

**GEOLOGI DAN STUDI POROSITAS SERTA PERMEABILITAS
BATUAN TERHADAP KESTABILAN LERENG
HIGHWALL-LOWWALL TAMBANG TERBUKA, DESA MANGKALAPI,
KECAMATAN TELUK KEPAYANG, KABUPATEN TANAH BUMBU,
PROVINSI KALIMANTAN SELATAN**

SKRIPSI

OLEH:

M. ABDUL RAHMAN SALIM
111.180.146



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK GEOLOGI
JURUSAN TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
YOGYAKARTA**

2022

**GEOLOGI DAN STUDI POROSITAS SERTA PERMEABILITAS
BATUAN TERHADAP KESTABILAN LERENG
HIGHWALL-LOWWALL TAMBANG TERBUKA, DESA MANGKALAPI,
KECAMATAN TELUK KEPAYANG, KABUPATEN TANAH BUMBU,
PROVINSI KALIMANTAN SELATAN**

SKRIPSI

Oleh:

M. ABDUL RAHMAN SALIM
111.180.146

Disusun Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana (S1) Teknik Geologi

Yogyakarta, 30 Agustus 2022

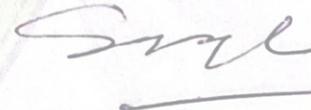
Menyetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Dr. Ir. Purwanto, M.T.
NIP. 19590826 198903 1 001



Dr. Ir. Sugeng Rahardjo, M.T.
NIP. 19581208 199203 1 001

Mengetahui

Ketua Jurusan



Dr. Ir. Jufmika Setiawan, M.T.

NIP. 19640411 199303 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul **“Geologi dan Studi Porositas Serta Permeabilitas Batuan Terhadap Kestabilan Lereng Highwall-Lowwall Tambang Terbuka, Desa Mangkalapi, Kecamatan Teluk Kepayang, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan”** dalam rangka menyelesaikan studi di Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, UPN “Veteran” Yogyakarta.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, yakni:

1. Dr. Ir. Jatmika Setiawan, M.T. selaku ketua Jurusan Teknik Geologi UPN “Veteran” Yogyakarta.
2. Dr. Ir. Purwanto, M.T. selaku pembimbing I dan Dr. Ir. Sugeng Rahardjo, M.T. selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan memberikan ilmu kepada penulis selama penyusunan laporan Tugas Akhir ini.
3. PT. Mitra Setia Tanah Bumbu dan CV. Hidup Hidayah Ilahi yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian Tugas Akhir serta memberikan arahan, masukan, dan bimbingannya selama melaksanakan penelitian.
4. Seluruh pihak yang turut serta dalam membantu menyelesaikan Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, karena itu penulis terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun agar dapat menjadi lebih baik. Akhir kata, semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat, baik untuk penulis maupun semua pihak.

Yogyakarta, 21 September 2022
Penulis,

M. Abdul Rahman Salim

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji Syukur kehadiran Allah swt yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya kepada penulis, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini sebagai syarat kelulusan tingkat Sarjana di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.

Skripsi ini penulis persembahkan kepada orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan dalam bentuk doa maupun materi sehingga penulis bisa menyelesaikan studi.

**GEOLOGI DAN STUDI POROSITAS SERTA PERMEABILITAS
BATUAN TERHADAP KESTABILAN LERENG
HIGHWALL-LOWWALL TAMBANG TERBUKA, DESA MANGKALAPI,
KECAMATAN TELUK KEPAYANG, KABUPATEN TANAH BUMBU,
PROVINSI KALIMANTAN SELATAN**

Oleh :
M. ABDUL RAHMAN SALIM
111 180 146

ABSTRAK

Daerah penelitian merupakan daerah IUP PT. Mitra Setia Tanah Bumbu (MSTB)-CV. Hidup Hidayah Ilahi (HHI), secara administratif terletak di Desa Mangkalapi, Kecamatan Teluk Kepayang, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan. Luas daerah penelitian adalah 2 km x 1,8 km terletak pada koordinat UTM 341000 m E – 343000 m E dan 9615400 m S – 9617200 m S.

Tujuan penelitian yang ingin dicapai peneliti yaitu untuk mengetahui kondisi geologi daerah penelitian meliputi pola pengaliran, geomorfologi, geologi, struktur geologi dan geologi teknik).

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi studi literatur, pengumpulan data geologi (observasi pola pengaliran, geomorfologi, pengamatan singkapan, pengukuran kedudukan lapisan batuan dan struktur geologi, measuring section, pengambilan contoh batuan, dan dokumentasi), pengambilan data geologi teknik (pengambilan sampel batuan, data pemboran, data sekunder, dan geometri lereng), dan analisis data dan pengolahan data. Pola pengaliran daerah penelitian yaitu pola pengaliran subdentritik. Memiliki pola aliran seperti ranting pohon yang bercabang, sedikit dipengaruhi oleh struktur geologi, dan tingkat resistensi batuan antara sedang sampai lemah.

Geomorfologi daerah penelitian dibagi menjadi 3 bentukasal dan 8 bentuklahan, yakni bentukasal denudasional dengan bentuklahan dataran rendah (D1), bentukasal fluvial bentuklahan tubuh sungai (F1), dan bentuklahan dataran aluvial (F2), dan bentukasal Antropogenik dengan bentuklahan area bukaan tambang/pit (A1) dan bentuklahan genangan air bekas tambang/sump (A2), bentuklahan *stockpile/stockroom* (A3), dan bentuklahan hasil timbunan tambang/disposal (A4), dan bentuklahan area penanaman/reklamasi (A5).

Stratigrafi daerah penelitian termasuk dalam Cekungan Asam-asam yang terdiri 4 satuan batuan, dari tua ke muda yakni Satuan batulempung Warukin terendapkan pada *Transitional Lower Delta Plain* (Miosen Tengah-Akhir), Satuan batupasir Warukin terendapkan pada *Transitional Lower Delta Plain* (Miosen Tengah-Akhir), *Waste* disposal dan Endapan aluvial (Holosen) diendapkan secara tidak selaras diatas Satuan batupasir warukin dengan pengendapan darat. Struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian adalah sesar mendatar kiri naik yang berarah relatif utara-selatan.

Hasil analisis data porositas dan permeabilitas batuan pada lereng highwall memiliki tipe akuifer dan lereng lowwall akuifer-akuiklud. Hasil analisis kestabilan lereng sayatan No. 3 didapatkan nilai FK pada lereng highwall dengan metode Bishop 1,583. Sedangkan lereng lowwall dengan metode Bishop 0,608. Hasil analisis kestabilan lereng sayatan No. 13 didapatkan nilai FK pada lereng highwall dengan metode Bishop 1,582. Sedangkan lereng lowwall dengan metode Bishop 1,859. Hasil analisis kestabilan lereng sayatan No. 17 didapatkan nilai FK pada lereng highwall dengan metode Bishop 2246. Sedangkan lereng

lowwall dengan metode Bishop 4,032. Potensi geologi daerah penelitian terdapat positif dan negatif. Potensi positif berupa penambangan, dan potensi negatif berupa lereng berpotensi longsor, air asam tambang, dan rembesan air tanah yang ada pada lereng tambang.

Kata Kunci: *Geologi, Kestabilan Lereng, Permeabilitas, Porositas*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Penelitian	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian	2
1.4. Lokasi dan Pencapaian Daerah Penelitian	3
1.5. Hasil yang Diharapkan	4
1.6. Manfaat Penelitian	5
BAB II. METODOLOGI DAN KAJIAN PUSTAKA	
2.1. Metode dan Tahapan Penelitian	7
2.1.1. Pendahuluan	7
2.1.2. Pengumpulan Data	8
2.1.3. Analisis Data dan Pengolahan Data	9
2.1.4. Tahap Penyusunan Laporan dan Penyajian Data	13
2.2. Kajian Pustaka	15
2.2.1. Batuan Sedimen	15
2.2.2. Lingkungan Pengendapan Batubara	17
2.2.3. Air Tanah	19
2.2.4. Kedudukan Lereng pada Tambang Terbuka.	20
2.2.5. Faktor Pengontrol Kestabilan Lereng	21
2.2.6. Kriteria Runtuh <i>Mohr-Coulomb</i>	23
2.2.7. Analisis Kestabilan Lereng – <i>Limit Equilibrium Method (LEM)</i>	25
2.2.8. Kestabilan Lereng Metode Irisan (<i>Method of Slice</i>).	27

2.2.9. Metode Bishop Disederhanakan (<i>Simplified Bishop Method</i>) ..	28
2.2.10. Klasifikasi Faktor Keamanan	29
2.2.11. Porositas Batuan	30
2.2.12. Permeabilitas Batuan.....	32
2.2.13. Porositas dan Permeabilitas Batuan Terhadap Kestabilan Lereng.	34

BAB III. GEOLOGI REGIONAL

3.1. Fisiografi Regional Daerah Penelitian	36
3.2. Stratigrafi Regional Daerah Penelitian	37
3.3. Tatanan Tektonik Daerah Penelitian.....	40

BAB IV. GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

4.1. Pola Pengaliran Daerah Penelitian	45
4.2. Geomorfologi Daerah Penelitian.....	50
4.2.1. Bentukasal Denudasional	54
4.2.1.1. Dataran Rendah (D1)	54
4.2.2. Bentukasal Fluvial.....	55
4.2.2.1. Tubuh Sungai (F1)	55
4.2.2.2. Dataran Aluvial (F2).....	56
4.2.3. Bentukasal Antropogenik.....	58
4.2.3.1. Area Bukaan Tambang/ <i>Pit</i> (A1)	58
4.2.3.2. Genangan Air Bekas Tambang/ <i>Sump</i> (A2)	59
4.2.3.3. <i>Stockpile/Stockroom</i> (A3).....	60
4.2.3.4. Lahan Hasil Timbunan Tambang/ <i>Disposal</i> (A4).....	62
4.2.3.5. Area Penanaman/ <i>Reklamasi</i> (A5).....	63
4.3. Stratigrafi Daerah Penelitian.....	64
4.3.1. Satuan batulempung Warukin	67
4.3.1.1. Dasar Penamaan.....	67
4.3.1.2. Ciri Litologi	67
4.3.1.3. Penyebaran dan Ketebalan.....	73
4.3.1.4. Umur dan Lingkungan Pengendapan.....	73
4.3.1.5. Hubungan Stratigrafi.....	76
4.3.2. Satuan batupasir Warukin	77
4.3.2.1. Dasar Penamaan.....	77

4.3.2.2. Ciri Litologi	77
4.3.2.3. Penyebaran dan Ketebalan.....	84
4.3.2.4. Umur dan Lingkungan Pengendapan.....	84
4.3.2.5. Hubungan Stratigrafi.....	87
4.3.3. Endapan Aluvial	87
4.3.3.1. Dasar Penamaan.....	87
4.3.3.2. Ciri Litologi	87
4.3.3.3. Penyebaran dan Ketebalan.....	88
4.3.3.4. Umur dan Lingkungan Pengendapan.....	88
4.3.4. Material Timbunan Tambang	88
4.3.4.1. Dasar Penamaan.....	88
4.3.4.2. Ciri Litologi	89
4.3.4.3. Penyebaran dan Ketebalan.....	89
4.3.4.4. Umur dan Lingkungan Pengendapan.....	89
4.4. Struktur Geologi Daerah Penelitian	91
4.3.1. Sesar Kusan	91
4.5. Sejarah Geologi Daerah Penelitian.....	92

**BAB V. STUDI POROSITAS DAN PERMEABILITAS BATUAN TERHADAP
KESTABILAN LERENG HIGHWALL-LOWWALL TAMBANG
TERBUKA**

5.1. Kondisi Geologi Teknik Daerah Penelitian.....	96
5.2. Karakteristik Batuan.....	96
5.2.1. Karakteristik Batuan Lereng Highwall.....	97
5.2.2. Karakteristik Batuan Lereng Lowwall	98
5.2.3. Air Tanah.....	98
5.3. Kondisi Kestabilan Lereng Highwall-Lowwall	100
5.3.1. Lereng Highwall.....	100
5.3.2. Lereng Lowwall	101
5.4. Cara Menganalisis Kestabilan Lereng.....	101
5.6.1. <i>Minescape</i>	102
5.6.2. <i>AutoCAD Map 3D 2015</i>	103
5.6.3. <i>Slide V.6.0.</i>	103

5.5. Studi Porositas dan Permeabilitas Batuan Lereng Highwall-Lowwall	105
5.5.1. Porositas Batuan Lereng Highwall-Lowwall	106
5.5.2. Permeabilitas Batuan Lereng Highwall-Lowwall	107
5.5.3. Hubungan Porositas dan Permeabilitas Batuan Lereng Highwall-Lowwall Terhadap Kestabilan Lereng	109
5.6. Kajian Kestabilan Lereng Highwall-Lowwall	118
5.6.1. Kondisi Lereng yang Dikaji	118
5.6.2. Sayatan No. 3 (Highwall-Lowwall Timur)	120
5.6.3. Sayatan No. 13 (Highwall-Lowwall Tengah)	121
5.6.4. Sayatan No. 17 (Highwall-Lowwall Barat)	122
5.7. Rekomendasi Peningkatan Kestabilan Lereng Highwall-Lowwall	124
5.7.1. Penempatan Horizontal Drain Hole di Lereng Tambang	124
5.7.2. Pemasangan Geomembrane	125
5.7.3. Pelandaian Lereng	126
5.7.4. <i>Dewatering</i> Penurunan MAT -30m	126
BAB VI. POTENSI GEOLOG	
6.1. Potensi Geologi Daerah Penelitian	129
6.1.1. Potensi Positif	129
6.1.2. Potensi Negatif	130
BAB VII. PENUTUP	
7.1. Kesimpulan	133
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	xx

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Lokasi Daerah Penelitian	4
Gambar 1.2. Peta topografi Pit PT. MSTB-CV. HHI dan sekitarnya	4
Gambar 2.1. Diagram Alir Penelitian	14
Gambar 2.2. Klasifikasi batupasir klastik (Pettijohn, 1973).....	16
Gambar 2.3. Klasifikasi batuan sedimen klastik berbutir halus (Picard, 1971)	16
Gambar 2.4. Model lingkungan pengendapan batubara di daerah delta (Horne,1978)	17
Gambar 2.5. Diagram memperlihatkan posisi relatif beberapa istilah yang berkaitan dengan air bawah permukaan (Fetter, 1994)	19
Gambar 2.6. Desain geometri lereng tambang terbuka (Martin, 2011).....	21
Gambar 2.7. Pengujian geser pada bidang diskontinu (Hoek, 2006)	24
Gambar 2.8. Mekanisme luncuran blok pada bidang (dalam Frans, Jioni Santo dkk 2019).....	26
Gambar 2.9. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan (Hoek, 2006).....	27
Gambar 2.10. Hubungan antara ukuran butir, porositas, retensi spesifik dan hasil spesifik (Bell, 1993).....	31
Gambar 2.11. Diagram tiga fase dari elemen agregat tak jenuh (Dowson, 2008)..	32
Gambar 3.1. Kerangka tektonik Pulau Kalimantan (Nuay, 1985 dalam Rose & Hartono, 1978)	36
Gambar 3.2. Peta geologi regional lembar kotabaru, Kalimantan (Rustandi, dkk, 1995).....	39
Gambar 3.3. Kolom Stratigrafi Peta Geologi Lembar Kotabaru, Kalimantan (Rustandi, dkk., 1995).....	40
Gambar 3.4. Tektonostratigrafi Cekungan Barito (Satyana dan Silitonga, 1994)..	43
Gambar 4.1. Model pola pengaliran subdentritik (menurut Howard, 1967)	46
Gambar 4.2. Pola pengaliran di daerah penelitian.....	48
Gambar 4.3. Bentuklahan dataran rendah (D1) arah kamera tenggara.....	55
Gambar 4.4. Bentuklahan tubuh sungai (F1), arah kamera baratlaut	56
Gambar 4.5. Bentuklahan dataran aluvial (F2), arah kamera timurlaut	57
Gambar 4.6. Bentuklahan area bukaan tambang (A1) arah kamera tenggara	59

Gambar 4.7. Bentuklahan genangan bekas air tambang (A2) arah kamera baratdaya	60
Gambar 4.8. Bentuklahan stockpile/stockroom (A3) arah kamera tenggara	62
Gambar 4.9. Bentuklahan hasil timbunan tambang/disposal (A4) arah kamera baratlaut	63
Gambar 4.10. Bentuklahan area penanaman/reklamasi (A5) arah kamera timur ..	64
Gambar 4.11. Sayatan petrografi LP 80 (<i>Arkosic wacke</i>)	68
Gambar 4.12. Sayatan petrografi LP 87 (<i>Clayey shale</i>)	69
Gambar 4.13. Sayatan petrografi LP 106 (<i>Sandy siltstone</i>)	69
Gambar 4.14. Sayatan petrografi LP 92 (<i>Sandy claystone</i>)	70
Gambar 4.15. (A) Singkapan Satuan batulempung Warukin pada LP 106 Azimut foto N 043° E. (B) Batulempung berstruktur masif. (C) batupasir kuarsa dengan konkresi siderite. (D) Batupasir kuarsa berstruktur massif dengan nodule karbon. (E). Batuserpih berstruktur menyerpih pada LP 105. (F). Batupasir berstruktur <i>parallel lamination</i>	72
Gambar 4.16. (A) Singkapan Satuan batulempung Warukin pada LP 87 Azimut foto N 255° E. (B) Batulanau berstruktur masif. (C) Batuserpih berstruktur menyerpih. (D) Batubara <i>seam 3</i>	73
Gambar 4.17. Analisa mikrofosil LP 117 litologi batupasir kuarsa mesh 80 (A), LP 87 litologi batulanau mesh 80 (B), dan LP 94 litologi batupasir kuarsa mesh 100 (C)	74
Gambar 4.18. Analisa makrofosil <i>Cyclina cyclinorbis</i> (tampak depan) (A), (tampak samping) (B); <i>Rangia cyrenoides</i> (tampak depan) (C), (tampak samping) (D)	74
Gambar 4.19. Fosil burrow litologi batulanau pada LP 106	75
Gambar 4.20. Model lingkungan pengendapan <i>transitional lower delta plain</i> (Horne, 1978)	76
Gambar 4.21. Hubungan satuan batulempung Warukin (atas) dengan satuan batupasir Warukin (bawah) pada LP 100 yakni selaras, azimuth foto N 018° E (A). Batulempung berstruktur massif (C). Batupasir berstruktur <i>flaser lamination</i> (D)	76
Gambar 4.22. Sayatan petrografi LP 95 (<i>Arkosic arenite</i>)	78

Gambar 4.23. Sayatan petrografi LP 78 (<i>Clayey shale</i>).....	79
Gambar 4.24. Sayatan petrografi LP 104 (<i>Sandy siltstone</i>).....	79
Gambar 4.25. Sayatan petrografi LP 112 (<i>Claystone</i>)	80
Gambar 4.26. Sayatan mineralogi optis LP 82 (mineral siderite).....	81
Gambar 4.27. Singkapan Satuan batupasir Warukin LP 97, azimuth foto N 172° E (A). Batupasir berstruktur <i>parallel lamination</i> (B). Batulanau berstruktur massif (C). Kontak batubara seam B3 dengan batulempung sisipan batulanau (D). Batupasir dengan struktur <i>cross bedding</i> (E). Batupasir dengan struktur <i>flaser lamination</i> LP 88 (F)	83
Gambar 4.28. Singkapan Satuan batupasir Warukin LP 82, azimuth foto N 226° E. Batulempung berstruktur masif dengan konkresi <i>siderite</i> (B). Batupasir dengan sisipan batupasir (C). Batulempung sisipan batulanau (D) ..	84
Gambar 4.29. Analisa mikrofosil LP 98 litologi batupasir kuarsa mesh 80 (A), LP 45 litologi batulanau mesh 100 (B), dan LP 104 litologi batupasir kuarsa mesh 80 (C).....	85
Gambar 4.30. Fosil daun pada litologi batulanau LP 97 (A), Fosil daun pada litologi batulempung LP 100 (B), dan fosil daun pada singkapan batulanau LP 104 (C)	85
Gambar 4.31. Model lingkungan pengendapan <i>transitional lower delta plain</i> (Horne, 1978)	86
Gambar 4.32. Hubungan ketidakselarasan antara Satuan batupasir Warukin dengan endapan aluvial, arah kamera utara.....	87
Gambar 4.33. Singkapan endapan aluvial yang memiliki hubungan ketidakselarasan dengan satuan batupasir, singkapan LP 112 endapan aluvial (A), batas ketidakselarasan dua satuan, azimuth kemara selatan (B).....	88
Gambar 4.34. Singkapan material timbunan tambang LP 59, arah kamera N 131° E (A). Litologi material lepas LP 59 (C). Singkapan material timbunan tambang LP 62, arah kamera N 305° E (C). Litologi material lepas LP 62 (D).....	89
Gambar 4.35. Kenampakan sesar mendatar kiri naik pada LP 88, azimuth N 236° E	91

Gambar 4.36. Kenampakan shear fracture (garis merah) dan gash fracture (garis kuning) pada LP 88, arah kamera N 192° E	92
Gambar 4.37. Analisis stereografi Sesar Kusan	92
Gambar 4.38. Lokasi daerah penelitian dahulunya merupakan lingkungan pengendapan transisi (delta)	93
Gambar 4.39. Proses pengendapan Satuan batulempung Warukin.....	94
Gambar 4.40. Proses pengendapan Satuan batupasir Warukin.....	95
Gambar 4.41. Kondisi geologi daerah penelitian pada saat sekarang	96
Gambar 5.1. Bentang alam lereng highwall, arah kamera selatan	98
Gambar 5.2. Bentang alam lereng lowwall, arah kamera utara	98
Gambar 5.3. Geometri lereng tambang terbuka (highwall-lowwall)	101
Gambar 5.4. Hubungan nilai porositas dan permeabilitas lereng highwall	108
Gambar 5.5. Hubungan nilai porositas dan permeabilitas lereng lowwall.....	109
Gambar 5.6. Hubungan porositas dengan permeabilitas lereng highwall-lowwall	110
Gambar 5.7. Hubungan porositas dengan berat isi (saturated) lereng highwall-lowwall.....	111
Gambar 5.8. Hubungan porositas dengan kohesi lereng highwall-lowwall.....	111
Gambar 5.9. Hubungan permeabilitas dengan berat isi lereng highwall-lowwall .	112
Gambar 5.10. Hubungan permeabilitas dengan kohesi lereng highwall-lowwall..	113
Gambar 5.11. Peta lokasi penelitan pada area tambang 17 Maret 2022	119
Gambar 5.12. Hasil analisa LEM softwere slide pada lereng highwall metode Bishop FK 1,583	120
Gambar 5.13. Hasil analisa LEM softwere slide pada lereng lowwall metode Bishop FK 0,608	121
Gambar 5.14. Hasil analisa LEM softwere slide pada lereng highwall metode Bishop FK 1,582	122
Gambar 5.15. Hasil analisa LEM softwere slide pada lereng lowwall metode Bishop FK 1,859	122
Gambar 5.16. Hasil analisa LEM softwere slide pada lereng highwall metode Bishop FK 2,246	123
Gambar 5.17. Hasil analisa LEM softwere slide pada lereng lowwall metode Bishop FK 4,032	123

Gambar 5.18. Penempatan Horizontal Drain hole di Lereng Tambang Terbuka (dikutip dari Read dan Stacy., 2009 serta Leech dkk., 2007 dalam Tedy Agung, dkk., 2016)	125
Gambar 5.19. Pemasangan geomembrane pada area tepi sungai. (https://www.geotextilewoven.com).....	126
Gambar 5.20. <i>Dewatering</i> menggunakan metode <i>sump dewatering</i>	127
Gambar 5.21. <i>Dewatering</i> menggunakan metode <i>eksternal dewatering</i>	127
Gambar 5.22. <i>Dewatering</i> menggunakan metode <i>adit dewatering</i>	128
Gambar 6.1. Kegiatan penambangan batubara dengan ketebalan 1-16 meter, arah kamera timur laut	130
Gambar 6.2. Lereng <i>Low Wall</i> area penambangan batubara terbuka berpotensi menimbulkan longsor pada LP 95, arah kamera N 039°E.....	130
Gambar 6.3. Air asam penambangan batubara terbuka berpotensi menimbulkan perubahan pH air pada lokasi pengamatan 86, arah kamera selatan..	131
Gambar 6.4. Rembesan airtanah berpotensi menimbulkan kejenuhan batuan pada lereng tambang pada LP 104, singkapan lereng area pit HHI timur highwall (A), litologi batupasir memiliki kejenuhan air cukup tinggi (B), arah kamera N 228°E	131

