibuang. Besi (besi dan baja) dan nonferrous (tembaga dan nikel misalnya) logam yang paling umum digunakan, di seluruh dunia bahan struktural dan fungsional. Slag dalam jumlah besar yang dihasilkan dan dampak potensialnya terhadap lingkungan telah mendorong para ilmuwan material dan insinyur untuk mengeksplorasi penggunaan berbagai slag secara teknis, hemat biaya, dan ramah lingkungan dalam konstruksi sipil dan jalan raya [6]. Di Indonesia terdapat banyak pabrik peleburan bijih nikel, sehingga pemanfaatan slag nikel harus dengan serius ditanggapi [7].

Proses peleburan bijih nikel menghasilkan limbah berupa slag nikel yang memiliki deposit sangat besar. Limbah harus ditangani atau dimanfaatkan dengan baik karena berpotensi menimbulkan masalah lingkungan dan fenomena sosial [8]. Proses utama untuk mendapatkan slag nikel melalui peleburan bijih nikel adalah: slag cair dengan kisaran suhu $\pm 1550\text{ }^{\circ}\text{C}$ dibuang langsung melalui runner slag ke kolam granulasi slag yang dilengkapi dengan water jet, kemudian slag cair aliran mengalami pendinginan mendadak dengan bantuan jet air (semprotan bertekanan tinggi) untuk memecah ukuran slag untuk membentuk butiran. Deposit limbah slag nikel mencapai 1 juta ton per tahun, dan perkiraan total deposit 2019-2024 mencapai 14.173.000 ton [9]. Slag nikel adalah Slag berbutir yang dibentuk oleh pendinginan alami atau pendinginan air dari lelehan yang terbentuk selama proses peleburan logam nikel yang mengandung FeO, SiO₂, Al₂O₃, dan MgO sebagai komponen utama. Pembuangan Slag nikel tidak hanya menempati lahan yang luas tetapi juga berbahaya bagi lingkungan [10].

Pemerintah Indonesia menetapkan slag nikel sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun dari sumber tertentu. Hal ini menyebabkan upaya ekstra untuk memanfaatkan slag nikel untuk bahan perkerasan tidak hanya dalam masalah teknis tetapi juga dalam masalah lingkungan. Selain itu, izin dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan juga penting selain pemenuhan aspek teknis. Sesuai PP 101 Tahun 2014, sebelum dimanfaatkan, bahan yang dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun harus dilakukan pengujian kandungan bahan berbahaya pada limbah tersebut, dengan uji Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) [11]. Potensi pemanfaatan limbah slag nikel sebagai bahan perkerasan jalan akan sangat dipengaruhi oleh sifat fisik dan kimianya, sehingga perlu dilakukan pengujian kimia di laboratorium. Bentuk fisik slag nikel yang menyerupai batuan alam, menyebabkan potensi sebagai bahan jalan untuk lapisan permukaan dan lapisan pondasi sangat memungkinkan [12]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan informasi analisis terkait pemanfaatan Slag nikel untuk bahan dasar konstruksi atau pembangunan, melalui pengujian laboratorium yang terdiri dari uji fisik, uji kimia, TCLP, dan uji kuat mekanik. Tulisan ini bertujuan memberikan gambaran tentang pemanfaatan slag nikel dan mengulas berbagai metode analisis yang mendukung pemanfaatan slag nikel.

9.2 METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode paper review atau studi kepustakaan, yaitu mengulas berbagai penelitian yang memiliki hubungan topik. Penelitian ini ditulis dengan mengumpulkan informasi yang memiliki hubungan dengan subjek atau pokok permasalahan yang menjadi subjek penelitian. Informasi ini dapat diperoleh dari

karya-karya terkait penelitian di buku, jurnal, catatan konferensi dan tinjauan literatur untuk menulis yang relevan tentang Tinjauan Pustaka Mengenai Pemanfaatan Limbah Slag Nikel Pada Kegiatan Pengolahan Bijih Nikel.

9.3 HASIL DAN ANALISIS

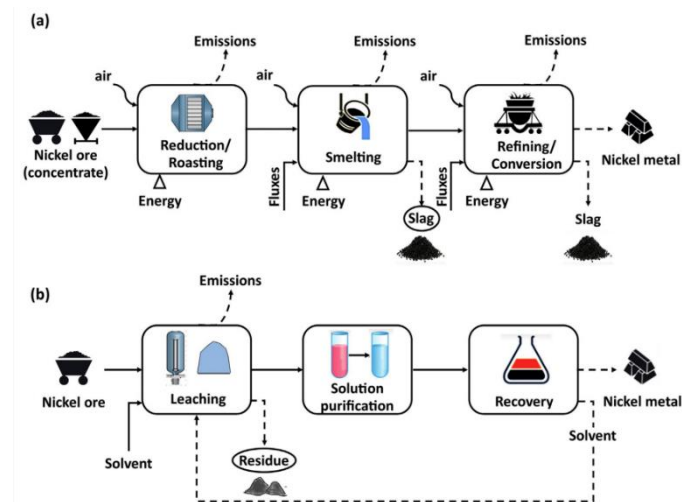
Nikel di Indonesia

Nikel merupakan salah satu logam terpenting dalam industri karena karakteristik fisikokimianya yang unik [13], yang paling penting antara lain kekuatannya, stabilitas suhu tinggi, ketahanan korosi, kelenturan, keuletan, sifat konduktif listrik dan panas, serta sifat estetika. Hal ini membuat nikel memiliki banyak aplikasi dan telah dibuat menjadi berbagai produk di industri seperti logam halus, bubuk, spons, dan lain-lain. Industri utama yang mengkonsumsi nikel adalah aplikasi kimia, minyak bumi, listrik, dan proses yang menyumbang ser seperempat dari nikel yang dikonsumsi. Sebanyak 65% dari logam nikel digunakan dalam stainless steel, 12% dikonsumsi sebagai paduan super dan paduan *non-ferrous*. Total produksi nikel telah meningkat lebih dari 10 kali lipat sejak 1950, ketika sulfida menyumbang sebanyak 90% dari snikel dunia, laterit sekarang menghasilkan lebih dari 40%. Menyusul permintaan nikel yang terus menerus membuat sumber-sumber nikel semakin menipis. Sumber nikel dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok: bijih sulfida dan bijih laterit (oksida dan silikat). Hingga saat ini, bijih sulfida merupakan sumber utama produksi nikel, yaitu sekitar 60% dari total produksi [14]. Hal ini dikarenakan bijih sulfida memiliki kandungan nikel yang lebih tinggi dibandingkan bijih laterit. Padahal 70% cadangan nikel dunia berbasis bijih laterit, akan tetapi tingginya produksi nikel dari bijih sulfida membuat deposit bijih sulfida semakin menipis [15]. Sehingga masa depan produksi nikel lebih banyak berasal dari bijih nikel laterit. Bijih nikel laterit memiliki kandungan nikel 1-1,5%. Kandungan nikel pada bijih nikel laterit dipengaruhi oleh kondisi iklim di daerah bijih itu berada. Salah satu daerah cadangan nikel terbesar ada di Indonesia. Indonesia merupakan negara ketiga yang memiliki cadangan laterit terbanyak setelah Kaledonia Baru dan Filipina. Indonesia memiliki 1,576 juta ton laterit dari total 3.900 juta ton sumber daya [16].

Pada tahun 2009, Indonesia menetapkan undang-undang pertambangan yang mewajibkan industri pertambangan mineral untuk mengolah atau memanfaatkan berbagai komoditas, termasuk nikel (Ni) di dalam negeri, hingga tingkat pemurnian tertentu sebelum mengeksportnya ke pasar internasional. Undang-undang ini mendorong perusahaan pertambangan untuk membangun smelter dan infrastruktur lainnya, meningkatkan harga komoditas pertambangan, meningkatkan penerimaan pajak Indonesia, dan menciptakan lebih banyak lapangan kerja. Kebijakan tersebut disertai dengan pengaturan tarif ekspor yang disesuaikan dengan kemajuan pembangunan smelter di Indonesia. Nikel adalah logam dasar dalam infrastruktur dan teknologi modern untuk aplikasi militer, kelautan, transportasi, dirgantara, dan arsitektur. Dalam penambangan nikel, bijih dapat diekstraksi dari bijih sulfida atau laterit. Jika bijihnya sulfida, maka bijih tersebut melalui benefisiasi, ekstraksi pirometalurgi, dan pemurnian. Jika bijihnya adalah laterit, maka bijih tersebut melalui preparasi bijih, ekstraksi hidrometalurgi, dan pemurnian. Bijih laterit membutuhkan perawatan yang ekstensif dan kompleks untuk mengekstrak nikel dan secara historis lebih mahal daripada bijih sulfida. Selama pemrosesan nikel, area paling kritis dari pertumbuhan minat lingkungan adalah konsumsi energi, yang secara langsung berdampak pada pembentukan emisi gas rumah kaca yang substansial, cairan, dan pelepasan gas. Indonesia memiliki sumber daya Ni laterit yang cukup besar, yang telah berkembang dalam beberapa dekade slaghir untuk menjadi produsen global utama. Pada tahun 2016, Indonesia merupakan salah satu dari sepuluh besar negara penghasil nikel dunia dengan penyumbang 5,74% dari total cadangan dunia, sedangkan produksinya mencapai 7% dari total produksi nikel [17]. Pada tahun 2014, industri pertambangan berkontribusi sekitar 9% terhadap total produk domestik bruto Indonesia. Namun, industri ini mewakili bagian yang jauh lebih besar dari ekonomi regional di banyak provinsi, termasuk Sulawesi, Nusa Tenggara Barat, dan Papua. Oleh karena itu, penambangan dan pengolahan nikel memainkan peran penting dalam perekonomian negara. Tiga ratus dua puluh delapan perusahaan tambang nikel memiliki izin eksplorasi. Dua ratus delapan puluh perusahaan memiliki kontrak kerja operasi dan produksi, dan mayoritas berada di Provinsi Sulawesi Tenggara. Pada Agustus 2016, 84 industri pertambangan membangun fasilitas smelter dalam berbagai tahapan, mulai dari pra konstruksi hingga produksi. Pada tahun 2018, produksi produk nikel rafinasi telah terealisasi 76.650 ton (nikel matte).

Slag Nikel

Sulfida dan laterit adalah jenis bijih dominan yang digunakan untuk produksi nikel. Sulfida biasanya memiliki kadar Ni yang lebih tinggi (1,5-3,0%) dan sebagian besar diolah menggunakan teknik konvensional pirometalurgi seperti flash peleburan konsentrat untuk menghasilkan nikel matte yang mengandung 40% Ni, 0,5% Co, dan 25% Fe, yang pada gilirannya adalah dimurnikan dalam konverter untuk menghasilkan logam murni (50-60% Ni, 1% Co, 1% Fe) dalam bentuk bubuk, pelet atau butiran. Meskipun 55% Ni diproduksi di seluruh dunia dari bijih sulfida, laterit dengan kadar yang lebih rendah (<1,5% Ni) dan kadar air yang lebih tinggi (17-34%) mewakili sekitar 60% dari deposit bijih nikel global. Laterit (dari jenis silikat) terutama diolah secara pirometalurgi melalui electric arc furnace (EAF) dan blast smelting untuk menghasilkan feronikel (FeNi) yang biasanya mengandung 30% Ni dan 70% Fe dan biasanya digunakan langsung dalam pembuatan baja [18]. Laterit (dari jenis limonit) juga dapat diolah secara hidrometalurgi menggunakan pelindian tekanan atmosfer dengan asam sulfat (AL), pencucian asam tekanan suhu tinggi (HPAL), pemanggangan reduksi dan pencucian amonia (proses RRAL-Caron) serta bio-leaching. Sebelum peleburan atau pencucian, diperlukan upgrade untuk meningkatkan kandungan nikel dalam konsentrat untuk mengurangi konsumsi energi, kadar air, kebutuhan reagen/peralatan, dan volume limbah/efluen yang dihasilkan. Dalam konteks ini, beberapa teknik benefisiasi/prakonsentrasi mineral termasuk crushing/grinding, pemisahan/flotasi selektif, dan kalsinasi/reduksi (rotary kiln) terutama digunakan.



GAMBAR 1. (a) pirometalurgi dan (b) pengolahan bijih atau konsentrat hidrometalurgi dalam hal input yang digunakan dan output yang dihasilkan.

Berbagai aliran limbah padat dihasilkan selama produksi nikel, tergantung pada rute ekstraksi primer yang digunakan (**GAMBAR 1**). Diantaranya, dua jenis limbah padat yang dihasilkan selama proses pirometalurgi dan hidrometalurgi bijih nikel memiliki pangsa volume terbesar, yaitu slag nikel dan residu pelindian, yang masing-masing mengandung logam berat beracun dan dapat tercuci sehingga menimbulkan ancaman signifikan terhadap kesehatan manusia dan lingkungan dalam jangka panjang jika dibiarkan tidak terpantau atau tidak dikelola dengan baik. Terjadinya logam berat dan risiko lingkungan Slag nikel hasil peleburan sebagian besar merupakan limbah berbentuk butiran yang terbentuk dari pendinginan udara atau penyemprotan air dari lelehan yang dihasilkan selama proses peleburan bijih nikel atau konsentratnya. Tergantung pada kondisi umpan dan proses, slag nikel mengandung beberapa oksida seperti Fe_xO_y , Al_2O_3 , SiO_2 , dan MgO . Diperkirakan untuk produksi 1 ton logam nikel dihasilkan sekitar 6-16 ton slag nikel [19]. Dalam konteks ini, industri nikel secara global menghasilkan sekitar 150 juta ton slag nikel per tahun yang merupakan jumlah limbah terbesar keempat yang dihasilkan dari peleburan setelah slag besi, slag baja, dan lumpur merah. Dengan mempertimbangkan tingkat pemanfaatan yang sangat rendah (10%), pembuangan slag di tempat pembuangan permukaan, di bawah laut, atau stock pile ke timbunan permukaan dapat membahayakan lingkungan karena mengandung sejumlah besar logam (-loid) yang beracun dan dapat tercuci termasuk antara lain Ni, Co, Cu, Cr, As, dan Mn. Akibatnya, beberapa risiko lingkungan mungkin timbul dari fakta bahwa slag peleburan yang dibuang dapat terdegradasi oleh pelapukan alami termasuk erosi angin, pembilasan curah hujan serta oksidasi

sulfida dan oleh karena itu peningkatan konsentrasi logam berat (loid) dapat dilepaskan ke dalam tanah, air permukaan, dan air tanah.

Pengujian Laboratorium Slag Nikel

- Uji Sifat Kimia Slag Nikel

Data hasil laboratorium tentang komposisi kimia limbah slag nikel akan memberikan informasi tentang komposisi senyawa yang akan mengarah pada jenis bahan pengikat dan alternatif aplikasi di lapangan. Contoh hasil uji kimia komposisi limbah slag nikel pada uji sifat kimia slag nikel sebagai berikut .

TABEL 1. Contoh Sifat Kimia Hasil Slag Nikel

Chemical Parameter	Result of Tests
SiO ₂	40,39%
Al ₂ O ₃	6,13%
Fe ₂ O ₃	8,86%
K ₂ O	0,13%
CaO	16,34%
MgO	18,66%
Na ₂ O	0,06%
Cr ₂ O ₃	1,11%
MnO	0,65%
LoI	5,4%

Sumber : Susanto et al, (2020).

Uji kimia dilakukan untuk mengetahui unsur dan senyawa penyusun slag nikel dengan persentase tertentu, hal ini digunakan sebagai acuan pemanfaatan slag nikel dengan ketentuan parameter sebagai dasar pemanfaatan slag nikel tersebut. Pada pengujian kimia untuk pemanfaatan slag nikel sebagai material tambahan konstruksi dan sebagainya diperlukan pengujian dengan alat sebagai berikut [20] pada **TABEL 2**.

TABEL 2. Uji Komposisi Kimia

No	Pengujian	Peralatan
1	<i>Chemical</i>	<i>X-Ray Diffraction,</i>
	<i>Molecule</i>	<i>Scan Electron Microscopy (EDAX)</i>
2	<i>Chemical element</i>	<i>X-Ray Flourescence</i>

Sumber: Astini (2018).

- Uji Fisik Pemanfaatan Slag Nikel

Pada pemanfaatan slag nikel diperlukan pengujian dari material yang memiliki campuran slag nikel. Benda uji dibuat berdasarkan variasi komposisi pada tertentu. Benda uji berupa benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Fly ash digunakan sebagai substitusi semen dan slag nikel digunakan sebagai substitusi agregat kasar. Semen yang digunakan untuk pembuatan benda uji menggunakan Portland Composite Cement (PCC) (SNI 15-700-2004). Tiga benda uji dibuat untuk masing-masing varian komposisi untuk uji kuat tekan. Sampel yang dibuat adalah perendaman dalam 4 varian yaitu 1, 3, 7 dan 28 hari. Tujuan dari uji tekan adalah untuk menentukan perilaku atau respon suatu material saat mengalami beban tekan dengan mengukur variabel fundamental, seperti, regangan, tegangan, dan deformasi. Dengan menguji bahan dalam kompresi kekuatan tekan dapat ditentukan. Dengan pemahaman tentang kekuatan tekan, ditentukan apakah bahan tersebut cocok untuk aplikasi tertentu atau tidak akan gagal di bawah tekanan yang ditentukan, sehingga pemanfaatan slag nikel dapat diaplikasikan secara baik. Metode pengujian fisik [21] dapat dilihat pada **TABEL 3**.

TABEL 3. Metode pengujian

No	Pengujian	Metode
1	Compressive Strength	SNI 1974-2011

Sumber: Mustika & Nuhun, 2021.

- Uji Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)

Uji Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) merupakan uji pelepasan yang digunakan untuk mengetahui salah satu sifat berbahaya atau beracun suatu limbah dan juga dapat digunakan untuk mengevaluasi produk pengolahan limbah sebelum ditimbun (dikubur dalam tanah) proses pemadatan. Setelah dilakukan pemadatan, selanjutnya produk olahan tersebut dilakukan uji TCLP untuk mengukur kadar/konsentrasi parameter dalam lindi (*extract/eluate*). Tujuan dari pengujian TCLP ini adalah untuk membatasi adanya pelindian berbahaya yang dihasilkan dari penimbunan setelah pemadatan limbah. Pengujian TCLP akan memberikan informasi tentang kandungan zat berbahaya yang ada dalam limbah slag nikel.

Pengujian TCLP dapat dilakukan langsung pada sampel slag nikel maupun pada material pemanfaatan slag nikel. Contoh pengujian TCLP material campuran slag nikel, digunakan asam asetat sesuai dengan US EPA SW-846 Test Method 1311 [22], dimana spesimen mortar yang dipilih diaduk dalam larutan asam selama ± 18 jam. Pengujian pelindian statis dan dinamis menggunakan metode modifikasi berdasarkan ASTM D3987-12. Pengamatan uji pelindian difokuskan pada Cr dan Cd karena logam-logam dominan dalam slag nikel, seperti Ni dan Co telah diperiksa dalam penelitian lain. Pada pengujian statik, sesuai prosedur USEPA Test Method 1311, benda uji beton ditampung dan ditambahkan H_2SO_4 dan CH_3COOH pH $4,92 \pm 0,05$ untuk merendam benda uji. Rasio cair-padat (L/S) dari 20:1 digunakan untuk mengukur volume larutan asam dan jumlah sampel padat. Kontaminan Cr dan Cd pada sampel lindi diamati selama pemeraman menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS).

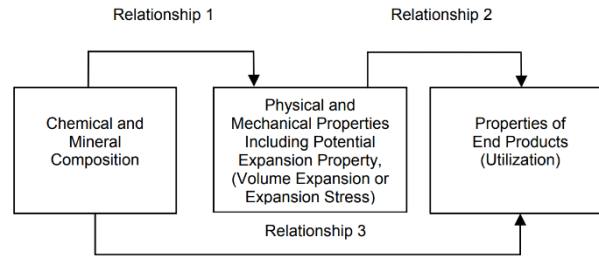
Pengujian TCLP yang dilakukan langsung pada sampel slag nikel menggunakan metode USEPA 1311. Sampel slag feronikel sebanyak seratus gram dimasukkan ke dalam bejana ekstraksi HDPE (*high density polyethylene*) 2,2 L. Kemudian ditambahkan 2 L larutan ekstraksi dengan perbandingan Cair/padat adalah 20 L/kg. Campuran tersebut kemudian diaduk selama 18 + 2 jam dalam rotary extractor kemudian sampel disaring dalam glass fiber filter menggunakan filter ukuran 0,7 μm . Kemudian ditambahkan 1 N HNO_3 ke dalam filtrat untuk mencapai pH < 2. Analisis komponen logam berat filtrat untuk unsur Fe, Cr, dan Pb menggunakan Inductively Couple Plasma (ICP) analyzer.

Pemanfaatan Slag Nikel

- Konstruksi Jalan Raya

Pemanfaatan slag dalam konstruksi jalan raya merupakan proses keseluruhan yang meliputi beberapa tahap dari produksi slag hingga penggunaan akhir. Pemanfaatan yang sukses umumnya didasarkan pada beberapa tahap atau tautan. Proses umum keseluruhan terdiri dari sebelum atau sesudah perawatan slag; sifat kimia dan fisik (khususnya potensi pemuatan dan komponen yang merusak) dan faktor-faktor yang mempengaruhinya; dan evaluasi kinerja lapangan potensial untuk penggunaan yang dimaksudkan. Studi pemanfaatan slag yang komprehensif terdiri dari tiga tahap utama: pengolahan dan pengolahan; sifat intrinsik; dan sifat produk akhir (penggunaan). Penggunaan slag dibagi menjadi tiga bidang yang luas: penggunaan sebagai bahan granular atau agregat aspal hotmix (seringkali ada berbagai penggunaan agregat - dari bahan granular hingga aplikasi khusus seperti media filter).

Terdapat tiga hubungan yang harus dipertimbangkan untuk pemanfaatan slag : hubungan antara komposisi kimia dan mineral dan sifat-sifat yang berpotensi 'negatif, hubungan antara sifat slag negatif dan persyaratan kinerja dan sifat produk akhir (penggunaan), dan penggunaan slag secara rasional dengan sifat yang berbeda untuk memastikan penggunaan slag spesifik secara optimal. Misalnya, ekspansi volume adalah faktor utama yang mungkin mempengaruhi keberhasilan penggunaan slag baja tertentu sebagai bahan konstruksi jalan raya, ekspansi volume tergantung pada komposisi kimia dan mineral dari slag tertentu dan dengan demikian sangat mempengaruhi evaluasi slag dan kontrol kualitasnya [23].



GAMBAR 2. Hubungan Pemanfaatan Slag dalam Konstruksi Jalan Raya

- **Campuran Beton**

Penggunaan beton untuk pekerjaan jalan dan jembatan sudah lama digunakan, dan hampir 80% elemen jembatan terbuat dari beton. Pada beton, agregat menempati 70% sampai 75% dari volume beton, sehingga kualitas agregat mempengaruhi sifat-sifat beton. Tingginya permintaan beton juga meningkatkan permintaan agregat. Akibat meningkatnya permintaan agregat, eksplorasi bahan alam berpotensi merusak lingkungan. Selain itu, seiring dengan kenaikan harga BBM, mengakibatkan kenaikan harga bahan bangunan dan kebutuhan pokok lainnya.

Suatu penelitian yang dilakukan oleh Astini et al, (2018) dengan berdasarkan hasil pengujian XRF, komposisi slag nikel PT. Antam rata-rata mengandung 0,06% Ni, 9,25% Fe, 52,66% SiO₂, 31,79% MgO, CaO 1,25%, Cr 0,94%, dan 2,72% Al₂O₃. Semakin tinggi persentase slag nikel dalam beton mengakibatkan semakin tinggi kepadatan beton. Hal ini berkaitan erat dengan berat jenis slag nikel (3,01) yang lebih besar dari berat jenis batu pecah (2,75). Berat jenis rata-rata beton normal adalah 2.320 kg/m³. Sedangkan densitas rata-rata tertinggi pada beton dengan substitusi slag nikel 100% pada agregat kasar yaitu 2,498 kg/m³. Penggunaan slag nikel sebagai substitusi agregat kasar cenderung meningkatkan kuat tekan beton pada usia dini.

- **Bahan Baku Pembuatan Semen**

Penelitian yang dilakukan oleh Wu et al, (2018) bertujuan untuk menggunakan slag nikel sebagai bahan baku pembuatan semen Portland [24]. Daya bakar tepung mentah semen dengan kandungan slag nikel yang berbeda dipelajari. Komposisi mineral klinker yang disiapkan dan produk hidrasi dari semen yang disiapkan dianalisis dengan difraktometri sinar-X. Morfologi mikroskopis klinker dan produk hidrasi dikarakterisasi dengan mikroskop metalografi dan mikroskop elektron scanning. Kandungan f-CaO dari klinker, sifat mekanik dan ketahanan aus pasta semen diuji. Pada penelitian ini menggunakan slag nikel sebagai bahan baku untuk memproduksi semen Portland. Pengaruh kadar slag nikel, kadar gipsum desulfurisasi dan suhu kalsinasi terhadap kinerja bahan baku, klinker dan pasta semen telah dipelajari.

Hasil dari penelitian yang dilakukan oleh Wu et al, (2018) yaitu semen Portland dengan bahan baku slag nikel layak untuk diproduksi pada konstruksi jalan raya. Penambahan slag nikel dalam jumlah yang tepat mengurangi kandungan f-CaO dalam klinker dan mendorong pertumbuhan butir yang seragam dan padat dalam klinker. Ketika gipsum desulfurisasi digunakan sebagai bahan baku kalsium untuk dicampur dengan klinker, kandungan f-CaO dalam klinker meningkat. Proses yang optimal untuk pembuatan semen Portland jalan dengan slag nikel adalah: kandungan slag nikel, batu kapur, fly ash, steel slag, desulfurized gypsum, dan kalsium fluorida (persentase berat) adalah 14%, 74%, 4%, 7%, 0,6% dan 0,4%, masing-masing; suhu kalsinasi adalah 1.350⁰ C dan waktu pengawetan panas adalah 60 menit. Kandungan f-CaO dalam klinker yang disiapkan dengan proses ini adalah 0,22%. Kuat tekan dan lentur 3 hari dari pasta semen yang disiapkan masing-masing adalah 21,9 MPa dan 6,9 MPa. Nilai 28 hari masing-masing adalah 52,4 MPa dan 14,5 MPa. Tingkat kekuatan mencapai tingkat 42,5. Jumlah keausan pada umur hidrasi 28 hari adalah 2,1 kg/m² [24]

9.4 KESIMPULAN

Dari tinjauan Pustaka/ paper review ini akan memahami bahwa proses peleburan bijih nikel menghasilkan limbah berupa slag nikel yang memiliki deposit sangat besar. Limbah harus ditangani atau dimanfaatkan dengan baik karena berpotensi menimbulkan masalah lingkungan dan fenomena social. Pada paper review ini diberikan gambaran mengenai berbagai metode analisis yang mendukung pemanfaatan slag nikel dan pemanfaatan slag nikel. Metode analisis slag nikel terdiri dari uji kimia (dengan alat *X-Ray Diffraction*, *Scan Electron Microscopy (EDAX)* *X-Ray Fluorescence*, *X-Ray Fluorescence*), uji fisik (dengan pengujian *Compressive Strength*), dan uji TCLP (dengan metode US EPA SW-846 Test Method 1311), masih banyak metode analisis yang belum dijelaskan pada tinjauan Pustaka ini. Pada paper review ini juga dijelaskan mengenai pemanfaatan slag nikel sebagai konstruksi jalan raya, sebagai campuran beton, dan sebagai bahan baku pembuatan semen Portland yang cocok untuk penggunaan jalan. Komposisi kimia slag nikel sangat berpengaruh terhadap pemanfaatan slag nikel tersebut, sehingganya setiap pemanfaatan slag harus menyesuaikan dengan komposisi kimia hasil laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yana, S., Nizar, M., & Mulyati, D. 2022. Biomass waste as a renewable energy in developing bio-based economies in Indonesia: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 160, 112268.
- [2] Zhe, L., Yong, G., Hung-Suck, P., Huijuan, D., Liang, D., & Tsuyoshi, F. 2016. An emergy-based hybrid method for assessing industrial symbiosis of an industrial park. *Journal of Cleaner Production*, 114, 132-140.
- [3] Vaverková, M. D. 2019. Landfill impacts on the environment. *Geosciences*, 9(10), 431.
- [4] Kamali, M., Suhas, D. P., Costa, M. E., Capela, I., & Aminabhavi, T. M. 2019. Sustainability considerations in membrane-based technologies for industrial effluents treatment. *Chemical Engineering Journal*, 368, 474-494.
- [5] Sandanayake, M., Gunasekara, C., Law, D., Zhang, G., Setunge, S., & Wanijuru, D. 2020. Sustainable criterion selection framework for green building materials—An optimisation based on study of fly-ash Geopolymer concrete. *Sustainable materials and technologies*, 25, e00178.
- [6] Gáspár, L., & Bencze, Z. (2021). Blast furnace slag in road construction and maintenance.
- [7] Keskinilic, E. 2019. Nickel laterite smelting processes and some examples of recent possible modifications to the conventional route. *Metals*, 9(9), 974.
- [8] Putra, M. A. H., Mutiani, M., Jumriani, J., & Handy, M. R. N. 2020. The Development of a Waste Bank as a Form of Community Participation in Waste Management. *The Kalimantan Social Studies Journal*, 2(1), 22-30.
- [9] Susanto, I., Irawan, R. R., & Hamdani, D. 2020. Nickel slag waste utilization for road pavement material as strategy to reduce environmental pollution. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 202, p. 05003). EDP Sciences.
- [10] Xi, B., Li, R., Zhao, X., Dang, Q., Zhang, D., & Tan, W. 2018. Constraints and opportunities for the recycling of growing ferronickel slag in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 139, 15-16.
- [11] Yong, Y., Hua, W., & Jianhang, H. 2021. Co-treatment of electroplating sludge, copper slag, and spent cathode carbon for recovering and solidifying heavy metals. *Journal of Hazardous Materials*, 417, 126020.
- [12] Yang, T., Zhang, Z., Wang, Q., & Wu, Q. 2020. ASR potential of nickel slag fine aggregate in blast furnace slag-fly ash geopolymer and Portland cement mortars. *Construction and Building Materials*, 262, 119990.
- [13] Foroutan, R., Ahmadi, M., Ramavandi, B., & Mohammadi, R. 2018. Studying the physicochemical characteristics and metals adsorptive behavior of CMC-g-HAp/Fe₃O₄ nanobiocomposite. *Journal of environmental chemical engineering*, 6(5), 6049-6058.
- [14] Meshram, P., & Pandey, B. D. 2018. Advanced review on extraction of nickel from primary and secondary sources. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*.
- [15] Pandey, N., Tripathy, S. K., Patra, S. K., & Jha, G. 2022. Recent Progress in Hydrometallurgical Processing of Nickel Lateritic Ore. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 1-20.
- [16] Ulum, R. M., Wicaksana, A. K., & Abidin, F. 2020. Effect of Temperature in Carbothermic Reduction of Indonesian Limonite Ore Using Printed Circuit Boards as Reducing Agent. In *Materials Science Forum* (Vol. 1009, pp. 155-161). Trans Tech Publications Ltd.
- [17] Mitranian, R. Y., Tampubolon, M., & Panjaitan, E. M. 2021. The Dispute between Indonesia and the European Union Concerning the Export Ban on Nickel Ore under the International Trade Law. In *ICLHR 2021: Proceedings from the 1st International Conference on Law and Human Rights, ICLHR 2021, 14-15 April 2021, Jakarta, Indonesia* (p. 226). European Alliance for Innovation.
- [18] Bartzas, G., Tsakiridis, P. E., & Komnitsas, K. 2021. Nickel industry: Heavy metal (loid) s contamination-sources, environmental impacts and recent advances on waste valorization. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 21, 100253.

