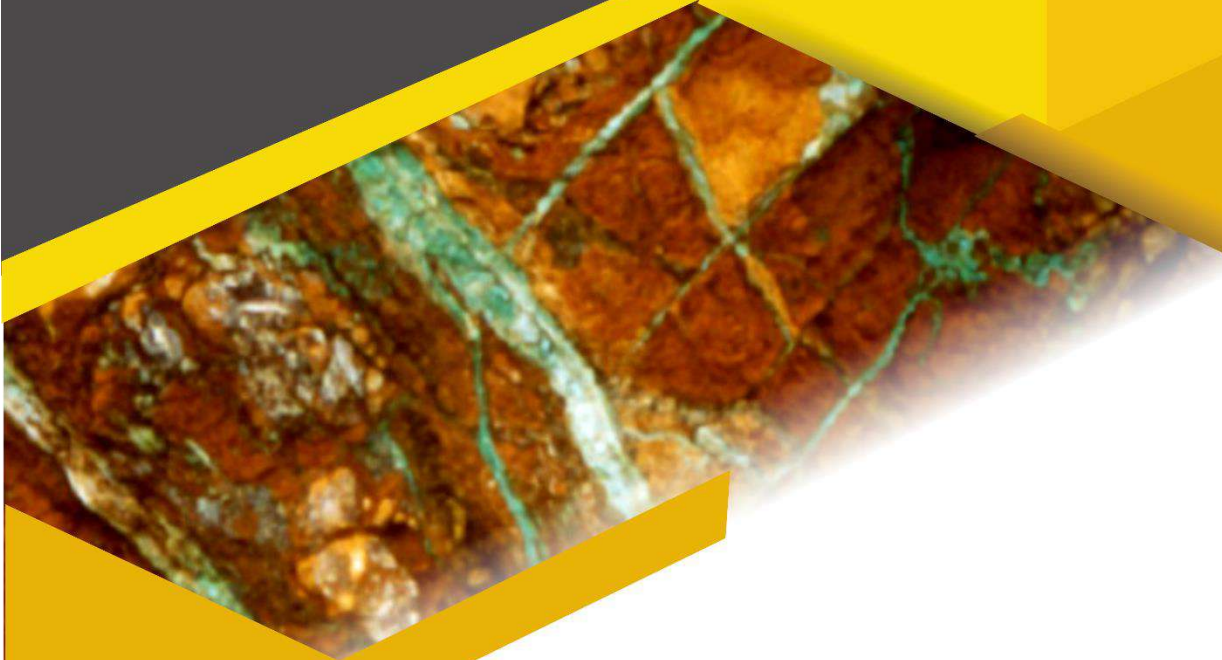


ISBN 978-623-389-202-5



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 Widiyanto

Humas & Publikasi : Ir. Basuki Trubus Wicaksono

Acara : Ir. Agus Panca Suchyo, MT., Ir. M. Mochtar Chodlori, 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.

Arद्या 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 KCM I 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

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 ± 1550 °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

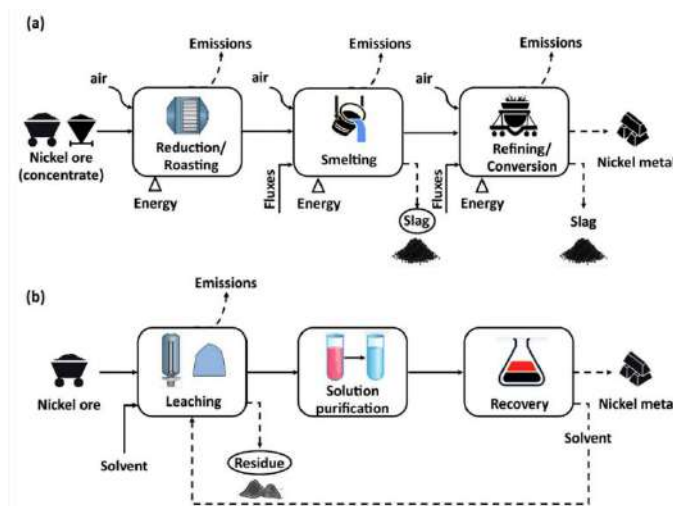
Nikel di Indonesia

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 nikel 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 Molecule</i>	<i>X-Ray Diffraction,</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).

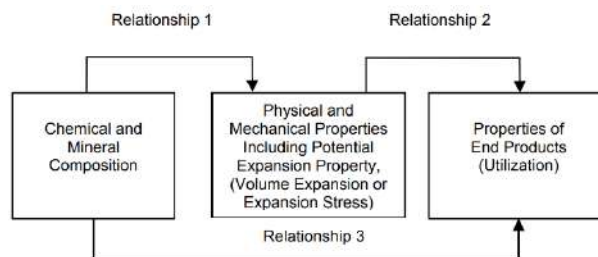
Pengujian TCLP yang dilakukan langsung pada sampel slag nikel menggunakan metode USEPA 1311. Sampel slag feronikel sebanyak seratus gram dimasukkan ke dalam bejana ekstraksi HDPE (*high density polyethylene*) 2,2 L. Kemudian ditambahkan 2 L larutan ekstraksi dengan perbandingan Cair/padat adalah 20 L/kg. Campuran tersebut kemudian diaduk selama 18 + 2 jam dalam rotary extractor kemudian sampel disaring dalam glass fiber filter menggunakan filter ukuran 0,7 lm. 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 pemuai 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 Flourescence*, *X-Ray Flourescence*), 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 revie 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., Ahmadelouydarab, 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.