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Nilai faktor keamanan dan probabilitas longsor lereng tambang (Kementerian ESDM, 2018)	30
Tabel 2.2. Porositas penyusun akuifer (Todd, 1995)	32
Tabel 2.3. Nilai relatif permeabilitas (Bell, 1993)	33
Tabel 2.4. Permeabilitas material penyusun akuifer (Morris dan Johnson dalam Todd, 1995)	34
Tabel 4.1. Pola pengaliran subdentritik berdasarkan fakta lapangan dan interpretasi geologi	47
Tabel 4.2. Klasifikasi kemiringan lereng (Van Zuidam, 1983)	50
Tabel 4.3. Klasifikasi satuan Bentuklahan Daerah Penelitian berdasarkan Modifikasi Klasifikasi Van Zuidam (1983)	53
Tabel 4.4. Kolom stratigrafi daerah penelitian.....	66
Tabel 5.1. Lokasi pengambilan data air tanah (rembesan dan limpasan air)	99
Tabel 5.2. Hasil perhitungan air tanah (rembesan dan limpasan air).....	99
Tabel 5.3. Perhitungan debit air rembesan dan limpasan.....	100
Tabel 5.4. Litologi penyusun lereng highwall	100
Tabel 5.5. Litologi penyusun lereng lowwall.....	101
Tabel 5.6. Hasil pengujian sifat fisik dan mekanik tanah, gravel, dan batuan pada lereng highwall	106
Tabel 5.7. Hasil pengujian sifat fisik dan mekanik tanah, batuan pada lereng lowwall	106
Tabel 5.8. Nilai porositas batuan pada lereng highwall	106
Tabel 5.9. Nilai porositas tanah, gravel, dan batuan pada lereng lowwall.....	107
Tabel 5.10. Nilai permeabilitas batuan pada lereng highwall	108
Tabel 5.11. Nilai permeabilitas tanah, gravel, dan batuan pada lereng lowwall....	109
Tabel 5.12. Korelasi hubungan porositas dan permeabilitas dengan nilai FK 1,853 lereng highwall sayatan No. 3	115
Tabel 5.13. Korelasi hubungan porositas dan permeabilitas dengan nilai FK 1,582 lereng highwall sayatan No. 13	115

Tabel 5.14. Korelasi hubungan porositas dan permeabilitas dengan nilai FK 2,246 lereng highwall sayatan No. 17	115
Tabel 5.15. Korelasi hubungan porositas dan permeabilitas dengan nilai FK 0,608 lereng lowwall sayatan No. 3	117
Tabel 5.16. Korelasi hubungan porositas dan permeabilitas dengan nilai FK 1,859 lereng lowwall sayatan No. 13	117
Tabel 5.17. Korelasi hubungan porositas dan permeabilitas dengan nilai FK 4,032 lereng lowwall sayatan No. 17	117

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A1 Peta Pola Pengaliran

Lampiran A2 Peta Lokasi Pengamatan dan Lintasan

Lampiran A3 Peta Geomorfologi

Lampiran A4 Peta Geologi

Lampiran A5 Peta Kemenerusan dan Sebaran Lapisan Batubara

Lampiran A6 Peta Zonasi Kerentanan

Lampiran B Analisa Petrografi

B1 Sayatan Petrografi Batupasir Satuan batulempung Warukin

B2 Sayatan Petrografi Batupasir Satuan batupasir Warukin

B3 Sayatan Petrografi Batuserpih Satuan batulempung Warukin

B4 Sayatan Petrografi Batuserpih Satuan batupasir Warukin

B5 Sayatan Petrografi Batulempung Satuan batupasir Warukin

B6 Sayatan Petrografi Batulempung Satuan batulempung Warukin

B7 Sayatan Petrografi Batulanau Satuan batupasir Warukin

B8 Sayatan Petrografi Batulanau Satuan batulempung Warukin

B9 Sayatan Petrografi mineral *siderite*

Lampiran C Analisa Makrofosil

C1 Analisa Makrofosil sampel 1 (*Cyclina cyclinorbis*)

C2 Analisa Makrofosil sampel 2 (*Rangia cyrenoides*)

Lampiran D Analisa Mikrofosil

D1 Analisa Mikrofosil pada Batupasir LP 98

D2 Analisa Mikrofosil pada Batupasir LP 45

D3 Analisa Mikrofosil pada Batulanau LP 104

D4 Analisa Mikrofosil pada Batupasir LP 117

D5 Analisa Mikrofosil pada Batulanau LP 87

D6 Analisa Mikrofosil pada Batupasir LP 94

Lampiran E Measuring Section

E1 Measuring Section Jalur 1

E2 Measuring Section Jalur 2

E3 Measuring Section Jalur 3

E4 Measuring Section Jalur 4
E5 Measuring Section Jalur 5
E6 Measuring Section Jalur 6
Lampiran F Profil Stratigrafi
F1 Profil Stratigrafi LP 104

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penelitian

Geologi adalah ilmu (*sains*) yang mempelajari komposisi bumi, struktur, sifat-sifat fisik, sejarah, dan proses pembentukannya (Zuhdi, 2019). Salah satu potensi bahaya geologi yang umum dan sering dihadapi pada daerah tambang batubara terbuka adalah bahaya kelongsoran lereng, baik dalam skala lokal, atau skala regional dalam kondisi yang lebih besar, bahkan dalam skala yang menyeluruh.

Lereng adalah suatu permukaan yang menghubungkan tanah yang lebih tinggi dengan permukaan tanah yang lebih rendah. Lereng pada dasarnya merupakan struktur geoteknik yang dapat terjadi oleh alam maupun buatan manusia. Lereng merupakan struktur yang terbuat dari material geoteknik berupa tanah dan batuan. Stabilitas lereng sangat berhubungan dengan longsor atau gerakan tanah yang merupakan proses terjadi akibat perpindahan massa tanah secara alami dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah. Pergerakan tanah ini terjadi karena perubahan keseimbangan daya dukung tanah dan akan berhenti setelah mencapai keseimbangan baru. Pada permukaan miring lereng komponen gravitasi cenderung menggerakkan tanah ke bawah, bila komponen gravitasi terlalu besar, kemudian geseran bidang longsor yang terbentuk oleh batuan atau tanah terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng.

Kegiatan penambangan harus mempertimbangkan aspek-aspek yang harus dilakukan untuk memperlancar proses penambangan. Salah satunya yaitu aspek hidrogeologi dan geologi teknik. Porositas dan permeabilitas merupakan aspek hidrogeologi dan geologi teknik dalam pertambangan yang mempunyai peran penting dalam mendesain lereng tambang. Sehingga dalam mendesain lereng tambang batubara haruslah memperhatikan faktor tersebut dengan pengujian atau analisis secara cermat.

Berdasarkan uraian di atas maka peneliti tertarik untuk melakukan kajian porositas dan permeabilitas batuan pada area highwall-lowwall berkaitan dengan kestabilan lereng tambang batubara pada PT. Mitra Setia Tanah Bumbu-CV. Hidup Hidayah Ilahi, sangat penting untuk dilakukan penelitian. Oleh karena itu, peneliti melakukan penelitian dengan judul **“Geologi Dan Studi Porositas Serta Permeabilitas Batuan Terhadap Kestabilan Lereng Highwall-Lowwall Tambang Terbuka, Desa Mangkalapi, Kecamatan Teluk Kepayang, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan”**.

1.2. Rumusan Masalah

Sebelum melakukan penelitian di daerah telitian, peneliti berusaha membuat suatu ruang lingkup penelitian yang diwujudkan dalam rumusan masalah. Berdasarkan rumusan masalah ini diharapkan peneliti bisa mempusatkan penelitian ini untuk dapat mencari jawaban atas pertanyaan yang telah ada. Rumusan masalah ini juga sebagai batasan penelitian yang akan dilakukan supaya kegiatan dilapangan lebih efektif dan efisien tanpa mengurangi suatu permasalahan. Adapun persoalan yang ada adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi geologi dan geomorfologi daerah penelitian, meliputi: morfologi, litologi, pola pengaliran, struktur geologi, dan lingkungan pengendapan?
2. Bagaimana studi porositas dan permeabilitas batuan terhadap kestabilan lereng highwall-lowwall tambang terbuka batubara?
3. Bagaimana rekomendasi untuk menangani desain lereng yang tidak stabil pada daerah penelitian?

1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah melakukan kajian porositas dan permeabilitas batuan pada area highwall-lowwall berkaitan dengan kestabilan lereng tambang batubara pada PT. Mitra Setia Tanah Bumbu-CV. Hidup Hidayah Ilahi, Desa Mangkalapi, Kecamatan Teluk Kepayang, Kabupaten Tanah Bumbu, Kalimantan Selatan. Pelaksanaan penelitian ini merupakan syarat memenuhi kurikulum di Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas

Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta tahun ajaran 2021/2022 untuk mendapatkan gelar kesarjanaan program pendidikan Strata-1 (S1).

Penelitian yang dilakukan memiliki tujuan untuk memperoleh gambaran mengenai parameter terkait dengan geologi dan kestabilan lereng daerah penelitian. Berikut merupakan tujuan yang ingin dilakukan :

1. Mengetahui kondisi geologi dan geomorfologi daerah penelitian, meliputi: morfologi, litologi, pola pengaliran, struktur geologi, dan lingkungan pengendapan.
2. Mengetahui porositas dan permeabilitas batuan terhadap kestabilan lereng highwall-lowwall tambang terbuka batubara.
3. Membuat rekomendasi untuk menangani desain lereng yang tidak stabil pada daerah penelitian.

1.4. Lokasi dan Pencapaian Penelitian

PT. Mitra Setia Tanah Bumbu adalah perusahaan *owner* pertambangan yang menangani proyek penambangan, salah satunya adalah tambang terbuka batubara. Daerah penelitian terletak di daerah IUP PT. Mitra Setia Tanah Bumbu (MSTB)-CV. Hidup Hidayah Ilahi (HHI), Desa Mangkalapi, Kecamatan Teluk Kepayang, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan.

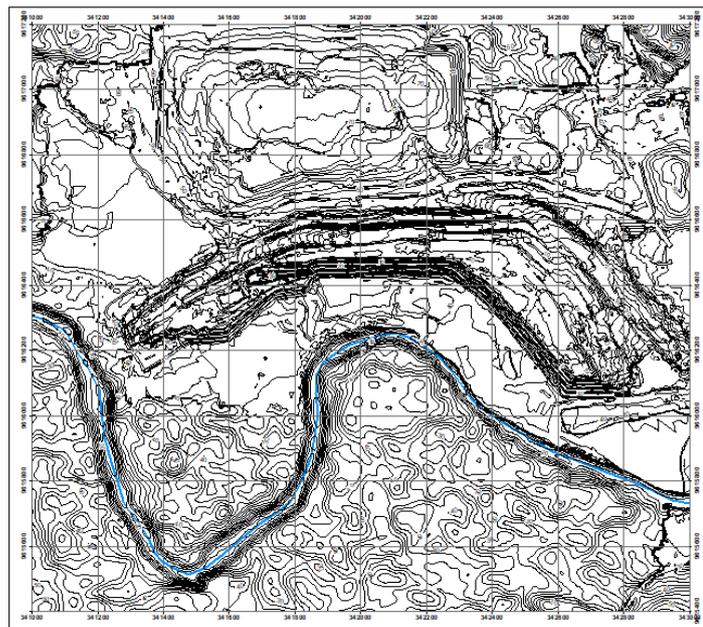
Daerah penelitian berjarak sekitar 234 Km dari Bandar Udara Syamsudin Noor Kota Banjar Baru, dapat ditempuh selama 6 jam menggunakan jalur darat dengan rute mengikuti Jalan lintas jalan Kalimantan Selatan ke arah Tanah Bumbu – ke arah Kecamatan Angsana - jalan hauling BIB ke arah utara, setelah itu dapat ditempuh menggunakan mobil perusahaan menuju ke arah pit PT. MSTB-CV. HHI selama 5 menit dari office PT. MSTB-CV. HHI site Mangkalapi (Gambar 1.1.).

Daerah Penelitian secara administratif berada di Desa Mangkalapi, Kecamatan Teluk Kepayang, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan. Secara geografis daerah penelitian terletak pada koordinat UTM (*Universal Tranverse Mercator*) WGS 1984 50 S (Gambar 1.2.), daerah penelitian dibatasi koordinat sebagai berikut:

1. Titik Baratdaya: x: 341000 m E, y: 9615400 m S
2. Titik Tenggara: x: 343000 m E, y: 9615400 m S
3. Titik Timurlaut: x: 343000 m E, y: 9617200 m S
4. Titik Baratlaut: x: 341000 m E, y: 9617200 m S



Gambar 1.1. Lokasi Daerah Penelitian.



Gambar 1.2. Peta topografi Pit PT. MSTB-CV. HHI dan sekitarnya.

1.5. Hasil yang Diharapkan

Penelitian tentang studi porositas dan permeabilitas batuan berkaitan dengan porositas dan permeabilitas batuan pada area highwall-lowwall berkaitan dengan kestabilan lereng tambang batubara terbuka PT. Mitra Setia Tanah Bumbu, Desa Mangkalapi, Kecamatan Teluk Kepayang, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan. Diharapkan dapat menghasilkan kajian yang dapat digunakan

sebagai acuan dalam perencanaan desain tambang dengan penyelidikan geologi teknik, dengan penyajiannya antara lain:

1. Peta pola pengaliran, peta geomorfologi, peta lintasan, peta geologi, peta sebaran dan kemenerusan *seam* batubara, peta zonasi kerentanan, penampang stratigrafi terukur dengan lingkungan pengendapan, dan struktur geologi.
2. Hasil studi porositas dan permeabilitas batuan terhadap kestabilan lereng daerah highwall-lowwall pada daerah penelitian.
3. Rekomendasi untuk menangani desain lereng yang tidak stabil pada daerah penelitian berguna menanggulangi terjadinya kelongsoran lereng tambang yang dapat mengakibatkan kerugian, baik kerugian materi maupun kerugian korban jiwa.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut, yaitu :

1. Mahasiswa
 - a) Sebagai syarat syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.
 - b) Sebagai saran untuk mengaplikasikan ilmu yang telah didapatkan saat kuliah.
 - c) Memahami kondisi *real* (nyata) kelerengan tambang batubara di lapangan.
2. Institusi
 - a) Menambah pustaka di perpustakaan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta mengenai porositas dan permeabilitas batuan terhadap kestabilan lereng tambang.
 - b) Menjaga silaturahmi dan hubungan antara institusi dengan perusahaan.
3. Perusahaan
 - a) Menambah data dan informasi porositas dan permeabilitas batuan terhadap kestabilan lereng tambang daerah penelitian.

b) Menjadi bahan pertimbangan untuk kestabilan lereng tambang selanjutnya.

BAB II

METODOLOGI DAN KAJIAN PUSTAKA

2.1. Metode Penelitian

Pengambilan data penelitian berasal dari lapangan dan data sekunder, supaya dapat memberikan hasil yang terbaik. Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari empat tahap, yakni tahap pendahuluan, tahap pengumpulan data, tahap analisis data, dan tahap penyajian data (Gambar 2.1).

2.1.1. Pendahuluan

Pada tahap pendahuluan dilakukan kajian pustaka mengenai daerah penelitian guna mengetahui kondisi geologi regional dan kondisi daerah penelitian secara umum. Pada tahap ini pula dilakukan kajian pustaka mengenai metode analisis-analisis yang akan digunakan dalam penelitian.

2.1.1.1. Studi Literatur

(1). Geologi Regional

Data geologi regional mengacu pada (Rustandi dkk, 1995) pada Peta Geologi Lembar Kotabaru Kalimantan yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

(2). Penelitian terdahulu

Terdapat beberapa literatur berupa laporan penelitian terdahulu yang penulis gunakan sebagai acuan dalam penelitian ini, yakni:

- a. Rustandi, dkk (1995). Peta geologi regional lembar Kotabaru dan lembar Banjarmasin skala 1:250.000. **Menjelaskan secara regional tentang stratigrafi dan struktur geologi Cekungan Asam-asam dan Cekungan Barito.** Daerah penelitian secara stratigrafi termasuk dalam Formasi Warukin.
- b. Horne, J.C., Ferm, J.C., Caruccio, F.T., & Baganz, B.P. 1978. *Depositional Models in Coal Exploration and Mine Planning in Appalachian Region*. The American Association of Petroleum Geologist Bulletin, vol. 62. halaman 2379-2411. **Menjelaskan mengenai pembagian dalam lingkungan pengendapan batubara di daerah delta**, yang terdiri atas back barrier, lower delta plain, transisi antara lower dan upper delta plain dan upper delta plain-fluvial.

- c. Satyana, A.H. and Silitonga, P.D. (2003) Tectonic Reversal in East Barito Basin, South Kalimantan Consideration of Types of Inversion Structures and Petroleum System Significance. The Proceedings of Twenty-Third Annual Convention of Indonesian Petroleum Association, Jakarta, October 2003, 1-27. **Menjelaskan mengenai sejarah tektonik pada Cekungan Asam-asam dan Cekungan Barito**, terdiri dari fase pre-rift pada zona akresi dan batuan Paleogen di bagian barat, syn-rift tumbukan antara Lempeng Eurasia dan Lempeng Pasifik bagian barat pada Eosen Tengah, post-rift *subsidence* regional setelah pemekaran terjadi secara luas dari Miosen Tengah sampai Miosen Awal dan syn-rift pertengahan Miosen, fragmen benua Laut China Selatan bertumbukan dengan Kalimantan Utara yang menghasilkan tinggian Kuching High (tinggian Kuching) terangkat.
- d. Hoek, E. 2006. *Partical Rock Engineering*. Canada: Evert Hoek Consulting Engineer Inc. **Menjelaskan tentang kriteria runtuh Mohr-Coulomb.**
- e. Todd, D. K. 1995. *Groundwater Hydrology Second Edition*. New York: John & Sons. **Menjelaskan tentang porositas dan permeabilitas batuan.**

2.1.2. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data, baik data primer maupun data sekunder yang diperlukan dalam penelitian penulis yang dilakukan dalam 3 tahap, yakni:

(1). Observasi Pola Pengaliran

Observasi pola pengaliran dilakukan untuk mengetahui aliran air dan bentuk pola aliran pada daerah penelitian.

(2). Observasi Geomorfologi

Obeservasi geomorfologi dilakukan untuk menentukan bentukasal dan bentuklahan pada daerah penelitian.

(3). Observasi dan Pengamatan Singkapan

Observasi dan pengamatan singkapan dilakukan secara langsung di lapangan dan mencakup hal-hal berikut.

- a. Deskripsi singkapan, deskripsi singkapan dan pengambilan dokumentasi berupa foto singkapan.

- b. Pengukuran kedudukan lapisan batuan dan struktur geologi, meliputi pengambilan kedudukan lapisan batuan, struktur geologi, baik struktur bidang maupun garis, seperti data kekar, sesar, maupun lipatan.
- c. Melakukan *Measuring Section* (MS), yaitu pengukuran penampang stratigrafi terukur yang bertujuan untuk mendapatkan urutan-urutan litologi dari tua ke muda sehingga dapat menentukan urutan satuan stratigrafi secara vertikal, mengetahui ketebalan terukur dari tiap satuan stratigrafi, mengetahui hubungan stratigrafi antar satuan batuan, serta dapat menafsirkan lingkungan pengendapan dari lokasi penelitian tersebut.
- d. Pengambilan contoh batuan, untuk analisa laboratorium berupa analisa petrografi, makrofosil, dan mikrofosil.
- e. Dokumentasi dan pembuatan peta lintasan.

(4). Pengumpulan Data Geologi Teknik

Data geologi teknik yang digunakan dalam penelitian ini berupa data primer dan data sekunder yang diperoleh dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada sampel batuan dan tanah pada Pit PT. Mitra Setia Tanah Bumbu-CV. Hidup Hidayah Ilahi, yakni:

- a. Data primer, meliputi pengambilan sampel geologi teknik untuk pengujian *basic properties test*, *direct shear test*, dan *permeability test*. Serta pengambilan kondisi air tanah, dan orientasi lereng atau geometri lereng.
- b. Data Pemboran
- c. Data sekunder, terdiri dari hasil sifat fisik dan mekanik batuan, nilai *Unconfined Compressive Strength Test* (UCS) atau kuat tekan batuan.
- d. Geometri lereng, yang meliputi topografi Maret 2022, topografi Desain PT. MSTB-CV. HHI, dan topografi original sebelum penambangan.

2.1.3. Analisis Data dan Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan analisis data yang ada, terdapat dua data utama yaitu data primer yang dapat diperoleh dari lapangan dan data sekunder yang didapatkan dari uji laboratorium yang telah dilakukan oleh perusahaan. Untuk lebih penjelasannya adalah sebagai berikut:

(1). Analisis Pola Pengaliran

Analisis pembagian pola pengaliran daerah penelitian berdasarkan gabungan analisis- analisis peta topografi ground survey, peta RBI, peta SRTM, citra landsat *Google Earth*, dan hasil pengamatan lapangan. Analisis pola pengaliran tersebut di adad didukung oleh kajian pustaka, yaitu dengan Howard (1967) digunakan dalam menentukan pola pengaliran di daerah penelitian.

Berdasarkan hasil analisis pola pengaliran dan dukungan data pustaka, maka hasilnya dapat untuk interpretasi geomorfologi (bentukasal, bentuklahan, dan lereng), stratigrafi (urut-urutan litologi), dan struktur geologi (pola struktur geologi).

(2). Analisis Geomorfologi

Observasi geomorfologi digunakan untuk menentukan bentuk asal dan bentuk lahan pada daerah penelitian dengan memperhatikan beberapa aspek berdasarkan van Zuidam (1983), yakni:

- a. Morfologi, merupakan studi bentuk lahan yang mempelajari relief secara umum dan dibagi menjadi dua jenis, yakni morfografi dan morfometri.
 1. Morfografi, yakni susunan dari obyek alami yang ada dipermukaan bumi, bersifat pemerian atau deskriptif suatu bentuklahan, antara lain lembah, bukit, bukit, dataran, gunung, gawir, teras, beting, dan lain-lain.
 2. Morfometri, yakni aspek kuantitatif dari suatu aspek bentuk lahan, antara lain kelerengan, bentuk lereng, panjang lereng, ketinggian, beda tinggi, bentuk lembah, dan pola pengaliran.
- b. Morfogenesis, yakni asal usul pembentukan dan perkembangan bentuklahan serta proses–proses geomorfologi yang terjadi, dalam hal ini adalah struktur geologi, litologi penyusun dan proses geomorfologi merupakan perhatian yang penuh, yang terdiri dari 3 aspek, yakni:
 1. Morfostruktur pasif
Bentuklahan yang diklasifikasikan berdasarkan tipe batuan yang ada kaitannya dengan resistensi batuan dan pelapukan (denudasi).
 2. Morfostruktur aktif

Berhubungan dengan tenaga endogen seperti pengangkatan, perlipatan dan pensesaran, termasuk intrusi, misal gunungapi, punggung antiklin, gawir sesar dll.

3. Morfodinamik

Berhubungan dengan tenaga eksogen seperti proses air, fluvial, es, gerakan masa, dan gunungapi, misal gump pasir, undak sungai, pematang pantai, lahan kritis.

- c. Morfoasosiasi, yakni kaitan antara bentuklahan satu dengan bentuklahan yang lain dalam susunan keruangan atau sebarannya di permukaan bumi.