- [19] Li, B., Rong, T., Du, X., Shen, Y., & Shen, Y. 2021. Preparation of Fe₃O₄ particles with unique structures from nickel slag for enhancing microwave absorption properties. *Ceramics International*, 47(13), 18848-18857.
- [20] Astini, V. 2018. Utilization of Fly Ash and Nickel Slag PT-Antam as Material Substitution for Concrete. In *Materials Science Forum* (Vol. 929, pp. 243-250). Trans Tech Publications Ltd.
- [21] Mustika, W., & Nuhun, R. 2021. Utilization of waste in nickel ore processing as concrete mixing material. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 871, No. 1, p. 012018). IOP Publishing
- [22] Dewiandratika, M., & El Akmam, M. T. 2018. Study on the leaching performance of chromium (Cr) and cadmium (Cd) from the utilization of solidified nickel slag as concrete floors. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 147, p. 04010). EDP Sciences.
- [23] Wang, G., & Thompson, R. 2011. Slag use in highway construction—The philosophy and technology of its utilization. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 4(2), 97-103.
- [24] Wu, Q., Wu, Y., Tong, W., & Ma, H. 2018. Utilization of nickel slag as raw material in the production of Portland cement for road construction. *Construction and Building Materials*, 193, 426-434.

Study of the Mineralogical Characteristics of Laterite Nickel Deposit Wailukum Block PT. Aneka Tambang Tbk. Geomin Units East Halmahera District North Maluku Province

Fahrudin Sahid^{1, a)}, Jeha Kunramadi^{1, b)}

¹Faculty of Mineral Technology, UPN Veteran Yogyakarta, Jl. SWK No.104 (Lingkar Utara), Ngropoh, Condongcatur, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

^{a)}Corresponding author: fahrudin.sahid357@gmail.com

^{b)}jehakunramadi7@gmail.com

Abstrak. Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki sumber daya nikel laterit terbesar, hal ini menjadikan Indonesia sebagai peluang untuk menjadi pemain sentral dalam rantai produksi kendaraan listrik dunia di masa depan. Oleh karena itu, kegiatan eksplorasi, penambangan dan pengolahan serta pemurnian sangat intensif dilakukan karena tingginya permintaan ekspor dan tingginya harga nikel. Penelitian ini dilakukan secara langsung di lapangan daerah penelitian, dengan menggunakan sampel hasil pengeboran eksplorasi, dan identifikasi mineral pada setiap sampel dilakukan secara megaskopik dan mikroskopis dengan menggunakan mikroskop binokular serta didukung oleh data dari analisis XRF terhadap sampel yang mewakili daerah penelitian. Terdapat 3 jenis batuan ultramafik pembawa Ni di wilayah penelitian, yaitu satuan dunite, satuan peridotit dan satuan serpentinite. Zona limonit dibagi menjadi dua subpopulasi, yaitu tipe-1 dan tipe-2. Limonit tipe-1 (Red limonite), mengandung Fe₂O₃ pada kisaran 28,56% - 63,65%, Co pada kisaran 0,03% - 0,20%, dan SiO₂ pada kisaran 8,82% - 44,21%. Limonit tipe-2 (Yellow limonite), mengandung Fe₂O₃ pada kisaran 17,80% - 69,69%, Co pada kisaran 0,03% - 0,53%, dan SiO₂ pada kisaran 6,51% - 57,44%. Zona Saprolite dibagi menjadi dua. Bagian utara kebun zona non-bijih saprolit mengandung kandungan Ni berkisar antara 0,09% - 0,36%, Fe₂O₃ berkisar antara 6,26% - 14,53%, MgO berkisar antara 9,78 - 39,82, dan SiO₂ berkisar antara 35,63% - 49,49%. Kedua zona bijih saprolit tersebut memiliki kandungan Ni berkisar antara 0,20% - 3,38%, Fe₂O₃ berkisar antara 6,12% - 26,11%, MgO berkisar antara 14,98% - 39,29%, dan SiO₂ berkisar antara 34,85% - 47,41%.

Kata kunci: Nikel, Limonit, Saprolit

Abstract. Indonesia is one of the countries that has the largest nickel laterite resources, this makes Indonesia an opportunity to become a central player in the world's electric vehicle production chain in the future. Therefore, exploration, mining and processing and refining activities are very intensively carried out due to high export demand and high nickel prices. This research was conducted directly in the field of the research area, using samples from exploration drilling, and mineral identification in each sample was carried out megascopically and microscopically using a binocular microscope and supported by data from XRF analysis of samples representing the research area. There are 3 types of Ni-carrying ultramafic rocks in the study area, namely dunite units, peridotite units and serpentinite units. The limonite zone is divided into two subpopulations, namely type-1 and type-2. Type-1 limonite (Red limonite), contains Fe₂O₃ in the range of 28.56% - 63.65%, Co in the range 0.03% - 0.20%, and SiO₂ in the range 8.82% - 44.21%. Type-2 limonite (Yellow limonite), contains Fe₂O₃ in the range of 17.80% - 69.69%, Co in the range 0.03% - 0.53%, and SiO₂ in the range 6.51% - 57.44%. The Saprolite Zone is divided into two. The northern part of the saprolite non-ore zone gardens contain Ni content ranging from 0.09% - 0.36%, Fe₂O₃ ranging from 6.26% - 14.53%, MgO ranging from 9.78 - 39.82, and SiO₂ ranging from 35.63% - 49.49%. Both zones of saprolite ore have Ni content ranging from 0.20% - 3.38%, Fe₂O₃ ranging from 6.12% - 26.11%, MgO ranging from 14.98% - 39.29%, and SiO₂ ranging from 34.85% - 47.41%.

Keywords: Nickel, Limonite, Saprolite

10.1 INTRODUCTION

Indonesia is one of the owners of the largest nickel laterite resources in the world, this makes Indonesia have the opportunity to become a central player in the world's electric vehicle production chain in the future. Therefore, exploration, mining, processing and refining activities are intensively carried out due to high export demand and high nickel prices.

Nickel laterite is a residual product of chemical weathering in ultramafic rocks (dunite, peridotite) and their alterations (serpentinite). This laterization process lasts for millions of years starting when ultramafic rocks are

exposed on the earth's surface [1]. One of the factors that influence the formation of laterite nickel deposits is the source rock. The laterization process is also supported by the rate of weathering; geological structure, climate, topography, chemical reagents, vegetation and time. The levels of nickel laterite deposits are controlled by the interaction of lithology and mineralization patterns. The weathering process plays an important role, to change the mineral composition in each laterite zone (topsoil, limonite and saprolite).

This research was carried out directly in the research area, using exploratory drilling samples, and mineral identification in each sample was carried out megascopically and microscopically using a binocular microscope and supported by XRF analysis data on samples representing the research area.

10.2 METHOD AND MATERIAL

Local Geological Conditions

Part of the eastern Halmahera area is an ultramafic rock that is the source of laterite weathering, including the research area located in the Wailukum block, (**FIGURE 1**). This ultramafic rock complex consists of serpentinite, pyroxene, peridotite and dunite [2]. According to [2] the geological provinces of East Halmahera are mainly formed by ultramafic rock units. Cretaceous sedimentary rock and Paleocene/Eocene (Tped, Tpec and Tpel) unconformably deposited on ultramafic rocks.

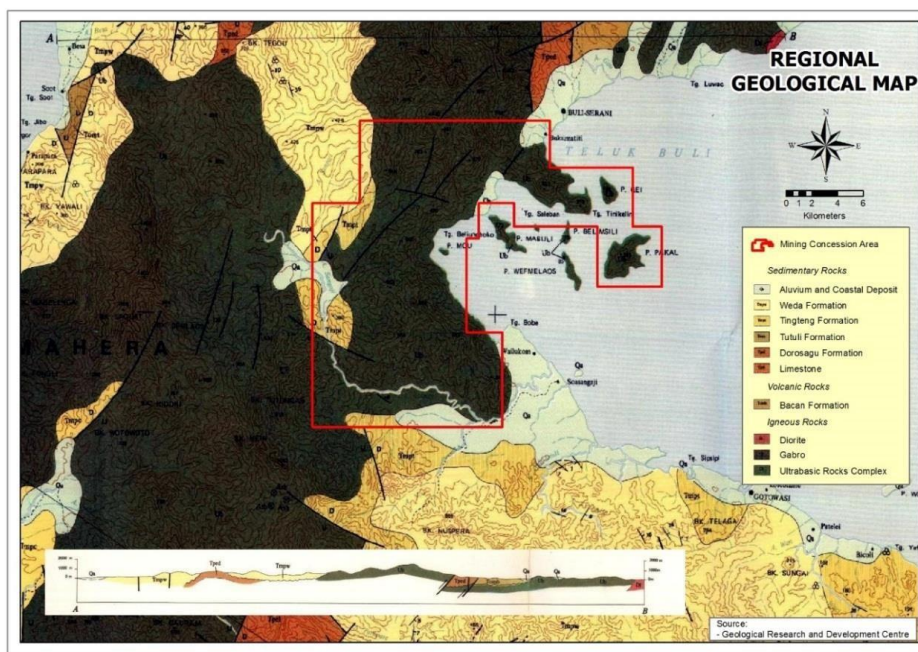


FIGURE 1. Regional Geological Map of Research Area [1]

Genesis of Laterite Nickel Deposits

Laterite nickel is a residual process resulting from chemical weathering of ultramafic rocks (dunite, peridotite, serpentinite) which contain a lot of olivine, pyroxene, magnesia silicate and iron silicate minerals with nickel content ranging from 0.30%. The laterization process in laterite nickel deposits is defined as a leaching process on soluble minerals and silica minerals from the laterite profile in an acidic, warm, and humid environment, as well as forming a concentration of deposits resulting from the laterization process enrichment in Fe, Cr, Al, Co and Ni[3]. .

Surface water contains CO_2 from the atmosphere and it's re-enriched by organic materials on the surface that seeps below the soil surface to the leaching zone, where groundwater fluctuations occur. As a result of this water fluctuation, groundwater rich in CO_2 will come into contact with the saprolite zone which still contains the original rock and dissolve unstable minerals such as olivine/serpentine and pyroxene. The elements of Mg, Si and Ni will dissolve and

be carried away according to the flow of groundwater and will form new minerals in the re-deposition process[4]. Iron deposits combined with oxides will accumulate close to the soil surface (non-mobile elements), while magnesium, nickel, and silica will remain in solution and move down as long as the water supply that enters the soil continues (mobile elements)[5].

Laterite Profile

The chemical weathering process will eventually result in the formation of a laterite profile with the youngest laterite at the bottom and the oldest laterite at the top [6]. Laterite profile can be seen in (Fig. 2). Laterite profile is divided into:

1. Top Soil
This zone is at the top of the laterite profile with red, blackish brown color, composed of humus and organic material[7].
2. Limonite Zone (Red Limonite)
This zone is under top soil with a red-brown color. The constituent minerals are limonite, hematite, goethite, tremolite and manganese oxide. The material that makes up this zone is fine clay-sand (clay-silt) and is often found in stable minerals such as spinel, magnetite and chromite.
3. Yellow Limonite (Medium Grade Nickel Ore)
Hematite and yellow limonite are dominant, this layer is rather soft with a yellow-brown dominant color. It's constituent minerals are goethite, sometimes talc, manganese oxide, quartz, gibbsite, magnetite[8].
4. Saprolite Zone (High Grade Nickel Ore)
This layer is an ore zone (high grade ore) that has economic value for mining, generally yellow-green, brownish green and composed of fragments of altered source rock, so that the constituent minerals, texture and rock structure can be known. The degree of serpentinization of laterite origin rocks will affect the formation of the saprolite zone, where the slightly serpentinized peridotite will provide a saprolite zone with hard waste rock, gap filling by garnierite, chalcedony-nickel and quartz minerals. While serpentinite will produce a relatively homogeneous saprolite zone with a little quartz and a little garnierite. There is silica boxwork, forming a transition zone from limonite to bedrock. Sometimes there is quartz mineral filling the fracture. Weathered constituent minerals such as; serpentine, goethite, quartz, clorite, garnierite etc[9].
5. Bed Rock Zone
The lowest part of the laterite profile, this layer is rock (peridotite, dunite, serpentinite) that not or has not undergone weathering. In general, bedrock blocks contain no more economically valuable minerals (metal content is close to or equal to the grade in the bedrock). This rock is pale yellow, gray-green, gray-black. This zone is strongly fractured, sometimes open, filled with garnierite and silica minerals. This fracture is thought to be the cause of the root zone, namely the high grade Ni zone in this origin rock, but its position is hidden and rarely found.

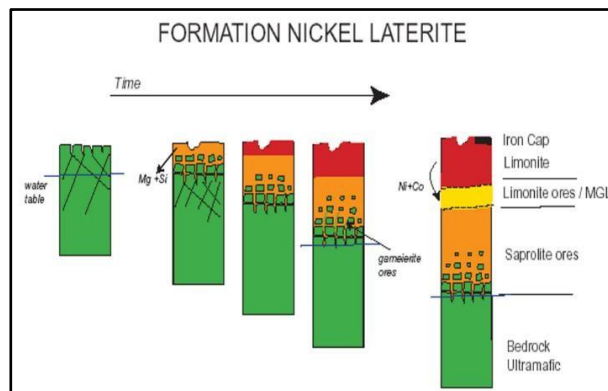


FIGURE 2. Genesis of nickel laterite deposits[2]

10.3 RESULTS AND DISCUSSION

Petrographic Analysis of Bed Rock

Observations and petrographic analysis on these bedrock boulders were carried out by grouping three parameters to distinguish each incision as shown in **TABLE 1**.

TABLE 1. Level of alteration in bedrock (ultramafic rock)[10]

No	Alteration Level (Change)	Description
1	Weak alteration	Megascopically and microscopically, the dominance of olivine minerals is still visible, relatively fresh and has little change.
2	Medium alteration	Megascopically, the rock has undergone a color change in certain parts of the rock, especially a slightly lighter or brownish color. Under the microscope, it can be seen that some of the olivine minerals have changed into serpentine. This strongly altered sample usually has undergone many changes, both from the megascopic appearance and from the microscopic appearance.
3	High Alteration	Megascopically, the original rock has undergone a significant color change and almost lost its basic color. Microscopically, some or all of the olivine minerals have changed to serpentine.

Dunite Rocks

The dunite rock (**FIGURE. 3**) has the characteristics of a fresh gray-green color, weathered brown color, massive structure, holocrystalline, fine-coarse phaneric, euhedral-subhedral, equigranular, high serpentinize, composed of the main mineral olivine which has been partially converted into serpentine (90 %), pyroxene minerals (2-4%), and secondary minerals that fill the fracture are silica.

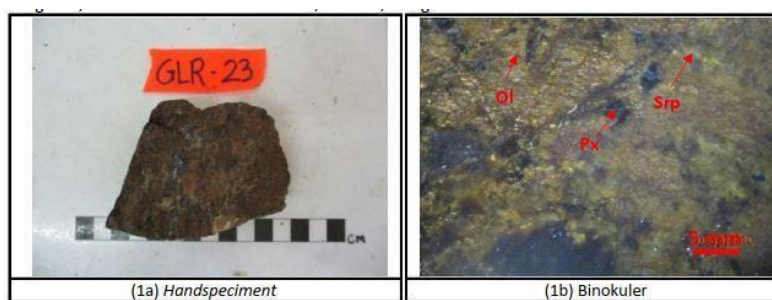


FIGURE 3. Handspeciment and binocular magnification of dunit samples.

FIGURE. 4 results of petrographic analysis of dunite samples shows that the rock making up the research area (Wailukum block) is strongly serpentinized dunite which is mineralized by chromite, pentlandite, hematite, and goethite.

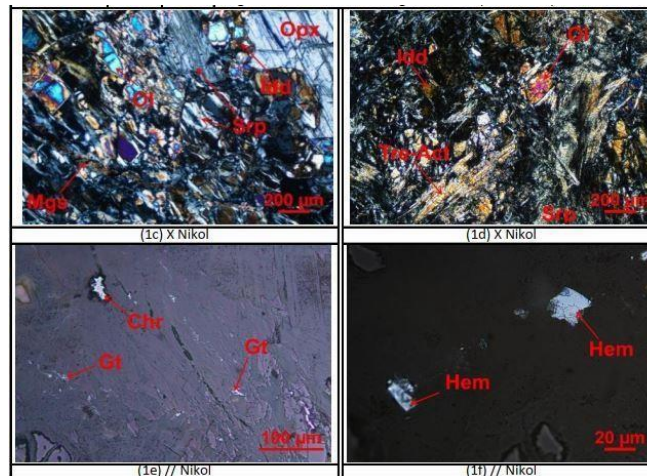


FIGURE 4. Results of petrographic-mineragraphic analysis of the dunit sample

Peridotite Rocks

Peridotite generally has a fresh appearance of gray to greenish black color, weathered brown color, massive, faneric, equigranular, with a strong weathering rate and a medium-high degree of serpentinization. The mineral composition consists of 50% olivine, 10% pyroxene, 10% goethite, and 20% serpentine (**FIGURE. 5**). **FIGURE. 6** is the results of petrographic and mineragraphic analysis on peridotite rocks in the Wailukum block area, including strongly serpentinized harzburgite rocks. Serpentine was found to change orthopyroxene, and iddingsite to change olivine, mineralization was found in the form of chromite and magnetite.

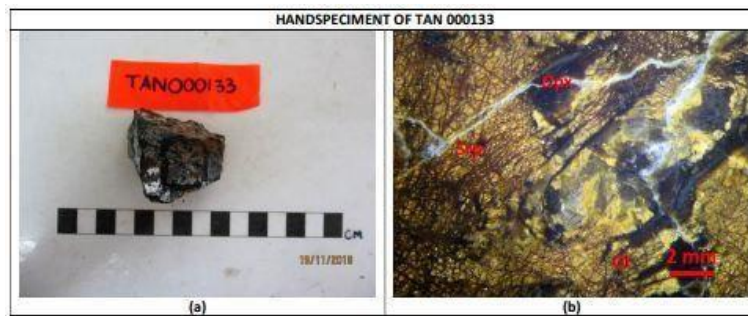


FIGURE 5. Handspeciment and binocular magnification of peridotite samples

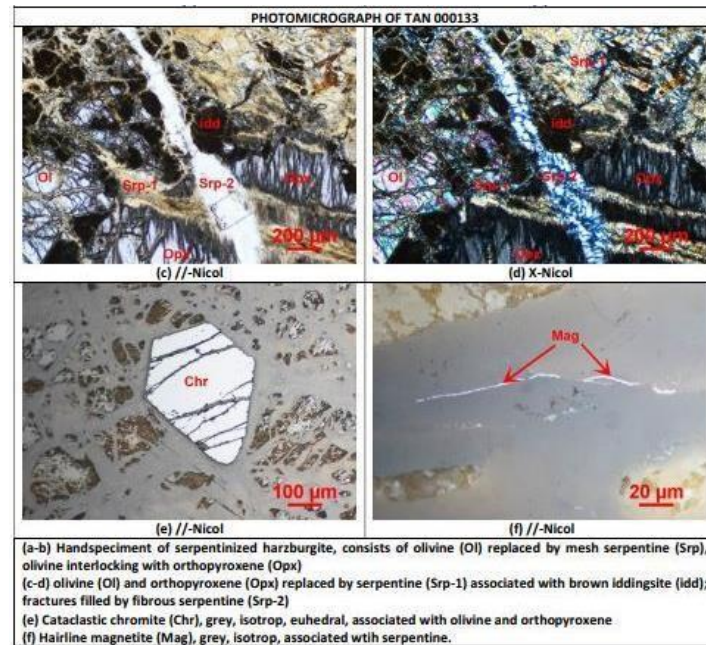


FIGURE 6. Results of petrographic-mineragraphic analysis of peridotite samples

Peridotite Rocks

Serpentinite rock (**FIGURE. 7**) has the characteristics of fresh gray to greenish black, weathered brownish color, idioblastic texture, mineral shape tends to be lepidoblastic-nematoblastic, and the structure is foliated. The mineral composition includes 60% serpentine, 20% pyroxene, 15% silica, and 5% talc. Serpentinite foliation direction tends to be NE-SW. Serpentinite lithology is thought to have originated from ultramafic protoliths that underwent changes due to metamorphic processes.

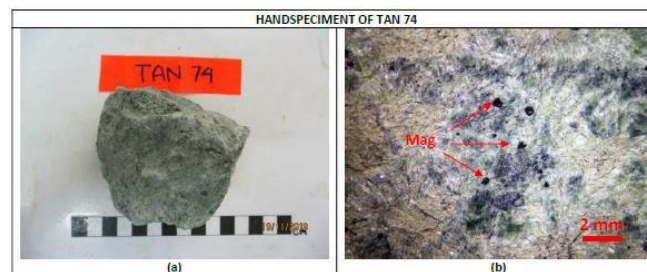


FIGURE 7. Handspeciment and binocular magnification of serpentinite samples

FIGURE. 8 is the result of petrographic and mineragraphic analysis of serpentinite rocks in the research area showing that olivine has been completely converted to serpentine. Serpentine is associated with opaque minerals such as magnetite and chromite.

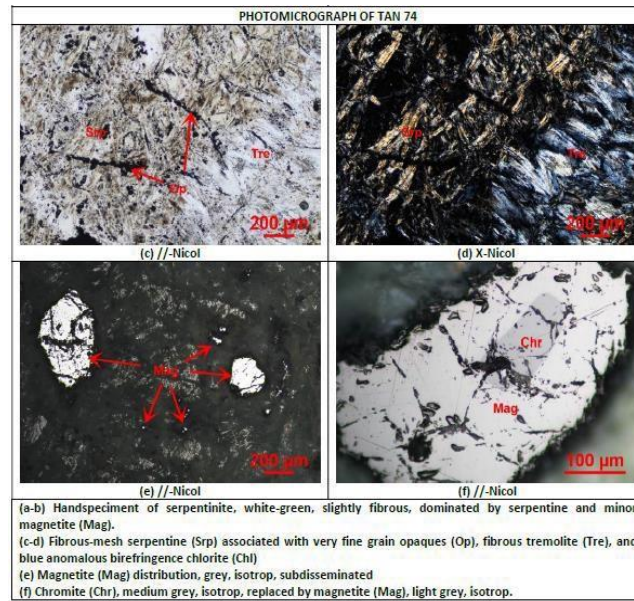


FIGURE 8. Serpentinite petrographic-mineragraphic analysis results

Characteristics of Laterite Deposits in Wailukun Area

Laterite deposits in the northern to southern Wailukum block tend to be horizontally inhomogeneous due to varying lithology. Exploration drilling is carried out sequentially starting from top soil to bedrock with the aim of knowing all the characteristics and prospects in each zoning. The laterite zone outcrop of the Wailukum block can be seen in **FIGURE 9**.

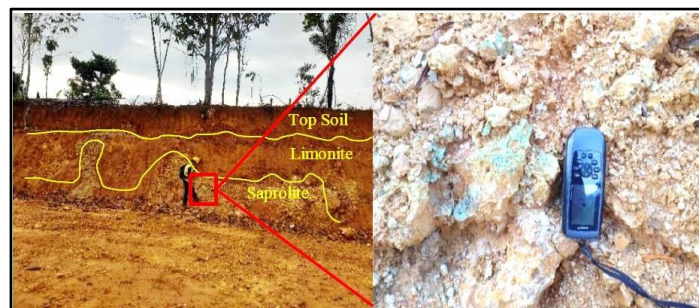


FIGURE 9. The laterite zone outcrop of the Wailukum block
Top Soil Zone

The overburden in the research area has a thickness variation of 0-2 meters, but in some places it is very thin or even not found at all. It has a variety of colors ranging from brown-black, red-brown to red. Cover soil is rich in Fe elements which are elements that are not soluble in water during weathering with Fe content reaching more than 50%.

The grain size of the zone constituents ranges from clay grain size to coarse sand, with the constituent composition of vegetation roots with abundant iron oxide. Drill sample for the top soil zone can be seen in **FIGURE 10**.



FIGURE 10. Top soil zone

Limonite Zone

The characteristics of limonite in the Wailukum area based on the observations of drilling samples and the results of assay analysis data are divided into two subpopulations, namely limonite type-1, limonite type-2 :

1) Limonite type-1 (Red limonite)

It has a brown to reddish-brown color and is found from 0-3 meters. The minerals found in this zone are; limonite, hematite, goethite and clay-sized manganese oxides. This zone contains Fe_2O_3 ranging from 28.56% to 63.65%, Co ranging from 0.03% to 0.20%, and SiO_2 ranging from 8.82% to 44.21%.

2) Limonite type-2 (Yellow limonite)

It has a yellowish-brown and reddish-brown color found from 0-11 meters tends to be uniform and thin, only in some places the limonite zone collection occurs. Minerals found in this zone include limonite, goethite, hematite and clay-sized manganese oxide. The yellow limonite zone is above the saprolite ore, this zone contains Fe_2O_3 ranging from 17.80% to 69.69%, Co ranging from 0.03% to 0.53%, and SiO_2 ranging from 6.51% to 57.44%. The limonite zone drill sample can be seen in **FIGURE. 11**.



FIGURE 11. Limonite zone

Saprolite Zone

Saprolite characteristics in the Wailukum area are divided into two, namely northern non-ore saprolite and southern ore saprolite based on the rock of origin, found from 0 meters to 53 meters with an average saprolite thickness of 13.81 meters.

1. Saprolite non-ore

The characteristic of non-ore saprolite has a gray color found from 0 meters to a depth of 39 meters. This saprolite is a non-ore saprolite because the drilling location is located in gabbro and serpentinite lithology. Minerals found in this zone include montmorillonite, talc, and serpentine (**FIGURE. 12**).

The lateral boundary between non-ore saprolite and ore saprolite it self is still uncertain, due to scanty drill data. However, it is estimated that the lithology of serpentinite and mixed rock whose matrix is clay to sandy weathered produces this type of non-ore saprolite.

The non-ore saprolite zone in the northern part of the Southeast Sangaji area has Ni content ranging from 0.09% to 0.36%, Fe_2O_3 ranging from 6.26% to 14.53%, MgO ranging from 9.78 to 39.82, and SiO_2 ranging from 35.63% to 49.49%.



FIGURE 12. Non-ore saprolite zone

2. Saprolite ore

The characteristic of saprolite ore has a brown to greenish-brown color found from 0 meters to a depth of 53 meters. This zone is a saprolite resulting from weathering of serpentinized dunites. Saprolite ore consists of earthy saprolite and rocky saprolite. Minerals found in this zone include goethite and serpentine (**FIGURE. 13**).

The saprolite ore zone has Ni content ranging from 0.20% to 3.38%, Fe_2O_3 ranging from 6.12% to 26.11%, MgO ranging from 14.98% to 39.29%, and SiO_2 ranging from 34.85% to 47,41%. The presence of Ni enrichment up to 3.38% is estimated to be the result of weathering of dunite rock as bedrock which is rich in Ni. Thickness distribution of the saprolite zone in the Wailukum area tends to be very diverse, in the ridge section in some locations it is not too thick because lateritization has not yet developed, there are still many fresh beds exposed on the ridge near the slope. Areas that have a thick saprolite zone thickness, it is estimated that the fracture intensity of this area is very high.



FIGURE 13. Saprolit ore zone (a) earty saprolit (b) rocky saprolit

Distribution zones and characteristics of laterite deposits in the Wailukum area can be summarized in **FIGURE.14** below.

ZONA LATERIT	TEBAL RATA-RATA	PROFIL LATERIT	FOTO CORE	LITHOLOGI	KADAR (%)			
					Ni	Co	Fe_2O_3	MgO
TOP SOIL	0,32 M			TOP SOIL	0,50 to 1,98	0,06 to 0,39	31,98 to 67,20	0,05 to 16,43
LIMONITE	1,27 M			LIMONITE 1	0,38 to 1,68	0,03 to 0,20	28,56 to 63,65	2,12 to 5,99
				LIMONITE 2	0,38 to 2,36	0,03 to 0,53	17,80 to 69,69	0,05 to 16,83
SAPROLITE	13,82 M			SAPROLITE NON-ORE	0,09 to 0,36	0,003 to 0,01	6,26 to 14,53	9,78 to 39,82
				EARTHY SAPROLITE	0,21 to 3,38	0,03 to 2,38	0,004 to 0,07	14,98 to 39,29
				ROCKY SAPROLITE				
BEDROCK				GABRO	0,03	0,005	10,63	7,45
				PERIDOTIT	0,26	0,008	8,21	33,33
				DUNIT	0,26	0,068	7,21	36,18

FIGURE 14. Laterite profile Wailukum block area

10.4 CONCLUSIONS

1. Limonite zone is divided into two subpopulations, namely type-1 and type-2. Type-1 limonite (Red limonite), contains Fe_2O_3 in the range of 28.56% - 63.65%, Co in the range 0.03% - 0.20%, and SiO_2 in the range 8.82% - 44.21%. Type-2 limonite (Yellow limonite), contains Fe_2O_3 in the range of 17.80% - 69.69%, Co in the range 0.03% - 0.53%, and SiO_2 in the range 6.51% - 57.44%.

2. The Saprolite Zone is divided into two. First, northern part of the saprolite non-ore zone have Ni content ranging from 0.09% - 0.36%, Fe₂O₃ ranging from 6.26% - 14.53%, MgO ranging from 9.78 - 39.82, and SiO₂ ranging from 35.63% - 49.49%. Second, saprolite ore zone has Ni content ranging from 0.20% - 3.38%, Fe₂O₃ ranging from 6.12% - 26.11%, MgO ranging from 14.98% - 39.29%, and SiO₂ ranging from 34.85% - 47.41%.
3. There are 3 types of ultramafic rock carrying Ni, namely dunite units, peridotite units and serpentinite units.

10.5 ACKNOWLEDGMENTS

We would like to thank Mr. Andi Kurniawan (Chairman of the Exploration Team), Mr. Singgi and Mr. Hendrata as (Vice Chairman of the Exploration Team) Geomin Unit PT. Aneka Tambang Tbk. site Halmahera and also thanks to the discussion friends for the Master of Mining Engineering Program UPN "Veteran" Yogyakarta.

REFERENCES

- [1] Apandi, T. dan Sudana, D. 1980. Peta Geologi Lembar Ternate, Maluku. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- [2] Boldt., 1967. Genesa Bahan Galian Bijih Nikel Laterit. *Indonesian Association of Geologist*. Bandung.
- [3] Hamilton, W., 1979. Tectonics of The Indonesian Region. Geological Survey Professional Paper 1078. Washington.
- [4] Ahmad, W. 2006. Fundamental of Nickel Laterite. INCO. Unpublished.
- [5] Golder Associates. 2011. Sangaji Mineral Resource Estimate. Unpublished.
- [6] Hall, R., Audley-Charles, M. G., Banner, F. T., Hidayat, S., dan Tobing, S. L. 1988. Late Paleogene – Quaternary Geology of Halmahera, Eastern Indonesia: Initiation of a Volcanic Island Arc. London: Journal of the Geological Society Vol. 145.
- [7] Hall, R. dan Hakim, A. S. 1991. Tertiary volcanic rock from the Halmahera Arc, Eastern Indonesia. Journal of Southeast Asian Earth Science, Vol 6, No. ¾, pp. 271-287
- [8] Laporan Akhir Eksplorasi 2018, PT ANTAM Unit Geomin. LTMP Nikel Antam 2018. Unpublished.
- [9] Sukanto, R., Apandi, T., Supriatna, S. dan Yasin, A. 1981. The geology and tectonics of Halmahera Island and surrounding areas In the Geology and Tectonics of Eastern Indonesia. Geological Research and Development Centre, Bandung, Indonesia, Special publication 2, 349-362.
- [10] Supriatna, S. 1980. Peta Geologi Lembar Morotai, Maluku Utara, Indonesia. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- [11] Syafrizal, M. Nur Heriawan, Komang Anggayana, Teti Indriati dan Rian Andriansyah, 2009. Studi genesa dan karakterisasi horizon laterit pada endapan nikel laterit, Halmahera Timur, Maluku Utara. Prosiding TPT XVIII Perhapi 2009, ITB, Bandung.
- [12] Syafrizal, Aryo Bimo Oetomo, dan Dono Guntoro, 2012. Studi korelasi ukuran butir, warna, kadar, dan mineralogi terhadap zona nikel laterit. Prosiding TPT XXI Perhapi 2012, ITB Bandung.
- [13] Zulfadli Hamzah, 2022. Studi geokimia dan petrologi batuan ultramafik dan implikasinya terhadap penyebaran unsur laterit blok X PT.Ceria Nugraha Indotama Daerah Babarina Kabupaten Kolaka Provinsi Sulawesi Tenggara. Skripsi UNHAS Makassar 2022.
- [14] Deni Hermendi, Mega Fatimah Rosana dan Agus Didit Haryanto, 2017. Domain geologi sebagai dasar permodelan estimasi sumberdaya nikel laterit perbukitan zahwah, Sorowako Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan. Bulletin of Scientific Contribution Geologi. Vol-15. No 2 Agustus 2017.

Overview Metode Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Bakteri Pereduksi Sulfat

Anisyah Alquran Ni^{1, a)}, Rika Ernawati^{1, b)}, Tedy Agung Cahyadi^{1, c)}, Edy Nursanto^{1, d)}, Nur Ali Amri^{1, e)}

¹Faculty of Mineral Technology, UPN Veteran Yogyakarta, Jl. SWK No.104 (Lingkar Utara), Ngropoh, Condongcatur, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

^{a)}Corresponding author: rika.ernawati@upnyk.ac.id

^{b)} 212211009@student.upnyk.ac.id, ^{c)} tedyagungc@upnyk.ac.id

^{d)} edynursanto@upnyk.ac.id, ^{e)} nuraliamri@upnyk.ac.id

Abstrak. Air asam tambang merupakan limbah yang dapat mengganggu kestabilan ekosistem terutama ekosistem aquatic. Air asam tambang terbentuk dari air lindi kegiatan penambangan mineral/batubara yang mengandung mineral sulfida dan terpapar oksigen. Air asam tambang ditandai dengan pH air yang rendah dan konsentrasi logam berat yang tinggi. Untuk meminimalisir dampak dari air asam tambang diperlukan metode pengelolaan yang efektif dan efisien salah satunya dengan menggunakan bioremediasi dengan memanfaatkan aktivitas bakteri pereduksi sulfat. Penelitian ini mengidentifikasi metode remediasi dengan menggunakan bakteri pereduksi sulfat yang ditinjau dari beberapa aspek penunjang pertumbuhan aktifitas bakteri pereduksi sulfat.

Kata kunci: Air asam tambang, bioremediasi, bakteri pereduksi sulfat

Abstract. Acid mine water is a waste that can disrupt the stability of ecosystems, especially aquatic ecosystems. Acid mine water is formed from leachate water of mineral/coal mining activities containing sulfide minerals and exposed to oxygen. Acid mine water is characterized by a low pH of water and a high concentration of heavy metals. To minimize the impact of acid mine water, effective and efficient management methods are needed, one of which is by using bioremediation by utilizing the activity of sulfate-reducing bacteria. This study identified a remediation method using sulfate-reducing bacteria in terms of several aspects supporting the growth of sulfate-reducing bacteria activity.

Keywords: Acid mine drainage, bioremediation, sulfate reducing bacteria.

11.1 PENDAHULUAN

Pengelolaan air asam tambang (AAT) menggunakan bakteri pereduksi sulfat (BPS) merupakan salah satu metode pasif. Seperti yang kita ketahui terdapat beberapa cara dalam pengelolaan air asam tambang seperti netralisasi dengan menambahkan material alkali namun cara tersebut tergolong mahal dan menghasilkan lumpur atau second waste dalam jumlah yang besar. Untuk mengatasi permasalahan tersebut peneliti terus melakukan inovasi sehingga ditemukan metode perawatan air asam tambang yang lebih efisien dengan menggunakan metode pasif secara biologis yang memanfaatkan bakteri pereduksi sulfat. Bakteri pereduksi sulfat merupakan sekelompok bakteri anaerob yang sangat beragam secara taksonomi dan mampu mereduksi sulfat menjadi endapan sulfida [1]. Dalam hal ini peneliti telah melakukan berbagai macam eksperimen yang ditinjau dari berbagai aspek untuk menemukan faktor apa saja yang mempengaruhi kemampuan dan meningkatkan efektifitas bakteri dalam mereduksi sulfat.

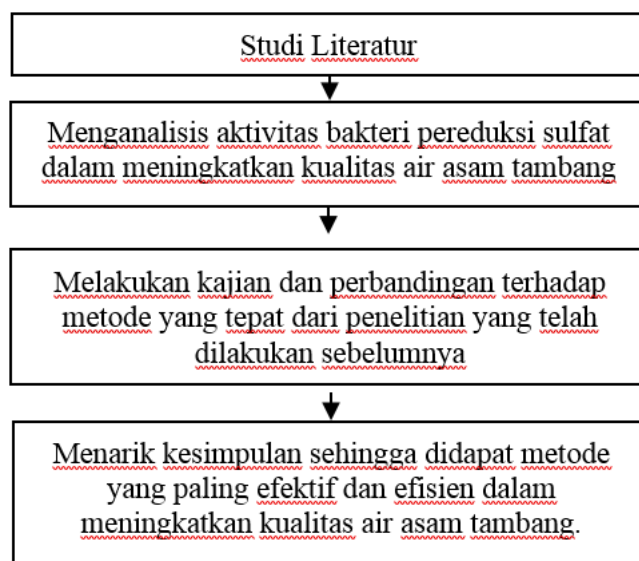
11.2 KAJIAN PUSTAKA

Air asam tambang merupakan masalah global dan berdampak buruk terhadap lingkungan. Air asam tambang memiliki pH yang rendah dan kandungan logam berat yang tinggi, kondisi tersebut berbahaya bagi makhluk hidup disekitarnya. Berbagai macam metode dalam mengelola air asam tambang telah dikembangkan namun masih kurang

efektif dan efisien. Pemanfaatan bakteri pereduksi sulfat dalam mengameliorasi kualitas air asam tambang telah banyak dikembangkan dan memiliki tingkat efektifitas yang cukup baik. Penggunaan bakteri pereduksi sulfat untuk pengelolaan air asam tambang memiliki beberapa manfaat seperti *second waste* yang dihasilkan rendah dan *recovery* logam yang tinggi [2]. Bakteri pereduksi sulfat merupakan bakteri yang memanfaatkan sulfat sebagai akseptor elektron [3]. Meskipun ada beberapa bakteri lainnya yang memanfaatkan sulfat dalam metabolismenya, namun bakteri pereduksi sulfat memanfaatkan H_2S sebagai sumber utama dalam metabolismenya [4]. Reduksi sulfat merupakan proses langsung yang memerlukan 10 sampai 100 folds sulfur. Metabolisme bakteri ini pada dasarnya oksidatif, memerlukan sebuah sistem sitokrom, dan rantai pernapasan fosforilasi.

11.3 METODE DAN MATERIAL

Penelitian ini dirangkum dari beberapa karya ilmiah tentang metode pengelolaan air asam tambang dengan menggunakan bakteri pereduksi sulfat. Penelitian ini dilakukan bertujuan sebagai acuan dalam memperbaiki kualitas air asam tambang. Tahapan penelitian yang dilakukan penulis dijabarkan dalam bentuk diagram alir yang terlihat pada gambar 1.



GAMBAR 1. Tahapan Penelitian

11.4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bioremediasi menggunakan bakteri pereduksi sulfat yang telah dilakukan kajian dalam penyerapan logam berat pada air terkontaminasi dijabarkan pada beberapa sub bab dibawah ini:

a. Pengelolaan Air Asam Tambang Dengan Injeksi Substrat Ke Dalam *Subsurface*

Pengelolaan air asam tambang dengan sistem ini menginjeksi substrat organik kebawah permukaan tanah melalui lubang bor. Substrat organik merupakan sumber karbon dan donor elektron bagi bakteri dimana komponen ini penting dalam menunjang pertumbuhan bakteri pereduksi sulfat. Substrat organik di injeksikan kedalam subsurface yang di konfirmasi terkontaminasi air asam tambang. Pada metode ini kondisi bakteri pereduksi sulfat yang berada dibawah tanah minim akan oksigen tetap mampu mereduksi sulfat dengan optimal memperkuat pernyataan bahwa penggunaan bakteri pereduksi sulfat dalam pengelolaan air asam tambang dapat dimanfaatkan meskipun dalam kondisi yang ekstrem.

b. Pengelolaan Air Asam Tambang Dengan Memanfaatkan *Permeable Reactive Barriers*

Permeabilitas dari reactive barriers sangat berpengaruh terhadap keefektifan metode ini, karena semakin tinggi permeabilitas reactive barriers maka semakin intens kontak antara substrat organik dengan aliran air tanah yang terkontaminasi. Sehingga meningkatkan kemampuan bakteri dalam mereduksi sulfat. Untuk meningkatkan permeabilitas substrat organik dapat dicampurkan dengan kerikil. Pemilihan substrat organik yang digunakan juga mempengaruhi permeabilitas dan reaktivitas barriers. *Permeable Reactive Barriers* terdiri dari zona bahan reaktif yang dipasang melintasi jalur aliran air tanah yang terkontaminasi. Saat air tanah yang terkena dampak air asam tambang mengalir melalui zona ini, bakteri pereduksi sulfat mengurangi sulfat dari air dengan menggunakan sumber elektron yang ada pada barrier. Hal ini menghasilkan alkalinitas bikarbonat dan presipitasi logam sebagai sulfida.

c. Pengelolaan Air Asam Tambang Dengan Menggunakan *Infiltration Beds*

Metode pengelolaan dengan menggunakan infiltration beds prinsipnya sama dengan *Permeable Reactive Barriers* dimana pembuatan paritan dengan bagian bawahnya di lapis substrat organik yang mampu meningkatkan perkembangan bakteri pereduksi sulfat. Air yang terkontaminasi akan mengalir melalui puritan sehingga terjadi kontak dengan substrat organik yang berada pada bagian bawah paritan mengakibatkan aktifitas bakteri meningkat sekaligus terjadinya peningkatan reduksi sulfat oleh bakteri. Agar kondisi anaerobik dapat diciptakan substrat organik dilapisi impermeable liner. Bahan organik dapat dilengkapi dengan nutrisi dan inokulum reduksi sulfat untuk meningkatkan efisiensi lapisan infiltrasi. Bahan juga harus memiliki konduktivitas hidrolik yang sesuai, sehingga air mengalir melalui material dalam waktu yang diinginkan.

d. Pengelolaan Air Asam Tambang Dengan Menggunakan *Anoxic Ponds*

Anoxic pond dapat diartikan sebagai kolam atau cekungan yang memiliki material substrat organik pada lapisan bagian bawah sebagai sumber untuk bakteri pereduksi sulfat berkembang. Mekanisme atau proses terjadinya reduksi sulfat oleh bakteri hampir sama dengan metode sebelumnya yaitu *Permeable Reactive Barriers* dan *Infiltration Beds*. Dalam penggunaan metode ini hal yang perlu diperhatikan yaitu permeabilitas substrat, kandungan oksigen dalam sistem, dan pemilihan substrat organik yang dapat meningkatkan efektifitas bakteri dalam mereduksi sulfat. Apabila sulfat dapat direduksi sehingga terjadinya pengendapan sulfida bersamaan dengan pengendapan logam berat maka pH air asam tambang akan meningkat dan memperbaiki kualitas air. Menelaah kembali tentang bakteri pereduksi sulfat yang mampu berkembang pada pH rendah dan lingkungan tanpa oksigen sehingga metode pengelolaan air asam tambang dengan menggunakan *anoxic pond* memungkinkan bakteri untuk berkembang dan mereduksi sulfat.

e. Pengelolaan Air Asam Tambang Dengan Menggunakan *Wetland*

Wetland telah diakui selama beberapa tahun sebagai sistem berbiaya rendah untuk meningkatkan kualitas air asam tambang. *Wetland* adalah ekosistem yang sangat kompleks, di mana kualitas air dipengaruhi oleh sejumlah proses fisik, kimia dan biologis termasuk pengenceran, penyaringan partikel tersuspensi, adsorpsi, kompleksitas, pertukaran ion dan penyerapan logam, dan presipitasi secara oksidatif maupun reduktif. Sistem *Wetland* dapat diklasifikasikan sebagai lahan basah aerobik dan anaerob. *Aerobic wetlands* yang dibangun dangkal dan tujuan utamanya adalah untuk meningkatkan reaksi oksidasi dan hidrolisis besi dan logam berat lainnya, dan untuk mempertahankan endapan logam yang dihasilkan oleh pengendapan. Pengelolaan dengan menggunakan *Aerobic wetland* sangat cocok digunakan untuk *net alkaline waters* karena hidrolisis logam menghasilkan keasaman.

Penanaman tanaman berfungsi untuk mengatur aliran air dan menstabilkan endapan yang terakumulasi sehingga meminimalisir terjadinya erosi. Pada metode ini *wetland* dilengkapi dengan substrat organik dan batu kapur yang berada pada dasar *wetland*, *wetland* ini disebut *Anaerobic wetlands*. Dengan adanya kontak antara air terkontaminasi dengan substrat organik dan batu kapur sehingga akan menghasilkan alkalinitas. Hidrogen sulfida biogenik mengendapkan logam sebagai sulfida. Vegetasi yang tumbuh pada substrat yang terendam dapat memberikan pasokan karbon dan energi untuk keberlangsungan hidup mikroba yang berkembang didalam sistem dan melindungi terhadap erosi angin apabila terjadinya penurunan permukaan air dibawah permukaan substrat. Selain memberikan dampak positif pertumbuhan tanaman juga memberikan dampak negatif seperti difusi oksigen dari akar ke substrat disekitarnya. Jumlah tanaman yang melebihi kebutuhan juga dapat mengundang habitat muskrat yang dapat mengganggu proses remediasi. Oleh karena itu dibutuhkan maintenance yang rutin untuk tetap menjaga kestabilan *Anaerobic wetlands*. Untuk dapat mengoptimalkan fungsi *wetland* sebaiknya pengelolaan dilakukan dengan mengkombinasikan *Aerobic wetlands* dan *Anaerobic wetlands*.

f. Pengelolaan air asam tambang dengan menggunakan *Anaerobic Stirred Batch Reactor (ASBR)*

Sulfat merupakan senyawa yang tergolong chemical inert, tidak mudah menguap, dan tidak beracun [6], namun konsentrasi sulfat yang tinggi dapat memberikan dampak buruk terhadap lingkungan dan mengganggu kestabilan ekosistem. Dengan menggunakan bakteri pereduksi sulfat yang akan mereduksi sulfat menjadi sulfida sehingga menyebabkan konsentrasi logam berat terendapkan secara kimiawi. Seiring berkurangnya konsentrasi logam berat dampak buruk yang ditimbulkan juga akan terminimalisir. Reaktor ASBR merupakan reaktor yang dilengkapi dengan *fiberglass jacket* dan sistem sirkulasi air yang berfungsi untuk mempertahankan temperatur sekitar 30°C. Reaktor ASBR dilengkapi dengan sistem operasi yang memiliki three-blade propeller yang digunakan untuk pencampuran. *Perforated steel basket* yang ada pada reaktor ASBR berfungsi untuk memberikan proteksi yang maksimal terhadap biomassa sehingga kehilangan biomassa dapat diminimalisir selama proses *liquid withdrawals*.

g. Pengelolaan air asam tambang dengan menggunakan up-flow anaerobic multiple-bed (UAMB) reactor

Aktivitas bakteri pereduksi sulfat dapat kita amati ditandai dengan adanya endapan hitam (besi sulfida). Reaktor UAMB terbuat dari plexiglass yang terdiri dari dua bagian: fluidized bed dan fixed bed. Pada bagian bawah reaktor di lapiasi dengan baller ring yang terbuat dari PVC non-porous dan bagian atas reaktor diisi dengan packing particles yang terbuat dari keramik. Reaktor ini dilengkapi dengan total tujuh port untuk sampling disepanjang reaktor secara vertikal. Thermostatically controlled heating element pada reaktor digunakan untuk menjaga temperatur reaktor.

h. Pengelolaan air asam tambang dengan menggunakan *Passive Sulfate-Reducing Bioreaktor*

Percobaan skala laboratorium dengan mengidentifikasi sumber karbon sederhana dan kompleks sebagai donor elektron untuk pereduksi sulfat yang dapat menghilangkan kandungan logam cadmium (Cd) dan seng (Zn). Efisiensi dari Passive Sulfate-Reducing Bioreaktor bergantung terhadap jumlah konsentrasi logam dan sumber karbon, keberadaan bakteri pereduksi sulfat, suhu, serta waktu retensi hidrolis. Ketersediaan karbon sangat mempengaruhi pertumbuhan dan aktivitas bakteri. Jumlah karbon yang terdapat dalam air asam tambang biasanya sangat rendah (< 10 mg/L).

i. Pengelolaan Air Asam Tambang dengan menggunakan *Sodium Alginate Immobilized Sulfat Reducing Bacteria*

Pada metode ini bakteri pereduksi sulfat yang digunakan dipreparasi dalam bentuk immobilized SRB beads lalu dianalisis komposisi unsur dan morfologinya dengan menggunakan FESEM-EDX. Metode ini sangat menyarankan penggunaan bakteri pereduksi sulfat untuk melakukan remediasi media yang mengandung konsentrasi Zn awal yang tinggi mencapai 260 mg/L.

j. Pengelolaan Air Asam Tambang Dengan Menggunakan *the Presence of Zero Valent Iron*

Konsentrasi logam berat sangat mempengaruhi efektifitas bakteri dalam mereduksi sulfat dimana dengan adanya penambahan zero valent iron (ZVI) mengurangi toksisitas logam berat terhadap bakteri pereduksi sulfat. Bakteri pereduksi sulfat yang ditambahkan ZVI mampu mengurangi sulfat mencapai 81,4%. Kehadiran logam berat akan menonaktifkan enzim, mendenaturasi protein, dan bersaing dengan kation esensial, mengurangi aktivitas bakteri pereduksi sulfat dan memperpanjang waktu jeda system [11].

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada waktu untuk aktivitas kultur bakteri pereduksi sulfat pada sistem selama proses operasi 240 jam. Waktu jeda meningkat secara bertahap dengan meningkatnya konsentrasi logam berat, menunjukkan bahwa penghambatan aktivitas bakteri pereduksi sulfat oleh logam berat dapat terjadi dengan peningkatan konsentrasi logam berat terlarut. Kelebihan dan kekurangan metode dapat dilihat pada **TABEL 1.** dibawah ini:

TABEL 1. Kelebihan dan Kekurangan Metode

Referensi	Metode	Kelebihan	Kekurangan
[24]	Injeksi substrat kedalam subsurface	Konsisten dan reliable	Waktu retensi yang cukup lama
[4], [25]	Permeable reactive barriers	Meningkatkan biomassa dibandingkan metode yang lain	Berpotensi terjadinya pencemaran diakibatkan oleh metal presipitat
[9]	Infiltration beds	Second waste lebih mudah dikendalikan	Membutuhkan tekanan yang cukup tinggi
[17]	Anoxic Ponds	Tidak terjadi compacting sludge	Efektivitas rendah
[15]	wetland	Tidak membutuhkan pengawasan yang intens	Membutuhkan area yang cukup luas
[5],[6]	<i>Anaerobic Stirred Batch Reactor (ASBR)</i>	Tidak terjadinya penggumpalan	Membutuhkan energi yang cukup besar
[7], [8]	Up-flow anaerobic multiple-bed (UAMB) reaktor	Gaya geser yang cukup rendah	Volume input kecil
[12], [13], [18], [19], [20]	Passive Sulfate-Reducing Bioreaktor	Tidak terjadi compacting sludge	Rentan terjadi perubahan influent
[10]	<i>Sodium Alginate Immobilized Sulfat Reducing Bacteria</i>	Rating pengelolaan yang tinggi	Memerlukan effort yang besar dalam memodifikasi BPS
[1], [2], [11]	The Presence of Zero Valent Iron	Kemampuan untuk memulihkan logam berat tinggi	Terjadi jeda waktu dalam proses pengolahan

11.5 KESIMPULAN

Pengelolaan air asam tambang dengan menggunakan reaktor yang dimodifikasi dengan bantuan bakteri pereduksi sulfat lebih efektif dari pada menggunakan pengolahan pasif dikarenakan penghapusan sulfat yang dilakukan oleh bakteri pereduksi sulfat lebih optimal dibandingkan dengan metode pasif. Namun pemanfaatan reaktor membutuhkan biaya yang mahal dan maintenance yang lebih intens dibandingkan pengolahan pasif.

11.6 UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan paper ini melibatkan bantuan beberapa pihak khususnya kepada Prodi Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ayala-Parra, P., Sierra-Alvarez, R., & Field, J. A. 2016. Treatment of acid rock drainage using a sulfate-reducing bioreactor with zero-valent iron. *Journal of Hazardous Materials*, 308, 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.01.029>

- [2] Bai, H., Kang, Y., Quan, H., Han, Y., Sun, J., & Feng, Y. 2013. Treatment of acid mine drainage by sulfate reducing bacteria with iron in bench scale runs. *Bioresource Technology*, 128, 818–822. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.070>
- [3] Barton, L. L., & Fauque, G. D. 2009. Chapter 2 Biochemistry, Physiology and Biotechnology of Sulfate-Reducing Bacteria. In *Advances in Applied Microbiology* (1st ed., Vol. 68, Issue 09). Elsevier Inc. [https://doi.org/10.1016/S0065-2164\(09\)01202-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2164(09)01202-7)
- [4] Benner, S. G., Blowes, D. W., Ptacek, C. J., & Mayer, K. U. 2002. Rates of sulfate reduction and metal sulfide precipitation in a permeable reactive barrier. *Applied Geochemistry*, 17(3), 301–320. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(01\)00084-1](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(01)00084-1)
- [5] Bernat, K., Zielinska, M., Kulikowska, D., Cydzik-Kwiatkowska, A., & Wojnowska-Baryla, I. 2010. Effectiveness and kinetics of ammonium removal from anaerobic sludge digester supernatant. *Journal of Biotechnology*, 150, 252–252. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2010.09.130>
- [6] Christensen, B., Laake, M., & Lien, T. 1996. Treatment of acid mine water by sulfate-reducing bacteria. Results from a bench scale experiment. *Water Research*, 30(7), 1617–1624. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(96\)00049-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(96)00049-8)
- [7] Dvorak, D. H., Hedin, R. S., Edenborn, H. M., & McIntire, P. E. 1992. Treatment of metal-contaminated water using bacterial sulfate reduction: Results from pilot-scale reactors. *Biotechnology and Bioengineering*, 40(5), 609–616. <https://doi.org/10.1002/bit.260400508>
- [8] Foucher, S., Battaglia-Brunet, F., Ignatiadis, I., & Morin, D. 2001. Treatment by sulfate-reducing bacteria of Chessy acid-mine drainage and metals recovery. *Chemical Engineering Science*, 56(4), 1639–1645. [https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(00\)00392-4](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(00)00392-4)
- [9] Glombitza, F. 2001. Treatment of acid lignite mine flooding water by means of microbial sulfate reduction. *Waste Management*, 21(2), 197–203. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(00\)00061-1](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(00)00061-1)
- [10] Gopi Kiran, M., Pakshirajan, K., & Das, G. 2018. Heavy metal removal from aqueous solution using sodium alginate immobilized sulfate reducing bacteria: Mechanism and process optimization. *Journal of Environmental Management*, 218, 486–496. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.020>
- [11] Guo, J., Kang, Y., & Feng, Y. 2017. Bioassessment of heavy metal toxicity and enhancement of heavy metal removal by sulfate-reducing bacteria in the presence of zero valent iron. *Journal of Environmental Management*, 203, 278–285. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.075>
- [12] Hamai, Takaya, Takuya Kadera, Yuki Sato, Kousuke Takamoto, M. I., Kazunori Hatsuya, K. H., Tendo, H., Sunada, K., & Mikio Kobayashi, Masatoshi Sakoda, Takeshi Sakata, N. M. 2015. The Sequential Experiments of Passive Treatment System Using Bioreactor for Acid Mine Drainage in Japan. *International Conference on Acid Rock Drainage & IMWA Annual Conference*, 1–9.
- [13] Hammack, R. W., Edenborn, H. M., & Dvorak, D. H. 1994. Treatment of water from an open-pit copper mine using biogenic sulfide and limestone: A feasibility study. *Water Research*, 28(11), 2321–2329. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(94\)90047-7](https://doi.org/10.1016/0043-1354(94)90047-7)
- [14] Kaksonen, A. H., & Puhakka, J. A. 2007. Sulfate reduction based bioprocesses for the treatment of acid mine drainage and the recovery of metals. *Engineering in Life Sciences*, 7(6), 541–564. <https://doi.org/10.1002/elsc.200720216>
- [15] Martins, M., Faleiro, M. L., Barros, R. J., Veríssimo, A. R., & Costa, M. C. 2009. Biological sulphate reduction using food industry wastes as carbon sources. *Biodegradation*, 20(4), 559–567. <https://doi.org/10.1007/s10532-008-9245-8>
- [16] Mayes, W. M., Davis, J., Silva, V., & Jarvis, A. P. 2011. Treatment of zinc-rich acid mine water in low residence time bioreactors incorporating waste shells and methanol dosing. *Journal of Hazardous Materials*, 193, 279–287. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.07.073>
- [17] Nancucheo, I., & Johnson, D. B. 2012. Selective removal of transition metals from acidic mine waters by novel consortia of acidophilic sulfidogenic bacteria. *Microbial Biotechnology*, 5(1), 34–44. <https://doi.org/10.1111/j.1751-7915.2011.00285.x>
- [18] Neculita, C. M., Zagury, G. J., & Bussière, B. 2008. Effectiveness of sulfate-reducing passive bioreactors for treating highly contaminated acid mine drainage: II. Metal removal mechanisms and potential mobility. *Applied Geochemistry*, 23(12), 3545–3560. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2008.08.014>
- [19] Neto, E. S., Aguiar, A. B., Rodriguez, R. P., & Sancinetti, G. P. 2018. Acid Mine Drainage Treatment and Sulfate-Reducing Process. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 35(02), 543–552.
- [20] Nielsen, G., Coudert, L., Janin, A., Blais, J. F., & Mercier, G. 2019. Influence of Organic Carbon Sources on Metal Removal from Mine Impacted Water Using Sulfate-Reducing Bacteria Bioreactors in Cold Climates. *Mine Water and the Environment*, 38(1), 104–118. <https://doi.org/10.1007/s10230-018-00580-3>

- [21] Pagnanelli, F., Cruz Viggi, C., Cibati, A., Uccelletti, D., Toro, L., & Palleschi, C. 2012. Biotreatment of Cr(VI) contaminated waters by sulphate reducing bacteria fed with ethanol. *Journal of Hazardous Materials*, 199–200, 186–192. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.10.082>
- [22] Sahinkaya, E., Gunes, F. M., Ucar, D., & Kaksonen, A. H. 2011. Sulfidogenic fluidized bed treatment of real acid mine drainage water. *Bioresource Technology*, 102(2), 683–689. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.08.042>
- [23] Sheoran, V, A. S. Sheoran, P. P. 2010. Soil Reclamation of Abandoned Mine Land by Revegetation: A Review. *International Journal of Soil, Sediment and Water*, 3(2), 11–13.
- [24] Tsukamoto, T. K., & Miller, G. C. 1999. Methanol as a carbon source for microbiological treatment of acid mine drainage. *Water Research*, 33(6), 1365–1370. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00342-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00342-X)
- [25] Waybrant, K. R., Blowes, D. W., & Ptacek, C. J. 1998. Selection of reactive mixtures for use in permeable reactive walls for treatment of mine drainage. *Environmental Science and Technology*, 32(13), 1972–1979. <https://doi.org/10.1021/es9703335>
- [26] Zhao, Y., Ren, N., & Wang, A. 2008. Contributions of fermentative acidogenic bacteria and sulfate-reducing bacteria to lactate degradation and sulfate reduction. *Chemosphere*, 72(2), 233–242. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.01.046>

Estimasi Sumberdaya Batubara berdasarkan Uji Prospek Beralasan Kode KCMI 2017

Eko Wicaksono¹,

¹Magister Mining Engineering, Faculty of Mineral Technology, UPN Veteran Yogyakarta, Jl. SWK No.104 (Lingkar Utara), Ngropoh, Condongcatur, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

¹Corresponding author: ekowicaksono.ew@gmail.com

Abstrak. Uji Prospek Beralasan adalah dasar penting untuk implementasi yang efektif dari Kode KCMI karena berlaku untuk Sumber Daya Mineral, dan secara implisit untuk Cadangan Mineral yang berasal dari Sumber Daya Mineral. Implementasi ini mengikuti prinsip dasar materialitas, transparansi, dan kompetensi. Definisi KCMI tentang Sumber Daya Mineral secara khusus mencakup Uji Prospek Beralasan. KCMI memberikan panduan untuk semua mineral tentang arti Uji Prospek Beralasan. KCMI menginstruksikan Orang Kompeten bahwa Uji Prospek Beralasan harus ditunjukkan melalui penilaian yang beralasan dari berbagai parameter teknis dan ekonomis. Pada penelitian ini memberikan praktek Uji prospek beralasan pada estimasi sumberdaya batubara sesuai yang di syaratkan dalam kode KCMI 2017.