(3). Analisis Contoh Batuan

Contoh batuan yang telah diambil dari lapangan, dianalisis untuk melengkapi data geologi daerah penelitian, terdapat 2 langkah analisis yakni analisis petrografi dan analisis paleontologi.

a. Analisis Petrografi

Contoh batuan akan dipotong menjadi plat sayatan tipis, yang kemudian akan diamati menggunakan mikroskop polarisasi. Pengamatan menggunakan mikroskop tersebut bertujuan untuk mengetahui mineral-mineral penyusun batuan tersebut sehingga bisa didapat nama batuan secara tepat menggunakan klasifikasi batuan sedimen menurut Pettijohn (1975).

b. Analisis Paleontologi / Mikropaleontologi

Analisis paleontologi dilakukan pada fosil makro, pada analisis makropaleontologi fosil akan diamati secara langsung dan dibandingkan dengan penamaan fosil menurut Blow (1969).

(4). Analisis Struktur Geologi

Analisis struktur geologi diperlukan untuk menganalisis deformasi yang terjadi pada daerah penelitian. Hasil pengukuran kedudukan lapisan batuan dan beberapa indikasi berupa *shear fracture* dan *gash fracture* dianalisis menggunakan metode stereografis untuk mengetahui besarnya dip bidang sesar dan *rake*. Kemudian hasil analisis tersebut dibandingkan dengan tabel klasifikasi sesar menurut Rickard (1972) untuk mengetahui nama sesar tersebut dan dilakukan analisa lipatan menurut klasifikasi Fleuty (1964); Rickard (1972).

(5). Analisis stratigrafi

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui mekanisme sedimentasi dan urutan-urutan satuan batuan. Tahapan ini dilakukan pembuatan penampang stratigrafi terukur untuk menentukan ketebalan dari tiap-tiap satuan batuan yang telah diidentifikasi, umur geologi batuan, urutan pengendapan, lingkungan kedalaman hingga penentuan interpretasi lingkungan pengendapan mengacu pada Horne (1979).

(6). Analisis Petrografi

Analisis ini bertujuan untuk melakukan penamaan secara khusus dari setiap contoh batuan melalui sayatan tipis menggunakan mikroskop polarisasi. Melalui analisa sayatan tipis ini penentuan tekstur dan komposisi mineral semakin akurat dan teliti. Penamaan batuan secara mikroskopis didasarkan pada klasifikasi Pettijohn (1975) dan Picard (1971) untuk batuan sedimen.

(7). Analisis Makrofosil

Analisis ini secara umum bertujuan untuk mengetahui umur geologi relatif dari satuan batuan, mengacu pada Raymond C. Moore (1969).

(8). Analisis Mikrofosil

Analisis ini secara umum bertujuan untuk mengetahui umur geologi relatif dan lingkungan pengendapan dari satuan batuan, mengacu pada Blow (1969).

(9). Analisis Geologi Teknik

Analisis geologi teknik digunakan untuk mengetahui nilai dari parameter dalam kajian kestabilan lereng. Analisis yang digunakan yaitu basic properties test, direct shear test, dan uji permeabilitas.

a. Analisis *Basic Properties Test*

Standar test yang digunakan dalam analisis ini mengacu pada SNI 1969:2008. Dalam pengujian ini dilakukan dengan pengujian 3 kali dalam 1 sampel analisis, hasil akhir akan di rata-rata untuk mendapatkan hasil yang telah disesuaikan dengan standard SNI. Hasil test yang akan dianalisis dalam studi geologi teknik berupa nilai berat isi kering dan nilai porositas.

b. Analisis *Direct Shear Test*

Standar test yang digunakan dalam analisis ini mengacu pada SNI 2813:2008. Dalam pengujian ini dilakukan dengan pengujian 3 kali dalam 1 sampel

analisis, hasil akhir akan di rata-rata untuk mendapatkan hasil yang telah disesuaikan dengan standard SNI. Hasil test yang akan dianalisis dalam studi geologi teknik berupa nilai kohesi dan sudut geser dalam.

c. Analisis *Permeability*

Standar test yang digunakan dalam analisis ini mengacu pada SNI 03-6870-2002. Hasil test yang akan dianalisis dalam studi geologi teknik berupa nilai permeabilitas tanah, gravel, dan batuan.

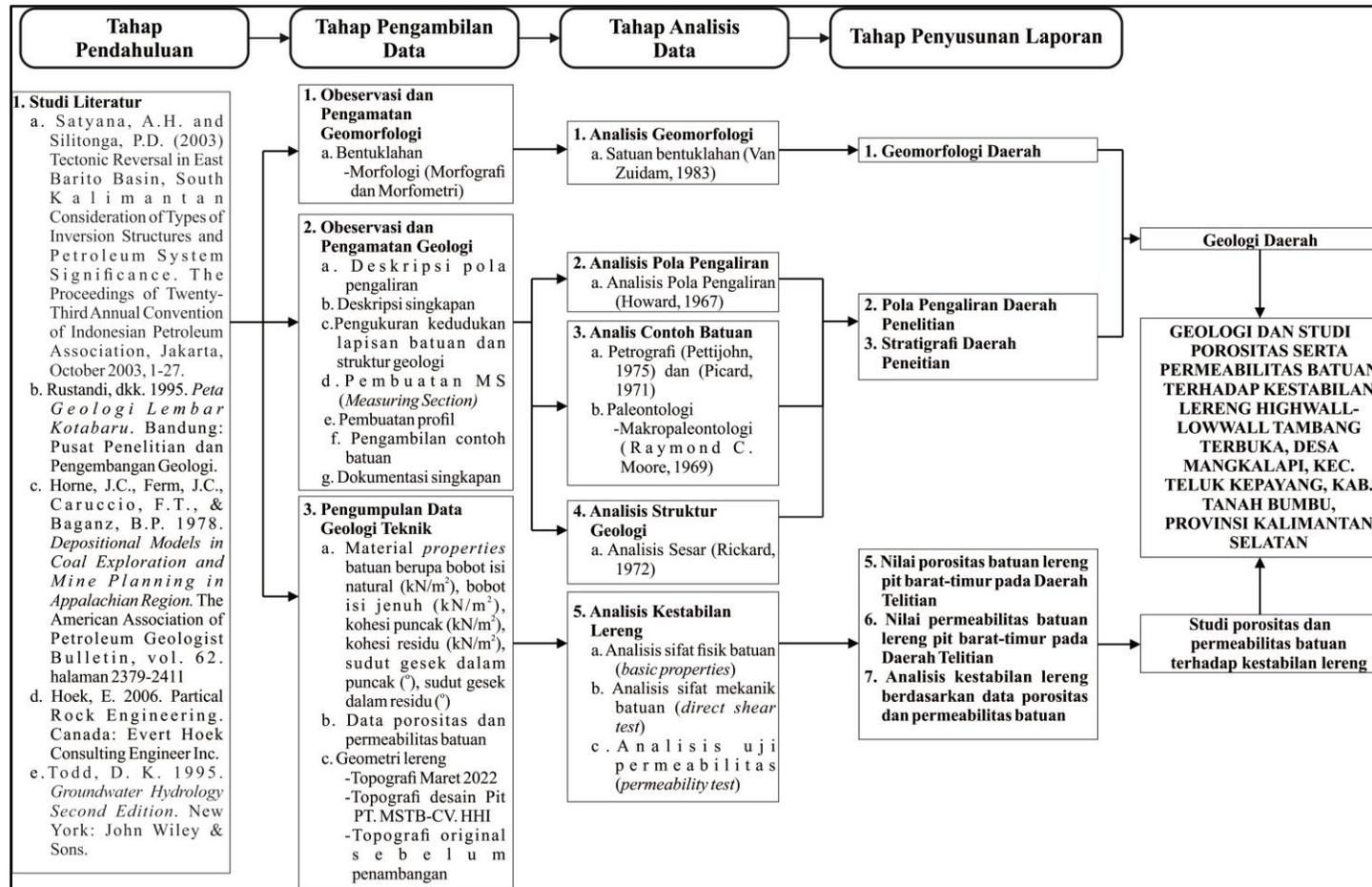
(10). Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan *software Rocscience Slide 6.0* dengan metode Bishop disederhanakan/*Bishop simplified* dengan kriteria runtuh *Mohr-Coulomb*. Analisis yang dilakukan adalah terkait studi porositas dan permeabilitas batuan terhadap kestabilan lereng tambang pit PT. MSTB-CV. HHI, berdasarkan Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 Tahun 2018 K/30/MEM/2018.

2.1.4. Tahap Penyusunan Laporan dan Penyajian Data

Berdasarkan hasil analisis, maka akan didapat data-data dan menyusun laporan mengenai daerah penelitian sebagai berikut.

- 2.1.** Geologi daerah penelitian, meliputi geomorfologi, struktur geologi, dan stratigrafi.
- 2.2.** Kestabilan lereng daerah penelitian, meliputi nilai faktor keamanan dan tingkat kestabilan lereng, studi porositas dan permeabilitas batuan pada daerah telitian, rekomendasi penanganan lereng yang memiliki porositas dan permeabilitas baik ataupun buruk.



Gambar 2.1. Diagram Alir Penelitian.

2.2. Kajian Pustaka

2.2.1. Batuan Sedimen

Batuan sedimen adalah batuan yang terbentuk dari akumulasi material hasil perombakan batuan yang sudah ada sebelumnya atau hasil aktivitas kimia maupun organisme, yang diendapkan lapis demi lapis pada permukaan bumi yang kemudian mengalami pembatuan.

2.1.1.1. Klasifikasi Batuan Sedimen Silisiklastik

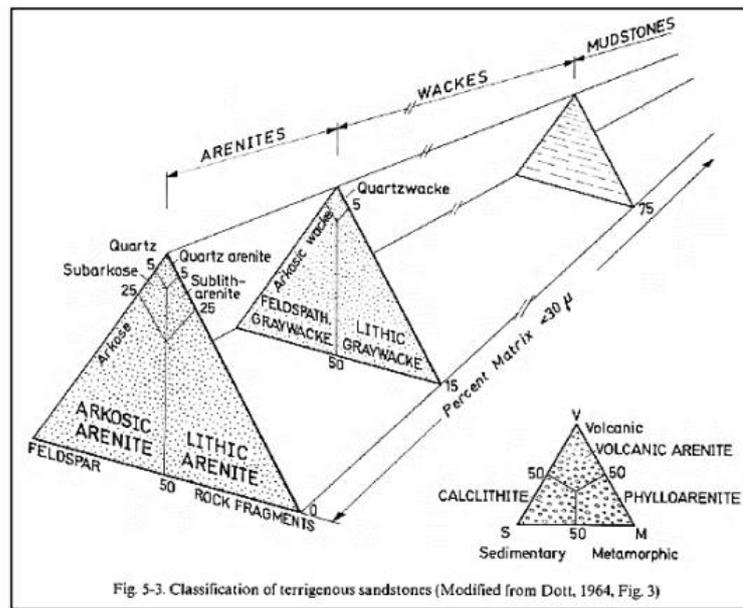
Batuan sedimen klastik berdasarkan ukuran besar butirnya dapat dibagi menjadi 2 yaitu :

1. Batuan sedimen detritus (klastik) halus, terdiri dari batulempung, batulanau dan serpih.
2. Batuan sedimen detritus (klastik) kasar, terdiri dari batupasir, konglomerat dan breksi.

1). Menurut Pettijohn, 1975

Pettijohn mengklasifikasikan batuan sedimen yaitu batupasir berdasarkan mineraloginya dan materia penyusunnya. Klasifikasi Pettijohn juga dikenal dengan QFL plot (Quartz, Feldspar, Lithic fragment) (Gambar 2.2.). Komponen utama adalah tiga material kerangka penyusun batupasir berukuran pasir yaitu kuarsa, feldspar, dan fragmen batuan (litik). Pettijohn menambahkan kandungan unsur matriks agar klasifikasi lebih sistematis bukan terpaku hanya pada komponen butiran kasar penyusun dalam penentuan namanya. Dari klasifikasi tersebut maka muncul penamaan batupasir seperti quartz arenite, quartz wacke, feldspathic wacke, greywacke, lithic arenite, lithic wacke, dan lain sebagainya.

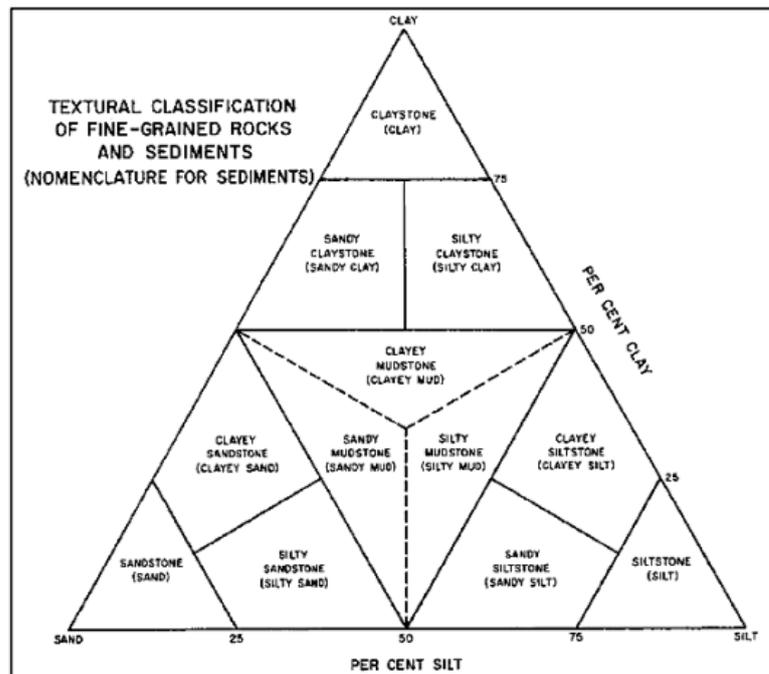
Dari skema klasifikasi QFL, fragmen penyusun utama pasir dalam klasifikasi ada tiga komponen yaitu kuarsa (Q), Feldspar (k-feldspar dan plagioklas yaitu F) dan fragmen batuan (litik), bidang lateral adalah meningkatnya kandungan matrik dalam batuan, bila matrik kurang dari 15% maka batuan disebut batupasir arenite dan bila matrik berada pada kisaran 15%-75% dinamakan batupasir wacke (greywacke) bila lebih dari 75% disebut mudstone. Selanjutnya tiga komponen utama ini (QFL) menjadi panamaan bagian depan yang dipadankan dengan sifat kandungan matriknya tadi (arenite dan wacke) misalnya quartz arenite, quartz wacke, feldspahtic arenite, dan sebagainya.



Gambar 2.2. Klasifikasi batupasir klastik (Pettijohn, 1973).

2). Menurut Picard, 1971

Mudrock adalah istilah umum untuk batuan sedimen yang disusun terutama oleh partikel berukuran lanau-lempung, mineral lain mungkin juga hadir. Mudrock diendapkan terutama dalam lingkungan river floodplain, lake, low energy shoreline, delta, outer marine shelf dan deep ocean basin. Untuk klasifikasi batuan sedimen klastik dapat menggunakan klasifikasi berdasarkan komposisi atau besar butir dari penyusun batuan sedimen (Gambar 2.3.).

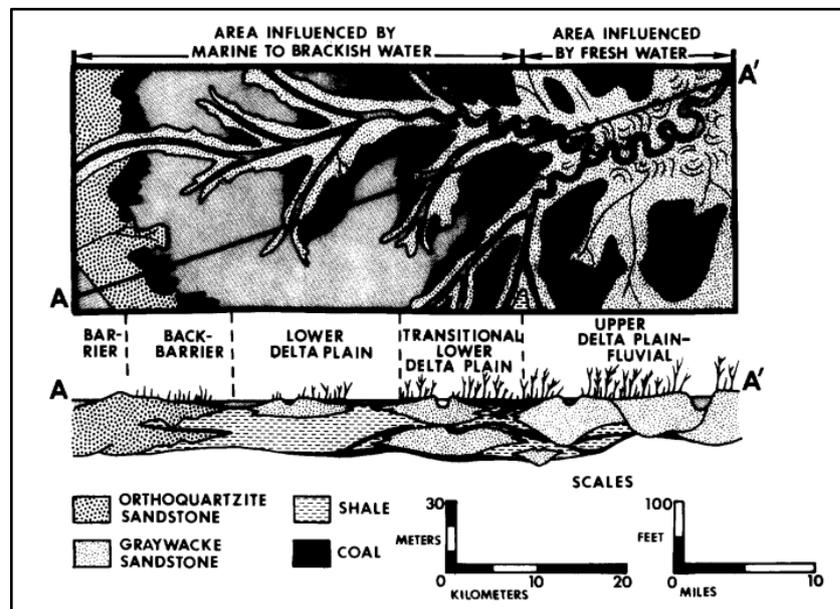


Gambar 2.3. Klasifikasi batuan sedimen klastik berbutir halus (Picard, 1971).

2.2.2. Lingkungan Pengendapan Batubara

Lingkungan pengendapan adalah lingkungan yang kompleks yang disebabkan interaksi antara faktor-faktor fisika, kimia dan biologi dimana sedimen diendapkan Koesoemadinata (1981).

Penentuan lingkungan pengendapan di daerah penelitian ini mengacu dari Horne (1978), penentuan model ini didasarkan pada data-data hasil analisis struktur sedimen dan komposisi batuan. Berikut penjelasan lengkapnya (Gambar 2.4.).



Gambar 2.4. Model lingkungan pengendapan batubara di daerah delta (Horne,1978).

1). Lingkungan *Lower Delta Plain*

Batubara pada lingkungan ini mempunyai ciri-ciri tipis dan terbelah (split) oleh sejumlah endapan levee. Sebaran lapisan batubara cenderung menerus sepanjang jurus pengendapan. Selain itu, mudah tergenang air laut atau payau sehingga kandungan sulfurnya tinggi.

2). Lingkungan *Transitional Lower Delta Plain*

Pada lingkungan ini batubara yang terbentuk relatif tebal, tersebar meluas sejajar arah pengendapan namun kemenerusan lapisan sering terpotong oleh channel. Kandungan sulfur sedikit rendah, zona ini mengandung fauna air payau sampai fauna marin serta struktur burrow yang meluas. Melihat ciri – ciri dari pada lingkungan transitional lower delta plain, maka lokasi penelitian termasuk di dalamnya.

3). Lingkungan *Barrier*

Lingkungan ini didominasi oleh batupasir. Ke-arah laut, butiran batupasir menjadi lebih halus dan selang-seling dengan serpih gampingan yang berwarna merah kecoklatan sampai hijau. Batuan karbonat dengan fauna laut kearah darat bergradasi menjadi serpih berwarna abu-abu gelap sampai hijau tua yang 20 mengandung fauna-fauna air payau. Adanya pengaruh gelombang dan pasang surut, mengakibatkan batupasir lebih bersih dan memiliki sortasi lebih baik dari lingkungan sekelilingnya.

4). Lingkungan *Back Barrier*

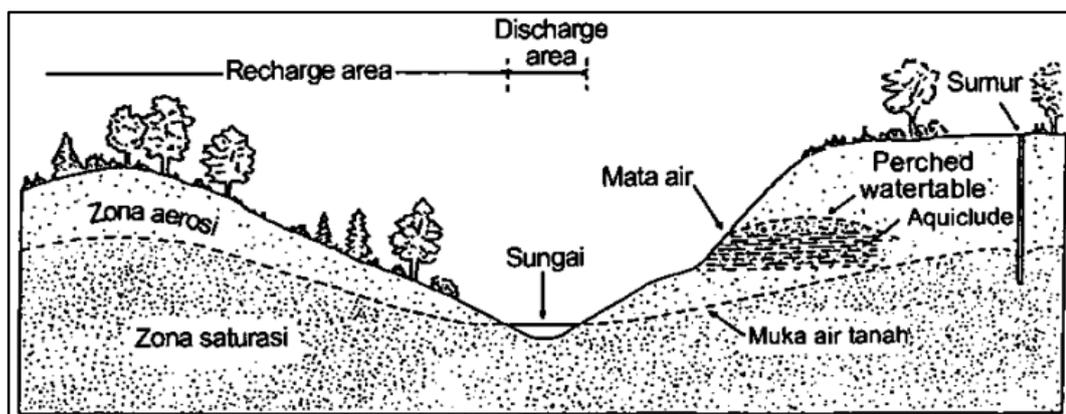
Penyusun utama lingkungan ini adalah urutan perlapisan serpih abuabu gelap yang kaya bahan organik dan batulanau yang terus diikuti oleh batubara yang secara lateral tidak menerus dan zona siderit yang berlubang. Batubara yang terbentuk tipis, penyebaran lateral dan kandungan sulfur tinggi, arah lapisan tegak lurus pengendapan. Lapisan batubara pada top (roof) cenderung keras sehingga sulit ditambang. Umumnya mengandung fauna laut atau air payau.

5). Lingkungan *Upper Delta Plain-Fluvial*

Lingkungan pengendapan ini memiliki batubara yang diendapkan dalam bentuk belt sebagai ciri di daerah dataran banjir atau meandering. Bentuk lapisan batubara relatif sejajar terhadap arah kemiringan cekungan pengendapan. Bentuk kemenerusannya kurang baik dibanding dengan batubara pada "lower delta plain", karena bentuk aliran sungai tidak beraturan maka ketebalan lapisan batubara berubah-ubah dalam selang jarak yang dekat, serta memiliki kandungan sulfur yang rendah.

2.2.3. Air Tanah

Air tanah dapat didefinisikan sebagai semua air yang terdapat dalam ruang batuan dasar atau regolith dapat juga disebut aliran yang secara alami mengalir ke permukaan tanah melalui pancaran atau rembesan (Aziz, 2000). Kebanyakan air tanah berasal dari hujan. Air hujan yang meresap ke dalam tanah menjadi bagian dari air tanah, perlahan-lahan mengalir ke laut atau mengalir langsung dalam tanah atau di permukaan dan bergabung dengan aliran sungai. Banyaknya air yang meresap ke tanah bergantung pada selain ruang dan waktu, juga di pengaruhi kecuraman lereng, kondisi material permukaan tanah dan jenis serta banyaknya vegetasi dan curah hujan. Air yang tidak tertahan dekat permukaan menerobos kebawah sampai zona dimana seluruh ruang terbuka pada sedimen atau batuan terisi air (jenuh air). Air dalam zona saturasi (zone of saturation) ini dinamakan air tanah (ground water). Batas atas zona ini disebut muka air tanah (water table). Lapisan tanah, sedimen atau batuan di atasnya yang tidak jenuh air disebut zona aerasi (zone of aeration). Muka air tanah umumnya tidak horisontal, tetapi lebih kurang mengikuti permukaan topografi di atasnya. Apabila tidak ada hujan maka muka air di bawah bukit akan menurun perlahan-lahan sampai sejajar dengan lembah. Namun hal ini tidak terjadi, karena hujan akan mengisi (recharge) lagi. Daerah dimana air hujan meresap kebawah (precipitation) sampai zona saturasi dinamakan daerah rembesan atau recharge area dan daerah dimana air tanah keluar dinamakan discharge area (lihat Gambar 2.5.).



Gambar 2.5. Diagram memperlihatkan posisi relatif beberapa istilah yang berkaitan dengan air bawah permukaan (Fetter, 1994).

Air tanah berasal dari bermacam sumber. Air tanah yang berasal dari peresapan air permukaan disebut air meteorik (meteoric water). Selain berasal dari

air permukaan, air tanah dapat juga berasal dari air yang terjebak pada waktu pembentukan batuan sedimen. Air tanah jenis ini disebut air konat (connate water). Aktivitas magma di dalam bumi dapat membentuk air tanah, karena adanya unsur hydrogen dan oksigen yang menyusun magma. Air tanah yang berasal dari aktivitas magma ini disebut dengan air juvenil (juvenile water). Dari ketiga sumber air tanah tersebut air meteorik merupakan sumber air tanah terbesar.

Air tanah di temukan pada formasi geologi permeabel (tembus air) yang dikenal sebagai akuifer (juga disebut reservoir air tanah, formasi pengikat air, dasar-dasar yang tembus air) yang merupakan formasi pengikat air yang memungkinkan jumlah air yang cukup besar untuk bergerak melaluinya pada kondisi lapangan yang biasa. Air tanah juga di temukan pada akiklud (atau dasar semi permeabel) yaitu suatu formasi yang berisi air tetapi tidak dapat memindahkannya dengan cukup cepat untuk melengkapi persediaan yang berarti pada sumur atau mata air. Deposit glasial pasir dan kerikil, kipas aluvial dataran banjir dan deposit delta pasir semuanya merupakan sumber-sumber air yang sangat baik.