Kata Kunci: Kode Pelaporan, Sumberdaya Mineral, Definisi, KCMI

Abstract. Reasoned Lead Test is an essential basis for effective implementation of the KCMI Code as it applies to Mineral Resources, and implicitly to **Mineral Reserves** derived from Mineral Resources. This implementation follows the basic principles of materiality, transparency, and competence. KCMI's definition of Mineral Resources specifically includes Reasoned Spec Tests. KCMI provides guidance for all minerals on the meaning of Reasoned Prospect Test. KCMI instructs the Competent Person that the Reasoned Lead Test must be demonstrated through a reasoned assessment of various technical and economic parameters. This study provides a reasoned prospect test practice on coal resource estimates as required in the 2017 KCMI code.

Keywords: Reporting Code, Mineral Resources, Definition, KCMI

12.1 PENDAHULUAN

Standard yang digunakan dalam pelaporan sumber daya yang disajikan dalam penelitian ini mengacu pada istilah dan definisi yang terdapat pada kode “Pelaporan Hasil Eksplorasi, Sumber daya Mineral dan Cadangan Bijih Indonesia” – Komite Cadangan Mineral Indonesia” [1] yang diterbitkan oleh Komite Bersama Ikatan Ahli Geologi Indonesia dan Perhimpunan Ahli Pertambangan Indonesia (PERHAPI). Mengacu pada kode KCMI, pasal 19 “Sumber daya Mineral adalah suatu konsentrasi atau keterjadian dari material yang memiliki nilai ekonomi pada atau di atas kerak bumi, dengan bentuk, kualitas dan kuantitas tertentu yang memiliki keprospekan beralasan untuk pada akhirnya dapat diekstraksi secara ekonomis. Lokasi, kuantitas, kadar, karakteristik geologi dan kemenerusan dari Sumber daya Mineral harus diketahui, diestimasi atau diinterpretasikan berdasar bukti-bukti dan pengetahuan geologi yang spesifik, termasuk pengambilan contohnya [2]. Sumber daya Mineral dikelompokkan lagi berdasar tingkat keyakinan geologinya, kedalam kategori Tereka, Tertunjuk dan Terukur”.

Mengacu pada ketentuan tersebut di atas, maka estimasi sumber daya batubara untuk setiap kategori harus memiliki “keprospekan beralasan untuk pada akhirnya dapat diekstraksi secara ekonomis”, sementara untuk kategori sumber daya terukur dan tertunjuk estimasi harus mempertimbangkan aplikasi perencanaan dan biaya-biaya penambangan[3].

Untuk keperluan uji prospek beralasan, beberapa parameter tambang dan ekonomis perlu diasumsikan untuk

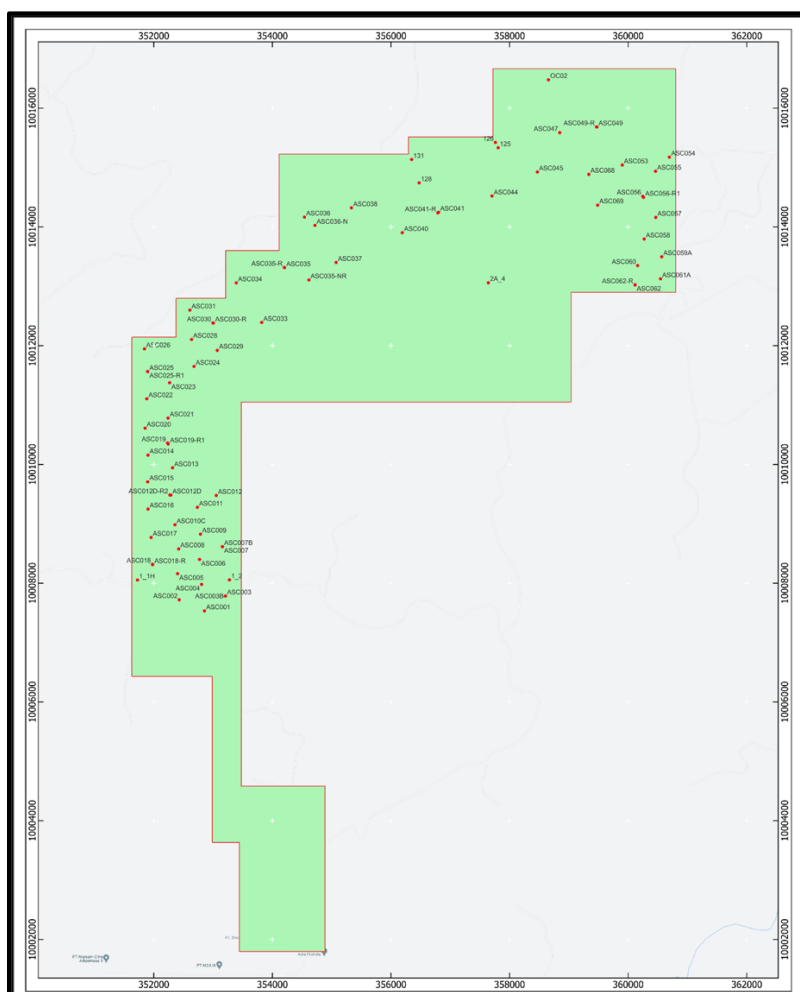
menentukan batas-batas fisik estimasi.

12.2 METODE DAN DATA PENDUKUNG

Semua data yang diperiksa dan divalidasi dalam penentuan sumber daya ini dikompilasi dari hasil eksplorasi yang dilakukan. validasi data eksplorasi dan topografi telah dilakukan untuk menentukan apakah dapat digunakan atau tidak di dalam proses pembuatan model geologi. Kegiatan eksplorasi juga didukung oleh kegiatan lainnya yakni logging geofisika, pengambilan conto kualitas batubara, survei topografi dan survei titik bor. Semua lubang bor dilakukan logging geofisika, sedangkan untuk topografi menggunakan topo lidar. Rekapitulasi data bor yang digunakan adalah sebagai berikut :

TABEL 1. Rekapitulasi data bor

Period	Open Hole	Bor Inti	Jumlah Bor	Jumlah Logging	Bor di IUP CEP	Bor di Model	Total Depth
2007	230	77	307	219	64	10	4,090
2012	0	67	67	62	67	67	4,236



GAMBAR 1. Sebaran data bor

Pemodelan geologi dibuat dengan bantuan software Minex. Model struktural dibuat dalam bentuk grid model untuk semua seam. Seam pinch out diteruskan pada default setting dengan dibentuk zero thickness untuk memastikan seam batubara hanya dimodel diarea yang terdapat data sehingga tidak menghasilkan model structural yang overestimate.

Model geologi structural dibuat berdasarkan data-data bor kualitas seam batubara dalam basis komposit. Kontur dan posting data kualitas dibuat untuk memastikan model reasonable dengan data originalnya.

Parameter kualitas yang dimodelkan meliputi :

- Total Moisture (TM)
- Proximate
- Total Sulfur (TS)
- Calorific Value (CV)
- Relatif Density (RD)
- Insitu Density (IRD)

Kode KCMI, Pasal 19: Istilah “prospek yang beralasan yang pada akhirnya dapat diekstraksi secara ekonomis” menunjukkan suatu penilaian (walau masih tingkat awal) oleh CPI dalam kaitannya dengan factor keteknikaan dan keekonomian yang mungkin mempengaruhi keprospekanekstraksi secara ekonomis, termasuk perkiraan parameter penambangan. Dengan kata lain, Sumber daya Mineral bukan merupakan inventori dari semua mineralisasi yang telah dibor atau diambil contohnya, terlepas dari kadar minimumnya (cut off grade), kemungkinan dimensi penambangannya, lokasi atau kemenerusannya. Sumber daya Mineral merupakan inventori mineralisasi yang realistis, dimana dibawah kondisi keekonomian dan keteknikaan yang dapat dsiasumsikan dan dibenarkan, baik secara menyeluruh ataupun sebagian, dapat diekstraksi secara ekonomis [4].

Bagian dari batubara atau deposit yang tidak memiliki prospek beralasan yang pada akhir dapat diekstraksi secara ekonomis harusnya tidak dimasukkan dan sumber daya. Adapun batasan yang digunakan adalah seperti yang terlihat pada **TABEL 2** di bawah.

TABEL 2. Batasan Uji Prospek Beralasan

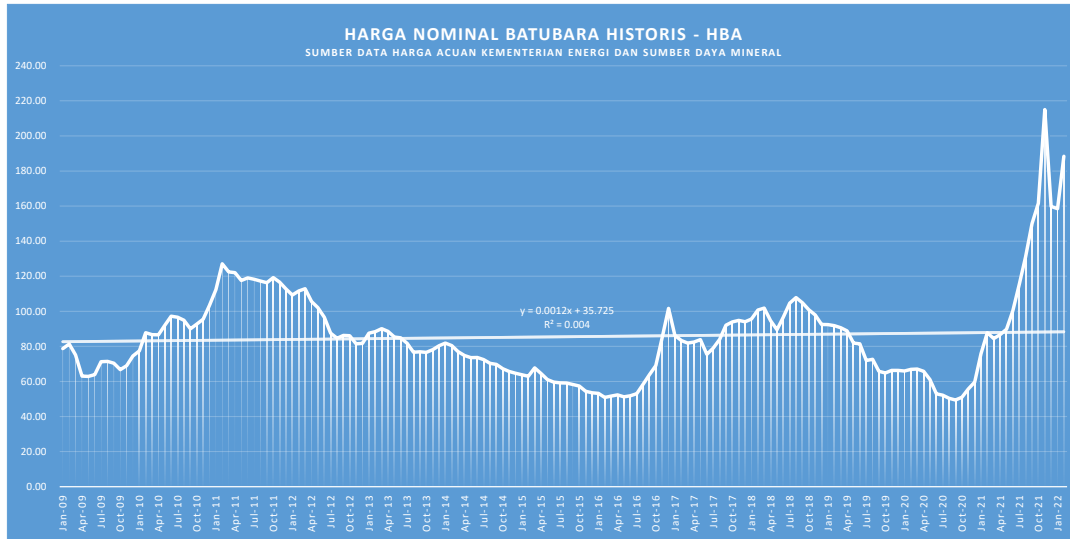
Kategori	Batasan	Penjelasan
Batasan geografis	Batas Konsesi	Menggunakan batas konsesi hasil terakhir
	Batas model geologi	Batas model geologi adalah batasan ekstrapolasi data terluas sejauh 2 km
	Batas Sungai	Batas sungai kecil – besar yang tidak bisa dilakukan pemindahan.
Batasan Teknis	Kedalaman akhir tambang ≤ 60 m	Menggunakan data hasil analisa geoteknik terhadap kemungkinan kedalamn tambang berdasarkan faktor keamanan (FK), kedalaman 60 m adalah dari permukaan atau topografi original.
	Break Even Stripping Ratio	Menggunakan hasil optimasi yang dilakukan dengan acuan NPV > 0
Batasan Ekonomi	Penentuan harga adalah berdasarkan harga tertinggi dalam kurun waktu 5 tahun sebelumnya	Dasar penentuan ini menggunakan analisa linier dengan asumsi harga tidak pernah mencapai titik tertinggi seperti 5 tahun sebelumnya di dalam 20 tahun yang akan datang. Kecuali tahun 2022

12.3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan uji prospek beralasan, penulis telah melakukan kalkulasi *Break Even Strip Ratio* (BESR) dan pit optimasi untuk menghasilkan berbagai *pit shell* pada *incremental strip ratio*.

1. Kalkulasi *Break even Striping Ratio* (BESR)

Penulis melakukan simulasi untuk estimasi nilai BESR berdasarkan pada biaya operasional, nilai BESR didapatkan ketika total biaya operasional sama dengan asumsi harga batubara. Dalam hal asumsi harga batubara untuk penentuan sumber daya ini, penulis menggunakan Harga Patokan Batubara (HPB) tertinggi berdasarkan kualitas dan spesifikasi tiap sub blok selama kurun waktu lima (5) tahun terakhir berdasarkan data yang diperoleh dari laporan Harga Batubara Acuan (HBA) dan Harga Patokan Batubara (HPB) yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara, Kementerian Energi dan Sumber daya Mineral.



GAMBAR 2. Grafik Harga Batubara Acuan

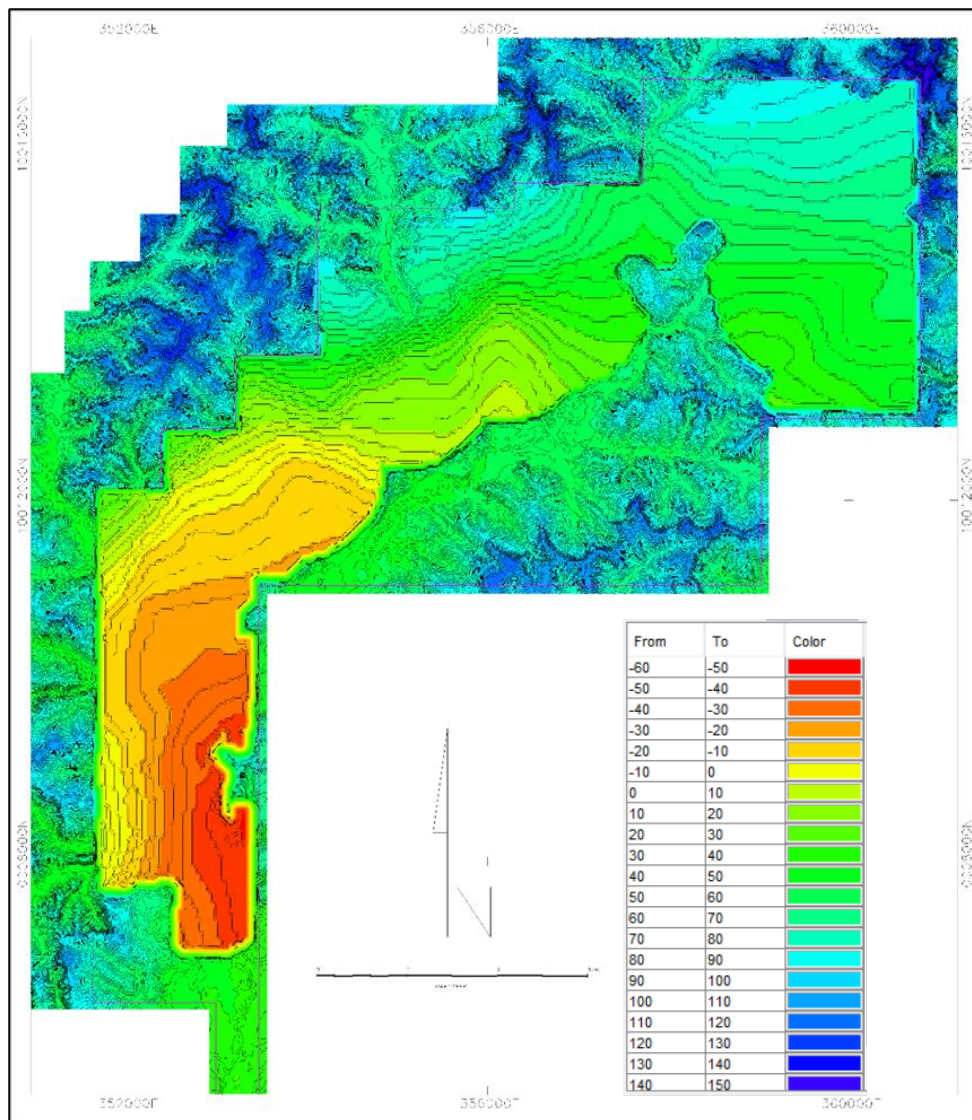
Dilihat dari grafik di atas terlihat bahwa harga tertinggi pertama adalah pada tahun 2011, dan mulai saat itu harga batubara mengalami penurunan yang cukup signifikan dan direntang waktu 2016 hingga 2018 kembali mengalami kenaikan tetapi tidak dapat mencapai angka tertinggi seperti tahun 2011 meski pada tahun 2022 harga melonjak naik dalam sejarah pertambangan batubara. Harga tahun 2022 tidak bisa dijadikan patokan karena hal ini merupakan anomaly harga yang dipengerahui oleh situasi ekonomi dan politik dunia. Atas dasar tersebut maka HBA yang digunakan dalam estimasi adalah 110 US\$ Dollar, diprediksi harga batubara untuk tahun mendatang tidak akan jauh bergerak dari harga 5 tahun terakhir. Dari *coal price* tersebut akan didapatkan nilai BESR sumber daya sebesar 13.15 seperti terlihat pada tabel dibawah 3.

TABEL 3. Hasil Kalkulasi BESR

Pit to Vessel Cost - CEP Coal Project			
Revenue			
Coal sales Price	\$US/t		\$51.92
Costs (less Waste)			
Direct Cost			
Mining Cost			
Overburden Mining (Mining Cost)	\$US/t	2.27	
Overburden Overhaul (Mining Cost)	\$US/t	0.90	
Coal Production	\$US/t	1.00	1.00
Coal Hauling (Pit To Inpit ROM) - 29 Km (Weighted Avg Distance North & West Pit)	\$US/t	3.86	3.86
Regional Gov't Royalties	\$US/t	0%	2.07
Total Mining Cost			6.83
Crushing Cost			
Coal Crushing & Loading	\$US/t	1.50	1.50
Surveyor	\$US/t	0.20	0.20
Stockpiling Mgmt Fee	\$US/t	0.00	0.00
VAT 10%	\$US/t	0.17	0.17
Total Crushing Cost			1.87
Port Cost			
Coal Barging to Transhipment Point (VAT 11%)	\$US/t	8.00	8.00
Stevedoring (VAT 11%)	\$US/t	1.50	1.50
VAT	\$US/t	1.05	1.05
Total Port Cost			10.55
Total Direct Cost			19.35
Indirect Cost			
Operating Expenses			
GA (Salary, Camp Accomodation, Office Admin)	\$US/t	1.50	1.50
Community Development	\$US/t	0.10	0.10
Rehabilitation	\$US/t	0.20	0.20
Land Compensation	\$US/t	0.10	0.10
Others	\$US/t	0.10	0.10
1.5% Export TAX	\$US/t	1.5%	0.75
			2.75
Total Unit Cost of Production excluding Waste			\$ 22.12
Revenue-(Costs exclud waste)	\$US/t		\$29.80
Waste Costs			
INCREMENTAL BREAK-EVEN STRIP RATIO		\$US/bcm	SR 13.15

Penentuan harga seperti penjelasan di atas pada akhirnya digunakan untuk proses optimasi untuk menentukan *Pit Shell* dalam hal penentuan batas keekonomian berdasarkan nilai *stripping ratio*. *Pit shell* yang mencerminkan nilai *stripping ratio* telah dibuat untuk menentukan potensi tonase batubara in-situ di wilayah penelitian dengan menggunakan perangkat lunak *Minex Optimiser* versi yang menerapkan algoritma Lerchs Grossman. Metoda ini telah digunakan secara luas oleh industri tambang batubara dan sangat efisien untuk memilih batas pit yang memiliki prospek ekonomis (BESR) maupun yang mempunyai nilai ekonomis (*margin ranking*).

Setelah dilakukan optimasi hingga 200% dari harga yang ditentukan, didapatkan lah optimasi OPT-200 yang secara hitungan insitu resources tanpa menggunakan klasifikasi didapat SR yang mendekati dari nilai BESRnya 13.15 . Optimasi OPT-200 ini nantinya akan dijadikan *bottom surfaces* estimasi menggunakan klasifikasi sumber daya.



GAMBAR 3. Pitshell OPT-200

2. Konstruksi Daerah Poligon Sumber daya

Poligon-poligon sumber daya batubara dikonstruksi menggunakan informasi yang dikumpulkan dari titik-titik pengamatan

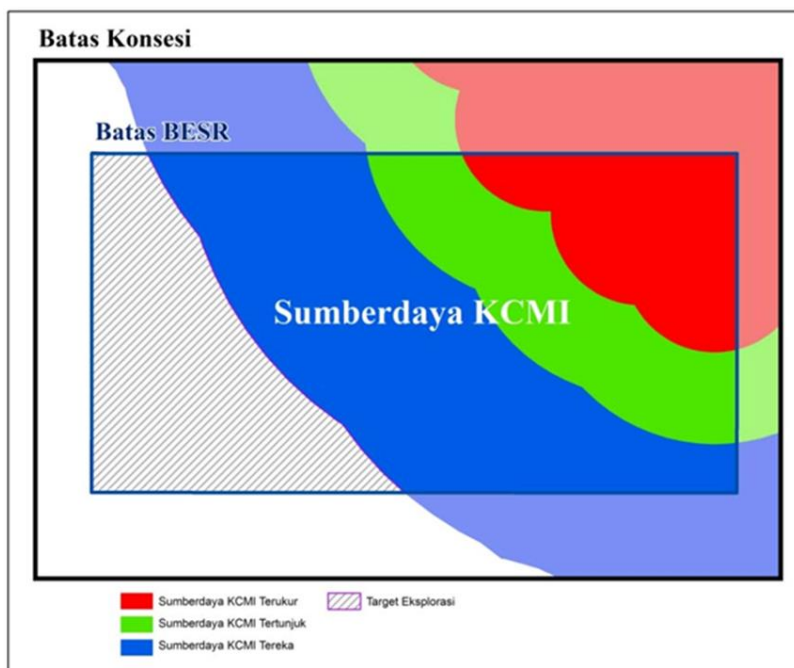
Jarak informasi antar titik-titik pengamatan yang digunakan dalam estimasi sumber daya didasarkan kepada tingkat kompleksitas geologi sesuai dengan kaidah SNI seperti pada **TABEL 4**.

TABEL 4. Penilaian Kompleksitas Geologi

Parameter	Kondisi Geologi Menurut SNI 5015-2019		
	Sederhana	Moderate	Kompleks
I. A Sedimentasi			
1. Variasi Ketebalan	- Secara statistik ketebalan seam di area PT Cristian Eka Pratama kecenderungan mempunyai sedikit variasi		
2. Kesenambungan	- Area PT Cristian Eka Pratama merupakan area monoklin dan mempunyai kesenambungan yang cukup baik hingga 14 km hal ini bisa dilihat pada seam major seam A		
3. Percabangan	- dari satu seam yang ada tidak mempunyai percabangan		
I. B Tektonik			
1. Sesar	- PT Cristian Eka Pratama secara tektonik merupakan area yang tidak aktif, sehingga tidak ditemukan indikasi patahan atau sesar		
2. Lipatan	- Batubaranya terlipat lemah dengan dip yang sangat landai		
3. Intrusi	- tidak ditemukan intrusi		
4. kemiringan	- Cenderung sangat landai		
II. Variasi Kualitas	- Seam yang ada tidak ada variasi kualitas malah cenderung sama		
Jarak Pengaruh Sumber Daya	terukur 250 m, tertunjuk 500 m, tereka 1.000 m Sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI 5015-2019)		

Berdasarkan penilaian diatas bahwa Sumber Daya dinilai dari aspek tektonik dan sedimentasi serta variasi kualitas sebagai parameter dalam pengelompokkan kompleksitas geologi dan persyaratan jarak titik informasi mempunyai kompleksitas geologi sederhana sehingga jarak pengaruh sumber daya terukur 250 meter, terindikasi 500 meter dan tereka 1000 meter. Jarak radius pengaruh yang ditentukan berdasarkan keyakinan geologi adalah setengah (1/2) dari jarak spasi titik-titik pengamatan untuk terukur dan tertunjuk dan dua pertiga (2/3) dari jarak spasi untuk tereka dengan menggunakan jarak informasi rata – rata data drilling.

Daerah sumber daya untuk masing-masing kategori dikonstruksi dengan membuat perpotongan batas – batas polygon yang dibuat dengan *pit shell* atau hasil optimasi yang dipilih. Setelah penentuan daerah polygon sumber daya selesai, daerah – daerah sumber daya akhir (sebenarnya) untuk setiap kategori ditentukan sebagai daerah perpotongan dengan *pit shell* yang ditentukan yang merupakan hasil *pit optimasi*. Hanya tonase dan kualitas batubara didaerah poligon sumber daya yang terdapat di dalam batas *pit shell* yang dipilih dan ditentukan sebagai sumber daya tereka, tertunjuk dan terukur. Daerah yang diluar batas tereka tapi masih di dalam batas *pit shell* yang dipilih dapat dinyatakan sebagai status target eksplorasi lanjutan.



GAMBAR 4. Hubungan antara daerah sumber daya dengan batas BESR

3. Estimasi Sumberdaya

Dalam menentukan tonase batubara disetiap kategori sumber daya, parameter-parameter berikut telah digunakan dalam estimasi :

- Model geologi dibatasi dengan zona pelapukan, area mineout dan area endapan alluvial seperti endapan *recent rawa*[5].
- Ketebalan batubara 0.3 m digunakan sebagai batas ketebalan minimum untuk estimasi sumber daya[6].
- Parting dengan ketebalan kurang dari 0.10 m dimasukkan sebagai interval batubara.
- Topografi yang digunakan dalam pemodelan geologi adalah topografi *ground survey*, yang mana merupakan topo awal dan digunakan untuk pemodelan.
- Berat jenis batubara *in-situ density* digunakan untuk menghasilkan tonase batubara. *Relative density* yang berdasarkan basis "*air dried*" telah dikonversi ke *in-situ density* dengan menggunakan persamaan Preston-Sanders [7].

Hasil estimasi telah dibulatkan terhadap nilai terdekat dalam kilo ton (Kt) untuk mencerminkan tingkat presisi dalam estimasi, selain itu Hasil estimasi sumber daya yang dilakukan tidak menjadi bagian dari estimasi cadangan.

TABEL 5 menunjukkan estimasi sumber daya yang sudah dilakukan.

TABEL 5. Hasil Estimasi Sumberdaya Batubara

Kategori Sumberdaya KCMi	Seam	Luas (Ha)	Tebal	Sumberdaya (Juta ton)	TM (%ar)	IM (%adb)	ASH (%adb)	VM (%adb)	FC (%adb)	TS (%adb)	CV adb (%adb)	CV gar kcal/kg	RD gr/cc	ID gr/cc
Terukur	A	547.30	6.17	42.20	38.30	16.10	4.10	38.20	41.60	0.12	5430	3997	1.37	1.25
Tertunjuk	A	1,212.43	3.84	57.95	39.00	15.50	5.20	37.80	41.50	0.15	5387	3884	1.38	1.24
Tereka	A	803.64	3.43	34.38	38.90	15.40	5.30	37.80	41.50	0.15	5384	3888	1.38	1.25
Total				134.53	38.75	15.66	4.88	37.93	41.53	0.14	5400	3920	1.38	1.25

12.4 KESIMPULAN

Kode KCMi 2017 mensyaratkan bahwa Sumber Daya Mineral bukan merupakan inventarisasi semua area didalam suatu konsesi, tetapi prinsip kelayakan digunakan dan harus dapat ditinjau dan dipertahankan. Batasan area sumberdaya harus dapat dinilai berdasarkan prospek dikemudian hari yang kemungkinan akan terjadi terutama kaitannya terhadap kajian ekonomi.

12. 5 UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan paper ini tidak terlepas dukungan dari berbagai pihak khususnya Kepada Prodi Magister Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kode KCMII 2017. 2017, Kode Pelaporan Hasil Eksplorasi, Sumberdaya Mineral dan Cadangan Mineral Indonesia.
- [2] Duggan, S., Grills, A., Stiefenhofer, J., & Thruston, M. ,2017., Development of a best practice mineral resource classification system for the De Beers group of Companies, Journal of Southern African Institute of Mining & Metallurgy, Vol. 117, p. 1127-1132.
- [3] Eugene, B.A., Ottot, R., Tarrant, E., Yashar, P., 2016. Strategic Mining Options Optimization : Open pit mining, underground mining or both. International Journal of Mining Science and Technology.
- [4] Gideon, N., Michelle, N., 2018. Open pit Optimization Processes of Okobo Coal Mine – Strategic for Improving the Economics of Mining Projects with Special Utilization of Minex Optimizer Programme, International Journal of Scientific & Technology Research, Vol. 7, issue. , p. 105-113.
- [5] Lock, N., 2020. RPEE (Reasonable Prospect for Eventual Economic Extraction): The critical core to the SAMREC Code, Journal of Southern African Institute of Mining & Metallurgy, Vol. 120, p. 497-507.
- [6] Moorhouse, Sam., 2012. Geological Assessment and Resources Estimation of coal deposits and their influence on mine design, p. 9-12.
- [7] Noppe, M.A., 2014. Communicating Confidence in Mineral Resources and Mineral Reserves, Journal of Southern African Institute of Mining & Metallurgy, Vol. 114, p. 213-222.
- [8] Otto, J., 2019. Resources and Reserves : thoughts on their evolution, Mineral Economics.
- [9] Roux, L., 2021. Density-A Contentious issue in the evaluation and determination of Resources and Reserves in coal deposits, Journal of Southern African Institute of Mining & Metallurgy, Vol. 121, p. 227-250.
- [10] Rupprecht, S.M., 2015. Compliance and the SAMREC Code, MPES2015- Smart Innovating in Mining, p. 1-8.
- [11] Sides, E., Henley, S., Allington, R., 2020. A European Perspective on Evolving Standards for Public Reporting on Mineral Exploration Results, Mineral Exploration Symposium, p. 31-33.
- [12] Kepala Badan Standardisasi Nasional, 2019, SNI 5015:2019 Tentang Pedoman pelaporan hasil eksplorasi, sumberdaya dan cadangan batubara, Jakarta: BSN.

Tinjauan Literatur Identifikasi dan Potensi *Rare Earth Element*

Epafra Meihaga^{1, a)} and Waterman Sulistyana Bargawa²

¹⁻²Program Magister Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta Jl. SWK No.104 (Lingkar Utara), Ngropoh, Condongcatur, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

^{a)}Corresponding author: epafraimeihaga@gmail.com

Abstrak. Seiring berkembangnya teknologi yang semakin pesat, kebutuhan akan logam tanah jarang (*rare earth element*-REE) sebagai salah satu material yang dibutuhkan untuk suatu produk industri tertentu makin meningkat pula [12]. Saat ini ditemukan beberapa hasil penelitian yang membahas *rare earth element* dengan tujuan untuk mengeksplorasi keberadaan komoditas tersebut. Dalam penelitian ini dilakukan tinjauan pustaka dari beberapa hasil penelitian untuk mengidentifikasi potensi REE di Indonesia. Indonesia memiliki potensi sumberdaya *rare earth element* cukup besar yang tersebar diberbagai daerah Peluang Indonesia menjadi pengembang komoditas *rare earth element* akan menjadi tren terbaru sebagai salah satu material yang dibutuhkan untuk suatu produk industri terkhusus pengembangan energi yang ramah lingkungan termasuk juga dalam bidang pertahanan.

Kata kunci: REE, sumberdaya, penambangan

Abstract. Along with the rapid development of technology, the need for rare earth elements (REE) as one of the materials needed for a particular industrial product is also increasing [12]. Currently, several research results are found that discuss rare earth elements with the aim of exploring the existence of these commodities. In this study, a literature review was conducted of several research results to identify the potential of REE in Indonesia. Indonesia has a large enough rare earth element resource potential spread in various regions Indonesia's opportunity to become a rare earth element commodity developer will be the latest trend as one of the materials needed for an industrial product, especially the development of environmentally friendly energy, including in the defense sector.

Keywords: REE, resource, mining

13.1 PENDAHULUAN

Unsur tanah jarang mulai ditambang pada tahun 1950-an. Pada era 1950-1960 pasokan unsur tanah jarang dunia berasal dari endapan Placer di USA bagian Tenggara. Setelah ditemukan deposit baru pada 1970an di Mountain Pass, California, pemenuhan kebutuhan unsur tanah jarang dunia didominasi dari wilayah ini. Australia juga sempat menjadi pemasok utama unsur tanah jarang hingga tahun 1990an. Memasuki abad 20, era penguasa unsur tanah jarang berganti ke wilayah China setelah ditemukannya deposit Bayan Obo, Mongolia yang sampai saat ini masih menjadi penyuplai utama kebutuhan unsur tanah jarang dunia.

Seiring berkembangnya teknologi yang semakin pesat, kebutuhan akan logam tanah jarang (*rare earth element*-REE) sebagai salah satu material yang dibutuhkan untuk suatu produk industri tertentu makin meningkat pula [12]. merespon kondisi pasar yang demikian bagusnya, berbagai negara disamping penghasil utama, Tiongkok, berlomba mencari potensi dan mengembangkan LTJ secara serius, seperti Amerika, Kanada, Jepang maupun negara-negara lainnya, tidak ketinggalan juga Indonesia. Khusus Jepang, Tiongkok, negara-negara Asia lainnya rupanya melihat Indonesia menjadi lokasi pilihan bagi investor atau para peminat dari negara-negara tersebut dalam mengembangkan komoditas LTJ [1]. Indonesia memiliki peluang sebagai negara yang berpotensi untuk menghasilkan REE (Setiawan, 2019), beberapa jenis batuan yang mengandung REE di Indonesia seperti granit, pegmatit metamorf, ultrabasa dan juga endapan alluvial [2].

13.2 METODE PENELITIAN

Literature review adalah menyediakan kerangka kerja berkaitan dengan temuan baru dan temuan sebelumnya guna mengidentifikasi indikasi ada atau tidaknya kemajuan dari hasil suatu kajian melalui penelitian komprehensif dan hasil interpretasi dari literatur yang berhubungan dengan topik tertentu dimana di dalamnya mengidentifikasi pertanyaan penelitian dengan mencari dan menganalisa literatur yang relevan menggunakan pendekatan sistematis [3]. Penelitian ini menggunakan desain tinjauan pustaka, kegiatan meringkas secara komprehensif dari

penelitian-penelitian sebelumnya. Pencarian literatur dilakukan melalui identifikasi kata kunci “*rare earth element*” memilih judul yang sesuai dengan judul penelitian ini. Selain itu, strategi pencarian dilakukan dengan melihat referensi dalam literatur terkait kemudian melakukan pencarian sebagai tambahan referensi.

13.3 HASIL DAN ANALISIS

Pada bagian ini akan menjelaskan tentang catatan-catatan penting tentang identifikasi dan potensi *rare earth element* dalam melakukan pengembangan dan penelitian kedepannya.

TABEL 1. Analisa data pada artikel yang digunakan dalam tinjauan pustaka.

Peneliti	Tujuan Penelitian	Hasil & Kesimpulan
[13]	Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi keberadaan dan menganalisis zona pengkayaan REE- <i>ion adsorption</i> .	Keberadaan REE tipe <i>ion adsorption</i> pada lempung di Pulau Bangka teridentifikasi pada daerah Muntok dan Lubuk Besar melalui sampel yang diambil dari produk lapukan granit berbentuk soil yang diambil pada tiap horizon tanah yang ada. Adanya perbedaan sumber batolit dari kedua sampel yaitu batolit Klabat untuk sampel Muntok dan batolit Bebulu untuk sampel Lubuk Besar, mengakibatkan perbedaan sumber batuan granit (batuan granitik pada daerah Muntok dan batuan granodiorit untuk daerah Lubuk Besar), membuat intensitas mineral lempung dan mineral lain yang ada pada produk lapukan menjadi berbeda-beda sehingga mempengaruhi proses dekomposisi REE bearing minerals dan proses adsorpsi REE pada lempung.
[14]	Penelitian ini mempelajari mengenai proses hidrotermal di daerah panasbumi pada busur gunungapi Tersier berdasarkan studi REE dari sampel batuan vulkanik dan fluida hidrotermal.	Jenis batuan vulkanik daerah penelitian meliputi lava basalt piroksen terubah dan andesit piroksen terubah. Batuan mengalami ubahan hidrotermal yang menghasilkan mineral kiorit kalsit, mineral opak, kalsedon (struktur coUoform banding) dan kuarsa. Mineral ubahan tersebut terbentuk pada temperatur sekitar 100°C dan hasil penghitungan geothermometer air panas diperoleh temperatur bawah permukaan sebesar 50°C. Anomali negatif Eu menunjukkan bahwa selama diferensiasi magma telah terjadi pembentukan plagioklas, kemudian plagioklas mengalami ubahan hidrotermal menjadi klorit terjadi anomali positif Eu. Konsentrasi La dan Ce relatif lebih tinggi pada batuan vulkanik yang terubah dibandingkan dengan LREE lainnya di lain piliak unsur REE bcrat (HREE) relatif menunjukkan penurunan. Demikian halnya anomali negatif Nd dan anomali positif Gd akibat interaksi batuan dengan fluida hidrotermal. Fluida panasbumi yang bertanggung jawab atas perubahan hidrotermal ini bersuhu 100°C.
[4]	Studi ini bertujuan untuk mengetahui kandungan REE yang terkandung dalam <i>tailing</i> penambangan timah di Pulau Singkep. Nilai REE ini kemudian dibandingkan dengan beberapa jenis batuan yang berada di Pulau Singkep.	Penggunaan saringan 80 mesh terbukti meningkatkan kadar unsur tanah jarang pada konsentrat setidaknya sepuluh kali lipat dibandingkan dengan keadaan normal penyangiran. Proses penyangiran <i>tailing</i> menjadi konsentrat terbukti telah meningkatkan jumlah REE, setidaknya hampir sepuluh kali dibandingkan sebelum menjadi konsentrat. Air meteorik diduga telah mengangkut sebagian REE pada lokasi pembuangan <i>tailing</i> yang berada selama sekitar dua dekade, kandungan REE pada <i>tailing</i> yang masih relatif baru

- Hasil analisis kimia yang diperoleh dari contoh *tailing* kemudian dipergunakan untuk memperkirakan jenis material di dalamnya.
- [10] Penelitian ini bertujuan untuk memetakan potensi sumberdaya REE untuk pengembangan pada bidang pertahanan.
- [15]. Mengindikasikan material Lusi di dominasi oleh mineral lempung dengan material organik, kuarsa, dan feldspar yang lebih sedikit yang diperkirakan memiliki potensi mineral ekonomis.
- [4] Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan komposisi geokimia unsur jejak dan unsur tanah jarang dari sembilan sampel sedimen sungai terpilih dari dua pulau besar di Kabupaten Lingga, yaitu Singkep dan Lingga.
- bernilai jauh lebih besar dari pada timbunan *tailing* lama. Secara umum kandungan REE pada *tailing* lebih besar dari angka pada batuan sedimen dan bijih besi, namun lebih kecil dari pada granitoid. Sedangkan, kualitas unsur tanah jarang pada konsentrat *tailing* tiga kali lebih besar dibandingkan dalam batuan granitic. Keterdapatan monasit pada contoh *tailing* ditunjukkan oleh hasil perhitungan statistic terhadap kandungan masing-masing elemen REE, yang dapat lebih diperkuat melalui analisa dengan peralatan XRD maupun ASD. Berdasarkan analisis fasies seismik secara eksternal berupa bentukan lapisan dan secara internal dari tekstur lapisan bawah permukaan pada data seismik, maka dapat diinterpretasikan bentuk morfologi secara eksternal mengindikasikan adanya bentukan *mound* atau bukit bawah laut yang bervariasi dan adanya kenampakan graben. Tekstur internal rekaman seismik menunjukkan pola *reflection free* yang memperlihatkan jika lapisan tersebut tidak terlihat adanya rekaman seismik. dikarenakan karena kondisi lingkungan daerah penelitian yang termasuk pada daerah gunungapi bawah laut. Aktivitas *fumarola* yang aktif ditandai dengan adanya pola reflektor *acoustic turbidity*. berdasarkan analisis pola tegasan struktur dengan plotting persebaran fumarola hasil analisis dan interpretasi data seismik, maka dapat diketahui persebaran *rare earth elements* (REE) yang memiliki kecenderungan terkumpul pada sistem *negative flower structure*. Terdapat asosiasi antara persebaran struktur dengan aktivitas vulkanik yang mengandung keterdapatan *rare earth elements* (REE) berupa *fumarole*.
- Lusi termasuk ke dalam sistem endapan epitermal sulfida rendah (*low epithermal sulfide*) dengan zona ubahan argilik yang ditandai oleh pembentukan mineral lempung yang bertemperatur rendah seperti kaolinit, smektit dan illit Hasil analisis laboratorium menggunakan metode ICP dan XRF didapat konsentrasi rata-rata pelimpahan unsur tanah jarang yang terdapat dalam material erupsi Lusi adalah Ce : 86,79 ppm , Dy : 0,94 ppm, Eu : 7,85 ppm, Gd : 6,49 ppm, La : 49,73 ppm, Nd : 56,57 ppm, Pr : 24,47 ppm, Sc : 17,11 ppm, Sm : 6,21 ppm dan Y : 23,24 ppm. Selain unsur tanah jarang yang terdeteksi dalam hasil analisis, unsur lain seperti Lithium (Li), Strontium (Sr) dan Scandinium (Sc) juga terdeteksi dengan hasil rata-rata konsentrasi Li : 126,55 ppm, Sr : 401,49 ppm, Sc : 17,11 ppm.
- Sembilan sedimen sungai terpilih diidentifikasi secara megaskopis dan diukur komposisi elemen jejak dan tanah jarang dengan ICP-MS. Zr, Mn, Ba, dan Rb merupakan unsur yang paling melimpah pada sampel terpilih di Lingga sedangkan Zr, Mn, Cr, dan Rb di Singkep. Pupuk untuk lahan pertanian di Lingga kemungkinan besar mengandung As dan Rb berdasarkan kelimpahan dan asosiasi unsur-unsur tersebut. Aktivitas tambang timah diketahui mempengaruhi komposisi dasar sungai, terutama di

- [6] Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tekstur dan komposisi batuan terutama keberadaan mineral tambahan yang mengandung REE. lokasi SSS 72. Asosiasi Th ke Σ REE yang sangat kuat menunjukkan bahwa mineral yang mengandung thorium, terutama monasit-La, adalah sumber REE utama dari sampel yang dipilih. Semua dari sampel yang dipelajari menunjukkan anomali negatif Eu sementara anomali Ce negatif (Ce/Ce*).
- Produk pelapukan dari Granit Anggi tidak mengalami pengayaan yang signifikan. Pengayaan REE pada sampel disebabkan oleh pengayaan relatif pada sampel JNS-AG 2.3 S dan JNS-AG 3.2 S, dan pengayaan mutlak dalam sampel JNS-AG 2.8 S, sedangkan sisanya habis dalam REE. Pengayaan mutlak terjadi karena akumulasi REE di lingkungan reduksi, dan penipisan disebabkan oleh proses pelindian selama pelapukan. Nilai LREE/HREE meningkat pada sampel pelapukan Granit Anggi, karena HREE tercuci lebih dari LREE, kecuali untuk contoh JNS-AG 1.2 S dan JNS-AG 2.8 S yang menjadi zona akumulasi HREE. Sedangkan anomali serium positif terjadi pada sampel JNS-AG 2.9 S, disebabkan oleh oksidasi yang sesuai dan kondisi pH untuk cerinit menjadi terbentuk, yang ditandai dengan adanya dari goethite dalam sampel. REE dalam pelapukan produk Granit Anggi masih dominan mengandung mineral primer yang mengandung REE seperti zirkon dan monasit, sedangkan sisanya terdiri atas fraksi Fe-oksida kristal (ilmenit, hematit dan goethite), dan fraksi yang dapat ditukar ion (mineral lempung illit, kaolin dan klorit). Faktor geologi yang mempengaruhi karakteristik geokimia dan mineralogi di sampel pelapukan Granit Anggi adalah karakterisasi geokimia batuan segar, yang mempengaruhi jenis mineral pembawa REE di batuan, tingkat pelapukan yang mana terkait dengan keberadaan mineral sekunder, terutama mineral lempung, dan faktor lainnya berhubungan dengan kondisi pH dan Eh.
- [12] Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kelimpahan kadar, mineralogi dan ukuran butir Mineral Ikutan Timah (MIT) pada endapan primer, sekunder, dan tailing di Bangka Selatan dan Belitung. Pada Sampel Bangka Selatan menunjukkan bahwa : a. Nilai radioaktif tertinggi dijumpai pada cluster sampel konsentrat, yang berkorelasi dengan MIT pembawa unsur tanah jarang, yaitu monasit dan zirkon yang tinggi. b. Jenis MIT yang kadarnya paling tinggi pada semua cluster sampel yaitu zirkon. c. Kadar ilmenit yang paling tinggi dijumpai pada cluster sampel endapan aluvial. d. Mineral rutil hanya dijumpai pada cluster sampel endapan aluvial, koluvial dan tailing, sedangkan xenotim ada pada semua cluster dengan jumlah yang sedikit. e. Bentuk butir sampel dari cluster endapan primer hingga tailing yaitu angular hingga rounded. Pada Sampel Badau Belitung menunjukkan bahwa : a. MIT berupa monasit, zirkon, xenotim, ilmenit terdapat pada sampel aluvial, SHP dan konsentrat. Sedangkan untuk mineral rutil dan anatase tidak ditemukan pada sampel apa pun. Sampel primer, eluvial dan koluvial tidak menunjukkan keberadaan MIT. b. MIT pada sampel aluvial berbentuk butiran lepas dengan bentuk butir menyudut hingga membundar dan sortasi yang baik. Selanjutnya, pada sampel SHP, MIT

berbentuk butiran lepas dengan bentuk butir menyudut hingga membulat dengan sortasi moderat (sedang). Sedangkan, pada sampel konsentrat MIT memiliki bentuk butir yang cenderung membulat dengan sortasi yang sangat baik. Zirkon hadir dalam bentuk ukuran kristal paling kecil. Monasit merupakan satu-satunya MIT yang memiliki sifat radioaktif. c. Indikasi sumber atau hulu dari MIT atau REE yang terdapat di Kecamatan Badau, Kabupaten Belitung, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung adalah batuan granit dengan tipe-S yaitu bukit intrusi dari formasi Granit Tanjungpandan.

1.1 Preparasi Sampel

Sampel yang berasal dari lapangan dibawa dalam bentuk kantong-kantong yang berisi sampel baik berbentuk soil maupun batuan. Secara umum metode uji sampel menggunakan : *X-Ray Diffraction* (XRD) adalah teknik analisis cepat non destruktif yang terutama digunakan untuk identifikasi fase bahan Kristal dan dapat memberikan informasi tentang dimensi unit sel. Bahan yang dianalisis adalah berupa bahan padat (terutama yang mempunyai struktur Kristal) berbentuk *powder* atau tepung. *X-Ray Fluorescence* (XRF) adalah salah satu metode analisis untuk mengetahui komposisi unsur/elemen pada suatu bahan atau sampel secara cepat. Prinsip yang digunakan dalam penentuan unsur atau elemen berdasarkan interaksi sinar x dengan sampel. Sampel yang dianalisis dapat berbentuk serbuk atau bongkahan. *Inductively Couple Plasma Mass Spectrometry* (ICP-MS) merupakan metode pendekteksian unsur yang sangat handal dan serba guna untuk penentuan unsur. Umumnya sampel ICP-MS berupa larutan dalam air, namun ada juga yang berupa padatan menggunakan *laser ablation* (LA ICP-MS)[13].

1.2 Identifikasi Potensi Rare Earth Element di Indonesia

Berdasarkan tipenya, potensi sumberdaya *rare earth element* di Indonesia dapat dibagi menjadi 2, yaitu endapan plaser dan tipe endapan lateritik.

1.2.1 Tipe plaser

Sebagai mineral ikutan timah, LTJ tipe plaser banyak dijumpai di lokasi sumber daya timah, yaitu di jalur granit timah yang melalui Kepulauan Riau, Kepulauan Bangka Belitung dan bagian selatan dari Kalimantan Barat. Potensi LTJ plaser tidak terlepas dari perkiraan potensi timah karena keduanya sangat berkaitan erat, terendapkan bersama-sama dalam endapan aluvial timah khususnya yang terdapat di Bangka Belitung dan Kepulauan Riau, baik di darat (*on shore*) maupun di perairan (*off shore*) (Potensi Logam Tanah Jarang di Indonesia, 2019).

1.2.2 Residual/Lateritik

Tipe ini merupakan tipe endapan yang mulai dikembangkan di beberapa negara penghasil LTJ. Potensi LTJ tipe lateritik di Indonesia cukup besar, jika dilihat dari kondisi geologi dan iklim yang memungkinkan terjadinya endapan lateritik di Indonesia.

1.3 Pemanfaatan Rare Earth Element

Rare earth element banyak diburu bersama paduannya karena digunakan untuk banyak peralatan dalam kehidupan sehari-hari, di antaranya berupa: memori komputer, DVD, baterai isi ulang, telepon seluler, konverter katalis kendaraan bermotor, magnet, lampu fluoresen dan lain-lain. Bahkan kegunaan untuk komputer dan DVD telah tumbuh lebih cepat daripada telepon seluler. Berbagai tipe *rechargeable batteries* yang banyak mengandung cadmium (Cd) atau timbal (Pb), sekarang digantikan dengan baterai *rechargeable* lanthanum-nickel-hydride (La-Ni-H). Demikian halnya pada baterai komputer, baterai mobil dan peralatan komunikasi banyak menggunakan LTJ karena daya pakai yang lebih lama, mudah diisi ulang (*recharge*) dan mudah didaur ulang lateritik (Potensi Logam Tanah Jarang di Indonesia, 2019).

Penggunaan REE sangat bervariasi yaitu pada energi nuklir, kimia, katalis, elektronik, paduan logam dan optik. Pemanfaatan LTJ untuk yang sederhana seperti lampu, pelapis gelas, untuk teknologi tinggi seperti fosfor, laser,

magnet, baterai, dan teknologi masa depan seperti superkonduktor, pengangkut hidrogen [11]. Pengaplikasian Rare Earth Elements (REE) memiliki nilai strategis di bidang pertahanan serta menjadi signifikansi pada industri pertahanan. Penggunaan di bidang pertahanan dapat di aplikasikan pada teknologi pertahanan secara state of the art, baik itu dalam sistem kontrol dan kendali, sistem peperangan elektronika, sistem senjata dan targeting, sistem *electric motors*, dan sistem komunikasi [15].

13.4 KESIMPULAN

Dari serangkaian tinjauan literatur yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Metode yang umum digunakan dalam melakukan uji sampel adalah *X-Ray Diffraction (XRD)*, *X-Ray Fluorescence (XRF)*, dan *Inductively Couple Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)*.
2. Indonesia memiliki potensi sumberdaya *rare earth element* cukup besar yang tersebar diberbagai daerah.
3. Peluang Indonesia menjadi pengembang komoditas *rare earth element* akan menjadi tren terbaru sebagai salah satu material yang dibutuhkan untuk suatu produk industri terkhusus pengembangan energi yang ramah lingkungan termasuk juga dalam bidang pertahanan. Perlu adanya eksplorasi sumber daya *rare earth element* secara sistematis dalam jangka pendek, menengah maupun jangka panjang sangat penting untuk mengungkap potensi sumber daya REE yang cukup besar dimiliki Indonesia.

13.5 UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam penyusunan paper ini tidak lepas dari dukungan dari berbagai pihak khususnya kepada Prodi Magister Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gunradi, A, Tampubolon A, Pardiarto, B, Sunuhadi, D.N. 2019. Potensi Logam Tanah Jarang di Indonesia. Bandung: Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- [2] Humphries, Marc. 2013. *Rare Earth Element : The Global Supply Chain*. Congressional Research Service. 7-5700. 1-20.
- [3] Izron, R. 2018. Korelasi Torium dan REE Total pada Contoh Sedimen Sungai dari Kabupaten Lingga. Eksplorium. Vol. 39. 1-16.
- [4] Irzon, R., Sendjadja, P., Kurnia, Imtihanah & Soebandrio, J. 2014. Kandungan *Rare Earth Elements* dalam *Tailing* Tambang Timah di Pulau Singkep. J.G.S.M. Vol. 15. 143-151.
- [5] Jordens, A., Cheng, Y. P., & Waters, K. E. 2013. *A Review of the Beneficiation of Rare Earth Element Bearing Mineral*. Mineral Engineering. Vol. 41. 97-114.
- [6] Prasastia, E. G., Setiadi, L. D., & Warmada, I. W. 2017. *Mineralogy, Geochemistry, and Sequential Extration Experiment of REE in Weathered Anggi Granite, Manokwari Regency West Papua, Indonesia*. J. SE Asian Appl Geol. Vol. 7. 33-41.
- [7] Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2019. Potensi Logam Tanah Jarang di Indonesia. Jakarta : Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- [8] Rahman, D. A., & Kusuma, D. A. A. Perencanaan Pemulihan Logam Tanah Jarang dari Tanah Terkontaminasi dengan Metode *Resin in Leach*. Jurnal Teknologi Sumberdaya Mineral. Vol. 3. 33-39.
- [9] Riesgo, Garcia; Krzmien, Alicja; Angel, Miguel. 2017. Rare earth element mining investment: Its not all about China. Canada: Elsevier, Ltd.
- [10] Saputra, I. A. R., Aritonang, S., & Mandini, M. D. 2019. Pemetaan Sumber Daya *Rare Earth Elements (REE)* untuk Bahan Baku Industri Pertahanan dengan Metode Eksplorasi Geomarine. Jurnal Teknologi Penginderaan. Vol. 1. 57-81.
- [11] Setiawan, I. 2019 *REE Potential in Indonesia : Review and Contribution. Annual Meeting Indonesian Association of Economic Geologist*.
- [12] Syafrizal, Amertho, S. D., Awardi, I., Indriati, T., Nabilla, A. O., Suharjo, E. G. W., & Hade, A. N. H. 2019. Karakterisasi Mineral Ikutan Timah pada Endapan Primer, Sekunder dan *Tailing* di Bangka Selatan dan Belitung. Prosiding TPT XXVIII PERHAPI. 807-816.
- [13] Syafrizal, Hede, A. N. H., Hakim, A. Y. A., & Permatasari, M. I. 2021 Identifikasi Keberadaan *Rare Earth Elements Tipe Ion Adsorption* Pada Lempung: Sampel dari Muntok dan Lubuk Besar, Pulau Bangka. Jurnal Geosapta. Vol. 7. 125-132..

- [14] Yudianto, D.F. 2018. Unsur Tanah Jarang (*Rare Earth Element*) Sebagai Indikator Proses Hidrotermal di Daerah Panas Bumi Parangtritis Yogyakarta. Jurnal Ilmiah MTG. Vol. 9. 83-97..
- [15] Wibowo, H. T., Pratisho, B., Prasetyadi, C., & Yudiantoro, D. F. 2022. Potensi Unsur Tanah Jarang (*Rare Earth Elements*) di Lumpur Panas Sidoarjo Indonesia. Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan II. Vol. 2. 533-539.

Overview Metode Pengelolaan Limbah Tailing Akibat Kegiatan Pertambangan Emas

Fitra Kurniawan^{1, a)}, Tedy Agung Cahyadi^{2, b)}, Rika Ernawati^{3, c)}, Waterman Sulistyana Bargawa^{4, d)} Nur Ali Amri^{5, e)}

¹Magister Teknik Pertambangan UPN Veteran Yogyakarta, Jl. SWK No.104 (Lingkar Utara), Ngropoh, Condongcartur, Depok Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

^{a)}Korespondensi : fitrakrn17@gmail.com : tedyagungc@upnyk.ac.id : rika.ernawati@upnyk.ac.id: waterman.sb@upnyk.ac.id : nuraliamri@upnyk.ac.id

Abstrak. Pengelolaan limbah *tailing* adalah masalah lingkungan utama dalam industri pertambangan khususnya tambang emas. Limbah *tailing* tambang emas dapat mencemari tanah, udara dan air yang pada akhirnya mengancam ekosistem alam. Dampak limbah *tailing* penambangan emas terhadap lingkungan telah menciptakan tekanan sosial karena limbah mempengaruhi kesehatan dan keselamatan manusia. Oleh karena itu diperlukan metode yang efektif dan efisien dalam pengelolaan limbah *tailing* tambang emas. Metode yang mudah dalam aplikasinya, berbiaya rendah, dan ramah lingkungan sangat diharapkan untuk pengelolaan limbah *tailing* tambang emas sehingga konsep *good mining practice* dapat diterapkan *sustainable development*. Jurnal ini mengulas tentang metode pengelolaan limbah *tailing* tambang emas yang telah diterapkan diberbagai negara. Metode yang paling efisien dan efektif diterapkan untuk pengelolaan limbah tambang adalah metode pengelolaan limbah *tailing* dengan menggunakan zeolite kombinasi pasir silika. Hasil penelitian menyatakan bahwa hubungan terbaik untuk remediasi air yang terkontaminasi ini adalah hubungan dengan kandungan zeolit tertinggi, memperoleh nilai pH meningkat dari 2,96 menjadi 7 dan nilai besi rata-rata < 0,07 mg/L untuk hari percobaan yang berbeda dan menunjukkan efisiensi tuff kaya zeolit alami berbiaya rendah untuk perawatan drainase tambang yang hemat biaya.

Kata kunci: Air limbah, penambangan emas, pH.

Abstract. Tailings waste management is a major environmental issue in the mining industry, particularly gold mining. Gold mine tailings waste can pollute soil, air and water which ultimately threatens natural ecosystems. The impact of gold mining tailings waste on the environment has created social pressure as the waste affects human health and safety. Therefore, an effective and efficient method is needed in the management of gold mine tailings waste. Methods that are easy to apply, low cost, and environmentally friendly are highly expected for gold mine tailings waste management so that the concept of good mining practice can be applied sustainable development. This journal reviews the methods of gold mine tailings waste management that have been applied in various countries. The most efficient and effective method applied for mine waste management is the tailings waste management method using silica sand combination zeolite. The results stated that the best association for the remediation of this contaminated water was the relationship with the highest zeolite content, obtaining an increased pH value from 2.96 to 7 and an average iron value of < 0.07 mg/L for different trial days and demonstrating the efficiency of low-cost natural zeolite-rich tuff for cost-effective mine drainage treatment.

Keywords: Waste water, gold mining, pH.

14.1 PENDAHULUAN

Pengelolaan limbah *tailing* adalah masalah lingkungan utama dalam industri pertambangan khususnya tambang emas. Limbah *tailing* tambang emas dapat mencemari tanah, udara dan air yang pada akhirnya mengancam ekosistem alam. Dampak limbah *tailing* penambangan emas terhadap lingkungan telah menciptakan tekanan sosial karena limbah mempengaruhi kesehatan dan keselamatan manusia. Penambangan emas dianggap berbahaya karena penggunaan merkuri dan sianida selama pemrosesan bijih, yang beracun bagi manusia dan bentuk kehidupan lainnya [1]. Untuk mencegah ataupun memulihkan lingkungan yang tercemar limbah *tailing* tambang emas diperlukan metode-metode yang ramah lingkungan dan *low-cost* sehingga dampak negatif yang ditimbulkan akibat kegiatan penambangan dapat

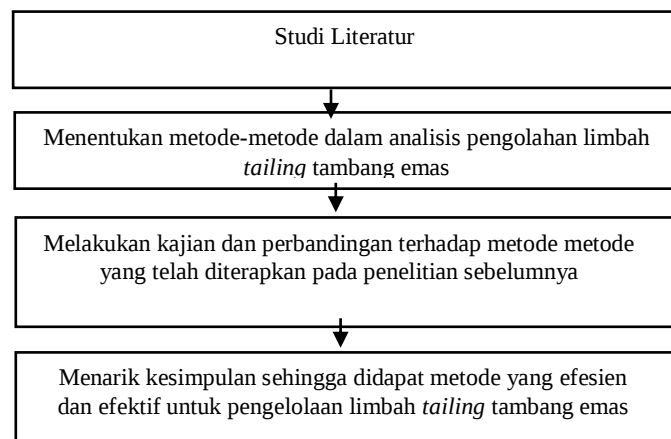
diminimalisir. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui metode pengelolaan air limbah tailing yang efektif, ramah lingkungan, dan biaya rendah.

14.2 KAJIAN PUSTAKA

Tailing tambang emas dihasilkan sebagai limbah selama penambangan tradisional dan kegiatan metalurgi [2]. Ukuran tailing tambang dan komposisinya tergantung pada mineralogi bijih, dan metode fisik dan kimia yang digunakan untuk mengekstraksi mineral. *Tailing* dalam jumlah besar dihasilkan sebagai hasil dari aktivitas mineral, namun demikian tailing tambang yang dihasilkan dari pengolahan bijih sebelumnya ini masih mengandung sejumlah besar Sr dan elemen tanah jarang (REEs) [3]. Namun, pemrosesan *tailing ini* hanya dapat bermanfaat jika manfaat lingkungan diberlakukan, karena pembuangan *tailing* tambang dapat mengakibatkan degradasi lingkungan dan efek kesehatan jangka panjang, seperti yang ditunjukkan selama beberapa dekade terakhir [4].