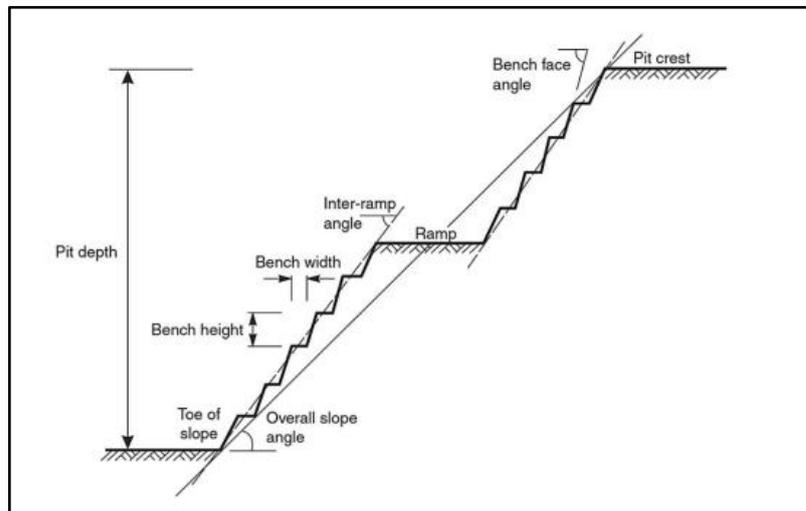
2.2.4. Kedudukan Lereng pada Tambang Terbuka

Lereng adalah suatu permukaan yang menghubungkan tanah yang lebih tinggi dengan permukaan tanah yang lebih rendah.

Lereng dapat terbentuk secara alami maupun buatan manusia. Lereng yang terbentuk secara alami misalnya: lereng bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia antara lain: galian dan timbunan untuk membuat bendungan, tanggul dan kanal sungai serta dinding tambang terbuka.

Pada tambang terbuka batubara, terdapat beberapa istilah umum pada bagian lereng penambangan. Terdapat 2 segmen utama dalam lereng tambang yaitu *highwall* dan *lowwall* (Gambar 2.6.). *HighWall* merupakan permukaan kerja tambang terbuka pada bagian dinding tambang yang memiliki sisi kemiringan terdalam, umumnya arah kemiringan lereng berlawanan dengan perlapisan batuan. *Lowwall* merupakan sisi terdangkal pada tambang terbuka, terbentuk dari bukaan batuan penutup batubara dan memiliki arah lereng sesuai dengan perlapisan batuan.

Pada *high wall* terdapat beberapa bagian penyusun antara lain: *crest*, *toe*, *bench*, *hauling road*, *single slope*, dan *overall slope*. *Crest* merupakan titik puncak dari suatu lereng. *Toe* merupakan titik terendah dari suatu lereng. *Bench* merupakan teras penggalian atau jenjang pada tambang batubara terbuka, *bench* ini memiliki lebar dan tinggi. *Hauling road* merupakan jalur angkut batubara dan batuan penutup batubara. *Single slope* merupakan kemiringan pada lereng tunggal. *Overall slope* merupakan kemiringan pada seluruh lereng, dari lereng paling bawah sampai lereng paling atas, dan memiliki ketinggian.



Gambar 2.6. Desain geometri lereng tambang terbuka (Martin, 2011).

2.2.5. Faktor Pengontrol Kestabilan Lereng

Kelongsoran suatu lereng dapat terjadi pada umumnya sering disebabkan apabila bertambahnya tegangan geser atau berkurangnya kuat geser material penyusun lereng tersebut. Perlu diketahui juga faktor-faktor yang dapat menyebabkan terjadinya suatu longsor pada lereng sebelum melakukan analisa kestabilan lereng pada suatu daerah. Terdapat dua faktor utama faktor pengontrol kestabilan lereng yaitu berasal dari material penyusun lereng tersebut atau sering disebut faktor internal dan faktor yang berasal dari luar atau sering disebut faktor eksternal.

1) Faktor Internal

- a. *Material properties*, yang berisi berat natural merupakan perbandingan antara berat material dengan volume material yang dinyatakan dalam

satuan berat per volume dalam kondisi natural atau alami, berat jenuh merupakan perbandingan antara berat material dengan volume material yang dinyatakan dalam satuan berat per volume dalam kondisi jenuh air, kohesi puncak merupakan kekuatan tarik menarik antara butiran batuan yang dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas dalam kondisi tidak terganggu, kohesi residu merupakan kekuatan tarik menarik antara butiran batuan yang dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas dalam kondisi terganggu, sudut geser puncak merupakan hubungan tegangan normal dan tegangan geser didalam material batuan dalam kondisi tidak terganggu, dan sudut geser residu merupakan merupakan hubungan tegangan normal dan tegangan geser didalam material batuan dalam kondisi terganggu.

- b. Geometri lereng, mencakup tinggi lereng dan sudut kemiringan lereng. Perubahan tinggi akan mengakibatkan perubahan kestabilan dari lereng yang bersangkutan karena berat material lereng yang harus ditahan oleh kuat geser batuan atau tanah semakin besar. Sudut kemiringan lereng yang besar akan memberikan volume material yang besar juga sehingga beban material pada lereng juga akan semakin besar. Lereng yang terlalu tinggi akan menyebabkan menjadi tidak mantap dan cenderung mudah longsor dibandingkan lereng yang tidak terlalu tinggi bila susunan batuanya sama. Demikian juga sudut kemiringan lereng, lereng akan menjadi kurang mantap jika kemiringannya besar. Oleh karena itu apabila terjadi penambahan tinggi lereng maka harus diikuti dengan pengurangan kemiringan lereng, demikian juga apabila terjadi penambahan sudut kemiringan lereng harus disertai dengan pengurangan tinggi lereng. Semakin besar tinggi lereng dan juga sudut kemiringan lereng akan mengakibatkan berkurangnya kemantapan lereng tersebut sehingga mudah mengalami kelongsoran.

2) Faktor Eksternal

- a. Keterdapatannya air, Air tanah merupakan salah satu faktor yang penting dalam kemantapan lereng. Air tanah dapat mempengaruhi kemantapan lereng dengan cara mengurangi kekuatan batuan atau tanah, mengubah unsur mineral dalam batuan melalui reaksi kimia dan pelarutan, mengubah

densitas batuan atau tanah, dan menyebabkan terjadinya erosi. Kehadiran air tanah dalam tubuh lereng biasanya menjadi masalah bagi kestabilan lereng. Kondisi ini tidak lepas dari pengaruh luar, yaitu iklim (diwakili oleh curah hujan) yang dapat meningkatkan kadar air tanah, derajat kejenuhan, atau muka air tanah. Kehadiran air tanah akan menurunkan sifat fisik dan sifat mekanik tanah. Kenaikan muka air tanah meningkatkan tekanan air pori, yang berarti memperkecil ketahanan geser dari massa lereng, terutama pada material tanah (soil). Kenaikan muka air tanah juga memperbesar debit air tanah dan meningkatkan erosi di bawah permukaan. Akibatnya lebih banyak fraksi halus dari massa tanah yang dihanyutkan, lebih jauh ketahanan massa tanah akan menurun.

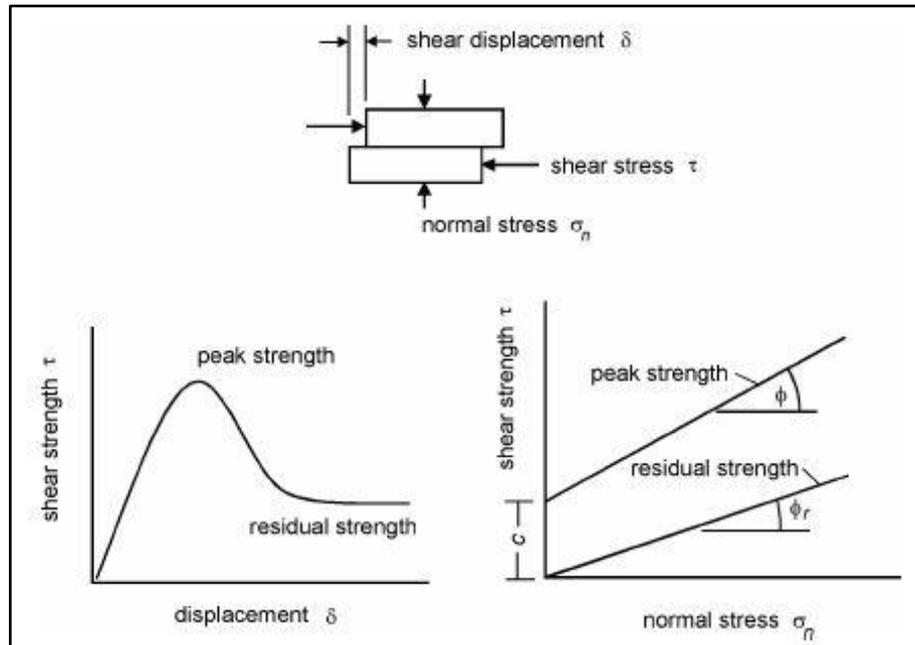
- b. Struktur geologi, adanya bidang-bidang diskontinu atau bidang-bidang lemah seperti sesar, kekar, dan perlapisan batuan. Hal yang terpenting dalam bidang diskontinu adalah adanya pengaruh tekanan air yang berada pada rekahan tarik. Selain adanya rembesan air bidang diskontinu tersebut, rekahan tarik juga akan terisi oleh material pengisi yang dapat memisahkan dua sisi batuan, batuan tersebut akan mempunyai kuat geser yang kecil untuk menahan potensi longsor.

2.2.6. Kriteria Keruntuhan *Mohr-Coulomb*

Kriteria keruntuhan *Mohr-Coulomb* merupakan salah satu kriteria keruntuhan yang sering digunakan dalam menganalisis kestabilan lereng. Metode ini merupakan metode yang cukup sederhana karena hanya menggunakan 2 parameter, yakni kohesi (c , kN/m^2) dan sudut gesek dalam (ϕ , $^\circ$). Kohesi adalah gaya tarik-menarik antarpartikel yang sejenis, dalam hal ini adalah gaya tarik-menarik antarpartikel batuan atau tanah pembentuk lereng, sedangkan sudut gesek dalam adalah sudut yang dibentuk oleh kekuatan gesek antarpartikel batuan atau tanah.

Dalam kondisi normal, umumnya suatu material memiliki keseimbangan tertentu. Apabila ada gaya yang bekerja terhadapnya, maka material tersebut akan berusaha untuk mencapai titik keseimbangan yang baru. Keruntuhan (*failure*) adalah proses yang dialami oleh suatu material untuk berubah dari suatu perilaku menjadi perilaku lainnya guna mencapai titik keseimbangannya. Agar terjadi

pergeseran, diperlukan adanya tegangan normal dan tegangan geser. Tegangan geser akan terus meningkat hingga puncak kekuatan tercapai.



Gambar 2.7. Pengujian geser pada bidang diskontinu (Hoek, 2006).

Mohr-Coulomb mengemukakan hubungan antara tegangan normal (σ_n) dan tegangan geser puncak (τ_p) dalam persamaan berikut.

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi$$

Pada tegangan geser residu, nilai kohesi turun menjadi 0, dan dapat dirumuskan dalam persamaan berikut.

$$\tau_r = \sigma_n \tan \phi_r$$

Dimana,

- τ_p : Tegangan geser puncak (kN / m²)
- τ_r : Tegangan geser residu (kN / m²)
- σ_n : Tegangan normal (kN / m²)
- c : Kohesi (kN / m²)
- ϕ : sudut gesek dalam *peak* (°)
- ϕ_r : sudut gesek dalam *residual* (°)

2.2.7. Analisis Kestabilan Lereng – *Limit Equilibrium Method* (LEM)

Analisis kestabilan lereng merupakan suatu metode untuk melakukan studi atau kajian tentang desain lereng, baik lereng terbuka (*surface mining*) atau lereng bawah tanah (*underground mining*). Analisis stabilitas lereng dapat dilakukan dengan metode kesetimbangan batas/*limit equilibrium method* (LEM), metode elemen hingga/*finite element method* (FEM).

Sebagian besar keseimbangan batas metode didasarkan pada teknik irisan yang dapat vertikal, mendatar atau miring. Teknik irisan pertama (Fellenius, 1927) didasarkan lebih pada intuisi teknik daripada prinsip mekanika yang ketat. Bagian umum dari metode irisan adalah diringkas oleh Zhu et al. (2003):

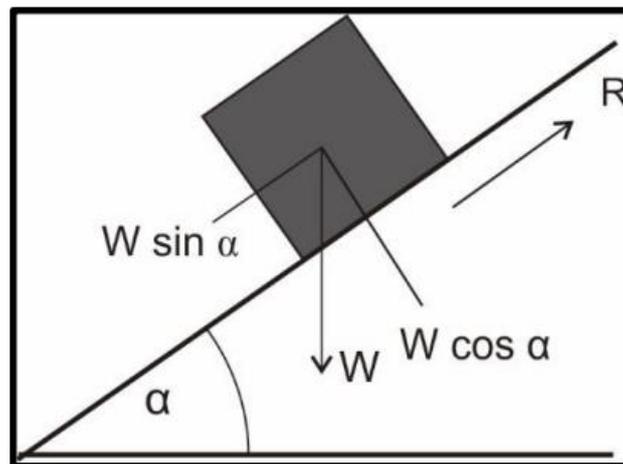
- (a) Badan geser di atas permukaan runtuh dibagi menjadi sejumlah terbatas dari irisan. Irisan biasanya dipotong secara vertikal, tetapi juga horizontal pemotongan miring juga telah digunakan oleh berbagai peneliti.
- (b) Kekuatan bidang gelincir digerakkan pada derajat yang sama untuk membawa bidang gelincir ke keadaan batas. Sehingga hanya ada satu faktor keamanan yang diterapkan di seluruh massa keruntuhan.
- (c) Asumsi mengenai gaya antar-irisan digunakan untuk membuat masalah tertentu.
- (d) Faktor keamanan dihitung dari gaya dan/atau kesetimbangan momen persamaan.

Whitman dan Bailey (1967) menyajikan tinjauan metode analisis kesetimbangan batas, yang dapat dikelompokkan sebagai:

1. Metode irisan: massa tanah yang tidak stabil dibagi menjadi serangkaian irisan vertikal dan permukaan gelincir dapat berbentuk lingkaran atau poligonal. Metode analisis yang menggunakan permukaan gelincir melingkar meliputi: Fellenius (1936); Taylor (1949); dan Uskup (1955). Metode analisis yang menggunakan permukaan slip non-lingkaran meliputi: Janbu (1973); Morgenstern dan Harga (1965); Spencer (1967); dan Sarma (1973).
2. Metode baji: massa tanah dibagi menjadi baji dengan antar muka miring. Cara ini biasa digunakan untuk beberapa bendungan tanah (embankment)

desain tetapi kurang umum digunakan untuk lereng. Metode yang menggunakan metode baji antara lain: Seed and Sultan (1967) dan Sarma (1979).

Dalam keadaan tidak terganggu, massa batuan pada umumnya memiliki kesetimbangan gaya-gaya yang bekerja. Kesetimbangan gaya-gaya yang bekerja tersebut dapat terganggu dikarenakan adanya perubahan kondisi massa batuan, baik secara alamiah (erosi, patah, peningkatan air tanah) maupun aktivitas manusia (pengupasan, pengangkutan, penggalian, penimbunan). Dapat dilihat pada (Gambar 2.8.) di bawah ini yang memperlihatkan gaya-gaya yang bekerja pada suatu blok yang berada pada suatu bidang miring yang mempunyai sudut kemiringan sebesar α .



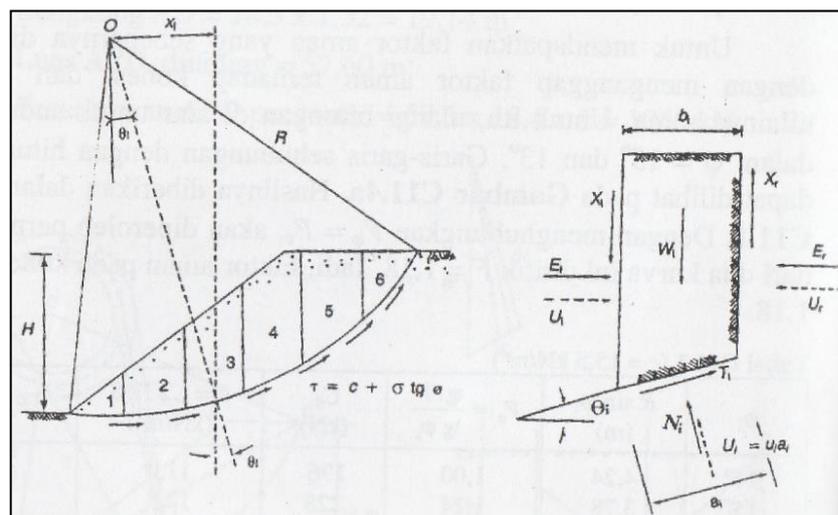
Gambar 2.8. Mekanisme luncuran blok pada bidang (dalam Frans, Jioni Santo dkk 2019).

Gambar di atas menunjukkan hubungan gaya-gaya yang bekerja pada bidang miring. Gaya pendorong digambarkan sebagai gaya yang bekerja searah dengan kemiringan bidang. Sedangkan gaya normal bekerja tegak lurus terhadap permukaan bidang miring. Besarnya gaya yang dimiliki oleh benda (lereng) sebanding dengan nilai massa batuan, dan terjadinya gaya disebabkan oleh adanya gravitasi. Metode perhitungan kesetimbangan batas yang paling sering digunakan untuk analisa longsor tipe busur yaitu metode irisan Fellenius dan Bishop.

2.2.8. Kestabilan Lereng Metode Irisan (*Method of Slice*)

Metode irisan adalah cara yang cocok untuk analisis kestabilan lereng dengan material batuan atau tanah yang tidak homogen dan aliran rembesan terjadi di dalam batuan atau tanah tidak menentu (Hary, 2010).

Gaya normal yang bekerja pada suatu titik di lingkaran longsor, terutama sangat dipengaruhi beban massa tanah/batuan di atasnya. Pada metode irisan, massa batuan yang longsor dibagi menjadi beberapa irisan vertikal. Penyelesaian nilai faktor keamanan membutuhkan sedikitnya satu asumsi yang berkaitan dengan gayagaya antar irisan (*interslice forces*). Asumsi yang umum digunakan berkaitan dengan arah, besar, dan titik kerja (*point of application*) dari gaya-gaya antar irisan. Setiap gaya yang bekerja pada masing-masing irisan tersebut dapat dilihat pada (Gambar 2.9.) di bawah ini.



Gambar 2.9. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan (Hoek, 2006).

Dimana,

X_i, X_r = gaya geser efektif sepanjang sisi irisan

E_i, E_r = gaya normal efektif sepanjang sisi irisan

T_i = resultan gaya geser efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

N_i = resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

U_i, U_r = tekanan air pori yang bekerja pada kedua sisi irisan

Di dalam satu irisan terdapat tiga persamaan kesetimbangan, yaitu kesetimbangan arah horizontal, vertikal, dan momen serta satu persamaan MohrCoulomb. Dengan demikian, untuk n irisan akan terdapat $4n$ persamaan. Jumlah bilangan yang unknown sebanyak $6n-2$, sehingga persoalan tersebut

merupakan persoalan statis tak tentu tingkat (2n-2). Oleh karena itu, penyelesaian persoalan tersebut memerlukan asumsi agar menjadi statis tertentu. Setiap metode perhitungan memiliki asumsi yang berbeda sehingga penyelesaian yang diperoleh pun akan berbeda antar metode.

2.2.9. Metode Bishop Disederhanakan (*Simplified Bishop Method*)

Metode Bishop yang disederhanakan merupakan salah satu metode perhitungan yang menggunakan kesetimbangan gaya dalam arah vertikal dan kesetimbangan momen pada pusat lingkaran bidang gelincir. Dalam metode ini, gaya geser antar irisan diasumsikan bernilai nol.

Persamaan faktor aman untuk analisis satabilitas lereng dengan metode Bishop disederhanakan adalah sebagai berikut:

$$F = \frac{\sum ((c' + (\gamma \cdot h - \gamma_w \cdot hw) \cdot \tan \phi) \cdot \frac{\Delta X}{\cos \alpha})}{(1 + \frac{\gamma \tan \alpha \cdot \tan \phi'}{F})} \frac{1}{\sum (\gamma \cdot h \cdot \Delta X \cdot \sin \alpha) + (\frac{1}{2} \gamma_w \cdot Z^2 \cdot a / R)}$$

Dimana,

F = faktor keamanan

γ = bobot isi material (ton/m³)

γ_w = bobot isi air (ton/m³)

α = kemiringan bidang gelincir (°)

t = tinggi lereng (m)

hw = tinggi lereng jenuh (m)

c' = kohesi (MPa)

Z = kedalaman tegangan tarik (m)

ϕ' = sudut geser dalam (°)

Lokasi lingkaran longsor kritis dari metode Bishop (1995), biasanya mendekati dengan hasil pengamatan dilapangan, karena hal itu metode Bishop lebih disukai.

Perlu diketahui bahwa pada tiap titik pusat lingkaran harus dilakukan pula hitungan faktor aman untuk menentukan nilai faktor aman terkecil dari bidang longsor dengan pusat lingkaran pada titik tersebut, yaitu dengan cara mengubah jari-jari lingkarannya. Kemudian, setelah faktor aman terkecil pada tiap-tiap titik pada kotaknya diperoleh, digambarkan garis kontur yang menunjukkan tempat

kedudukan dari titik-titik pusat lingkaran yang mempunyai faktor aman yang sama.

Hitungan secara manual memerlukan waktu yang sangat lama. Pada saat ini telah banyak program-program komputer untuk hitungan faktor aman stabilitas lereng.

2.2.10. Klasifikasi Faktor Keamanan

Secara umum, tanah longsor terjadi akibat adanya gangguan pada lereng yang menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan gaya yang berkerja pada lereng tersebut. Gaya tersebut adalah gaya penggerak (*driving forces*) yang menyebabkan massa tanah atau batuan yang berada pada lereng cenderung bergerak turun dan gaya penahan (*resisting forces*) yang menahan massa tanah atau batuan tersebut untuk tetap stabil.

Faktor pembentuk gaya penggerak antara lain adalah bobot isi batuan atau tanah, kandungan air, beban di atas lereng, getaran, dan sudut lereng tersebut, sedangkan faktor pembentuk gaya penahan adalah nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (θ) dari material pembentuk lereng tersebut. Kohesi adalah gaya tarik-menarik antar partikel yang sejenis, dalam hal ini adalah gaya tarik-menarik antarpartikel batuan atau tanah pembentuk lereng, sedangkan sudut geser dalam adalah sudut yang dibentuk oleh kekuatan geser antarpartikel batuan atau tanah.

Suatu lereng dikatakan stabil apabila gaya penggerak dan gaya penahan yang berkerja pada lereng tersebut seimbang dan dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{Faktor Keamanan} = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}}$$

Mengacu kepada Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik, ditetapkan kriteria ambang Faktor Keamanan (FK) dan Probabilitas Kelongsoran (PK) untuk lereng tambang terbuka yang didasarkan pada 4 faktor, yaitu: keparahan longsor, FK statis minimum, FK dinamis minimum, dan PK maksimum, sebagaimana ditampilkan pada (Tabel 2.1.) (Kementerian ESDM, 2018).

Nilai FK diasumsikan bahwa seluruh material pada bidang gelincir memiliki nilai FK yang sama padahal secara realitas terdapat besaran ketidakpastian yang tidak tercakup dalam nilai FK tersebut. Nilai FK yang lebih besar belum tentu mewakili lereng yang lebih stabil. Sementara utk PK merupakan nilai dengan skala linier artinya jika lereng dengan nilai PK=10% akan memiliki kemungkinan longsor atau ketidakstabilan 2 kali lebih besar dibandingkan dengan lereng yang memiliki PK=5%.

Tabel 2.1. Nilai faktor keamanan dan probabilitas longsor lereng tambang (Kementerian ESDM, 2018).

Jenis Lereng	Keparahan Longsor	FK (Statis) (Min)	FK (Dinamis) (Min)	PK (maks) PoF (FK≤1)
Tunggal (<i>Bench</i>)	Rendah-Tinggi	1,1	Tidak ada	25-50%
Antar jalan tambang (<i>Inter-ramp</i>)	Rendah	1,15-1,2	1,0	25%
	Menengah	1,2-1,3	1,0	20%
	Tinggi	1,2-1,3	1,1	10%
Keseluruhan (<i>Overall</i>)	Rendah	1,2-1,3	1,0	15-20%
	Menengah	1,3	1,05	5-10%
	Tinggi	1,3-1,5	1,1	5%

2.2.11. Porositas Batuan

Porositas adalah ukuran volume rongga dalam suatu bahan atau massa (Price, 2009). Porositas tergantung pada ruang antara butir, dalam massa itu akan mencakup ruang apapun yang disediakan oleh celah dan sambungan terbuka.

$$Porositas (n) = \frac{Volume\ pori}{Volume\ total} \times 100\%$$

Faktor-faktor yang mempengaruhi porositas tanah meliputi distribusi ukuran partikel, sortasi, bentuk butir, kain, tingkat pemadatan, efek larutan dan, terakhir, komposisi mineralogi, khususnya adanya partikel lempung (Bell, 1978). Porositas tertinggi dicapai ketika semua butir memiliki ukuran yang sama. Penambahan butiran dengan ukuran berbeda ke kumpulan seperti itu menurunkan porositas dan ini, dalam batas-batas tertentu, berbanding lurus dengan jumlah yang ditambahkan. Penyimpangan dalam bentuk butir menghasilkan kisaran porositas yang lebih besar, karena bentuk tidak beraturan mungkin secara teoritis dikemas baik lebih erat atau lebih longgar dari bola. Demikian pula, butiran sudut dapat menyebabkan peningkatan atau penurunan porositas. Setelah sedimen

terkubur dan terindurasi, beberapa faktor tambahan membantu menentukan porositasnya. Yang utama di antaranya adalah jarak butir yang lebih dekat, deformasi dan granulasi butir, rekristalisasi, pertumbuhan sekunder mineral, sementasi dan, dalam beberapa kasus, pembubaran. Oleh karena itu, perubahan diagenesa yang dialami oleh batuan sedimen dapat meningkatkan atau menurunkan porositas aslinya.

Cadangan porositas tidak selalu memberikan indikasi jumlah air yang dapat diperoleh darinya. Namun demikian, kandungan air dari tanah atau batu terkait terhadap porositasnya. Kadar air, m , dari bahan berpori biasanya dinyatakan sebagai persentase berat bahan padat, W_s , yaitu:

$$m = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

Dimana,

W_w = berat air (gram)

W_s = berat tanah kering (gram)

m = kadar air (N/cm)

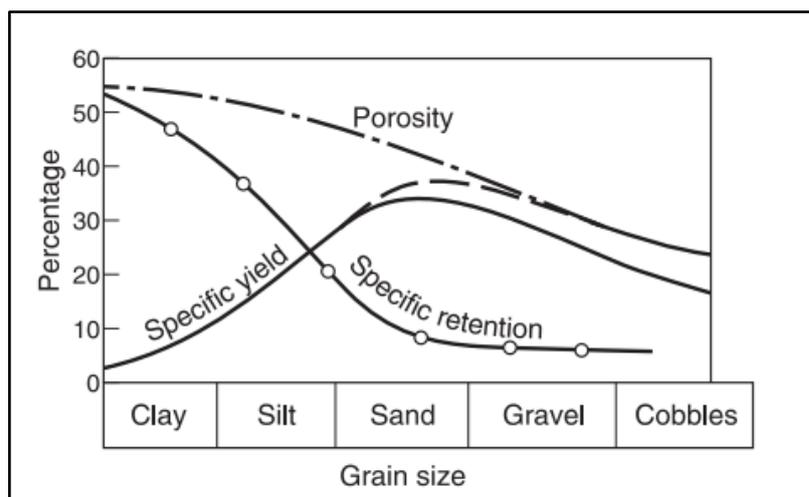
$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\%$$

Dimana,

S_r = derajat kejenuhan (%)

V_w = volume relatif air (m^3)

V_v = volume rongga (m^3)



Gambar 2.10. Hubungan antara ukuran butir, porositas, retensi spesifik dan hasil spesifik (Bell, 1993).

Rasio rongga (e) di sisi lain, didefinisikan sebagai rasio volume rongga yang sama tetapi sekarang melebihi volume agregatnya atau:

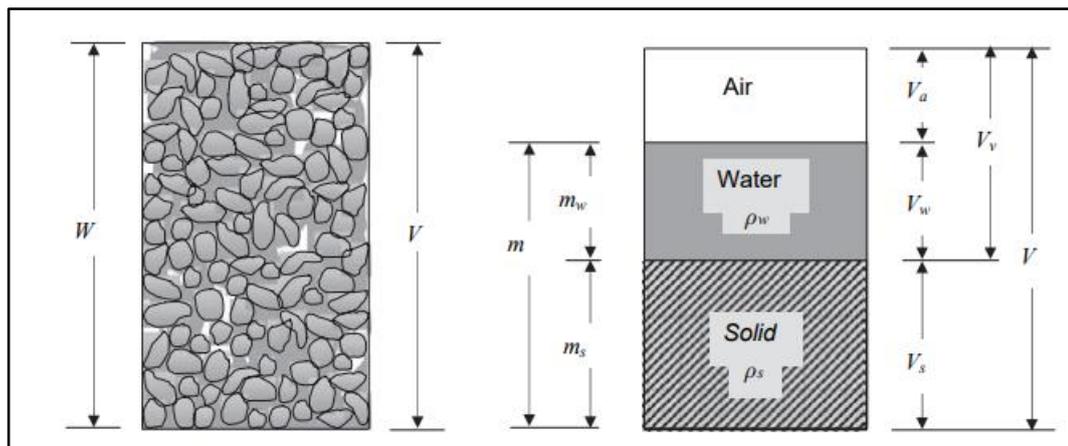
$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Dimana,

V_v = volume udara + volume air (m^3)

V_s = volume tanah/batuan (m^3)

e = void ratio



Gambar 2.11. Diagram tiga fase dari elemen agregat tak jenuh (Dowson, 2008).

Tabel 2.2. Porositas penyusun akuifer (Todd, 1995).

No	Material	Porositas (%)
1	Kerikil kasar	28
2	Kerikil sedang	32
3	Kerikil halus	34
4	Pasir kasar	39
5	Pasir sedang	39
6	Pasir halus	43
7	Lanau	46
8	Lempung	42
9	Batupasir berbutir halus	33
10	Batugamping	30

2.2.12. Permeabilitas Batuan

Permeabilitas dapat didefinisikan sebagai kemampuan tanah atau batuan untuk memungkinkan lewatnya cairan ke dalam atau melewatinya tanpa merusak strukturnya. Dalam penggunaan hidrolis biasa, suatu zat disebut permeabel ketika memungkinkan lewatnya sejumlah cairan yang terukur dalam periode yang

terbatas waktu, dan impermeabel ketika laju aliran fluida tersebut cukup lambat untuk diabaikan di bawah kondisi suhu-tekanan yang ada (Tabel 2.3). Permeabilitas dari bahan tertentu ditentukan oleh koefisien permeabilitas atau konduktivitas hidrolis, k . Transmisivitas atau aliran dalam m^3 hari-1 melalui bagian akuifer dengan lebar 1 m di bawah sistem hidrolis gradien kesatuan kadang-kadang digunakan sebagai besaran yang sesuai dalam perhitungan air tanah aliran bukan koefisien permeabilitas. Transmisivitas, T , dan koefisien permeabilitas, k , terkait satu sama lain sebagai berikut:

$$T = k \times H$$

Dimana,

T = transmisivitas (m^3 /hari)

k = permeabilitas (m/hari)

H = ketebalan akuifer (m)

Aliran melalui penampang unit material dimodifikasi oleh suhu, hidrolis gradien dan koefisien permeabilitas. Yang terakhir dipengaruhi oleh keseragaman dan kisaran ukuran butir, bentuk butir, stratifikasi, jumlah konsolidasi dan sementasi mengalami, dan keberadaan dan sifat diskontinuitas. Suhu perubahan mempengaruhi laju aliran fluida dengan mengubah viskositasnya. Laju aliran umumnya diasumsikan berbanding lurus dengan gradien hidrolis tetapi ini tidak selalu demikian dalam praktek.

Tabel 2.3. Nilai relatif permeabilitas (Bell, 1993).

Rock types	Porosity		Permeability range ($m s^{-1}$)						Well yields			Type of water-bearing unit
	Primary (grain)%	Secondary (fracture)*	10^0	10^{-2}	10^{-4}	10^{-6}	10^{-8}	10^{-10}	High	Medium	Low	
			Very High	High	Medium	Low	Very Impermeable					
Sediments, unconsolidated												
Gravel	30-40		_____						_____			Aquifer
Coarse sand	30-40		_____						_____			Aquifer
Medium to fine sand	25-35		_____						_____			Aquifer
Silt	40-50	Occasional	_____						_____			Aquiclude
Clay, till	45-55	Often fissured	_____						_____			Aquiclude
Sediments, consolidated												
Limestone, dolostone	1-50	Solution joints	_____						_____			Aquifer or aquiclude
Coarse, medium sandstone	<20	Joints and bedding planes	_____						_____			Aquifer or aquiclude
Fine sandstone	<10	Joints and bedding planes	_____						_____			Aquifer or aquiclude
Shale, Siltstone	-	Joints and bedding planes	_____						_____			Aquiclude or aquifer
Volcanic rocks, e.g. basalt	-	Joints and "bedding" planes	_____						_____			Aquifer or aquiclude
Plutonic and metamorphic rocks		Weathering and joints decreasing as depth increases	_____						_____			Aquiclude or aquifer

*Rarely exceeds 10%

Tabel 2.4. Permeabilitas material penyusun akuifer (Morris dan Johnson dalam Todd, 1995).

No	Material	Permeabilitas (m/hari)
1	Kerikil kasar	15
2	Kerikil sedang	270
3	Kerikil halus	450
4	Pasir kasar	45
5	Pasir sedang	12
6	Pasir halus	2,5
7	Lanau	0,08
8	Lempung	0,0002
9	Batupasir halus	0,2
10	Batupasir sedang	3,2
11	Batugamping	9,4
12	Pasir gumuk	20

2.2.13. Porositas dan Permeabilitas Batuan Terhadap Kestabilan Lereng

Pengujian kestabilan lereng daerah penelitian menggunakan metode kriteria keruntuhan mohr-coloumb dan analisis stabilitas lereng menggunakan limit equilibrium method (LEM)/metode kestimbangan batas. Porositas dan permeabilitas akan berhubungan dengan nilai yang diperlukan dalam analisis geologi teknik. Data yang diperlukan berupa sifat fisik dan mekanik tanah atau batuan, antara lain :

1. Berat isi (gram)

Berat isi adalah perbandingan antara berat tanah atau batuan basah dengan volumenya dengan satuan gram/cm^3 . Berat isi merupakan sifat fisik tanah atau batuan dalam menganalisis kestabilan lereng. Pengujian dilakukan dengan sampel *undisturb* atau tidak terganggu.

2. Kohesi (kN/m^2)

Kohesi adalah gaya tarik menarik antara partikel dalam tanah, dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Kohesi tanah akan semakin besar jika kekuatan gesernya makin besar. Nilai kohesi (c) diperoleh dari pengujian laboratorium yaitu pengujian kuat geser langsung (direct shear strength test) dan pengujian triaxial (triaxial test). Salah satu aspek yang memengaruhi nilai kohesi

adalah kerapatan dan jarak antar molekul dalam suatu benda. Kohesi berbanding lurus dengan kerapatan suatu benda, sehingga bila kerapatan semakin besar maka kohesi yg akan didapatkan semakin besar. Dalam hal ini, benda berbentuk padat memiliki kohesi yang paling besar dan sebaliknya pada cairan.

3. Sudut geser dalam ($^{\circ}$)

Sudut geser dalam merupakan sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah atau batuan. Sudut geser dalam adalah 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 luar yang dikenakan terhadapnya. Kohesi dan sudut geser dalam merupakan sifat mekanik tanah atau batuan dalam menganalisis kestabilan lereng.

Nilai porositas dan permeabilitas terhadap sifat fisik dan mekanik tanah atau batuan akan berhubungan terkait studi kestabilan lereng. Hubungan antara porositas dengan berat isi yaitu semakin meningkatnya berat isi tanah atau batuan maka nilai porositas akan semakin menurun dan sebaliknya jika berat isi tanah atau batuan menurun maka nilai porositas akan semakin meningkat. Porositas merupakan berkaitan dengan ruang antar pori dalam massa tanah atau batuan, artinya apabila ruang antar pori besar maka berat isi akan berkurang.

1. Porositas besar, ruang antar pori besar dan banyak ruang kosong ($W_{udara} = 0$) berarti nilai $W_{air} + W_{tanah/batuan}$ tertekan sehingga bernilai kecil,

2. Porositas kecil, ruang antar pori kecil dan sedikit ruang kosong (W_{udara} akan tertekan sehingga sisanya terisi $W_{air} + W_{tanah/batuan}$).

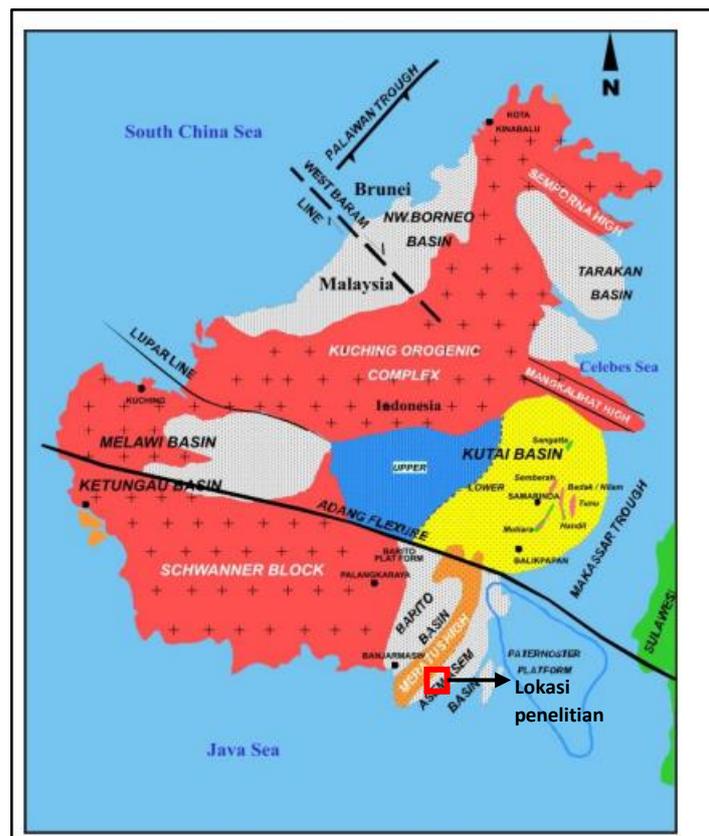
Nilai permeabilitas tanah dapat dipengaruhi oleh sifat fisik tanah, yaitu berat jenis tanah, berat isi tanah, dan kadar air tanah (Rosyidah & Wirosodarmo, 2013). Hubungan antara permeabilitas dengan berat isi yaitu semakin tinggi berat isi maka nilai permeabilitas akan semakin rendah).

BAB III

GEOLOGI REGIONAL

3.1. Fisiografi Regional Daerah Penelitian

Secara regional wilayah konsesi PT. Mitra Setia Tanah Bumbu-CV. Hidup Hidayah Ilahi termasuk ke dalam Cekungan Asam-asam, Kalimantan Selatan. Bagian utara Cekungan Asam-asam dibatasi oleh Cekungan Kutai. Bagian timur dibatasi oleh kawasan paparan benua dari Laut Sulawesi. Bagian selatan dibatasi oleh Laut Jawa. Dan pada bagian barat dibatasi oleh Pegunungan Meratus yang memisahkan antara dua Cekungan, yaitu di bagian barat dari Pegunungan Meratus merupakan Cekungan Barito dan di bagian timur Pegunungan Meratus merupakan Cekungan Asam-asam.



Gambar 3.1. Kerangka tektonik Pulau Kalimantan (Nuay, 1985 dalam Rose & Hartono, 1978).

Cekungan Asam-asam adalah salah satu cekungan Tersier di Indonesia yang mempunyai potensi sumber daya energi cukup besar, seperti minyak dan gas bumi serta batubara. Cekungan Asam-asam berlokasi di tenggara dari Kerak Benua Sundaland dan dipisahkan Cekungan Barito oleh Pegunungan Meratus di bagian Barat. Cekungan Asam-Asam terletak pada bagian Tenggara dari batas lempeng benua Sundaland. Cekungan ini terpisahkan dari Cekungan Barito oleh Pegunungan Meratus di sebelah Baratnya.

Di Pulau Kalimantan Selatan sendiri memiliki beberapa sungai besar, di antaranya Sungai Kapuas, Sungai Barito, Sungai Negara dan Sungai Kahayan. Sungai Barito merupakan sungai terbesar kedua di Pulau Kalimantan. Sungai Barito ini berhulu di Pegunungan Muller dan menghasilkan Cekungan Barito yang dibatasi oleh Pegunungan Meratus pada bagian timur. Sungai-sungai di daerah Kalimantan Selatan ini berhulu di bagian tengah Pulau Kalimantan yaitu Pegunungan Schwaner dan juga Pegunungan Muller. Pegunungan Schwaner dan Muller ini memiliki ketinggian antara 200-2000 meter di atas permukaan laut. Sedangkan arah aliran sungai-sungai ini relatif berarah utara-selatan dan bermuara di Laut Jawa. Sungai-sungai ini mengalir pada ketinggian 0-200 meter di atas permukaan laut. Daerah aliran sungai-sungai besar ini menempati sebagian besar dari bagian Selatan Pulau Kalimantan. Di bagian timur Provinsi Kalimantan Selatan terdapat Pegunungan Kompleks Meratus yang merupakan jejak adanya kegiatan subduksi pada umur Kapur (Rotinsulu dkk., 2006).

3.2. Stratigrafi Regional Daerah Penelitian

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Kotabaru, Kalimantan skala 1:250.000 (Rustandi dkk, 1995) stratigrafi regional dari tua ke muda (Gambar 3.2.) dibagi menjadi:

1. Batuan *Melange/Bancuh* (Mb)

Satuan ini disusun oleh greywake, rijang radiolarian, diabas dan basal; bersentuhan sesar dengan satuan batuan disekitarnya. Umurnya diduga *Jurassic*.

2. Formasi Tanjung (Tet)

Peselingan konglomerat, batupasir dan batulempung dengan sisipan serpih, batubara dan batugamping. Bagian bawah terdiri dari konglomerat dan batupasir

dengan sisipan batulempung, serpih dan batubara, sedangkan bagian atas terdiri dari batupasir dan batulempung dengan sisipan batugamping. Batugamping mengandung fosil: *Discocyclus* sp., *Nummulites* sp. Dan *Lepidocyclus* sp. berumur Eosen, diendapkan di lingkungan fluviatile di bagian bawah dan beralih ke delta di bagian atas. Tebal satuan diperkirakan 1500 m. Formasi Tanjung menindih tak selaras Formasi Pitap dan Formasi Haruyan. Lokasi tipenya di daerah Tanjung, Kalimantan Selatan.

3. Formasi Berai (Tomb)

Batugamping bioklastik, setempat berselingan dengan napal dan batupasir, mengandung bintal rijang. Fosil foraminifera yang diidentifikasi adalah *Spiroclypeus* sp., *Discocyclus* sp., *Pelatispira* sp. dan *Nummulites* sp. menunjukkan umur Oligosen-Miosen Awal, lingkungan pengendapan neritik. Tebal satuan antara 500-1500 m. Formasi Berai menjemari dengan Formasi Pamaluan dan menindih selaras Formasi Tanjung. Lokasi tipenya di G. Berai, sebelah timur Tanjung, Kalimantan Selatan.

4. Formasi Warukin (Tmw)

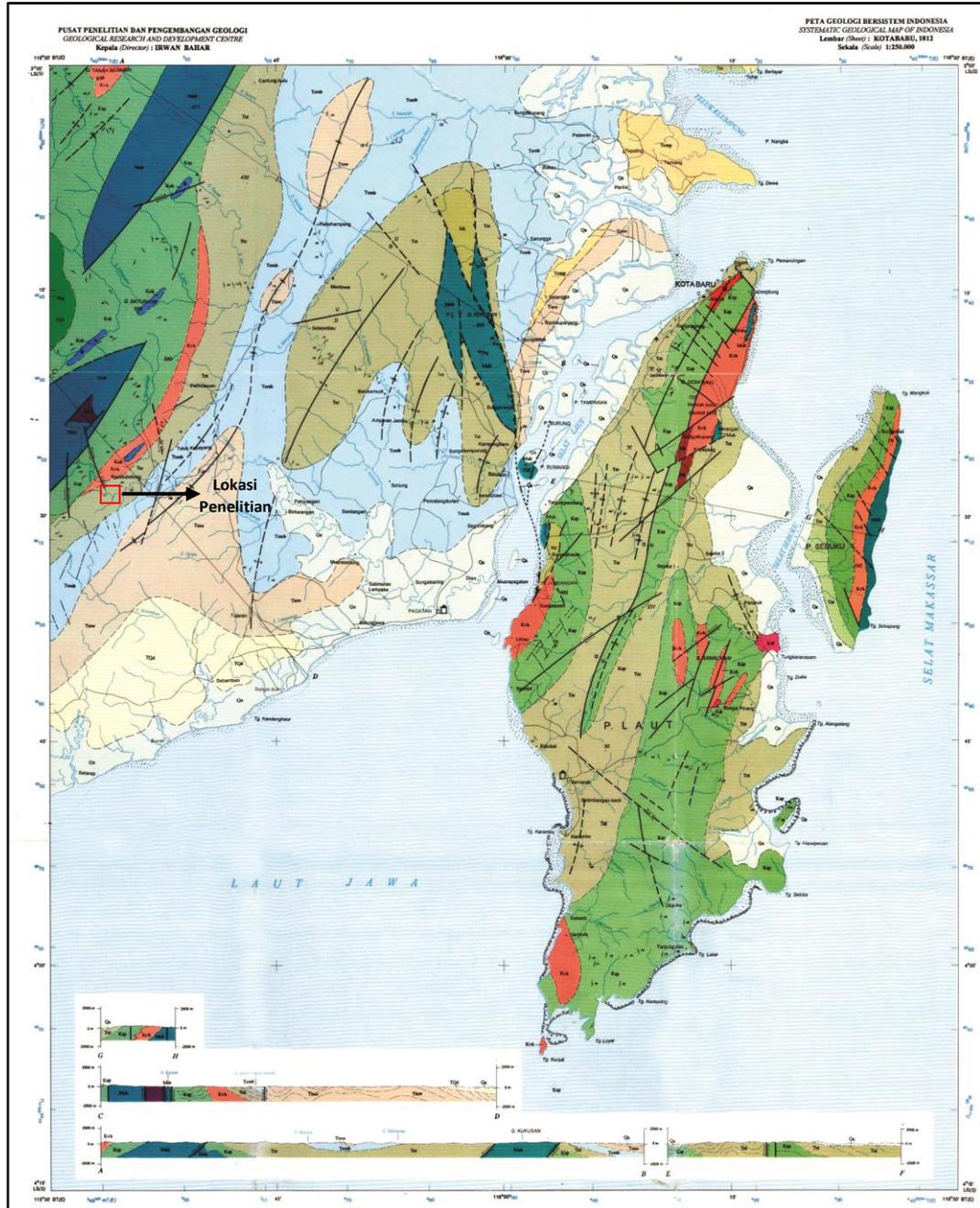
Perselingan batupasir kuarsa dan batulempung, bersisipan serpih, batubara dan batugamping. Batupasir dan batulempung karbonan setempat mengandung konkresi besi. Satuan ini terendapkan pada lingkungan litoral hingga paralis dan tebalnya 250-750 m. Formasi Warukin mengandung fosil *Miogypsina* sp., *Cycloclypeus* sp. dan *Lepidocyclus* cf *Sumatrensis* yang berumur Miosen Tengah-Miosen Akhir serta menindih selaras di atas Formasi Berai. Nama Formasi Warukin digunakan pertama kali oleh PERTAMINA (1980), dan lokasi tipenya terdapat di Daerah Kambilin Balikpapan, Kalimantan Timur.