14.3 METODE DAN MATERIAL

Penelitian dilakukan berdasarkan *historical research* yang dirangkum dari beberapa karya ilmiah. Penelitian ini dilakukan bertujuan sebagai acuan dalam menentukan metode yang sesuai untuk kajian pengolahan limbah *tailing* tambang emas. Tahapan dalam penelitian yang dilakukan penulis dijabarkan dalam bentuk diagram alir yang terlihat pada Gambar 1. Tahapan Penelitian.



GAMBAR 1. Tahapan Penelitian

14.4 HASIL DAN ANALISIS

Metode yang di aplikasikan dalam analisis pengelolaan limbah *tailing* tambang emas dijabarkan pada beberapa sub bab dibawah ini.

1. Pengelolaan Limbah *Tailing* Tambang Emas Menggunakan Zeolit Kombinasi Pasir Silika

Pada Pengolahan limbah *tailing* tambang emas menggunakan zeolit kombinasi pasir silika. Sampel-sampel ini dikarakterisasi sebelum dan sesudah perawatan dengan tuff kaya zeolit alami dan pasir silika dengan rasio berat yang berbeda dan hari durasi percobaan. Awalnya, analisis kimia dalam air menunjukkan pH asam 2,96, konsentrasi sulfida yang tinggi (162 mg S⁻²/L) dan Fe (10,41 mg Fe/L), diklasifikasikan sebagai air asam tinggi dan logam tinggi. Percobaan kolom mengungkapkan bahwa hubungan terbaik untuk remediasi air yang terkontaminasi ini adalah hubungan dengan kandungan zeolit tertinggi, memperoleh nilai pH netral mendekati 7 dan nilai besi rata-rata < 0,07 mg/L untuk hari percobaan yang berbeda. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan efisiensi tuff kaya zeolit alami berbiaya rendah untuk perawatan drainase tambang yang hemat biaya [5].

2. **Pengelolaan Limbah *Tailing* Tambang Emas Menggunakan Membran Inklusi Polimer**

Pengelolaan limbah *tailing* dengan menggunakan metode berbasis membran kontinu dalam pembersihan lengkap tiosianat dalam konsentrat ion setinggi 1000 mg L⁻¹ dari larutan berairnya telah dikembangkan. Penelitian ini menggunakan lembaran datar membran inklusi polimer (MIP) komposisi 70 wt% PVC, 20 wt% Aliquat 336 dan 10 wt% 1- tetradecanol yang memisahkan arus berlawanan dari larutan umpan tiosianat dan 1 M NaNO₃ menerima solusi. Sistem berbasis MIP telah dioperasikan secara terus menerus selama 45 hari dengan pemisahan 99% efisien. Volume larutan penerima telah dikurangi secara drastis dengan mensirkulasikannya kembali dan terus menerus menghilangkan tiosianat dengan mengendapkannya dengan Cu(I) yang dihasilkan secara in-situ. Metode pembersihan tiosianat berbasis MIP yang baru dikembangkan ramah lingkungan dalam hal penggunaan reagen dan murah sehubungan dengan peralatan dan biaya operasional [6].

3. **Pengelolaan Limbah *Tailing* Tambang Emas Menggunakan *Hyperspectral Imaging System* (HIS)**

Penelitian ini menggunakan *hyperspectral imaging system* (HIS) untuk mengukur konsentrasi kromium (Cr) dalam sampel tanah yang diperoleh dari *tailing* tambang emas mengingat persaingan spektral antara elemen logam berat. Analisis kimia, mineralogi, dan spektroskopi di lingkungan laboratorium mengungkapkan bahwa perilaku geokimia kompetitif elemen logam berat dimanifestasikan sebagai kompetisi spektral antara elemen logam berat dalam *tailing*. Unsur-unsur logam berat dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok berdasarkan perilaku geokimianya: kromium-nikel (Cr-Ni) dan seng-arsenik-kadmium-timbal (Zn-As-Cd-Pb). Model prediksi konsentrasi Cr pada sampel *tailing* menggunakan *short wave infrared* (SWIR) HIS dikembangkan dari analisis data sampel. Model pencitraan konsentrasi Cr signifikan secara statistik dengan $R^2 = 0,7$ dan NRMSE = 11% hingga 12%. Penggunaan HIS di masa depan untuk akuisisi data besar-besaran konsentrasi logam berat di lingkungan alami dimungkinkan dengan analisis spektroskopi percontohan yang disajikan dalam penelitian ini. [7]

4. **Pengelolaan Limbah *Tailing* Tambang Emas Menggunakan *Filter Press Backwash–Chemical Precipitation–Gaseous Membrane Absorption***

Berdasarkan proses *filter press backwash–chemical precipitation–gaseous membrane absorption*, perlakuan *tailing* sianida yang tidak berbahaya dilakukan dengan menggunakan *tailing* sianida dari perusahaan peleburan emas. Efek dari waktu pengeringan udara, parameter air *backwash*, pH awal pengasaman, dosis NaHS, laju aliran air yang mengandung sianida, dan tahap membran gas pada proses diselidiki. Komposisi kimia, difraksi sinar-X, dan analisis spektroskopi fotoelektron sinar-X dari produk tembaga dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan tembaga adalah 54,56%, dan komposisi kimianya terutama CuSCN, CuS, Cu₂S, dan CaSO₄. Siklus percobaan dilakukan dalam kondisi optimal, hasil penelitian menunjukkan bahwa proses tersebut dapat membuat *tailing* sianida yang diolah memenuhi persyaratan spesifikasi teknis untuk pengendalian pencemaran residu pencucian sianida dalam standar industri emas (TSPC) untuk disimpan di kolam *tailing* dan memiliki stabilitas tertentu. Tingkat pemulihan rata-rata tembaga dan total sianida dalam air elusi masing-masing adalah 97,8% dan 99,89%, dan tingkat penghapusan rata-rata tiosianat adalah 94,09% [8].

5. **Pengelolaan Limbah *Tailing* Tambang Emas Menggunakan Bakteri *Acidophilic***

Dalam penelitian ini, ekstraksi Ce dan Sr dari GMT menggunakan strain *acidophilic* sulfur oxidizers yang disesuaikan untuk mengembangkan *bioleaching* satu langkah dilakukan untuk pertama kalinya. Penentuan kondisi optimal dengan metodologi permukaan respons (RSM), untuk memaksimalkan pemulihan Ce dan Sr, dilakukan dengan menggunakan faktor-faktor yang berpengaruh dari konsentrasi sulfur awal, pH dan kepadatan *pulp*. Temuan signifikan: Nilai optimal pH, kepadatan *pulp* dan konsentrasi sulfur awal masing-masing adalah 1, 8, 2% (w v⁻¹) dan 0, 55% (w v⁻¹). Produksi sulfat tertinggi diperoleh dalam konsentrasi sulfur awal 0, 5% (w v⁻¹). Selain itu, di antara berbagai model kinetik penghambatan, model kinetik penghambatan tesserier adalah yang paling cocok berdasarkan data eksperimen. Dalam penelitian ini menyatakan bahwa studi kinetik dari proses tersebut menunjukkan bahwa pemulihan yang tinggi sebesar 75,8% dari Ce dan 86,4% dari Sr dicapai dari GMT dalam kondisi optimal, di mana reaksi kimia terungkap sebagai langkah pengendalian laju. *Bioleaching* GMT oleh A. Thiooxidans adalah teknologi yang menjanjikan untuk mengurangi bahaya lingkungan dari limbah ini.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa GMT dapat menjadi sumber pasokan Ce dan Sr. [9] Adapun kelebihan dan kekurangan metode dapat dilihat pada tabel 1. Dibawah ini:

TABEL 1. Kelebihan dan Kekurangan Metode Pengelolaan *Tailing* Tambang Emas

Referensi	Metode	Kelebihan	Kekurangan
[5]	Zeolit Kombinasi Pasir Silika	Perawatan drainase tambang hemat biaya.	Waktu retensi yang cukup lama
[6]	Membran Inklusi Polimer	Teosianat berbasis MIP ramah terhadap lingkungan.	Memerlukan waktu yang cukup lama
[7]	<i>Hyperspectral Imaging System</i> (HIS)	Memiliki tingkat penghapusan rata-rata tiosianat sebesar 94,09%	Biaya pengelolaan yang cukup mahal
[8]	<i>Filter Press Backwash</i> <i>Chemical Precipitation</i> <i>Gaseous Membrane Absorption</i>	Memiliki stabilitas dan tingkat pemulihan yang tinggi	Tidak menunjukkan kapasitas adsorpsi yang signifikan dan memerlukan waktu yang lama
[9]	Bakteri Acidophilic	Memiliki tingkat pemulihan yang tinggi sebesar 75,8%	Memerlukan <i>effort</i> yang besar dalam pengelolaan

14.5 KESIMPULAN

Berdasarkan kajian dari beberapa studi literatur yang berkaitan dengan pengelolaan limbah *tailing* tambang emas dapat ditarik kesimpulan bahwa metode yang paling efisien dan efektif diterapkan untuk pengelolaan limbah tambang adalah metode pengelolaan limbah *tailing* dengan menggunakan zeolite kombinasi pasir silika. Hasil penelitian menyatakan bahwa hubungan terbaik untuk remediasi air yang terkontaminasi ini adalah hubungan dengan kandungan zeolit tertinggi, memperoleh nilai pH meningkat dari 2,96 menjadi 7 dan nilai besi rata-rata < 0,07 mg/L untuk hari percobaan yang berbeda dan menunjukkan efisiensi tuff kaya zeolit alami berbiaya rendah untuk perawatan drainase tambang yang hemat biaya.

14.6 UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan paper ini tidak terlepas dukungan dari berbagai pihak khususnya kepada Fakultas Teknologi Mineral Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. P. Varela, R. M. Balanay, and A. Halog. 2020 “The framework of waste management in gold mining towards building sustainable communities in Caraga Region, Philippines,” *Int. J. Conserv. Sci.*, vol. 11, no. 3, pp. 829– 838.
- [2] P. H. M. Kinnunen and A. H. Kaksonen. 2019. “Towards circular economy in mining: Opportunities and bottlenecks for tailings valorization,” *J. Clean. Prod.*, vol. 228, pp. 153–160, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.171.
- [3] N. Araya, Y. Ramirez, A. Kraslawski, and L. A. Cisternas. 2021. “Feasibility of re-processing mine tailings to obtain critical raw materials using real options analysis,” *J. Environ. Manage.*, vol. 284, p. 112060, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112060.

- [4] A. E. Cenicerros-Gómez, K. Y. Macías-Macías, J. E. de la Cruz-Moreno, M. E. Gutiérrez-Ruiz, and L. G. Martínez-Jardines. 2018. “Characterization of mining tailings in México for the possible recovery of strategic elements,” *J. South Am. Earth Sci.*, vol. 88, pp. 72–79, 2018, doi: 10.1016/j.jsames.2018.08.013.
- [5] V. Rey, C. A. Ríos, L. Y. Vargas, and T. M. Valente. 2020. “Use of natural zeolite-rich tuff and siliceous sand for mine water treatment from abandoned gold mine tailings,” *J. Geochemical Explor.*, vol. 220, no. September 2020, p. 106660, 2021, doi: 10.1016/j.gexplo.2020.106660.
- [6] Y. Cho, R. W. Cattrall, and S. D. Kolev. 2018 “A novel polymer inclusion membrane based method for continuous clean-up of thiocyanate from gold mine tailings water,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 341, pp. 297–303, 2018, doi: 10.1016/j.jhazmat.2017.07.069.
- [7] Y. Jeong, J. Yu, L. Wang, and K. J. Lee. 2021 “Bulk scanning method of a heavy metal concentration in tailings of a gold mine using SWIR hyperspectral imaging system,” *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, vol. 102, p. 102382, 2021, doi: 10.1016/j.jag.2021.102382.
- [8] N. Sinulingga, K. Nurtjahja, and A. Karim. 2015 “Fitoremediasi Logam Merku (Hg) pada Media Air oleh Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk),” *J. Biol. Lingkungan, Ind. dan Kesehat.*, vol. 2, no. 1, pp. 75–81.
- [9] S. M. Hosseini, F. Vakilchap, M. Baniyadi, S. M. Mousavi, A. Khodadadi Darban, and S. Farnaud,. 2022 “Green recovery of cerium and strontium from gold mine tailings using an adapted acidophilic bacterium in one-step bioleaching approach,” *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 138, no. May, p. 104482, 2022, doi: 10.1016/j.jtice.2022.104482.

Perbandingan Hasil Estimasi Kadar Bijih Nikel Laterit dengan Metode Inverse Distance Weighting dan Ordinary Kriging Berdasarkan *Literatur Review*

Muh Ardian Syaputra^{*[1]}, Aviv Alansyah^[1] Muh Nuzul Haq^[1]

^[1] Magister Teknik Pertambangan UPN, SWK 104 Lingkar Utara, Yogyakarta, 55283, Indonesia

* e-mail: muhardiansyaputra28@gmail.com

Abstrak. Nikel laterit merupakan salah satu komoditas bahan galian yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Kebutuhan nikel semakin meningkat seiring dikembangkannya nikel sebagai bahan baterai *lithium* yang di gunakan sebagai sumber tenaga kendaraan listrik. Penelitian ini difokuskan pada perbandingan metode estimasi bijih nikel laterit secara literatur review dengan menggunakan metode IDW dan OK, sehingga akan diperoleh suatu metode estimasi yang akurat dan presisi guna sebagai evaluasi cadangan sumberdaya nikel, menentukan desain pit, umur tambang, jadwal produksi dan kandungan kadar. Hasil yang diperoleh yaitu penentuan metode estimasi *Ordinary Kriging* adalah metode estimasi terbaik dikarenakan metode ini dapat memberikan informasi nilai *error*, tingkat kepercayaan, serta merupakan metode penaksir tak bias linier yang terbaik atau sering disebut dengan *Best Linier Unbiased Estimator* (BLUE).

Kata kunci: Nikel Laterit, Estimasi, Inverse Distance Weighting (IDW), Ordinary Kriging (OK)

Abstract. *Nickel laterite is a mineral commodity that has high economic value. The need nickel of along increases base on the development of nickel as a lithium battery material which is used as a power source for electric vehicles. This study is focused on the comparison of according to nickel estimation methods in literature review in IDW and OK methods, so that an accurate and precise estimation method will be obtained to evaluate nickel resource reserves, determine pit design, mine life, production schedule and grade content. The results are obtained that the determination of the Ordinary Kriging estimation method is the best estimation method because this method can provide information on the error value, the level of confidence, is the best linear unbiased estimation method or often referred to as the Best Linear Unbiased Estimator (BLUE).*

Keywords: *Nickel Laterite, Estimation, Inverse Distance Weighting (IDW), Ordinary Kriging (OK)*

15.1 PENDAHULUAN

Nikel merupakan produk dari hasil pelapukan batuan ultrabasa yang terendapkan kemudian terdeposit pada suatu cekungan [6]. Menurut [4] bahan galian nikel memiliki ciri-ciri berupa adanya logam oksida yang mengandung Ni dan Fe yang berwarna coklat kemerahan. keberadaan batuan induk dari nikel secara keseluruhan dapat ditemui di daerah Pulau Sulawesi, di Sulawesi Selatan, dijumpai pada daerah Sorowako, kabupaten Luwu Timur dan Daerah Palakka kabupaten Barru. Selain itu, endapan nikel laterit juga dijumpai di daerah Sulawesi Tengah yaitu Morowali, Bungku (Kabupaten Morowali), Luwuk (Kabupaten Luwuk Banggai) dan Provinsi Sulawesi Tenggara.

Berdasarkan data siaran pers kementerian ESDM (Energi dan Sumber Daya Mineral) No: 301.Pers/04/SJI/2020 sumberdaya nikel sebesar 11.887 juta ton (tereka 5.094 juta ton, terunjuk 5.094 juta ton, terukur 2.626 ton, hipotetik 228 juta ton) dan cadangan bijih sebesar 4.346 juta ton (terbukti 3.360 juta ton dan terkira 986 juta ton). Sedangkan total sumberdaya logam mencapai 174 juta ton dan 68 juta ton cadangan logam (KESDM, 2020). Hasil rincian tersebut tentu saja tidak lepas dari hasil kalkulasi estimasi sumberdaya mineral. Tahap estimasi tersebut merupakan kegiatan yang sangat penting dikarenakan pada tahap ini berperan dalam penentuan jumlah sumberdaya [3] dan memberikan informasi dalam mengambil keputusan seperti kegiatan investasi tambang, desain pit, jadwal produksi dan kandungan kadar [5].

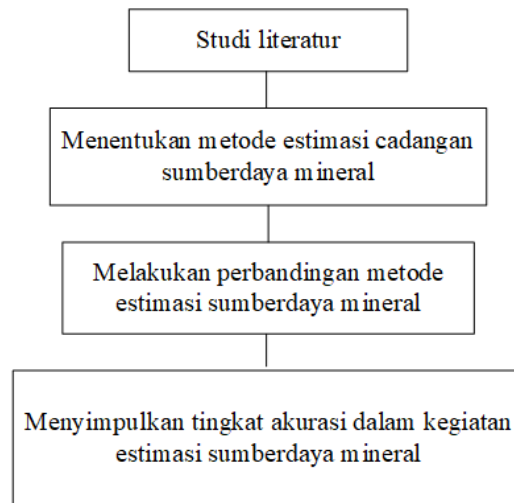
Metode estimasi yang sering digunakan dalam estimasi cadangan sumberdaya dapat dibagi menjadi dua yaitu yang pertama, metode klasik, seperti metode penampang, triangulasi, poligon, blok matrik, kontur serta metode IDW

(*Inverse Distance Weighting*); dan yang kedua yaitu metode geostatistik dengan menggunakan aplikasi metode *kriging* [1].

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan tingkat akurasi metode estimasi yaitu metode IDW (*Inverse Distance Weighting*) dan metode OK (*Ordinary Kriging*) yang di aplikasikan pada sumberdaya nikel.

15.2 METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan merupakan hasil studi literatur dari berbagai sumber jurnal (nasional/internasional) yang berfokus pada penentuan metode yang terbaik dalam estimasi kadar bijih nikel. Adapun tahap-tahap yang dilakukan pada studi literatur ini dapat dilihat pada diagram alir dibawah ini:



GAMBAR 1. Diagram alir penelitian

15.3 HASIL DAN ANALISIS

Adapun metode estimasi sumberdaya mineral yang dianalisis dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

Metode Inverse Distance Weighting (IDW)

Metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) salah satu metode estimasi sumberdaya mineral yang melakukan penaksiran dengan menggunakan pendekatan blok model yang sederhana dengan mempertimbang titik-titik di area sekitarnya. Metode ini meng-

asumsikan nilai interpolasi memiliki kemiripan dengan sampel yang lebih dekat daripada sampel yang jauh. Nilai bobot (*weight*) mengalami perubahan secara linier berbanding lurus dengan jaraknya dengan data sampel. Pada metode IDW penentuan pangkat/power sangat berpengaruh terhadap hasil interpolasi, jika nilai power yang diberikan tinggi maka kita akan seperti menggunakan metode *Nearest Neighbor* sehingga nilai yang diperoleh adalah hasil dari data sampel terdekat [8].

Secara matematis berikut ini merupakan persamaan dari metode IDW:

ID pangkat satu (*Inverse Distance*)

$$w_j = \frac{\frac{1}{d_j}}{\sum_{i=1}^j \frac{1}{d_i}} \quad (1)$$

ID pangkat dua (*Inverse Distance Square*)

$$w_j = \frac{\frac{1}{d_j^2}}{\sum_{i=1}^j \frac{1}{d_i^2}} \quad (2)$$

ID pangkat tiga (*Inverse Distance Cubed*)

$$w_j = \frac{\frac{1}{d_j^3}}{\sum_{i=1}^j \frac{1}{d_i^3}} \quad (3)$$

Maka hasil taksiran z:

$$z = \sum_{i=1}^j w_i z_i \quad (4)$$

Dimana

Z = nilai parameter yang ditaksir

W_i = pembobotan titik data

Z_i = nilai parameter titik data

TABEL 1. Contoh penulisan referensi metode IDW

Nama Peneliti dan Tahun	Judul	Hasil
[8]	Estimasi sum-berdaya Bijih Nikel Laterit Dengan Meng-gunakan Me-tode IDW Di Provinsi Sula- wesi Teggara,	Dari 42 titik bor diperoleh kadar Ni Rata-rata 1,37% dengan kete-balan lapisan bijih yaitu 5 – 21 m. Topografi dari area yang dihitung berupa perbu-kitan dengan ketinggian 250 – 311 mdpl dengan keda-laman titik bor antara 9 – 26 m. Perhitungan hasil sumber-daya dari endapan mine-ral dari 42 titik bor adalah sebesar 5.646. 563 ton.
[9]	Estimasi Sum-berdaya Bijih Nikel Laterit Dengan Me-tode Inverse Distance We-ighting Pada PT. Hengjaya Mineralindo Kab. Morowali	Berdasarkan pada 61 data dengan jarak spasial 25 meter dengan lithologi Limo-nit, Saprolit, Corestone dan Bedrock dengan metode IDW dan search radius yang dipilih yaitu 12.5 meter memiliki jumlah yang didapat dengan standar CoG 1,5 % sebesar 101.330 Ton.
[10]	Performance Eva-luation of Ordinary Kriging and Inverse Distance weighting Methods for Nickel Laterite Resources Estimation	Dari 266 data bor diperoleh metode IDW dengan pangkat 2 akan menghasil prediksi yang akurat jika data Skewness bernilai >2.5, namun data dengan nilai skewness <1 memberikan hasil estimasi yang baik yaitu pada IDW pangkat 1 dengan hasil estimasi pada zona saprolite sebesar 3.719.299,6 ton dan pada zona limonit sebesar 14.678.485,3 ton.

Metode Ordinary Kriging (OK)

Metode *ordinary kriging* (OK) adalah salah satu metode kriging yang dapat memberikan perkiraan/estimasi dari lokasi yang tidak dilakukan pengamatan, berdasarkan pembobotan rata-rata dari sekitar lokasi observasi (Bargawa & Purnomo, 2016).

Secara matematis metode OK dapat ditulis menjadi persamaan berikut:

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i \quad (5)$$

Bobot λ_i , dihitung dengan persamaan:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot C(i, j) + \mu = C(i, 0), \text{ dengan } \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (6)$$

Variansi kriging dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut:

$$\sigma_{ok}^2 = C(0) - ((\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot C_{i,0}) + \mu) \quad (7)$$

Dimana:

Z_i = Sampel A di titik i

μ = konstanta lagrange

$C(i, j)$ = kovariansi antara sampel i dan sampel j

$C(i, 0)$ = kovariansi diantara titik sampel dan blok 0.

TABEL 2. Contoh penulisan referensi metode OK

Nama Peneliti dan Tahun	Judul	Hasil
[7]	Geologi dan Estimasi Sumberdaya Nikel Laterit Menggunakan Metode Ordinary Kriging di Blok R Kab. Konawe – Sulawesi Tenggara.	Hasil perhitungan sumber daya tonase nikel dengan cut off grade 1.2% Ni sebelum dilakukan estimasi kriging sebesar 1.095.029,53 ton dan setelah dilakukan estimasi kriging menjadi 936064 ton. Perbedaan ini terjadi karena pada data taksiran kriging terjadi penyeragaman nilai kadar, sehingga dalam perhitungan tonase tidak terjadi over estimate pada lapisan yang tebal. Penyebaran nilai kadar nikel dari hasil taksiran kriging menunjukkan bahwa sebaran mineralisasi nikel dengan kadar > 1.2%
[2]	Geologi dan Estimasi Sumberdaya Nikel Laterit Menggunakan Metode Ordinary Kriging di PT. Aneka Tambang , Tbk	Terdapat 56 blok sebelum masuk kedalam CoG sebelum dilakukan pengolahan dengan metode ordinary kriging, selanjutnya terdapat 71 blok estimasi dengan CoG 1.4% menghasilkan cadangan atau tonase nikel yang diperoleh sebelum dilakukan kriging sebesar 4.279.006 ton dan setelah dilakukan kriging diperoleh tonase nikel sebesar 4.267.280 ton.
[10]	Performance Evaluation of Ordinary Kriging and Inverse Distance Weighting Methods for Nickel Laterite Resources Estimation	Dari 266 data bor diperoleh hasil bahwa penaksiran estimasi mineral nikel dengan metode OK dengan hasil maksimal pada zona saprolite yaitu menggunakan model vario-gram gaussian dan pada zona limonit yaitu dengan menggunakan model variogram spherical. Untuk menentukan ketebalan lapisan nikel yaitu dengan menggunakan model variogram gaussian. Hasil dari estimasi cadangan zona saprolite sebesar 3.719.299,6 ton dengan kandungan Ni 58.815,96 ton dan pada zona limonit sebesar 14.678.485,3 ton dengan kandungan Ni 186.618,18 ton.

Dari hasil studi literatur tersebut metode IDW dan OK masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan, hasil tersebut dapat dilihat pada tabel 3 dan 4 di bawah ini:

TABEL 3. Kelebihan dari metode IDW dan OK

Metode	Kelebihan
IDW	1. Merupakan metode deterministic yang sederhana dan mudah dalam aplikasi pada perhitungan estimasi cadangan. 2. Asumsi nilai interpolasi pada metode ini yaitu dengan menggunakan titik disekitarnya jadi pengaplikasiannya lebih mudah. 3. Proses pembobotan tidak dipengaruhi oleh letak dari data sampel.
OK	1. Metode ini menggunakan <i>semivariogram</i> yang merepresentasikan perbedaan spasial dan nilai diantara semua pasangan sampel data. 2. Sangat cocok di aplikasikan pada bidang geologi dan pertambangan, karena data-data yang diperoleh saling menunjukkan korelasi spasial jarak dan orientasi dari data. 3. Metode kriging sangat banyak menggunakan system computer dalam perhitungan.

TABEL 4. Kelemahan dari metode IDW dan OK

Metode	Kelemahan
IDW	1. Hasil interpolasi yang diperoleh terbatas pada nilai yang ada pada titik sampel. 2. Untuk mendapatkan hasil yang baik sampel data yang digunakan harus rapat yang berhubungan dengan variasi local. 3. Tidak dapat memberikan ukuran <i>error</i> dan <i>confidence</i> seperti metode kriging.
OK	1. Metode OK tidak dapat menampilkan puncak, lembah atau nilai yang berubah drastic dalam jarak yang dekat. 2. Ordinary kriging cenderung menghasilkan taksiran blok yang lebih merata atau kurang bervariasi dibandingkan dengan kadar yang sebenarnya (smoothing effect). 3. Bobot yang diperoleh dari persamaan kriging tidak ada hubungannya secara langsung dengan kadar conto yang digunakan dalam penaksiran. Bobot ini hanya tergantung pada konfigurasi conto di sekitar blok dan satu sama lain, serta pada variogram (yang walaupun merupakan fungsi kadar namun didefinisikan secara global).

15.4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi literatur mengenai metode estimasi terbaik antara IDW dan OK maka dapat disimpulkan bahwa metode *Ordinary Kriging* (OK) memiliki tingkat akurasi dan presisi yang lebih baik dari pada metode IDW dikarenakan memberikan nilai *error* dan *confidence*. Metode OK juga dikenal sebagai metode geostatistik yang dikenal sebagai *Best Linier Unbiased Estimator* atau penaksir tak bias linier yang terbaik.

15.5 UCAPAN TERIMKASIH

Dalam penyusunan paper ini tentu tidak lepas atas dukungan bapak/ibu dosen Prodi Magister Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Annels, A.E., 1991. Mineral Deposit Evaluation: A Practical Approach, Chapman & Hall, London
- [2] Asy'ari, M.A & Hidayatullah, R & Zulfandi, A., 2013. Geologi dan Estimasi Sumberdaya Nikel Laterit Menggunakan Metode Ordinary Kriging di PT. Aneka Tambang, Tbk, Banjarmasin, Jurnal INTEKNA, Tahun XIII, No. 1, Mei 2013: 7 - 15
- [3] Bargawa W.S & Purnomo, Hendro., 2016. Performance Evaluation of Ordinary Kriging and Inverse Distance Weighting Methods for Nickel Laterite Resources Estimation, Yogyakarta, International Conference on Science and Tecknology 2nd Geomaritime Symposium
- [4] elvacı, Cahit & Oyman, Tolga & Gündoğan, İbrahim & Sozbilir, Hasan & Parlak, Osman & Kadir, Selahattin & Güven, Necip. 2017. Mineralogy and genesis of the Ni–Co lateritic regolith deposit of the Çaldağ area (Manisa, western Anatolia), Turkey. Canadian Journal of Earth Sciences. 55. 252–271. 10.1139/cjes-2017-0184.
- [5] D. Agam & Patra, Dipti, 2016. Adapting pattern recognition approach for uncertainty assessment in the geologic resource estimation for Indian iron ore mines, In Proc. International Conference on Signal Processing, Communication, Power, and Embedded System (SCOPEs), pp. 1816–1821.
- [6] Ningsih, S.A., 2012. Eksplorasi Awal Nikel Laterit Di Desa Lamontoli Dan Lalemo, Kecamatan Bungku Selatan, Kabupaten Morowali, Propinsi Sulawesi Tengah, Yogyakarta. Jurnal Ilmiah MTG, Vol. 5, No. 2, Juli 2012.
- [7] Purnomo, Hendro & Sumarjono, Erry., 2015. Geologi dan Estimasi Sumberdaya Nikel Laterit Menggunakan Metode Ordinary Kriging di Blok R Kab. Konawe – Sulawesi Tenggara, Yogyakarta, Prosiding Seminar Nasional ReTII ke-10
- [8] Rafsanjani, M.R & Djamaluddin & Bakri, Hasbi, 2016. Estimasi Sumberdaya Bijih Nikel Laterit Dengan Menggunakan Metode IDW Di Provinsi Sulawesi Tenggara, Makasar. Jurnal Geomine, Vol 04, No 1: April 2016
- [9] Ansyarullah, Nurkhamim, Samanlangi, A.I. 2019. Estimasi Sumberdaya Bijih Nikel Laterit Dengan Metode Inverse Distance Weighting Pada PT. Hengjaya Mineralindo Kab. Morowali. Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan I (SEMITAN).
- [10] Bargawa, S.W & Purnomo, H. 2020. Performance Eva-luation of Ordinary Kriging and Inverse Distance weighting Methods for Nickel Laterite Resources Estimation. Journal of Goegraphy.