5. Formasi Dahor (TQd)

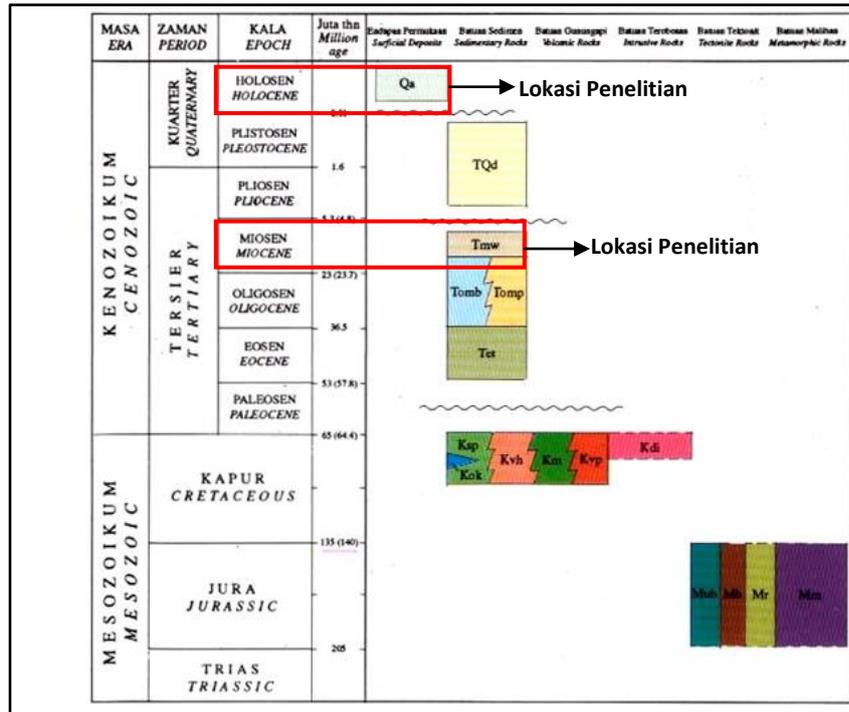
Batupasir kuarsa, mudah hancur, setempat bersisipan lempung, lignit, limonit, kerakal kuarsa asap dan basal. Formasi Dahor terendapkan di lingkungan paralis dan ketebalan satuannya ± 750 m. Di Lembar Samarinda satuan berumur Pliosen-Plistosen dengan ciri-ciri litologi serupa disebut Formasi Kampung Baru dan terletak tidak selaras di atas Formasi Warukin.

6. Alluvium (Qa)

Kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung dan lumpur, terdapat sebagai endapan sungai, rawa dan pantai.



Gambar 3.2. Peta geologi regional lembar kotabaru, Kalimantan (Rustandi, dkk, 1995).



Gambar 3.3. Kolom Stratigrafi Peta Geologi Lembar Kotabaru, Kalimantan (Rustandi, dkk, 1995).

3.3. Tatanan Tektonik Daerah Penelitian

Dalam kerangka tektoniknya, Kalimantan secara umum dapat dibagi menjadi dua satuan tektonik, yaitu:

- a. Cekungan Tersier, yang terdiri dari:
 1. Cekungan Barito
 2. **Cekungan Asam-Asam**
 3. Cekungan Kutai
 4. Cekungan Tarakan
 5. Cekungan Sandakan
 6. Cekungan Northwest Kalimantan
 7. Cekungan Melawi & Ketangau
- b. Tinggian Pra-Tersier Awal, yang terdiri dari:
 1. Northwest Kalimantan domain
 2. Blok Schwaner
 3. Tinggian Meratus
 4. Komplek Orogenik Kuching
 5. Tinggian Mangkalihat

6. Tinggian Semporna

Secara regional Pulau Kalimantan diapit inti berbentuk triangulasi (segitiga) (Latreille et al., 1971). Inti segitiga membentuk punggung pulau dan berperan sebagai elemen yang memisahkan antar Cekungan di Pulau Kalimantan. Cekungan Barito terletak di antara continental schwaner di barat dan akresi kerak Pegunungan Meratus di timur.

Keadaan tektonik dan stratigrafi di Cekungan Barito (*Tectono-Stratigraphy*) secara umum dapat digambarkan dalam 4 fase (Satyana, dan Silitongan, 1994) sebagai berikut:

1. Fase *Pre-Rift*

Merupakan fase kompleks tektonik yang berpengaruh pada batuan dasar cekungan. Batuan dasar terletak di sepanjang Paparan Sunda, yang tersusun oleh berbagai macam variasi litologi yang berasal dari sumber yang berbeda-beda yaitu batuan dasar dari kerak benua pada bagian Barat, zona akresi Mesozoic dan batuan Paleogen di bagian barat.

2. Fase *Syn-Rift*

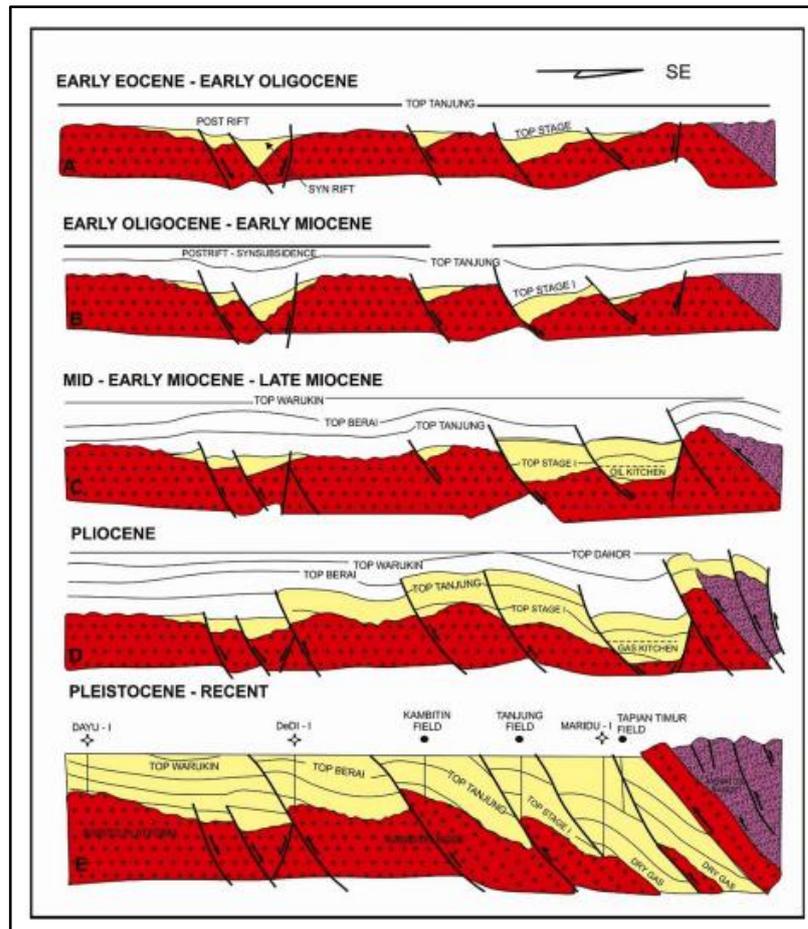
Tumbukan antara Lempeng Eurasia dan Lempeng Pasifik bagian barat pada Eosen Tengah menyebabkan proses rifting pada Cekungan Barito (Daly, Hooper, dan Ssmith, 1987; Kusuman dan Darin 1989; Daly et al., 1991; Van De Weerd and Armin, 1992). Fase syn-rift pada cekungan terjadi Paleosen-Eosen Tengah, yaitu pada pengendapan Formasi Tanjung bagian bawah. Formasi ini diendapkan langsung secara tidak selaras terhadap basement akibat proses pemekaran.

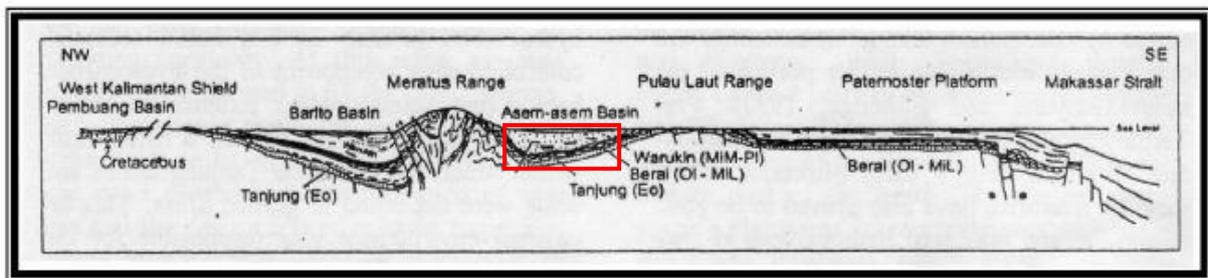
3. Fase *Post-Rift*

Subsidence regional setelah pemekaran terjadi secara luas dari Miosen Tengah sampai Miosen Awal. Selama itu terjadi sedimentasi dari Formasi Tanjung bagian Bawah, Tanjung bagian Atas dan Formasi Berai. Ketiga sedimen ini merupakan bagian dari *transgressive system*. Perubahan berbeda pada karakteristik sedimenter muncul pada batas antara sekuen syn-rift dan post-rift.

4. Fase *Syn-Inversi*

Pada pertengahan Miosen, fragmen benua Laut China Selatan bertumbukan dengan Kalimantan Utara yang menghasilkan tinggian Kuching High (tinggian Kuching) terangkat. Pada saat yang sama, tumbukan pada lengan timur Sulawesi mengakhiri pemekaran Selat Makassar dan mengangkat Proto-Meratus. Kedua *event* (kejadian) tektonik mengawali inversi pada Cekungan Barito. Inversi pada cekungan lebih kuat tergambar pada saat Pasif Margin barat laut Australia bertumbukan dengan Sunda Trench dan Banda Firearc pada awal Pliosen dimana inversi diakomodasi oleh sistem sesar mendatar melalui Sulawesi (Daly, Hooper, and Smith, 1987; Letouzey, Werner, and Marty, 1990; Daly et al., 1991 dalam Satyana 1994). Tinggian Kuching yang terangkat memberikan sedimen yang mengisi cekungan, sedangkan Proto-Meratus Range memisahkan cekungan Barito dari laut terbuka di sebelah timur yang menghasilkan karakteristik sedimen berganti dari siklus transgressive ke regressive.





Gambar 3.4. Tektonostratigrafi Cekungan Barito (Satyana dan Silitonga, 1994).

Kegiatan tektonik di daerah ini diduga berlangsung sejak zaman *Jurassic* yang mengakibatkan bercampurnya batuan ultramafic, batuan *mélange*/bancuh, sekis garnet, amfibolit, dan batupasir terkeraskan. Genang laut dan kegiatan gunung api terjadi pada Kapur Akhir bagian bawah yang menghasilkan Formasi Pitap, Formasi Manunggal, Formasi Haruyan, dan Formasi Paau. Pada Kapur Akhir bagian atas terjadi kegiatan magma yang menghasilkan terobosan diorite. Diorite ini menerobos batuan alas Formasi Pitap dan batuan-batuan yang lebih tua. Pengangkatan dan terjadi pengendapan dalam suasana darat pada Awal Paleosen-Eosen yang diikuti pengendapan Formasi Tanjung bagian bawah, sedangkan bagian atas dari formasi ini terbentuk pada genang laut. Paparan karbonat dari Formasi Beral terbentuk dalam kondisi genang laut pada awal Oligosen-Miosen bersamaan dengan pengendapan sedimen klastika Formasi Pamaluan. Pada Miosen Tengah terjadi susut laut yang bersamaan dengan pengendapan Formasi Warukin dalam suasana darat. Kegiatan tektonik terjadi lagi pada Miosen Akhir yang mengakibatkan hampir seluruh batuan Mesozoikum membentuk tinggian Meratus di bagian barat lembar yang memisahkan Cekungan Barito dan Cekungan Pasir/Asam-asam. Pada akhir Miosen Akhir semua batuan pra-Tersier dan Tersier terlipat kuat dan tersesarkan. Pada Plio-Plistosen berlangsung lagi terjadi pengendapan dalam suasana darat, pengendapan Formasi Dahor pada Pliosen dan kemudian diikuti pengendapan Aluvial.

Pada awalnya cekungan yang berada di Kalimantan Selatan yaitu Cekungan Barito dan Cekungan Asam-asam merupakan cekungan yang sama. Seiring dengan adanya proses tektonik yang terjadi maka pada Miosen Awal terjadi pengangkatan Pegunungan Meratus yang menyebabkan terpisahkan kedua

cekungan tersebut (Witts, dkk., 2012). Lokasi penelitian berada di Formasi Warukin, Cekungan Asam-asam, Kalimantan Selatan (Gambar 3.2). Cekungan ini dibatasi oleh Pegunungan Meratus di bagian utara-baratdaya, bagian utara-timur laut dipengaruhi oleh zona sesar paternoster, dan bagian selatan dibatasi oleh Bawean Arch (Witts, dkk., 2012).

BAB IV

GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Geologi daerah penelitian terdiri dari pola pengaliran daerah penelitian, geomorfologi daerah penelitian, stratigrafi daerah penelitian, struktur geologi daerah penelitian, serta sejarah geologi daerah penelitian. Pola pengaliran daerah penelitian berupa pola pengaliran subdentratik. Geomorfologi daerah penelitian terdiri dari dua satuan bentukasal serta tujuh bentuklahan. Stratigrafi daerah penelitian disusun oleh dua satuan batuan, dari tua ke muda secara berurutan yakni Satuan batulempung Warukin, Satuan batupasir Warukin, endapan alluvial, dan material tak terkonsolidasi. Tegasan pada daerah penelitian memiliki arah barat laut-tenggara. Struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian yakni berupa kekar, sesar, dan lipatan.

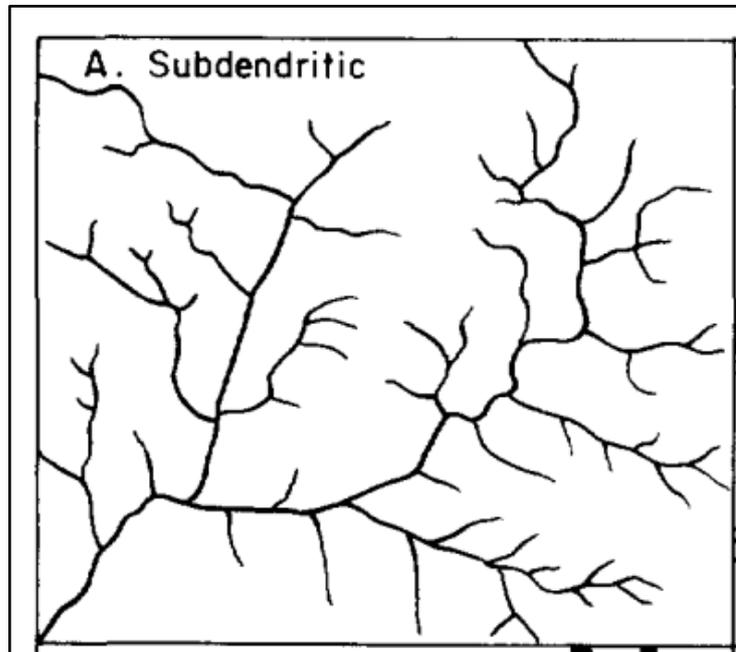
4.1. Pola Pengaliran Daerah Penelitian

Menurut Howard (1967) pola pengaliran adalah rangkaian bentuk aliran-aliran sungai di daerah lemah tempat erosi mengambil bagian secara aktif serta daerah rendah tempat air permukaan mengalir dan berkumpul. Penjelasan di atas dapat dipahami sebagai:

1. Rangkaian bentuk aliran-aliran sungai: aliran sungai lebih dari satu aliran dan terdiri atas aliran utama, cabang, dan ranting sungai.
2. Di daerah lemah: zona lemah, yaitu bidang perlapisan, kekar, dan sesar atau bidang discontinuitas.
3. Tempat erosi mengambil bagian secara aktif: erosi berperan secara aktif, tetapi daya tahan terhadap erosi tersebut berbeda-beda, tergantung batuan (litologi) yang dilewati sungai.
4. Daerah rendah tempat air permukaan mengalir dan berkumpul: faktor lereng dan bentuklahan menentukan aliran sungai serta di daerah rendah sungai-sungai akan bertemu dan air akan berkumpul.

Sehingga dari penjelasan tersebut dapat diartikan bahwa pola pengaliran merupakan fungsi kelerengan, bentuklahan, resistensi batuan, litologi, dan struktur geologi.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka daerah penelitian termasuk ke dalam pola pengaliran sub-dendritik. Hal ini didukung dengan banyaknya kesamaan antara model pengaliran menurut Howard (1967) (Gambar 4.1.) dan pola pengaliran di daerah penelitian (Gambar 4.2).

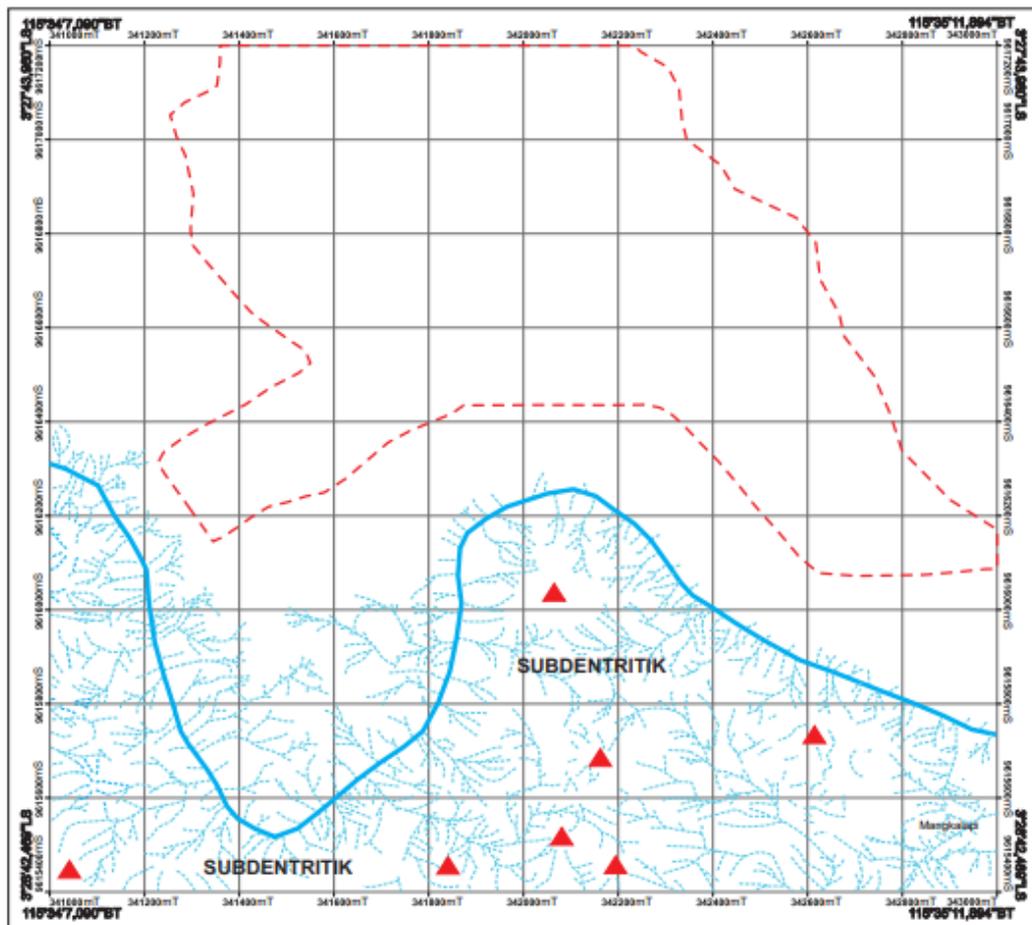


Gambar 4.1. Model pola pengaliran subdendritik (menurut Howard, 1967).

Menurut Parvis (1949) pada pola pengaliran ubahan *sub-dendritik* dapat diinterpretasi bahwa (1) resistensi batuan lemah yang tersusun oleh batuan berbutir halus sampai sedang, (2) terdapat sedikit control struktur berupa pengangkatan lemah, dan (3) dikontrol oleh lereng. Menurut Howard (1967), pola pengaliran ubahan *sub-dendritik* terbentuk pada kemiringan lereng sedang, dikontrol oleh lereng, litologi, dan struktur geologi serta memiliki resistensi lapisan batuan relatif seragam.

Tabel 4.1. Pola pengaliran subdentritik berdasarkan fakta lapangan dan interpretasi geologi.

PARAMETER	FAKTA LAPANGAN	INTERPRETASI GEOLOGI
POLA PENGALIRAN UBAHAN	Aliran-aliran sungai membentuk percabangan seperti ranting pohon	Berdasarkan Parvis (1949) pada pola pengaliran subdentritik dapat diinterpretasi bahwa: 1. Resistensi batuan lemah, tersusun oleh batuan berbutir halus-sedang. 2. Terdapat sedikit kontrol struktur berupa pengangkatan lemah. 3. Dikontrol oleh lereng, kelerengan yang berkemang di daerah penelitian berkisar antara 0,6%-73%. Berdasarkan Van Zuidan (1985) maka tingkat kelerengan termasuk datar-terjal.
TEKSTUR PENGALIRAN	Jarak antar sungai orde 1 di Satuan batupasir Warukin berkisar antara 0,4-5,2 cm (>> 1,8 cm), sedangkan di Satuan batulempung Warukin berkisar 0,4-7 cm (>> 2,4 cm), skala peta 1:5000 (sudah dikonversi dari klasifikasi Way, 1920), maka tekstur pengaliran termasuk kategori halus-sedang(>> sedang)	Berdasarkan tekstur pengaliran yang berkembang di daerah penelitian dapat diinterpretasi: 1. Tingkat sebaran alirannya banyak dan rapat (>> sedang dan agak rapat). 2. Disusun oleh batuan berbutir halus-sedang. 3. Tingkat erosi relatif tinggi.
BENTUK LEMBAH	Lembah sungai di Satuan batulempung Warukin didominasi berbentuk U.	Interpretasi litologi di Satuan batulempung Warukin, yaitu: 1. Secara stratigrafi terdiri atas lembah yang disusun oleh batuan sedimen klastik berbutir sangat halus. 2. Morfologi datar-bergelombang dan curam pada tepi bukaan tambang.
	Lembah sungai di Satuan batupasir Warukin didominasi berbentuk U-V.	Interpretasi litologi di Satuan batupasir Warukin, yaitu: 1. Secara stratigrafi terdiri atas lembah yang disusun oleh batuan sedimen klastik berbutir halus. 2. Morfologi datar-bergelombang dan curam pada tepi bukaan tambang.
TEMPAT MENGALIR	Di Satuan batulempung Warukin didominasi mengalir di bedrock stream.	Interpretasi litologi di Satuan batulempung Warukin, yaitu: 1. Sungai mengalir di atas batuan dasar. 2. Tersusun oleh batuan yang memiliki resistensi lemah.
	Di Satuan batupasir Warukin didominasi mengalir di alluvial stream.	Interpretasi litologi di Satuan batulempung Warukin, yaitu: 1. Sungai mengalir di atas batuan dasar/endapan aluvial. 2. Tersusun oleh batuan yang memiliki resistensi lemah-tinggi.



Gambar 4.2. Pola pengaliran di daerah penelitian.