Estimasi Sumberdaya Endapan Nikel Laterit Sulawesi Tengah dengan Metode *inverse distance weighted*

Gede Yangda Sugianto^{1, a)}, Waterman Sulistyana Bargawa^{1, b)}, Dahono Haryanto^{1, c)}

¹Magister Teknik Pertambangan UPN Veteran Yogyakarta, Jl. SWK No.104 (Lingkar Utara), Ngropoh, Condongcartur, Depok Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

Email: gede.yangda.sugianto@gmail.com

Abstrak. Estimasi sumberdaya merupakan salah satu bagian penting dalam industri pertambangan yang menghasilkan model deposit mineral. Salah satu metode estimasi yang sering digunakan adalah metode *inverse distance weighted*. Estimasi sumberdaya endapan nikel laterit pada penelitian ini didasarkan pada data hasil kegiatan pemboran yang kemudian dianalisis dengan metode *inverse distance weighted*. Tahapan dalam penelitian ini, yaitu melakukan pengumpulan dan validasi data, analisis geostatistik dan estimasi sumberdaya. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran taksiran kuantitas dan kualitas dari endapan nikel laterit, yang pada akhirnya dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan perencanaan penambangan yang tepat..

Kata kunci: estimasi sumberdaya, *inverse distance weighted*, nikel laterit

Abstract. Resource estimation is an important part of the mining industry which collectively produces mineral deposit models. The most optimal estimation method and often used is the *inverse distance weighted* method. The estimation of nickel laterite deposit resources in this study is based on data from drilling activities which are then analyzed using the *inverse distance weighted* method. The methodology of this research is collecting and validating data, geostatistical analysis, and resource estimation. This study aims to provide an overview of the estimated quantity and quality of laterite nickel deposits, which in turn can be used as a basis for determining the appropriate mining plan.

Keywords: resource estimation, *inverse distance weighted*, nickel laterite

16.1 PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan dan produksi nikel setiap tahunnya diikuti dengan kegiatan eksplorasi pada wilayah greenfield yang berpotensi membawa mineralisasi nikel laterit [1]. Estimasi sumberdaya merupakan tahapan penutup dari kegiatan eksplorasi mineral yang secara kolektif menghasilkan model deposit mineral [2], [3].

Estimasi sumberdaya dilakukan berdasarkan informasi geoscientific dengan menggunakan pendekatan matematis.[4] Metode yang paling sering digunakan adalah metode *inverse distance weighted* [5]–[7]. Estimasi sumberdaya endapan nikel laterit pada penelitian ini didasarkan pada data hasil kegiatan pemboran yang kemudian dianalisis untuk mengetahui dimensi endapan dan persebaran kadar Ni di daerah penelitian.

Untuk lokasi penelitian sendiri di Desa Bahodopi, Desa Lalampu Dan Wilayah Desa Siumbatu, Kecamatan Bahodopi, Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah

gambaran taksiran kuantitas dan kualitas dari endapan nikel laterit, yang pada akhirnya dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan perencanaan penambangan yang tepat.

16.2 METODE

Pendekatan penelitian yang dilakukan yaitu dengan metode deskriptif kuantitatif, yaitu dengan mengumpulkan data yang representatif yang dapat digeneralisasikan di daerah penelitian. Kemudian data-data tersebut diolah dan dianalisis menggunakan bantuan software micromine. Metodologi penelitian ini yaitu melakukan pengumpulan data, validasi data, analisis statistik dan geostatistik, pemodelan sumberdaya dan estimasi sumberdaya.

Pengambilan data pemboran dilakukan di Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah 108 titik pemboran dengan spasi 50 x 50 meter. Data hasil pemboran yang diperoleh meliputi hasil analisa sampel inti bor, koordinat (easting, northing) dan elevasi lokasi titik bor, kedalaman lubang bor, serta deskripsi litologi dari lubang bor. Selanjutnya adalah melakukan pengolahan data yang meliputi pengolahan basis data, validasi data, analisis statistik, dan analisis geostatistik [8].

Pemodelan sumberdaya dilakukan dengan block model 3 dimensi yang dibuat berdasarkan model geologi endapan. Block model harus melingkupi seluruh domain endapan yang telah dibuat berdasarkan interpretasi geologi data bor dan topografi sebelumnya, dimana dalam penelitian ini terdiri dari dua domain yaitu zona limonit dan saprolit. Dimensi blok estimasi yang dianjurkan adalah lebih kecil dari spasi pemboran dengan ukuran 1/2-1/4 jarak rata-rata lubang bor [9], [10]. Blok estimasi pada penelitian ini dibuat dengan ukuran 12,5 m × 12,5 m × 1 m dengan asumsi ¼ jarak spasi bor, dengan dominasi jarak bor adalah 50 meter.

Penaksiran kadar blok dilakukan dengan metode *inverse distance weighted*. *Inverse distance weighted* merupakan salah satu estimasi yang memperhitungkan adanya hubungan letak ruang (jarak), merupakan kombinasi linear atau harga rata-rata tertimbang (*weighting average*) dari titik-titik data yang ada di sekitarnya [5].

Metode *inverse distance* ini mempunyai batasan pada jarak dan belum memperhatikan efek pengelompokan data, sehingga data dengan jarak yang sama, namun mempunyai pola sebaran yang berbeda masih akan memberikan hasil yang sama atau dengan kata lain metode ini belum memberikan korelasi ruang antara titik data dengan titik data yang lain. Rumus yang digunakan untuk metode *inverse distance* adalah sebagai berikut [5].

$$W_i = \frac{\frac{1}{d_{ik}^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{ik}^2}} \quad (1)$$

Maka, hasil estimasi (2) berikut :

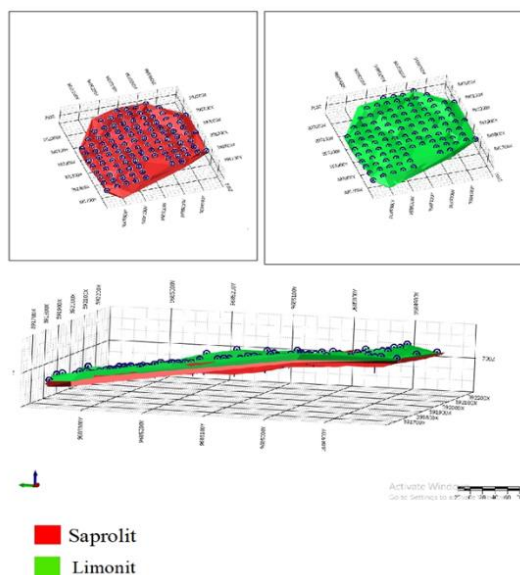
$$\hat{Z}_0 = \sum_{i=1}^n w_i \cdot z_i \quad (2)$$

Parameter nilai pangkat (power) yang digunakan adalah 2 berdasarkan hasil trial and error dengan mengambil nilai RMSE terkecil dari *IDW power* satu sampai empat.

16.3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Sumberdaya

Pembuatan model sumberdaya merupakan cara untuk membatasi penaksiran kadar nikel pada suatu populasi di daerah penelitian, sehingga hasil taksiran kadar tidak terjadi ekstrapolasi terlalu jauh keluar batas mineralisasi. Model sumberdaya harus mendekati model sebenarnya agar dapat memberikan hasil estimasi yang akurat. Model sumberdaya dibuat berdasarkan model geologi hasil interpretasi data bor. Model endapan nikel laterit membentuk zona pengkayaan mineral/zona laterisasi yaitu zona limonit, saprolit namun pada penelitian ini pemodelan sumberdaya nikel laterit dilakukan hanya pada zona limonit dan saprolit seperti pada **GAMBAR 1**.



GAMBAR 1 Model geologi zona limonit dan saprolit:
Tampak atas (atas), Tampak samping (bawah).

Analisis statistik

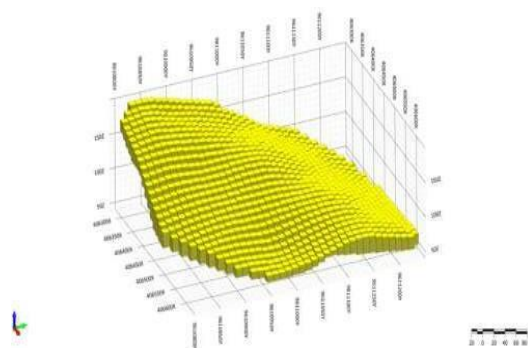
Analisis statistik dilakukan terhadap data assay unsur Ni pada zona limonit dan saprolit. Analisis ini bertujuan untuk mendeskripsikan dan memberikan gambaran tentang distribusi data. Hasil statistik kadar Ni dapat dilihat pada tabel 1.

TABEL 1. Hasil analisis statistik unsur Ni zona limonit dan saprolit

Parameter	Assay	
	Limonit	Saprolit
<i>N (jumlah data)</i>	567	838
<i>Minimum Value (%)</i>	0.30	0.20
<i>Maximum Value (%)</i>	1.30	2.920
<i>Mean (%)</i>	0.742	1,423
<i>Median (%)</i>	0.730	1,410
<i>Variance (%)</i>	0.031	0.205
<i>Standard Deviation (%)</i>	0.177	0.452
<i>Coeff. of Variation</i>	0.239	0.318

Block model

Block model berupa blok 3 dimensi yang dibuat berdasarkan model geologi endapan. Block model harus melingkupi seluruh domain endapan yang telah dibuat berdasarkan interpretasi geologi data bor dan topografi. Dimensi blok yang digunakan dalam mengestimasi sumberdaya adalah 12,5 m x 12,5 m x 1 m yang dapat dilihat pada **GAMBAR 3**.

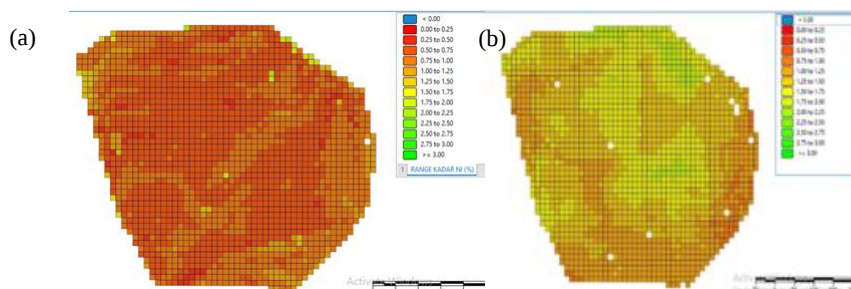


GAMBAR 3. Block model sumberdaya

Estimasi *inverse distance weighted*

Estimasi dilakukan pada tiap *cell* blok zona limonit dan saprolit. Estimasi sumberdaya dilakukan berdasarkan data sampel kadar Ni dengan menggunakan metode *inverse distance weighted*. Estimasi *inverse distance weighted* menampilkan hasil nilai taksiran kadar Ni.

Hasil estimasi IDW kadar Ni zona limonit memperlihatkan pola sebaran yang didominasi oleh kadar Ni 0,50 -1,0 %, dan hasil estimasi IDW kadar Ni zona saprolit memperlihatkan pola sebaran yang didominasi oleh kadar Ni 1,0-1,50 % untuk gambar sebaran dapat di lihat pada gambar 4 dan.



GAMBAR 4. Block model zona limonit (a) estimasi zona limonit, (b) estimasi zona saprolite

Tabulasi sebaran hasil taksiran kadar Ni zona saprolite dan limonit dapat dilihat pada **TABEL 2** dan **TABEL 3**

TABEL 2. Tabulasi Statistik hasil estimasi kadar idw power 1

Parameter	Limonite	Saprolit
Minimum Value	0.34	0.51799
Maximum Value	1.13003	2.26806
N	1.13002	2.23358
Mean	1.13002	2.23143
Variance	1.11	2.19256
Standard Deviation	9039	12542
Coeff. of Variation	0.74658	1.40921
Median	0.01424	0.04683

TABEL 3. Tabulasi Statistik hasil estimasi kadar idw power 2

Parameter	Limonite	Saprolit
Minimum Value	0.34	0.432
Maximum Value	1.15794	2.41954
N	1.15402	2.41509
Mean	1.13006	2.39239
Variance	1.13005	2.32037
Standard Deviation	9039	12542
Coeff. of Variation	0.74775	1.40537
Median	0.01616	0.06406

TABEL 4 Tabulasi Statistik hasil estimasi kadar idw power 3

Parameter	Limonite	Saprolit
Minimum Value	0.33083	0.3574
Maximum Value	1.21375	2.72789
N	1.20259	2.49951
Mean	1.14207	2.4842
Variance	1.13009	2.43805
Standard Deviation	9039	12543
Coeff. of Variation	0.74839	1.40351
Median	0.01759	0.07777

TABEL 5. Tabulasi Statistik hasil estimasi kadar idw power

Parameter	Limonite	Saprolit
Minimum Value	0.25698	0.33706
Maximum Value	1.24862	2.53704
N	1.23284	2.52168
Mean	1.1479	2.46463
Variance	1.1315	2.41956
Standard Deviation	9039	12542
Coeff. of Variation	0.74871	1.40242
Median	0.01854	0.08614

TABEL 6. nilai rmse hasil estimasi idw

Power IDW	Nilai RMSE	
	saprolit	limonite
1	0.101	0.072
2	0.117	0.063
3	0.108	0.052
4	0.099	0.047

16.4 KESIMPULAN

Dari hasil estimasi dengan metode IDW Power 1 sampai Power 4 didapat hasil RSME yang terbaik adalah Power 4 dengan nilai RSME Saproliit sebesar 0.099 dan nilai RSME Limonit sebesar 0.047 jumlah sumberdaya pada zona limonit 2.401.250 ton dan saproliit adalah 11.036.719,27 ton.

16.5 UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan paper ini penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dari berbagai pihak khususnya Kepada Prodi Magister Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta. Serta penulis menyampaikan terimakasih kepada dosen pembimbing atas arahan dan masukkan dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Geologi, Neraca Sumberdaya dan Cadangan Mineral, Batubara dan Panas Bumi Indonesia Tahun 2020. 2021. Bandung: Pusat Sumberdaya Mineral Batubara dan Panas Bumi.
- [2] M. Khaidir Noor,. 2018. “Ore Reserve Estimation of Saprolite Nickel Using Inverse Distance Method in PIT Block 3A Banggai Area Central Sulawesi,” in Journal of Physics: Conference Series, Mar. vol. 979, no. 1. doi: 10.1088/1742-6596/979/1/012047.
- [3] M. F. Gazley, L. A. , Fisher, and A. C. Edwards,. 2014. Mineral resource and ore reserve estimation - the AusIMM guide to good practice, 2nd ed. Carlton Victoria: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
- [4] S. M. Gandhi and B. C. Sarkar. 2016. Essentials of Mineral Exploration and Evaluation. Amsterdam: Elsevier, 2016. doi: 10.1016/C2015-0-04648-2.
- [5] Zibuka, Muhammad Irwan,. 2016. Estimasi Sumberdaya Nikel Laterit dengan Membandingkan Metode Nearest Neighbour Point dan Inverse Distance Weighting. Jurnal Geomine Vol. 04 No. 1
- [6] W. S. Bargawa, S. P. Nugroho, R. Hariyanto, W. Lusantono, and R. Fikral Bramida,. 2020. “Geostatistical Modeling of Ore Grade In A Laterite Nickel Deposit,” Yogyakarta Conference Series Proceeding on Engineering and Science Series (ESS), vol. 1, no. 1, pp. 301–310, doi: 10.31098/ess.v1i1.123.
- [7] Almasi A., Jalalian A., Toomanian N., 2014 *Using OK dan IDW Methods for Prediction the Spatial Variability of A Hotizon Depth and OM in Soils of Shahrekord Iran*, Journal of Environment and Earth Science Vol. , No. 15
- [8] P. Sri Suryani, Y. Sibaroni, and M. Nur Heriawan,. 2016. “Spatial analysis 3D geology nickel using ordinary kriging method,” Jurnal Teknologi, vol. 78, no. 5, pp. 373–379, doi: 10.11113/jt.v78.8340.
- [9] M. E. Rossi and C. v. Deutsch,. 2014. Mineral resource estimation. New York: Springer, doi: 10.1007/978-1-4020-5717-5.
- [10] E. Winarno, G. Nusanto, and P. E. Rosadi,. 2016. “The Accuracy Of Ore Reserves Estimation Case Study : Laterite Nickel Deposits,” in Proceeding Of 3rd International Conference On Research, Implementation And Education Of Mathematics And Science, pp. 17–24.
- [11] E. H. Isaaks and R. M. Srivastava,. 1989. Applied Geostatistics. New York: Oxford University Press.

Estimasi cadangan memakai pendekatan *Lerch Grossman* Studi Kasus Bijih Nikel Laterit di Bahodopi Sulawesi Tengah

Muh. Ardian Syaputra^[1], Risal Gunawan^[2], Waterman Sulistyana Bargawa^[3]

^{[1], [2],[3]}, Magister Teknik Pertambangan UPN, SWK 104 Lingkar Utara, Yogyakarta, 55283, Indonesia

*e-mail: muhardiansyaputra28@gmail.com

Abstrak. Perencanaan pertambangan perlu dilakukan agar sumber daya nikel dapat dimanfaatkan sebaik-baiknya. Agar dapat memanfaatkan sumber daya nikel secara optimal, maka proses penambangan membutuhkan desain lubang yang optimal. Untuk mengoptimalkan desain pit, perlu dilakukan optimasi cangkang pit sebagai acuan dalam proses pembuatan pit. Metode 2-D *Lerch-Grossman* mendefinisikan batas lubang terbuka dengan memaksimalkan keuntungan yang tidak terhitung, yang diilustrasikan oleh bagian vertikal tambang. Asumsi yang digunakan dalam metode ini adalah bahwa nilai ekonomi setiap blok di penampang harus diketahui. Optimasi lubang di PT KBM memperoleh 29 cangkang pit, berdasarkan model ekonomi (NPV, dan IRR) dengan simulasi analisis, yaitu *constant lag case*. Penentuan bentuk lubang dan desain cadangan untuk perusahaan didasarkan pada penentuan cangkang lubang yang optimal dan hasil simulasi model ekonomi, menggunakan simulasi kasus lag konstan karena analisis ini seringkali lebih realistis, sehingga cangkang lubang optimal untuk PT KBM adalah *pit shell 4* dengan jumlah cadangan 1.642.596 ton, *stripping ratio* 1,37, NPV \$45.471.360, IRR 21.61%.

Kata kunci : Nikel laterit, Lerch-Grossman, optimasi pit, pit shell, npv, irr.

Abstract. Mining planning needs to be done so that nickel resources can be utilized as well as possible. In order to optimally utilize nickel resources, the mining process requires an optimal hole design. To optimize the pit design, it is necessary to optimize the pit shell as a reference in the pit making process. The 2-D Lerch-Grossman method defines open pit boundaries by maximizing unaccounted profits, which is illustrated by the vertical section of the mine. The assumption used in this method is that the economic value of each block in the section must be known. Hole optimization at PT KBM obtained 29 pit shells, based on economic models (NPV and IRR) with analysis simulations, namely the constant lag case. The determination of the shape of the hole and the design of the reserve for the company is based on determining the optimal hole shell and the results of the economic model simulation, using a constant lag case simulation because this analysis is often more realistic, so the optimal hole shell for PT KBM is pit shell 4 with a total reserve of 1,642,596 tonnes, stripping ratio 1,37. NPV \$45,471,360, IRR 21.61%.

Keywords : Nickel laterite, Lerch-Grossman, pit optimization, pit shell, npv, irr.

17.1 PENDAHULUAN

Kegiatan penambangan mineral, khususnya penambangan nikel, harus dilakukan secara optimal ditinjau dari segi teknis dan ekonomis karena mineral tambang bersifat terbatas dan tidak dapat diperbaharui [1]. Pengoptimalan penambangan untuk cadangan mineral dapat dilakukan dengan meminimalkan jumlah waste sehingga memperoleh banyak bijih yang dapat ditambang [1]. Perencanaan Tambang adalah proses perancangan dan penetapan desain tambang dan langkah-langkah kegiatan yang akan dilakukan dalam menentukan kelayakan rancangan tambang dan tahapan pelaksanaan operasi penambangan yang bertujuan untuk mencapai hasil yang ditentukan. Salah satu perencanaan yang sangat menentukan adalah sumber daya manusia yang mampu memperkirakan kemungkinan dan cara mengantisipasi masalah baik dari aspek geoteknik, keekonomian, keselamatan dan kesehatan kerja, konservasi dan lingkungan pertambangan [2]. Perencanaan tambang berdasarkan waktu dikelompokkan menjadi perencanaan jangka panjang, menengah, pendek, dan alternatif. Dalam kegiatan perencanaan tambang dikenal konsep optimasi pit yang bertujuan untuk membuat desain tambang dengan hasil yang optimal dengan biaya yang dikeluarkan seminimal mungkin. Untuk mengoptimalkan desain pit, diperlukan pit shell optimasi yang menjadi acuan dalam proses pembuatan pit [8]. Optimasi pit dilakukan menggunakan perangkat lunak Micromine 2021, dalam proses

optimasi menggunakan metode algoritma *Lerchs-Grossman* [16] pit shell optimasi merupakan pit yang memberikan kemungkinan tertinggi keuntungan yang tak terdiskonta antara *net revenue* dan *total operating cost* [16].

Perhitungan dan penentuan ultimate *pit shell* merupakan hasil dari proses optimalisasi bukaan tambang (*Pit Optimization*). Ultimate pit shell merupakan batasan penambangan optimal yang menjadi acuan setiap pushback sehingga nilai NPV dan kapasitas produksi dapat terpenuhi sesuai dengan target waktu yang ditentukan [2]. Pushback dapat mengalami perubahan batasan penambangan seiring dengan perubahan parameter keekonomian [4]. Penelitian ini di lakukan PT KBM merupakan perusahaan tambang nikel yang berada di Indonesia dan telah melakukan kegiatan eksplorasi endapan nikel laterit. Untuk mengoptimalkan perolehan mineral tambang, dilakukan penelitian estimasi cadangan bijih nikel laterit memakai algoritma *pit optimalization* sehingga mendapatkan desain pit optimal yang dapat ditambang dan memenuhi parameter ekonomis dan teknis dari tambang.

17.2 METODE

Metode *Lerch-Grossman* pertama kali diperkenalkan oleh *Helmut Lerchs* dan *Ingo Grossman* pada tahun 1965. Metode *Lerch-Grossman* 2-D menentukan batas-batas lubang terbuka dengan memaksimalkan keuntungan yang tidak terhitung, yang diilustrasikan oleh bagian vertikal tambang. Asumsi yang digunakan dalam metode ini adalah bahwa nilai ekonomi setiap blok di penampang harus diketahui. Berikut ini adalah langkah-langkah proses algoritma *Lerchs-Grossman* dalam menentukan batas-batas open pit yang dapat memberikan profit maksimum.

1. Menentukan nilai ekonomi tiap blok, diasumsikan pada zona soil \$-2, pada zona limonit \$-4, pada zona saprolit \$12 dan pada zona bedrock \$-6. Pada zona soil, limonit, bedrock diberikan nilai mines karena bukan merupakan badan bijih yang dianggap tidak bernilai ekonomis atau *waste*, pada zona saprolit diberikan nilai positif karena merupakan badan bijih atau *ore* yang bernilai ekonomis

[illegible]

GAMBAR 1. Modified 2-dimensional Lerchs-Grossman ore body geometry

2. Menghitung nilai kumulatif secara vertikal sesuai *algoritma* berikut:

$$M_{ij} = \sum_{k=1}^i m_{kj} ; M_{36} = \sum_{k=1}^3 m_{k5} = m_{15} + m_{35} + m_{25} \quad (1)$$

	j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
i																				
0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1		-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
2		-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
3		-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10
4		-22	-22	-22	-22	-22	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-22	-22	-22	-22	-22
5		-34	-34	-34	-34	-34	14	14	14	14	14	14	14	14	14	-34	-34	-34	-34	-34
6		-46	-46	-46	-46	-46	26	26	26	26	26	26	26	26	26	-46	-46	-46	-46	-46
7		-58	-58	-58	-58	-58	38	38	38	38	38	38	38	38	38	-58	-58	-58	-58	-58
8		-64	-64	-64	-64	-64	32	32	32	32	32	32	32	32	32	-64	-64	-64	-64	-64
9		-70	-70	-70	-70	-70	26	26	26	26	26	26	26	26	26	-70	-70	-70	-70	-70

GAMBAR 2. *Two-dimensional cross section initial block model (Hustrulid & Kutcha, 2013)*

3. Melakukan perhitungan nilai bersih berdasarkan algoritma berikut dari kiri ke kanan.

$$P_{ij} = M_{ij} + \max \begin{cases} P_{i-1, j-1} \\ P_{i-2, j-2} \\ P_{i-3, j-3} \end{cases} \quad (2)$$

j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	24	62	100	138	176	190	188	
2	-6	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	0	26	64	102	140	178	192	186	184
3	-10	-16	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-10	6	32	70	108	146	184	198	188	182	176
4	-22	-32	-38	-40	-40	-16	-14	0	16	42	80	118	156	194	208	198	176	166	160
5	-34	-56	-66	-72	-74	-26	-2	14	40	78	116	154	192	230	220	186	164	142	132
6	-46	-80	-102	-112	-118	-48	0	26	64	102	140	178	216	254	220	174	140	118	96
7	-58	-104	-138	-160	-170	-80	-10	38	76	114	152	190	228	266	208	162	116	82	60
8	-64	-122	-168	-202	-224	-138	-48	22	70	108	146	184	222	260	202	144	98	52	18
9	-70	-134	-192	-238	-272	-198	-112	-22	48	96	134	172	210	248	190	132	74	28	-18

GAMBAR 3. Block model after adjustment (Hustrulid & Kutcha, 2013)

4. Memberi tanda panah dari kanan ke kiri Menunjuk ke nilai terbesar

j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	24	62	100	138	176	190	188	
2	-6	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	0	26	64	102	140	178	192	186	184
3	-10	-16	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-10	6	32	70	108	146	184	198	188	182	176
4	-22	-32	-38	-40	-40	-16	-14	0	16	42	80	118	156	194	208	198	176	166	160
5	-34	-56	-66	-72	-74	-26	-2	14	40	78	116	154	192	230	220	186	164	142	132
6	-46	-80	-102	-112	-118	-48	0	26	64	102	140	178	216	254	220	174	140	118	96
7	-58	-104	-138	-160	-170	-80	-10	38	76	114	152	190	228	266	208	162	116	82	60
8	-64	-122	-168	-202	-224	-138	-48	22	70	108	146	184	222	260	202	144	98	52	18
9	-70	-134	-192	-238	-272	-198	-112	-22	48	96	134	172	210	248	190	132	74	28	-18

GAMBAR 4. Block model after column block values are accumulated (Hustrulid & Kutcha, 2013)

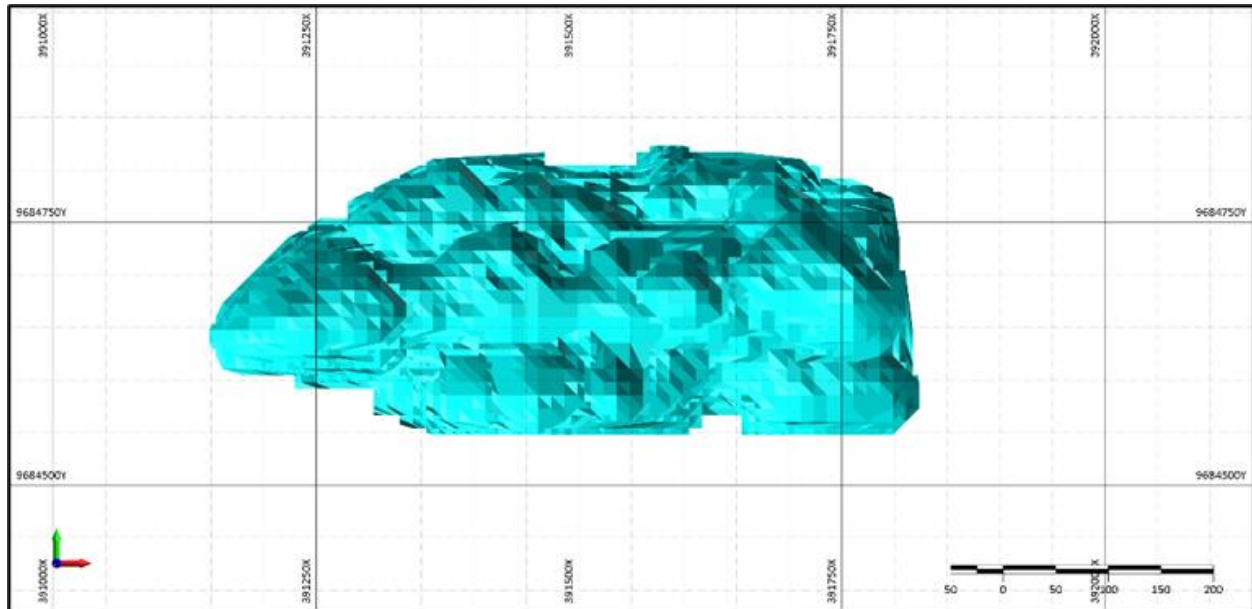
5. Menentukan batas pit berdasarkan arah busur yang dimulai dari blok dengan nilai positif terbesar pada baris pertama.

j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			

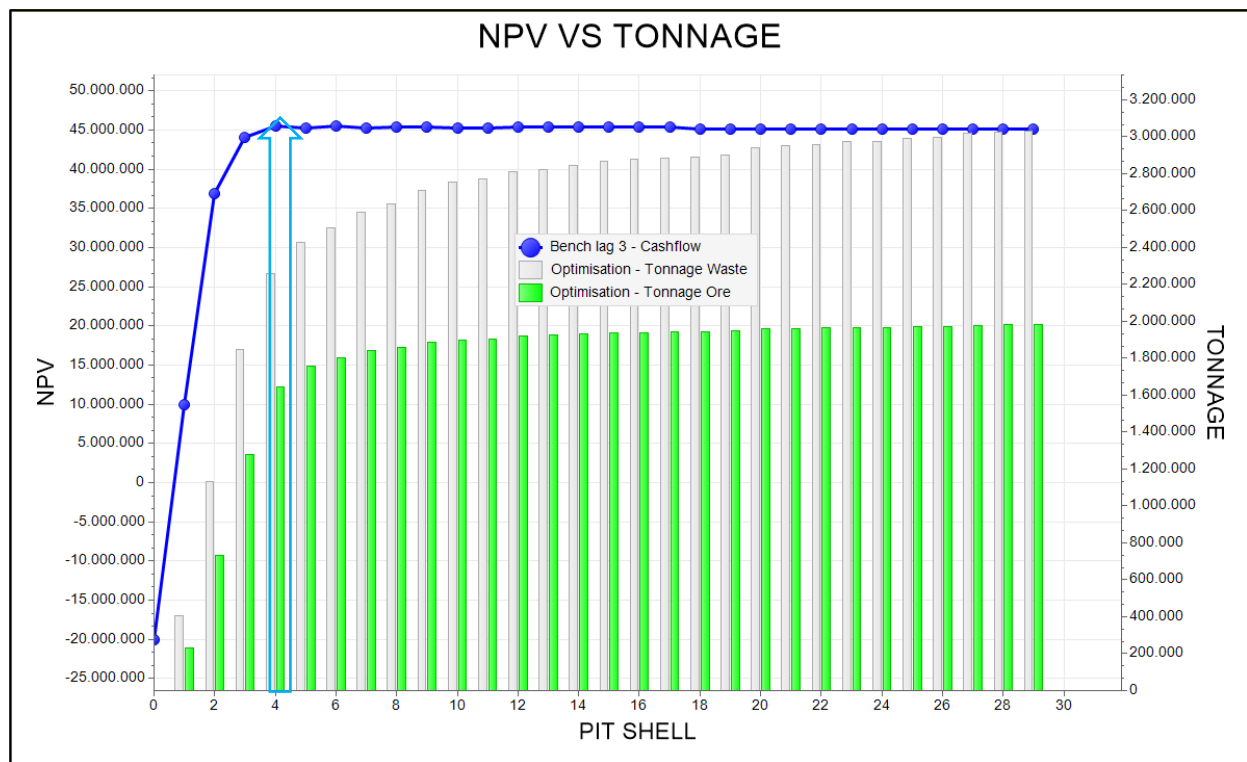
GAMBAR 5. Block model after mining direction and P_{ij} value are determined (Hustrulid & Kutcha, 2013)

17.3 HASIL DAN DISKUSI

Optimalisasi pit di PT KBM memperoleh 29 pit shell, pada *scenario Constant lag* diperoleh nilai NPV paling optimal pada *Pit shell 4* yang memiliki jumlah cadangan sebesar 1.642.596 ton, nilai NPV sebesar \$45.471.360 dan nilai IRR sebesar 21,61 %.



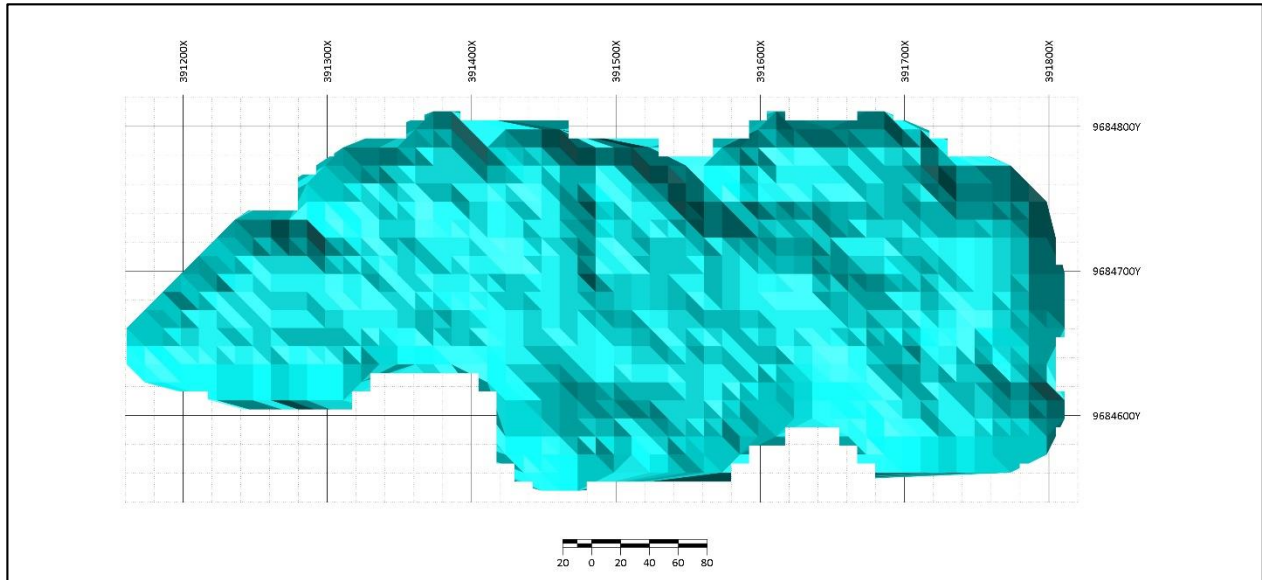
GAMBAR 6. Pit shell 1-29 Hasil Optimalisasi



GAMBAR 7. Garafik Hasil Analisis *Constant lag*

Penentuan *pit shell* optimal tidak memiliki aturan pasti. Pada umumnya *pit shell* optimal dipilih berdasarkan nilai *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Payback Period*. Pada penelitian ini pemilihan *pit shell*

optimal didasarkan pada *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan skenario *constant lag*, dengan asumsi penerapan skema penambangan skenario tersebut lebih mendekati realisasi di lapangan. Adapun skenario *best case* dan *worst case* tetap digunakan sebagai pertimbangan. Perolehan NPV tertinggi didapatkan pada pada *pit shell* ke empat dengan NPV sebesar sebesar \$45.471.360 dan nilai IRR sebesar 29,61%.



GAMBAR 8. *pit shell* 4 paling optimal

TABEL 1 . Hasil Analisis optimalisasi pit

Stage Code	Mass Diluted Recovered	Ore Mass Diluted Recovered	Waste Mass Diluted Recovered	Ore Mining Cost Discounted	Waste Mining Cost Discounted	Total Cost Discounted	Total Revenue Discounted	Net Value Discounted	Net Value	NPV	IRR
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-20000000	NA
RAF-1	635783.2789	232923.6	402859.6789	1249219.907	1190884.285	3420880.129	35941998.22	32521118.09	38385323.46	9944021.101	31.455
RAF-2	1865389.791	734009.7375	1131380.054	3068506.943	2869582.359	8327026.633	71464247.18	63137220.54	95481534.96	36890332.63	36.126
RAF-3	3123904.953	1277151.525	1846753.428	4217481.276	4047437.057	11574007.27	83886319.12	72312311.85	134642784.3	44068074.86	30.912
RAF-4	3901104.578	1642596.638	2258507.941	4740978.383	4552685.647	13012566.57	87606365.67	74593799.1	152738664	45471360.99	29.613
RAF-5	4185168.737	1756170	2428998.737	4856014.631	4732075.042	13416431.91	88283719.78	74867287.88	157685832.9	45263688.67	29.264
RAF-6	4309436.762	1800767.475	2508669.287	4907834.715	4802567.254	13585130.81	88660016.4	75074885.6	159296527.5	45471286.4	29.21
RAF-7	4434050.779	1841090.063	2592960.716	4946964.613	4877030.209	13739758.23	88849181.12	75109422.9	160555977	45291275.49	29.115
RAF-8	4494238.676	1860500.363	2633738.313	4969095.471	4909303.539	13814581.65	88982626.31	75168044.66	161050528.2	45349897.26	29.106
RAF-9	4592711.832	1885572	2707139.832	4998519.559	4966146.413	13931962.43	89186717.5	75254755.07	161679034.8	45436607.66	29.099
RAF-10	4654385.753	1899205.425	2755180.328	5014279.938	5000293.846	13999589.3	89304708.77	75305119.47	161996062.9	45288316.31	29.093
RAF-11	4679705.891	1905791.063	2773914.828	5022107.285	5013337.44	14028144.53	89350076.6	75321932.07	162101102.9	45305128.92	29.093
RAF-12	4731236.105	1918962.338	2812273.768	5038008.793	5039899.933	14086236.16	89436782.8	75350546.64	162273628.8	45333743.49	29.093
RAF-13	4748559.543	1925085.825	2823473.718	5045652.84	5047460.863	14107471.35	89468301.6	75360830.25	162326706.4	45344027.1	29.094
RAF-14	4774765.895	1931093.775	2843672.12	5053112.096	5061343.395	14136547.63	89507602.65	75371055.02	162381015.2	45354251.86	29.094
RAF-15	4802539.706	1937217.263	2865322.444	5060700.591	5076245.026	14167127.17	89546569.28	75379442.11	162426653.9	45362638.96	29.094
RAF-16	4815399.081	1939296.938	2876102.144	5063309.196	5083683.492	14180613.71	89562788.74	75382175.03	162440410.9	45365371.87	29.094
RAF-17	4824666.269	1942185.375	2882480.894	5066932.258	5088005.844	14191626.48	89575273.95	75383647.47	162447822.9	45366844.31	29.094
RAF-18	4835922.354	1944842.738	2891079.616	5070050.461	5093712.898	14203656.68	89587972.34	75384315.66	162453201.2	45183572	29.09
RAF-19	4848990.734	1947615.638	2901375.096	5073153.189	5100326.303	14216827.45	89600897.49	75384070.04	162455157.7	45183326.38	29.089
RAF-20	4901581.881	1958707.238	2942874.644	5085745.341	5126877.629	14269908.85	89651628.5	75381719.65	162447969.1	45180975.99	29.089
RAF-21	4914909.505	1961133.525	2953775.98	5088509.603	5133860.478	14283043.76	89663571.42	75380527.66	162442914.6	45179784	29.089
RAF-22	4922986.068	1964253.038	2958733.03	5092132.665	5136931.916	14292449.16	89671877.5	75379428.33	162436938.1	45178684.67	29.089
RAF-23	4939664.917	1966679.325	2972985.592	5094950.602	5146052.616	14308410.53	89685285.22	75376874.68	162423055.1	45176131.02	29.089
RAF-24	4944021.167	1968065.775	2975955.392	5096560.852	5147914.093	14313228.19	89689221.13	75375992.94	162418261.4	45175249.27	29.089
RAF-25	4962599.161	1970029.913	2992569.249	5098842.039	5158584.122	14330370.23	89702510	75372139.77	162397313.5	45171396.11	29.089
RAF-26	4970528.028	1971185.288	2999342.74	5100183.914	5162918.608	14337959.55	89708283.21	75370323.67	162387440.2	45169580	29.089
RAF-27	4998892.764	1979388.45	3019504.314	5109711.224	5175609.468	14368617.24	89730226.32	75361609.07	162340063	45160865.41	29.089
RAF-28	5010502.617	1983085.65	3027416.967	5114005.223	5180568.997	14381458.3	89739303.9	75357845.6	162319602.7	45157101.94	29.089
RAF-29	5016060.216	1984241.025	3031819.191	5115347.098	5183368.157	14387075.59	89743078.05	75356002.45	162309582.4	45155258.79	29.089

17.4KESIMPULAN

Hasil Optimalisasi pit yang dilakukan pada nilai *revenue adjustment factor* 0,1 – 1,5 *incrment* 0,05 diperoleh 29 *pit shell*, Perolehan NPV tertinggi didapatkan pada pada *pit shell* ke empat dengan NPV sebesar sebesar \$45.471.360 dan nilai IRR sebesar 29,61%, jumlah cadangan sebesar 1.642.596 ton, *stripping rasio* 1,37.

Design pit dibuat berdasarkan pit shell optimal, sehingga didapatkan tonase ore 1.372.983,73 ton, waste 1,562,290.88 ton, dengan *stripping ratio* 1,14.

17.5 UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam penyusunan paper ini tentu tidak lepas atas dukungan bapak/ibu dosen Prodi Magister Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Khaidir Noor,. 2018 “Ore Reserve Estimation of Saprolite Nickel Using Inverse Distance Method in PIT Block 3A Banggai Area Central Sulawesi,” in Journal of Physics: Conference Series,
- [2] Alipour, A., Khodaiari, A. A., Jafari, A., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2022). An integrated approach to open-pit mines production scheduling. *Resources Policy*, 75.
- [3] Blom Michelle. 2018. Short- Term Planning for Open Pit Mines Parkville, Australia The University of Melbourne.
- [4] Buelga Díaz, A., Diego Álvarez, I., Castañón Fernández, C., Krzemień, A., & Iglesias Rodríguez, F. J. (2021). Calculating ultimate pit limits and determining pushbacks in open-pit mining projects. *Resources Policy*, 72.
- [5] Bargawa, W. S., & Amri, N. A. (2016). Mineral resources estimation based on block modeling. *AIP Conference Proceedings*, 1705. <https://doi.org/10.1063/1.4940249>
- [6] E. Winarno, G. Nusantara, and P. E. Rosadi, “The Accuracy Of Ore Reserves Estimation Case Study : Laterite Nickel Deposits,” in *Proceeding Of 3rd International Conference On*
- [7] Groeneveld, B., Topal, E., & Leenders, B. (2019). Examining system configuration in an open pit mine design. *Resources Policy*, 63. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101438>
- [8] Gilani, S. O., Sattarvand, J., Hajihassani, M., & Abdullah, S. S. (2020). A stochastic particle swarm based model for long term production planning of open pit mines considering the geological uncertainty. *Resources Policy*, 68(June), 101738.
- [9] Hustrulid, W.A. dan Kuchta, M. (2013). *Open Pit Mine Planning and Design 3rd Edition*. London: AA Balkena.
- [10] Stermole, F.J., dan Stermole, J.M. (2009). *Economic Evaluation and Investment Decision Methods*. Colorado: Investment Evaluations Corp.
- [11] Crundwell, FK, 2008. *Finance for engineers*. Springer-Verlag London Limited, England.
- [12] Donald A. Singer, W. David Menzie, David M. Sutphin, Dan L. Mosier, and James D. Bliss, 2001. *Mineral Deposit Density*, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
- [13] Gentry, 1984. *Mine Investment analisis*, society of mining engineering. American institute of mining, metallurgical, New York, USA.
- [14] Hustrulid, M, Kucta, 1998. *Open pit mine planning and design*, Vol. 1 fundamental. Hal 515 – 520.
- [15] Komite cadangan mineral Indonesia, 2019. *Kode pelaporan hasil eksplorasi, sumberdaya mineral dan cadangan mineral Indonesia*.
- [16] Waterman Sulistyana Bargawa. 2018. *Perencanaan Tambang*. Yogyakarta: Klau Book.
- [17] R.C.A. Minnit, 2004. *Cut-Off Grade Determination for the Maximum Value of a Small Wits-type Gold Mining Operation*.
- [18] Stermole, 1987. *Economic Evaluation Cooperation, Golden value drive*, Colorado, USA.

Estimasi Sumberdaya Endapan Nikel Laterit Sulawesi Tengah dengan Metode Ordinary Kriging

Gede Yangda Sugianto^{1, a)}, Waterman Sulistyana Bargawa^{1, b)}, Dahono Haryanto^{1, c)}

¹Magister Teknik Pertambangan UPN Veteran Yogyakarta, Jl. SWK No.104 (Lingkar Utara), Ngropoh, Condongcartur, Depok Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

Email: gede.yangda.sugianto@gmail.com

Abstrak. Estimasi sumberdaya merupakan salah satu bagian penting dalam industri pertambangan yang secara kolektif menghasilkan model deposit mineral. Metode estimasi yang paling optimal dan sering digunakan saat ini adalah metode *ordinary kriging*. Estimasi sumberdaya endapan nikel laterit pada penelitian ini didasarkan pada data hasil kegiatan pemboran yang kemudian dianalisis dengan metode geostatistik *ordinary kriging*. Tahapan dalam penelitian ini, yaitu melakukan pengumpulan dan validasi data, analisis geostatistik dan estimasi sumberdaya. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran taksiran kuantitas dan kualitas dari endapan nikel laterit, yang pada akhirnya dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan perencanaan penambangan yang tepat..

Kata kunci: estimasi sumberdaya, *ordinary kriging*, nikel laterit

Abstract. Resource estimation is an important part of the mining industry which collectively produces mineral deposit models. The most optimal estimation method and often used is the ordinary kriging method. The estimation of nickel laterite deposit resources in this study is based on data from drilling activities which are then analyzed using the geostatistical ordinary kriging method. The methodology of this research is collecting and validating data, geostatistical analysis, and resource estimation. This study aims to provide an overview of the estimated quantity and quality of laterite nickel deposits, which in turn can be used as a basis for determining the appropriate mining plan.

Keywords: resource estimation, *ordinary kriging*, nickel laterite

18.1 PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan dan produksi nikel setiap tahunnya diikuti dengan kegiatan eksplorasi pada wilayah greenfield yang berpotensi membawa mineralisasi nikel laterit [1]. Estimasi sumberdaya merupakan tahapan penutup dari kegiatan eksplorasi mineral yang secara kolektif menghasilkan model deposit mineral [2], [3]. Estimasi sumberdaya dilakukan berdasarkan informasi geoscientific dengan menggunakan pendekatan matematis.[4] Metode yang paling sering digunakan saat ini adalah metode dengan analisis geostatistik yaitu *ordinary kriging* [5]–[7]. Estimasi sumberdaya endapan nikel laterit pada penelitian ini didasarkan pada data hasil kegiatan pemboran yang kemudian dianalisis untuk mengetahui dimensi endapan dan persebaran kadar Ni di daerah penelitian. Untuk lokasi penelitian sendiri di Desa Bahodopi, Desa Lalampu Dan Wilayah Desa Siumbatu, Kecamatan Bahodopi, Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah gambaran taksiran kuantitas dan kualitas dari endapan nikel laterit, yang pada akhirnya dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan perencanaan penambangan yang tepat.

18.2 METODE

Pendekatan penelitian yang dilakukan yaitu dengan metode deskriptif kuantitatif, yaitu dengan mengumpulkan data yang representatif yang dapat digeneralisasikan di daerah penelitian. Kemudian data-data tersebut diolah dan dianalisis menggunakan bantuan software micromine. Metodologi penelitian ini yaitu melakukan pengumpulan data, validasi data, analisis statistik dan geostatistik, pemodelan sumberdaya dan estimasi sumberdaya.

Pengambilan data pemboran dilakukan di Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah 108 titik pemboran dengan spasi 50 x 50 meter. Data hasil pemboran yang diperoleh meliputi hasil analisa sampel inti bor, koordinat (easting, northing) dan elevasi lokasi titik bor, kedalaman lubang bor, serta deskripsi litologi dari lubang bor. Selanjutnya adalah melakukan pengolahan data yang meliputi pengolahan basis data, validasi data, analisis statistik, dan analisis geostatistik [8].

Pemodelan sumberdaya dilakukan dengan blok model 3 dimensi yang dibuat berdasarkan model geologi endapan. Blok model harus melingkupi seluruh domain endapan yang telah dibuat berdasarkan interpretasi geologi data bor dan topografi sebelumnya, dimana dalam penelitian ini terdiri dari dua domain yaitu zona limonit dan saprolit. Dimensi blok estimasi yang dianjurkan adalah lebih kecil dari spasi pemboran dengan ukuran 1/2-1/4 jarak rata-rata lubang bor [9], [10]. Blok estimasi pada penelitian ini dibuat dengan ukuran 12,5 m × 12,5 m × 1 m dengan asumsi ¼ jarak spasi bor, dengan dominasi jarak bor adalah 50 meter.

Penaksiran kadar blok dilakukan dengan metode ordinary kriging. Ordinary kriging merupakan salah satu analisis geostatistik linear untuk memprediksi suatu nilai berdasarkan nilai-nilai di sekitarnya dengan mempertimbangkan komponen spasial. Estimasi dengan metode ordinary kriging bersifat B.L.U.E. (best linear unbiased estimator) karena menghasilkan penduga yang tidak bias [11]. Nilai taksiran metode ordinary kriging ditentukan dengan persamaan (1) berikut :

$$\hat{Z} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot z_i \text{ atau } \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (1)$$

Sedangkan nilai variansi kriging ditentukan dengan menggunakan persamaan (2) berikut :

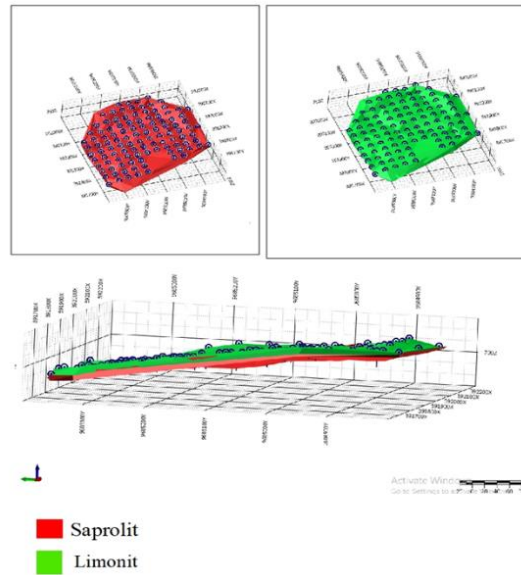
$$\sigma^2 = C(0) - ((\sum n \lambda_i \cdot C(i,0)) + \mu) \quad (2)$$

Metode ordinary kriging menggunakan beberapa parameter dalam penaksiran kadar. Parameter penaksiran yang diperlukan meliputi luasan daerah pengaruh, yaitu jarak maksimal dari spasial korelasi data dan parameter variogram (nugget, sill dan range) dari hasil fitting variogram. Tabulasi sumberdaya nikel laterit dinyatakan dalam tonase (ton), dimana tonase diperoleh dari hasil perkalian antara total volume blok dengan densitasnya.

18.3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Sumberdaya

Model sumberdaya merupakan cara untuk membatasi penaksiran kadar nikel pada suatu populasi di daerah penelitian, sehingga hasil taksiran kadar tidak terjadi ekstrapolasi terlalu jauh keluar batas mineralisasi. Model sumberdaya harus mendekati model sebenarnya agar dapat memberikan hasil estimasi yang akurat. Model sumberdaya dibuat berdasarkan model geologi hasil interpretasi data bor. Model endapan nikel laterit membentuk zona pengkayaan mineral/zona laterisasi yaitu zona limonit, saprolit dan badrock, namun pada penelitian ini pemodelan sumberdaya nikel laterit dilakukan hanya pada zona limonit dan saprolit seperti pada **GAMBAR 1**.



GAMBAR 1 Model geologi zona limonit dan saprolit:
Tampak atas (atas), Tampak samping (bawah).

Analisis statistik

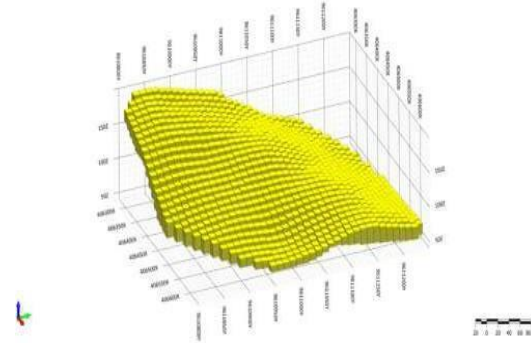
Analisis statistik dilakukan terhadap data assay unsur Ni pada zona limonit dan saprolit. Analisis ini bertujuan untuk mendeskripsikan dan memberikan gambaran tentang distribusi data. Hasil statistik kadar Ni dapat dilihat pada **TABEL 1**.

TABEL 1. Hasil analisis statistik unsur Ni zona limonit dan saprolit

Parameter	Assay	
	Limonit	Saprolit
<i>N (jumlah data)</i>	567	838
<i>Minimum Value (%)</i>	0.30	0.20
<i>Maximum Value (%)</i>	1.30	2.920
<i>Mean (%)</i>	0.742	1,423
<i>Median (%)</i>	0.730	1,410
<i>Variance (%)</i>	0.031	0.205
<i>Standard Deviation (%)</i>	0.177	0.452
<i>Coeff. of Variation</i>	0.239	0.318

Block model

Block model berupa blok 3 dimensi yang dibuat berdasarkan model geologi endapan. Blok model harus melingkupi seluruh domain endapan yang telah dibuat berdasarkan interpretasi geologi data bor dan topografi. Dimensi blok yang digunakan dalam mengestimasi sumberdaya adalah 12,5 m x 12,5 m x 1 m yang dapat dilihat pada **GAMBAR 3**.

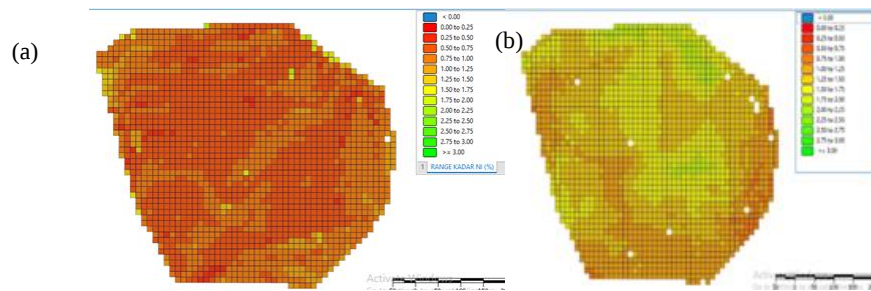


GAMBAR 2. Block model sumberdaya

Estimasi *Ordinary Kriging*

Estimasi dilakukan pada tiap *cell* blok zona limonit dan saprolit. Estimasi sumberdaya dilakukan berdasarkan data sampel kadar Ni dengan menggunakan metode *ordinary kriging*. Estimasi *ordinary kriging* menampilkan hasil nilai taksiran kadar Ni dan *kriging variannce*.

Hasil estimasi *ordinary kriging* kadar Ni zona limonit memperlihatkan pola sebaran yang didominasi oleh kadar Ni 0,25-1,50 %, dan hasil estimasi *ordinary kriging* kadar Ni zona saprolit memperlihatkan pola sebaran yang didominasi oleh kadar Ni 1,50-2,35 % dilihat pada gambar 3.



GAMBAR 3 Block model zona limonit (a) estimasi zona limonit, (b) estimasi zona saprolite

Tabulasi sebaran hasil taksiran kadar Ni zona saprolite dan limonit dapat dilihat pada **TABEL 2 dan TABEL 3**.

Berdasarkan tabulasi jumlah sumberdaya estimasi *ordinary kriging* pada **TABEL 2 dan TABEL 3**, diketahui jumlah sumberdaya pada zona limonit adalah 2.401.249 ton dengan rata-rata kadar Ni 0,7 %. Sedangkan jumlah sumberdaya pada zona saprolit adalah 4.395.296,9 ton dengan rata-rata kadar Ni 1,4 %.

TABEL 2. Tabulasi jumlah sumberdaya estimasi *Ordinary Kriging* zona limonit

Kadar (%)	Sumberdaya Ni Limonit		Rata-rata kadar (%)
	Volume (m ³)	Tonase (ton)	
0,00 - 0,50	25,781	43,828	0,45
0,50 - 1,00	1,362,500	2,316,250	0,74
1,00 - 1,50	24,218	41,171	1,04
1,50 - 2,00	-	-	-
2,00 - 2,50			-
2,50 - 3,00	-	-	-
3,00 - 3,50	-	-	-
Total	1.412.499	2.401.249	0,7

TABEL 3. Tabulasi jumlah sumberdaya estimasi *ordinary kriging* zona saprolit

Kadar (%)	Sumberdaya Ni Saprolit		Rata-rata kadar (%)
	Volume (m3)	Tonase (ton)	
0,00 - 0,50	156.25	265.63	0.4
0,50 - 1,00	48281.25	82078.13	0.93
1,00 - 1,50	48281.25	2156078.13	1.29
1,50 - 2,00	642656.25	2156078.13	1.64
2,00 - 2,50	468.75	796.88	2
2,50 - 3,00			
3,00 - 3,50			
Total	739.843,75	4.395.296,9	1,4

18.4 KESIMPULAN

Hasil estimasi sumberdaya endapan nikel laterit dengan metode ordinary kriging pada zona limonit memiliki jumlah dan rata-rata kadar yang lebih kecil dibandingkan hasil estimasi pada zona saprolit. Pada zona limonit endapan nikel laterit didominasi oleh kadar 0,50 - 1,00% sedangkan di zona saprolite didominasi oleh kadar 1,50%-2,00%. Total sumberdaya nikel laterit pada daerah penelitian adalah 6.796.545,9 ton dengan rata-rata kadar 1,2 %.

18.5 UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan paper ini penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dari berbagai pihak khususnya Kepada Prodi Magister Teknik Pertambangan UPN “Veteran”Yogyakarta. Serta penulis menyampaikan terimakasih kepada dosen pembimbing atas arahan dan masukkan dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Denni Widhiyatna, D. 2021. Neraca Sumberdaya dan Cadangan Mineral, Badan Geologi Batubara dan Panas Bumi

- [2] M. Khaidir Noor. 2018. Ore Reserve Estimation of Saprolite Nickel Using Inverse Distance Method in PIT Block 3A Banggai Area Central Sulawesi. *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 979, no. 1. doi: 10.1088/1742-6596/979/1/012047.
- [3] M. F. Gazley, L. A. , Fisher, and A. C. Edwards. 2014. Mineral resource and ore reserve estimation - the AusIMM guide to good practice, 2nd ed. Carlton Victoria: *The Australasian Institute of Mining and Metallurgy*.
- [4] S. M. Gandhi and B. C. Sarkar. 2016. Essentials of Mineral Exploration and Evaluation. Amsterdam: Elsevier,. doi: 10.1016/C2015-0-04648-2.
- [5] A. Lamamra, D. L. Neguritsa, and M. Mazari. 2019. Geostatistical Modeling by the Ordinary Kriging in the Estimation of Mineral Resources on the Kieselguhr Mine, Algeria. in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 362, no. 1. doi: 10.1088/1755-1315/362/1/012051.
- [6] W. S. Bargawa, S. P. Nugroho, R. Hariyanto, W. Lusantono, and R. Fikral Bramida. 2020. Geostatistical Modeling of Ore Grade In A Laterite Nickel Deposit. *Yogyakarta Conference Series Proceeding on Engineering and Science Series (ESS)*, vol. 1, no. 1, pp. 301–310, 2020, doi: 10.31098/ess.v1i1.123.
- [7] A. A. Daya and H. Bejari. 2015. A comparative study between simple kriging and ordinary kriging for estimating and modeling the Cu concentration in Chehlkureh deposit, SE Iran,” *Arabian Journal of Geosciences*. Vol. 8, no. 8, pp. 6003–6020.
- [8] P. Sri Suryani, Y. Sibaroni, and M. Nur Heriawan. 2016. Spatial analysis 3D geology nickel using ordinary kriging method. *Jurnal Teknologi*. Vol. 78, No. 5, Hal. 373–379
- [9] M. E. Rossi and C. v. Deutsch. 2014. Mineral resource estimation. New York: Springer. doi: 10.1007/978-1-4020-5717-5.
- [10] E. Winarno, G. Nusanto, and P. E. Rosadi. 2016. The Accuracy Of Ore Reserves Estimation Case Study : Laterite Nickel Deposits. *Proceeding Of 3rd International Conference On Research, Implementation And Education Of Mathematics And Science*. Hal. 17–24.
- [11] E. H. Isaaks and R. M. Srivastava. 1989. Applied Geostatistics. New York: Oxford University Press



**PROSIDING SEMINAR NASIONAL “40 TAHUN PANDU BERBAKTI”
TEKNIK PERTAMBANGAN FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL - LPPM
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN” YOGYAKARTA**

Sekretariat: Gd. Ari F. Lasut ALC I

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta
Jl. Padjadjaran 104 (Lingkar Utara), Condongcatur, Yogyakarta 55283
Telepon (0274) 486733, ext 154, Fax. (0274) 486400

E-mail: lppm@upnyk.ac.id



9 786233 892025