Berdasarkan penjelasan di atas, lokasi penelitian termasuk kedalam pola pengaliran subdrendritik (Gambar 4.2). Pada daerah penelitian dibagian tengah hingga utara peta tidak terdapat pola pengaliran akibat wilayah yang sudah mengalami gangguan aktivitas manusia. Garis warna merah putus-putus menjelaskan kontur yang tidak sesuai dengan kondisi lapangan, yang mana pada daerah garis merah putus-putus tersebut merupakan daerah penambangan pada daerah penelitian. Dikarenakan kontur yang tidak sesuai dengan kondisi di lapangan tidak dapat diinterpretasi atau penarikan pola aliran. Makna pola pengaliran subdendritik berdasarkan fakta lapangan dan interpretasi geologi sebagai berikut:

1. Berdasarkan fakta lapangan, pola pengaliran di lokasi penelitian termasuk kedalam pola pengaliran subdrendritik. Interpretasi geologi berdasarkan pola pengaliran subdendritik menurut Parvis, 1949 yaitu:

- 1). Resistensi batuan lemah, tersusun oleh batuan berbutir halus-sedang,
 - 2). Terdapat sedikit kontrol struktur berupa pengangkatan lemah,
 - 3). Dikontrol oleh lereng, kelerengan yang berkemang di daerah penelitian berkisar antara 0,6%-73%. Berdasarkan Van Zuidan (1985) maka tingkat kelerengan termasuk datar-terjal.
2. Berdasarkan fakta lapangan, tekstur pengaliran di lokasi penelitian disusun oleh material berukuran halus-sedang. Interpretasi geologi berdasarkan tekstur pengaliran yaitu:
- 1). Tingkat sebaran alirannya banyak dan rapat (>> sedang dan agak rapat),
 - 2). Disusun oleh batuan berbutir halus-sedang,
 - 3). Tingkat erosi relatif tinggi.
3. Berdasarkan faktor lapangan, bentuk lembah di lokasi penelitian dibagi menjadi dua, yaitu Satuan batulempung Warukin memiliki bentuk lembah didominasi berbentuk U dan Satuan batupasir Warukin memiliki bentuk lembah didominasi berbentuk U-V. Interpretasi geologi berdasarkan bentuk lembah yaitu:
- 1). Satuan batulempung Warukin, secara stratigrafi terdiri atas lembah yang disusun oleh batuan batuan sedimen klastik berbutir sangat halus; morfologi datar-bergelombang dan curam pada tepi bukaan tambang.
 - 2). Satuan batupasir Warukin, secara stratigrafi terdiri atas lembah yang disusun oleh batuan batuan sedimen klastik berbutir halus; morfologi datar-bergelombang dan curam pada tepi bukaan tambang.
4. Berdasarkan fakta lapangan, tempat mengalir di lokasi penelitian dibagi menjadi dua yaitu Satuan batulempung Warukin didominasi mengalir di *bedrock stream* dan Satuan batupasir Warukin didominasi mengalir di *aluvial stream*. Interpretasi geologi berdasarkan tempat mengalir yaitu:
- 1). Satuan batulempung Warukin, sungai mengalir di atas batuan dasar; tersusun oleh batuan yang memiliki resistensi lemah.
 - 2). Satuan batupasir Warukin, sungai mengalir di atas batuan dasar atau endapan aluvial; tersusun oleh batuan yang memiliki resistensi lemah-tinggi.

4.2. Geomorfologi Daerah Penelitian

Berdasarkan analisa peta topografi dan hasil pengamatan lapangan berdasarkan Klasifikasi Van Zuidam (1983) dapat diinterpretasikan secara umum bahwa geomorfologi daerah penelitian terdiri atas dataran berupa dataran rendah dan cekungan (hasil aktivitas manusia).

Metode yang digunakan dalam pembagian satuan geomorfologi pada daerah penelitian berdasarkan klasifikasi Van Zuidam (1983) dengan mengacu pada aspek-aspek geomorfologi, yaitu:

- a. Morfologi, yakni studi bentuk lahan yang mempelajari relief secara umum dan dibagi menjadi dua jenis, yakni morfografi dan morfometri.
 1. Morfografi, yakni susunan dari obyek alami yang ada dipermukaan bumi, bersifat pemerian atau deskriptif suatu bentuklahan, antara lain lembah, bukit, bukit, dataran, gunung, gawir, teras, beting, dan lain-lain.
 2. Morfometri, yakni aspek kuantitatif dari suatu aspek bentuk lahan, antara lain kelerengan (Tabel 4.2), bentuk lereng, panjang lereng, ketinggian, beda tinggi, bentuk lembah, dan pola pengaliran.

Tabel 4.2. Klasifikasi kemiringan lereng (Van Zuidam, 1983).

No	Keadaan Lereng	(%)
1.	Datar – Hampir datar	0-2
2.	Landai	3-7
3.	Miring	8-15
4.	Agak curam	16-30
5.	Curam	31-70
6.	Sangat curam	71-140
7	Curam sekali	>140

- b. Morfogenesis, yakni asal usul pembentukan dan perkembangan bentuklahan serta proses–proses geomorfologi yang terjadi, dalam hal ini adalah struktur geologi, litologi penyusun dan proses geomorfologi merupakan perhatian yang penuh, yang terdiri dari 3 aspek, yakni:

1. Morfostruktur pasif

Bentuklahan yang diklasifikasikan berdasarkan tipe batuan yang ada kaitannya dengan resistensi batuan dan pelapukan (denudasi).

2. Morfostruktur aktif

Berhubungan dengan tenaga endogen seperti pengangkatan, perlipatan dan pensesaran, termasuk intrusi, misal gunungapi, punggung antiklin, gawir sesar dll.

3. Morfodinamik

Berhubungan dengan tenaga eksogen seperti proses air, fluvial, es, gerakan masa, dan gunungapi, misal gump pasir, undak sungai, pematang pantai, lahan kritis.

- c. Morfoasosiasi, yakni kaitan antara bentuklahan satu dengan bentuklahan yang lain dalam susunan keruangan atau sebarannya di permukaan bumi.

Pada daerah penelitian memiliki ketinggian yang beragam dari 10 meter - 64 meter dengan lereng datar – sangat curam. Dataran berada pada ketinggian 60 - 64 meter, perbukitan memiliki tinggi antara 10 - 64 meter, dan cekungan berada pada ketinggian 45 - 50 meter. Berdasarkan hal tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa geomorfologi pada daerah penelitian merupakan fungsi dari litologi penyusun, resistensi, dan erosi. Satuan-satuan bentuklahan ini disajikan dalam peta geomorfologi (Lampiran A2) dan dapat juga dilihat pada Tabel 4.3. Berdasarkan data yang diperoleh, maka dapat disimpulkan bahwa daerah penelitian terdiri atas 3 (tiga) bentukkasal dan 8 (delapan) bentuklahan, meliputi:

1. Bentukkasal denudasional: satuan bentuklahan dataran rendah (D1).
2. Bentukkasal fluvial: satuan bentuklahan tubuh sungai (F1), dan dataran aluvial (F2).
3. Bentukkasal atropogenik: satuan bentuklahan area bukaan tambang/pit (A1), satuan bentuklahan genangan air bekas tambang/sump (A2), satuan bentuklahan stockpile/stockroom (A3), satuan bentuklahan hasil timbunan tambang/disposal (A4), dan satuan bentuklahan area penanaman/reklamasi (A5).

Tabel 4.3. Klasifikasi satuan Bentuklahan Daerah Penelitian berdasarkan Modifikasi Klasifikasi Van Zuidam (1983).

BENTUKASAL		Denudasional	Fluvial		Antropogenik					
BENTUKLAHAN		Dataran Rendah	Tubuh sungai	Dataran aluvial	Area bukaan tambang	Genangan air bekas tambang	Stockpile/stockroom	Lahan hasil timbunan ambang	Area penanaman	
SIMBOL		D1	F1	F2	A1	A2	A3	A4	A5	
ASPEK GEOMORFOLOGI	MORFOLOGI	Morfografi	Dataran	Sepanjang aliran sungai	Dataran	Cekungan	Cekungan	Cembungan	Cembungan	Cembungan
		KEMIRINGAN LERENG	4° - 8° (miring)	0° - 2° (datar)	2° - 4° (datar-sedikit miring)	16° - 35° (Curam)	4° - 8° (miring)	4° - 8° (miring)	8° - 16° (agak curam)	4° - 8° (miring)
		LUAS (%)	50% dari daerah penelitian	5% dari daerah penelitian	8% dari daerah penelitian	13% dari daerah penelitian	4% dari daerah penelitian	2% dari daerah penelitian	12% dari daerah penelitian	6% dari daerah penelitian
		BENTUK LERENG	-	-	-	Cekungan	Cekungan	Cembungan	Cembungan	Cembungan
		BENTUK LEMBAH	Berbentuk U-V	Berbentuk U	Berbentuk U-V	-	-	-	-	-
	RELIEF	Topogra fidatar	Topogra fidatar	Topogra fidatar	Topogra fi bergelombang berlereng curam beda tin gi 8 - 60 meter	Topogra fi bergelombang berlereng miring beda tin gi 5 - 15 meter	Topogra fimiring	Topogra fi bergelombang berlereng agak curam beda tin gi 8 - 76 meter	Topogra fi bergelombang berlereng miring beda tin gi 4 - 17 meter	
	MORFOGENESA	MORFOSTRUKTUR AKTIF	-	Struktur geologi berupa sesar	-	Aktivias penambangan	Aktivias penambangan	Aktivias penambangan	Aktivias penambangan	Aktivias penambangan
		MORFOSTRUKTUR PASIF	Material lepas, resistensi lemah	Material lepas hasil endapan sungai	Material lepas, resistensi lemah	Batuan sedimen klastik, esistensi lemah	Batuan sedimen klastik, esistensi lemah-sedang	Batuan sedimen klastik, esistensi lemah	Batuan sedimen klastik, esistensi lemah	Batuan sedimen klastik, esistensi lemah
		MORFODINAMIK	Dipengaruhi proses eksogen	Fluviatil	Fluviatil	Erosi dan pelapukan	Pengendapan	Erosi dan pelapukan	Erosi	Erosi
	MORFOASOSIASI	Area bukaan tambang, tubuh sungai	Dataran aluvial	Tubuh sungai, dataran rendah	Genangan air bekas tambang, lahan hasil timbunan tambang, stockpile	Genangan air bekas tambang	Area bukaan tambang	Area bukaan tambang	Area bukaan tambang	Area bukaan tambang

4.2.1. Bentukasal Denudasional

4.2.1.1. Dataran Rendah (D1)

Penamaan satuan bentuklahan dataran alluvial (Gambar 4.3.) berdasarkan:

1. Aspek Morfologi

a. Morfografi

Secara morfografi, bentuklahan ini memiliki bentuk dataran.

b. Morfometri

Secara morfometri, bentuklahan ini merupakan dataran yang memiliki kelerengan 4-8° dengan keadaan lereng datar-hampir datar, memiliki pola lereng, dengan relief topografi datar, tidak memiliki subdentritik, menempati 55% dari luasan daerah penelitian (Lampiran 1), dan memiliki bentuk lembah “U-V”.

2. Aspek Morfogenesis

a. Morfostruktur Aktif

Bentuklahan dataran rendah tidak memiliki morfostruktur aktif.

b. Morfostruktur Pasif

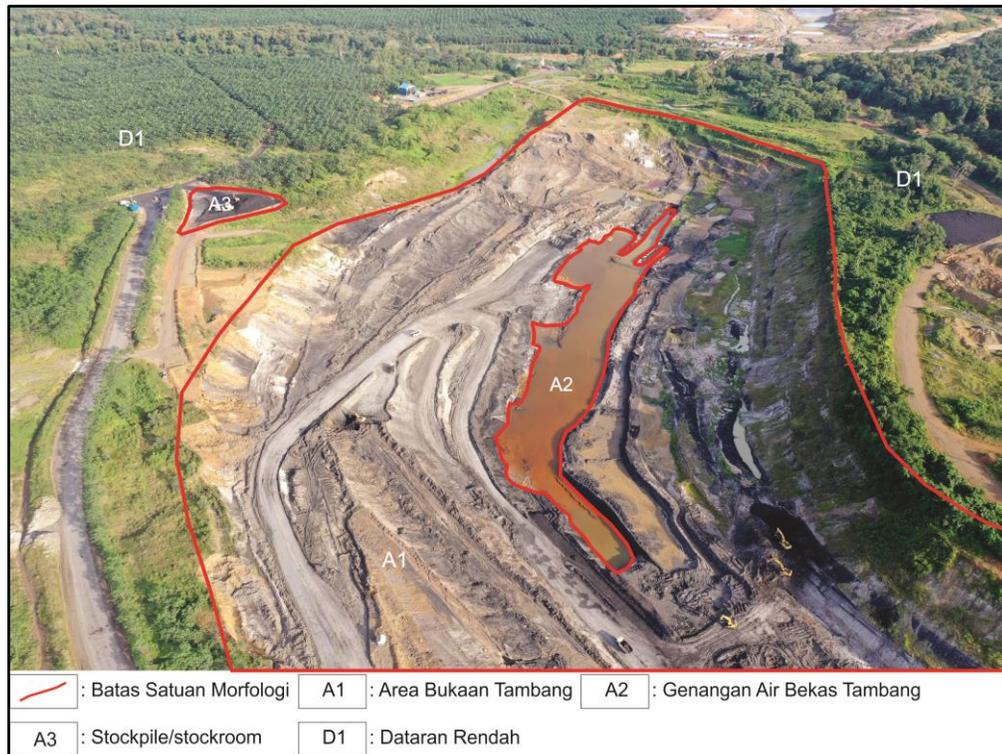
Secara morfostruktur pasif, memiliki material lepas, dan resistensi batuan lemah.

c. Morfodinamik

Secara morfodinamik, dipengaruhi proses eksogen.

3. Aspek Morfoasosiasi

Secara morfoasosiasi berada pada area bukaan tambang/pit dan tubuh sungai.



Gambar 4.3. Bentuklahan dataran rendah (D1) arah kamera tenggara.

4.2.2. Bentukasal Fluvial

4.2.2.1. Tubuh Sungai (F1)

Penamaan satuan bentuklahan tubuh sungai (Gambar 4.4.) berdasarkan:

1. Aspek Morfologi

a. Morfografi

Secara morfografi, bentuklahan ini memiliki bentuk *concavomorphic* (cekungan) menurut J. Howard (2017) atau lembah di sepanjang aliran sungai.

b. Morfometri

Secara morfometri, bentuklahan ini merupakan dataran yang memiliki kelerengan 0-2° dengan keadaan lereng datar-hampir datar, menempati 5% dari luasan daerah penelitian (Lampiran 1), dan memiliki bentuk lembah “U”.

2. Aspek Morfogenesis

a. Morfostruktur Aktif

Secara morfostruktur aktif, mempunyai sungai bermeander karena dikontrol oleh struktur geologi berupa sesar mendatar (sesar kusan).

b. Morfostruktur Pasif

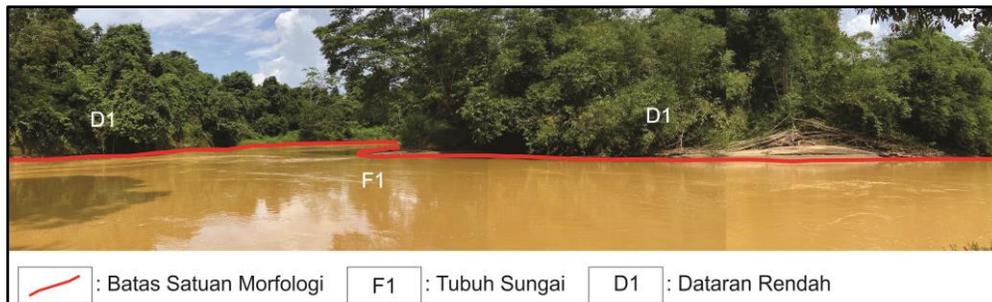
Secara morfostruktur pasif, memiliki lembah berbentuk “U” sehingga dapat ditafsirkan disusun oleh material lepas dan batuan sedimen klastik berbutir halus-sangat halus.

c. Morfodinamik

Secara morfodinamik, dipengaruhi oleh proses fluvial atau proses-proses geologi yang terjadi aliran sungai.

3. Aspek Morfoasosiasi

Bentuklahan ini memiliki morfoasosiasi berupa dataran rendah.



Gambar 4.4. Bentuklahan tubuh sungai (F1), arah kamera baratlaut.

4.2.2.2. Dataran Aluvial (F2)

Penamaan satuan bentuklahan tubuh sungai (Gambar 4.5.) berdasarkan:

1. Aspek Morfologi

a. Morfografi

Secara morfografi, bentuklahan ini memiliki bentuk dataran.

b. Morfometri

c. Secara morfometri, bentuklahan ini merupakan dataran yang memiliki kelerengan 4-8° dengan keadaan lereng datar-hampir datar, memiliki pola lereng, dengan relief topografi datar, tidak memiliki subdentritik, menempati 8% dari luasan daerah penelitian (Lampiran 1), dan memiliki bentuk lembah “U-V”.

2. Aspek Morfogenesis

a. Morfostruktur Aktif

Secara morfostruktur aktif, mempunyai sungai bermeander karena dikontrol oleh struktur geologi berupa sesar mendatar (sesar kusan).

b. Morfostruktur Pasif

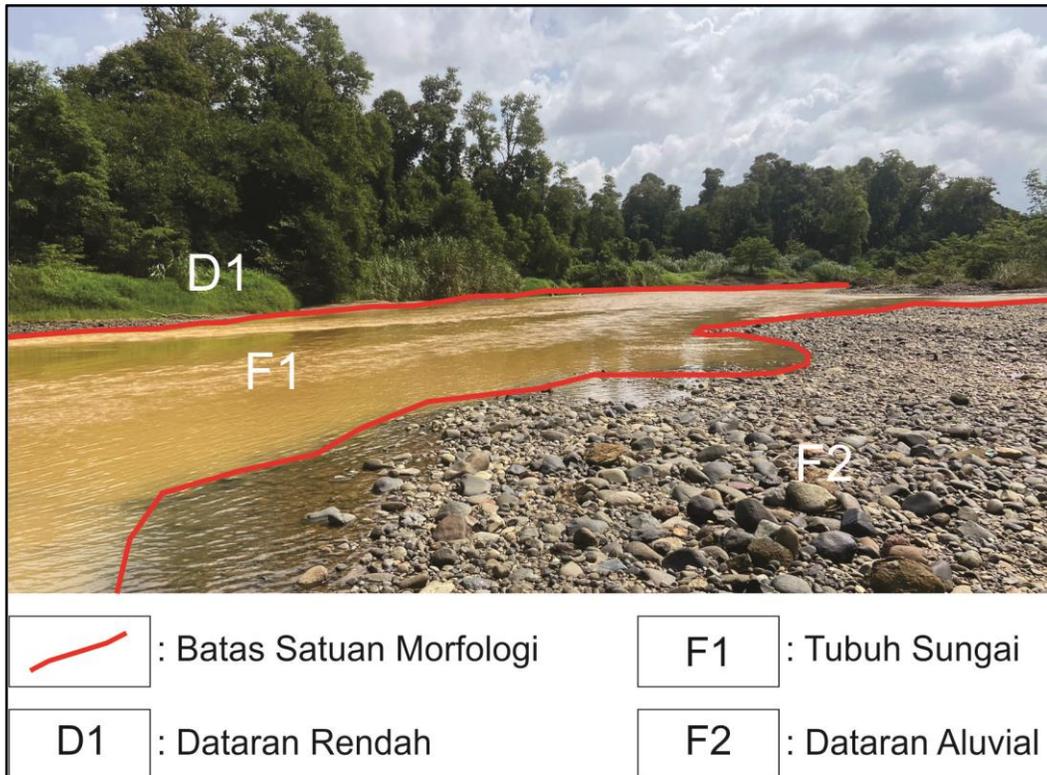
Secara morfostruktur pasif, memiliki lembah berbentuk “U” sehingga dapat ditafsirkan disusun oleh material lepas dan batuan sedimen klastik berbutir halus-sangat halus.

c. Morfodinamik

Secara morfodinamik, dipengaruhi oleh proses fluvial atau proses-proses geologi yang terjadi aliran sungai.

3. Aspek Morfoasosiasi

Bentuklahan ini memiliki morfoasosiasi berupa dataran rendah, dan tubuh sungai.



Gambar 4.5. Bentuklahan dataran aluvial (F2), arah kamera timurlaut.

4.2.3. Bentuk asal Antropogenik

4.2.3.1. Area Bukaan Tambang/Pit (A1)

Penamaan satuan bentuklahan area bukaan tambang/pit (Gambar 4.6.) berdasarkan:

1. Aspek Morfologi

d. Morfografi

Secara morfografi, bentuklahan ini memiliki bentuk *concavomorphic* (cekungan) menurut J. Howard (2017) atau lembah.

e. Morfometri

Secara morfometri, bentuklahan ini merupakan perbukitan yang memiliki kelerengan 16-35° dengan keadaan lereng curam, memiliki pola lereng memanjang, dengan relief berkisar antara 8 – 60 meter, tidak memiliki pola pengaliran, menempati 15% dari luasan daerah penelitian (Lampiran 1).

2. Aspek Morfogenesis

d. Morfostruktur Aktif

Secara morfostruktur aktif, memiliki kedudukan lapisan batuan yang relatif tenggara dan kemiringan batuan baratdaya.

e. Morfostruktur Pasif

Secara morfostruktur pasif, memiliki material batuan sedimen klastika berbutir halus sampai krakal.

f. Morfodinamik

Secara morfodinamik, karena proses pelapukan dan erosi oleh air dan angin.

3. Aspek Morfoasosiasi

Secara morfoasosiasi berada dataran rendah, sump, stockpile/stockroom, dan disposal.



Gambar 4.6. Bentuklahan area bukaan tambang (A1) arah kamera tenggara.

4.2.3.2. Genangan Air Bekas Tambang/Sump (A2)

Penamaan satuan bentuklahan genangan air bekas tambang/sump (Gambar 4.7.) berdasarkan:

1. Aspek Morfologi

a. Morfografi

Secara morfografi, bentuklahan ini memiliki bentuk *concavomorphic* (cekungan) menurut J. Howard (2017) atau lembah.

b. Morfometri

Secara morfometri, bentuklahan ini merupakan cekungan yang memiliki kelerengan 4-8° dengan keadaan lereng miring, memiliki pola lereng melingkar, dengan relief berkisar antara 5 – 15 meter, tidak memiliki pola pengaliran, menempati 4% dari luasan daerah penelitian (Lampiran 1).

2. Aspek Morfogenesis

a. Morfostruktur Aktif

Secara morfostruktur aktif, memiliki kedudukan lapisan batuan yang relatif tenggara dan kemiringan batuan baratdaya.

b. Morfostruktur Pasif

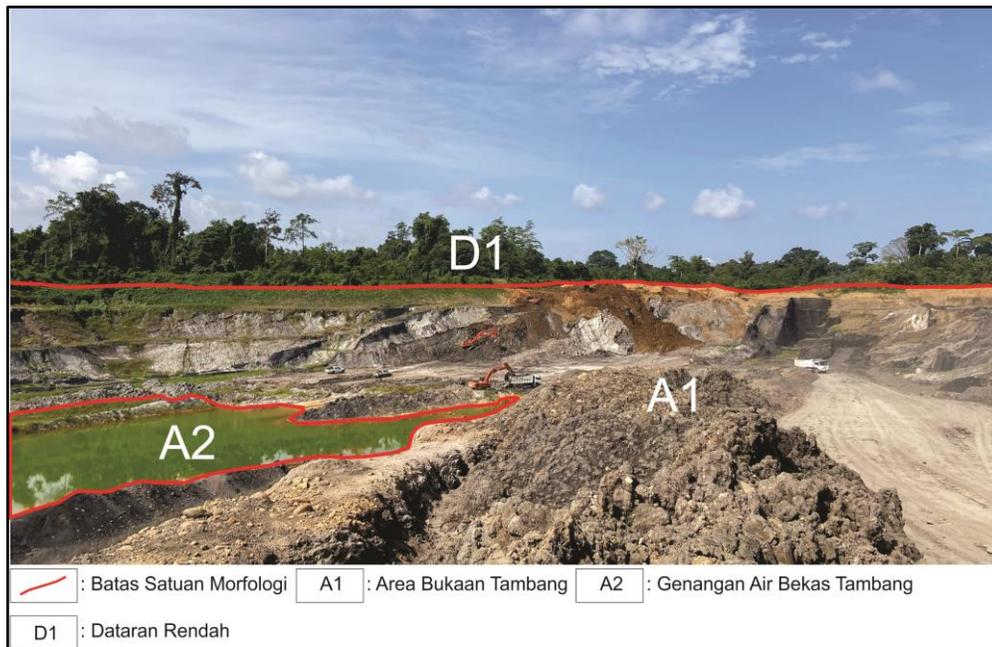
Secara morfostruktur pasif, memiliki material batuan sedimen klastika berbutir halus sampai krakal.

c. Morfodinamik

Secara morfodinamik, karena proses pelapukan dan erosi oleh air dan angin.

3. Aspek Morfoasosiasi

Secara morfoasosiasi berada area bukaan tambang/pit, stockpile/stockroom, dan disposal.



Gambar 4.7. Bentuklahan genangan bekas air tambang (A2) arah kamera baratdaya.

4.2.3.3. Stockpile/stockroom (A3)

Penamaan satuan bentuklahan stockpile/stockroom (Gambar 4.8.) berdasarkan:

1. Aspek Morfologi

a. Morfografi

Secara morfografi, bentuklahan ini memiliki bentuk *convexomorphic* (cembung) menurut J.Howard (2017) atau timbunan.

b. Morfometri

Secara morfometri, bentuklahan ini merupakan cekungan yang memiliki kelerengan 4-8° dengan keadaan lereng miring, memiliki pola lereng melingkar, dengan relief topografi miring, tidak memiliki pola pengaliran, menempati 2% dari luasan daerah penelitian (Lampiran 1).

2. Aspek Morfogenesis

a. Morfostruktur Aktif

Secara morfostruktur aktif, memiliki kedudukan lapisan batuan yang relatif tenggara dan kemiringan batuan baratdaya.

b. Morfostruktur Pasif

Secara morfostruktur pasif, memiliki material batuan sedimen klastika berbutir sangat halus.

c. Morfodinamik

Secara morfodinamik, karena proses pelapukan dan erosi oleh air dan angin.

3. Aspek Morfoasosiasi

Secara morfoasosiasi berada diantara area bukaan tambang/pit.



Gambar 4.8. Bentuklahan stockpile/stockroom (A3) arah kamera tenggara.

4.2.3.4. Lahan Hasil Timbunan Tambang/Disposal (A4)

Penamaan satuan bentuklahan hasil timbunan tambang/disposal (Gambar 4.9.) berdasarkan:

1. Aspek Morfologi

a. Morfografi

Secara morfografi, bentuklahan ini memiliki bentuk *convexomorphic* (cembung) menurut J.Howard (2017) atau timbunan.

b. Morfometri

Secara morfometri, bentuklahan ini merupakan cekungan yang memiliki kelerengan 8-16° dengan keadaan lereng agak curam, memiliki pola lereng melingkar, dengan relief berkisar antara 8 – 76 meter, tidak memiliki pola pengaliran, menempati 13% dari luasan daerah penelitian (Lampiran 1).

2. Aspek Morfogenesis

a. Morfostruktur Aktif

Secara morfostruktur aktif, memiliki kedudukan lapisan batuan yang relatif tenggara dan kemiringan batuan baratdaya.

b. Morfostruktur Pasif

Secara morfostruktur pasif, memiliki material batuan sedimen klastika berbutir sangat halus..

c. Morfodinamik

Secara morfodinamik, karena proses pelapukan dan erosi oleh air dan angin.

3. Aspek Morfoasosiasi

Secara morfoasosiasi berada diantara area bukaan tambang/pit dan dataran rendah.



Gambar 4.9. Bentuklahan lahan hasil timbunan tambang/disposal (A4) arah kamera baratlaut.

4.2.3.5. Area Penanaman/Reklamasi (A5)

Penamaan satuan bentuklahan hasil timbunan tambang/disposal (Gambar 4.10.) berdasarkan:

4. Aspek Morfologi

c. Morfografi

Secara morfografi, bentuklahan ini memiliki bentuk *convexomorphic* (cembung) menurut J.Howard (2017) atau timbunan.

d. Morfometri

Secara morfometri, bentuklahan ini merupakan cekungan yang memiliki kelerengan 4-8° dengan keadaan lereng miring, memiliki pola lereng melingkar, dengan relief berkisar antara 4 – 17 meter, tidak memiliki pola pengaliran, menempati 6% dari luasan daerah penelitian (Lampiran 1).

5. Aspek Morfogenesis

d. Morfostruktur Aktif

Secara morfostruktur aktif, memiliki kedudukan lapisan batuan yang relatif tenggara dan kemiringan batuan baratdaya.

e. Morfostruktur Pasif

Secara morfostruktur pasif, memiliki material batuan lepas/tak terkonsolidasi.

f. Morfodinamik

Secara morfodinamik, karena proses pelapukan dan erosi oleh air dan angin.

6. Aspek Morfoasosiasi

Secara morfoasosiasi berada diantara area bukaan tambang/pit dan area timbunan hasil tambang/disposal.



Gambar 4.10. Bentuklahan area penanaman/reklamasi (A5) arah kamera timur.

4.3. Stratigrafi Daerah Penelitian

Berdasarkan analisis bentuklahan, maka dapat diinterpretasi secara terbatas kondisi stratigrafi pada daerah telitian, yaitu:

1. Litologi

- a. Batuan sedimen klastika berbutir halus sampai krakal yang terdapat di bagian tengah utara dan selatan daerah penelitian, dapat diinterpretasi berdasarkan morfologi berupa perbukitan dan cekungan karena proses penambangan.
- b. Material timbunan yang terdapat di bagian utara daerah penelitian, dapat diinterpretasi berdasarkan morfologi berupa berbentuk bukit-dataran (disposal dan reklamasi) karena proses penambangan.
- c. Material lepas yang terdapat di tengah (sungai) daerah penelitian, dapat diinterpretasi berdasarkan morfologi berupa lembah (tubuh sungai) tempat mengalirnya air/terjadi proses fluvial.
- d. Material tak terkonsolidasi yang terdapat di timur dan barat daerah penelitian, dapat diinterpretasi berdasarkan morfologi berupa dataran karena proses aluvial.

Berdasarkan pengamatan lapangan dan *measuring section* dapat diketahui dominasi penyebaran batuan dan kesamaan sifat fisik batuan maka dapat dikelompokkan menjadi 4 satuan batuan, selanjutnya berdasarkan penamaan satuan batuan tak resmi (Sandi Stratigrafi Indonesia, 1996) dan mengacu pada geologi regional menurut Rustandi, dkk (1995), urutan stratigrafi pada daerah penelitian dari tua ke muda adalah sebagai berikut (Tabel 4.4.):

1. Satuan batulempung Warukin
2. Satuan batupasir Warukin
3. Endapan aluvial
4. *Waste* disposal

Tabel 4.4. Kolom stratigrafi daerah penelitian.

MASA	ZAMAN	KALA	Lingkungan Pengendapan (Horne, 1978)	Tebal (m)	Formasi	NAMA SATUAN	SIMBOL SATUAN	PEMERIAN
KENOZOIKUM	KUATER	HOLOSEN		26	Warukin	Waste Disposal		Material timbunan lambang (waste disposal) terdapat pada bagian utara lokasi penelitian. Memiliki material berupa batupasir, batulempung, batulanau, dan batuserpih. Diendapkan secara tidak selaras diatas Satuan batulempung Warukin dan Satuan batupasir Warukin. Berumur Holosen.
						Satuan endapan aluvial		Satuan endapan aluvial terdapat pada bagian tepi dari Sungai Kusan. memiliki material berupa kerikil (kuarsit, marmor, andesit), pasir, lanau, dan lempung hitam yang semi terkonsolidasi. merupakan endapan sungai. Diendapkan secara tidak selaras diatas Satuan batulempung Warukin dan Satuan batupasir Warukin. Berumur holosen.
			254,15	Satuan batupasir Warukin		Satuan batupasir Warukin tersebar pada bagian tengah sampai selatan. Merupakan satuan batuan yang menindih secara selaras Satuan batulempung Warukin. Terdiri atas batupasir, batulempung, perselingan batupasir batulanau, perselingan batulanau batulempung, batulanau, batuserpih dan batubara. Berumur Miosen Tengah-Akhir, memiliki struktur sedimen <i>flaser lamination</i> , <i>lenticular lamination</i> , <i>wavy lamination</i> , <i>parallel lamination</i> , masif, menyerpih., fosil fragmen tumbuhan. Memiliki lingkungan pengendapan <i>transitional lower delta plain</i> dengan sub lingkungan <i>levee-interdistributary bay</i> .		
TERSIER	NEOGEN	MIOSEN TENGAH-AKHIR	<i>Transitional Lower Delta Plain</i>	201,85		Satuan batulempung Warukin		Satuan batulempung Warukin tersebar pada bagian tengah dan merupakan satuan batuan tertua pada lokasi penelitian. Terdiri atas batulempung, batulanau, batupasir, batupasir sisipan batuserpih, batuserpih, dan batubara. Berumur Miosen Tengah-Akhir, memiliki struktur sedimen <i>flaser lamination</i> , <i>lenticular lamination</i> , <i>wavy lamination</i> , <i>parallel lamination</i> , masif, menyerpih. Memiliki lingkungan pengendapan <i>transitional lower delta plain</i> dengan sub lingkungan <i>interdistributary bay-interdistributary bay</i> .

4.3.1. Satuan batulempung Warukin (Miosen Tengah-Akhir)

Satuan ini terdiri dari batuan sedimen klastik berbutir halus, menurut geologi regional oleh Rustandi, dkk. (1995) pada peta geologi lembar Kotabaru, Kalimantan skala 1:250.000 satuan ini memiliki umur geologi Miosen Tengah-Akhir. Penyebaran satuan ini pada daerah penelitian terdapat pada bagian utara dengan kenampakan morfologi berupa cekungan atau *concavomorphic*, dataran aluvial dan tingkat resistensinya lemah.

4.3.1.1. Dasar Penamaan

Penamaan satuan batuan ini didasarkan pada ciri litologi yakni dominasi oleh batulempung. Penamaan batulempung didapatkan dari hasil pengamatan lapangan, dengan tekstur batuan yakni ukuran butir $< 0,004$ mm yang merupakan ukuran butir berupa lempung (Wenworth, 1922). Penamaan Warukin mengacu pada peta geologi regional lembar Kotabaru skala 1:250.000 oleh Rustandi, dkk. (1995) bahwa daerah penelitian termasuk ke dalam Formasi Warukin, serta dari kesamaan ciri litologi sesuai dengan karakteristik dari Formasi Warukin.

4.3.1.2. Ciri Litologi

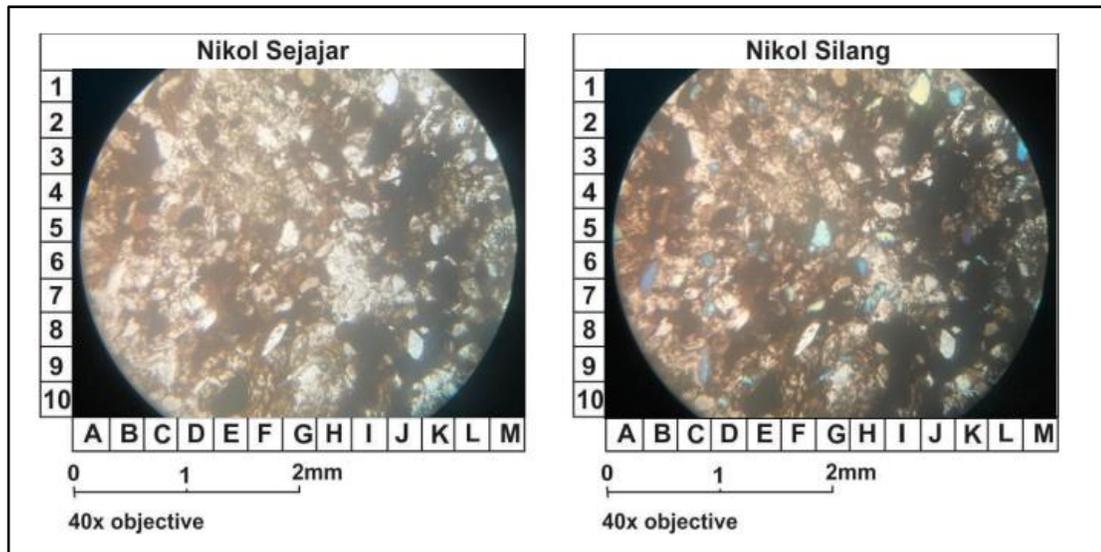
Penamaan satuan batuan mengacu pada geologi regional menurut Rustandi, dkk., (1995). Pengamatan singkapan satuan ini didominasi oleh batulempung, batulanau, batupasir, batupasir sisipan batuserpih, batubara seam 2 dan 3, dan sedikit serpih.

Di lokasi pengamatan, batulempung dicirikan memiliki kekerasan yang lunak, berwarna abu-abu, coklat - hitam dengan semen berupa silika atau karbonan berstruktur masif, *lenticular lamination*. Batulanau dicirikan memiliki kekerasan yang keras, berwarna coklat - abu-abu kecoklatan, dengan semen berupa silika atau karbonan, berstruktur masif. Batupasir dicirikan dengan kekerasan keras-lunak, berwarna coklat – abu-abu, dengan semen berupa silika atau karbonan, berstruktur *flaser lamination*, *wavy lamination* dan *parallel lamination*. Batubara dicirikan memiliki kekerasan yang keras, berwarna hitam, memiliki kilap kusam sedikit cerah, memiliki gores coklat kehitaman, dapat pecah dengan dua kali pukulan, pecahan berbentuk *blocky*, jarak antar cleat bervariasi antara 2 mm – 6 cm. Serpih dicirikan

memiliki kekerasan yang lunak, berwarna hitam, dengan struktur menyerpih, terdapat sisipan berupa karbon, dan semen berupa silika.

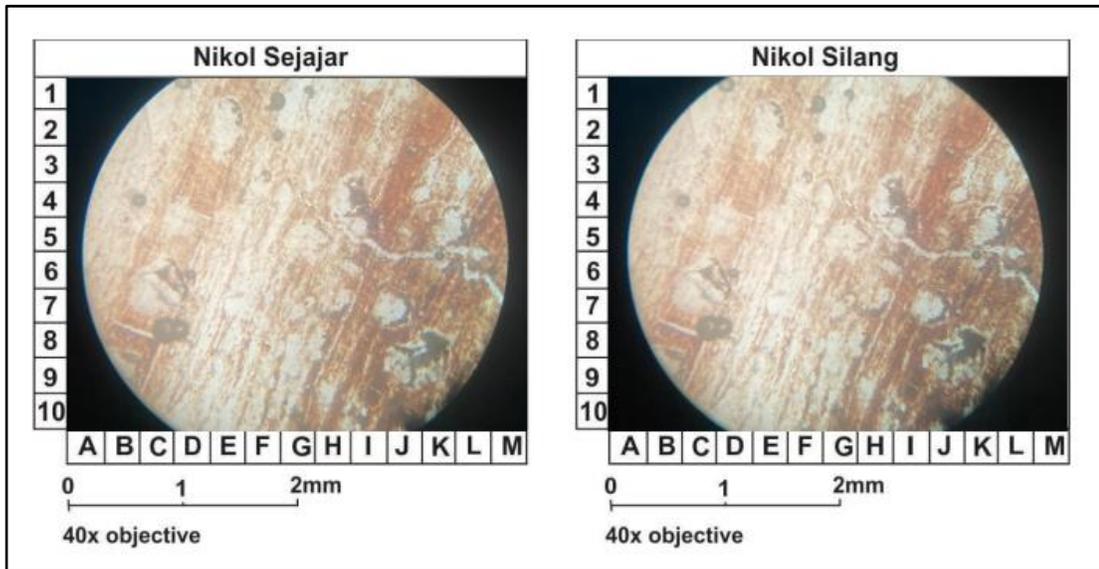
Berdasarkan pengamatan petrografis yang ditunjukkan oleh sayatan LP 80 (Gambar 4.11), LP 87 (Gambar 4.12), LP 106 (Gambar 4.13), dan LP 92 (Gambar 4.14), dalam sayatan tipis memperlihatkan:

Pengamatan petrografis dari sayatan LP 80 (Gambar 4.11) ini dalam sayatan memperlihatkan: Sayatan tipis batuan sedimen klastik; warna putih; bertekstur masif; ukuran butir $< 0,004 - 0,6$ mm; didukung oleh butiran, bentuk butir euhedral - subhedral; terpilah buruk; kontak butiran; disusun oleh mineral: kuarsa 45 %, mineral lempung 40 %, kuarsa, dan mineral opaq 15 %, dari hasil analisis petrografi nama batuan yang diperoleh adalah *Arkosic wacke* (Menurut Klasifikasi Pettijohn, 1975).



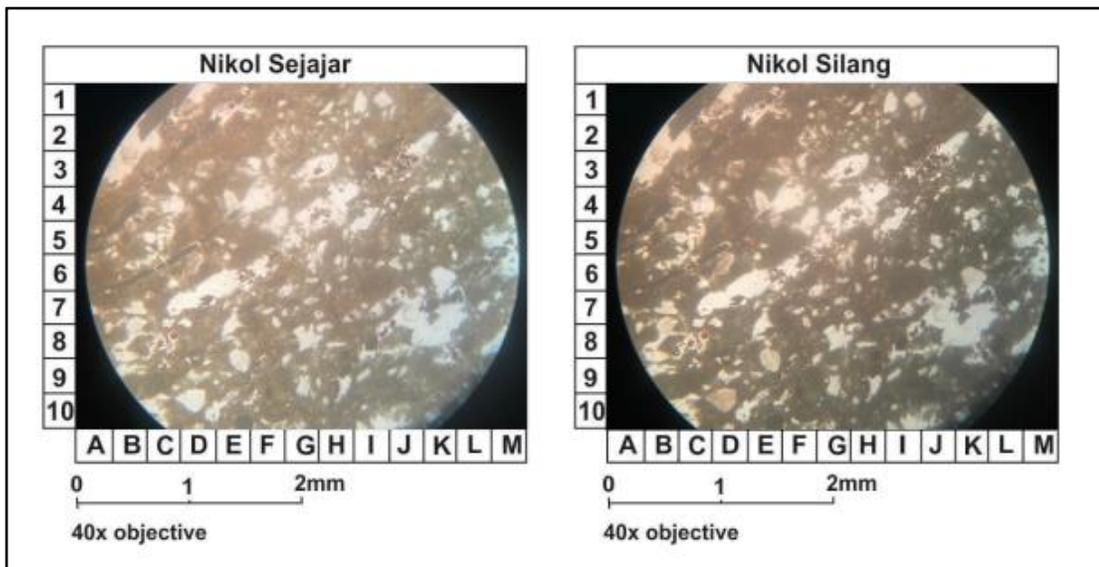
Gambar 4.11. Sayatan petrografi LP 80 (*Arkosic wacke*).

Pengamatan petrografis dari sayatan LP 87 (Gambar 4.12) ini dalam sayatan memperlihatkan: Sayatan tipis batuan sedimen klastik; warna coklat; berstruktur laminasi serpih; ukuran butir $< 0,004 - 0,125$ mm; didukung oleh butiran, bentuk butir euhedral - subhedral; terpilah buruk; kontak butiran; disusun oleh mineral: *clay* 70 %, kuarsa 20 %, litik 10 %, dari hasil analisis petrografi nama batuan yang diperoleh adalah *Clayey shale* (Modifikasi klasifikasi lithofasies oleh Wang, 2016).



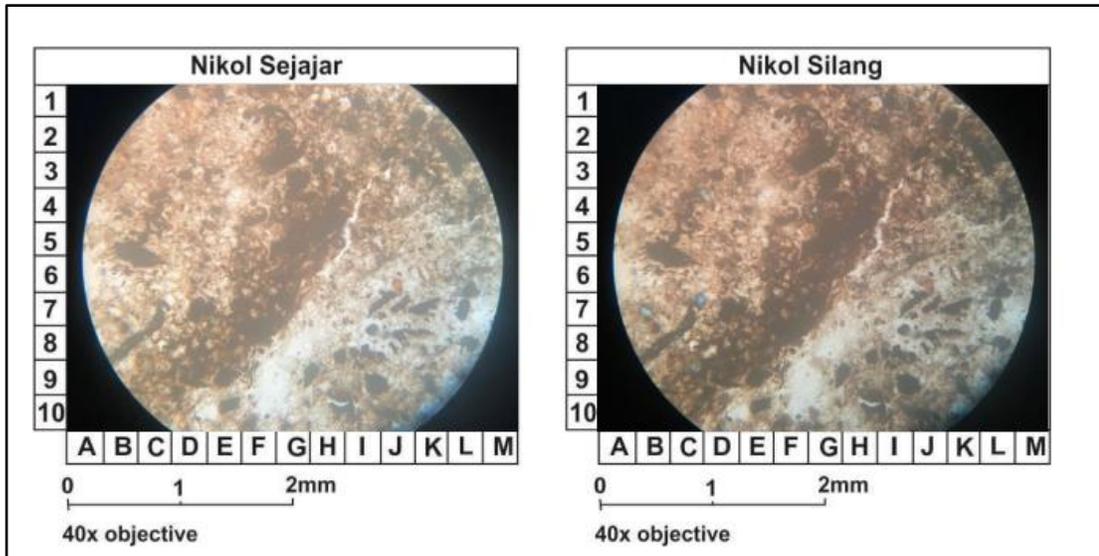
Gambar 4.12. Sayatan petrografi LP 87 (*Clayey shale*).

Pengamatan petrografis dari sayatan LP 106 (Gambar 4.13) ini dalam sayatan memperlihatkan: Sayatan tipis batuan sedimen klastik; warna abu-abu kecoklatan; bertekstur masif; ukuran butir $< 0,004 - 0,5 \text{ mm}$; didukung oleh butiran, bentuk butir euhedral - subhedral; terpilah buruk; kontak butiran; disusun oleh mineral: *silt* 60 %, kuarsa 25 %, litik 15 %, dari hasil analisis petrografi nama batuan yang diperoleh adalah *Sandy siltstone* (Klasifikasi oleh Picard, 1971).



Gambar 4.13. Sayatan petrografi LP 106 (*Sandy siltstone*).

Pengamatan petrografis dari sayatan LP 92 (Gambar 4.14) ini dalam sayatan memperlihatkan: Sayatan tipis batuan sedimen klastik; warna coklat; bertekstur masif; ukuran butir < 0,004 - 0,6 mm; didukung oleh butiran, bentuk butir euhedral - subhedral; terpilah buruk; kontak butiran; disusun oleh mineral: *clay* 60 %, kuarsa 10 %, litik 30 %, dari hasil analisis petrografi nama batuan yang diperoleh adalah *Sandy claystone* (Klasifikasi oleh Picard, 1971).



Gambar 4.14. Sayatan petrografi LP 92 (*Sandy claystone*).

Litologi penyusun Satuan batulempung Warukin terdiri atas batulempung, batulanau, batupasir, batupasir sisipan batuserpih, batubara seam (1B upper, 1B lower, 2, dan 3), dan sedikit serpih.

1. Batulempung (*Claystone*)

Secara megaskopis batulempung memiliki karakteristik warna abu-abu, struktur sedimen berupa masif, memiliki ukuran butir <1/256 mm, kadang terdapat karbon, semen silika.

2. Batulempung (*Claystone*)

Secara megaskopis batulempung memiliki karakteristik warna hitam, struktur sedimen berupa lenticular *lamination*, memiliki ukuran butir <1/256 mm, semen silika.

3. Batulanau (*Siltstone*)

Secara megaskopis batulanau memiliki karakteristik warna abu-abu, struktur sedimen berupa masif, memiliki ukuran $1/256$ mm - $1/16$ mm, terdapat kandungan mineral siderit, pecahan cangkang, dan fragmen tumbuhan, serta memiliki semen silika.

4. Batupasir (*Sandstone*)

Secara megaskopis batupasir memiliki karakteristik warna abu-abu, struktur sedimen berupa masif, memiliki ukuran butir pasir halus $1/4$ mm - $1/8$ mm, semen silika.

5. Batupasir (*Sandstone*)

Secara megaskopis batupasir memiliki karakteristik warna abu-abu, struktur sedimen berupa *flaser lamination*, memiliki ukuran butir pasir halus $1/4$ mm - $1/8$ mm, semen silika.

6. Batupasir (*Sandstone*)

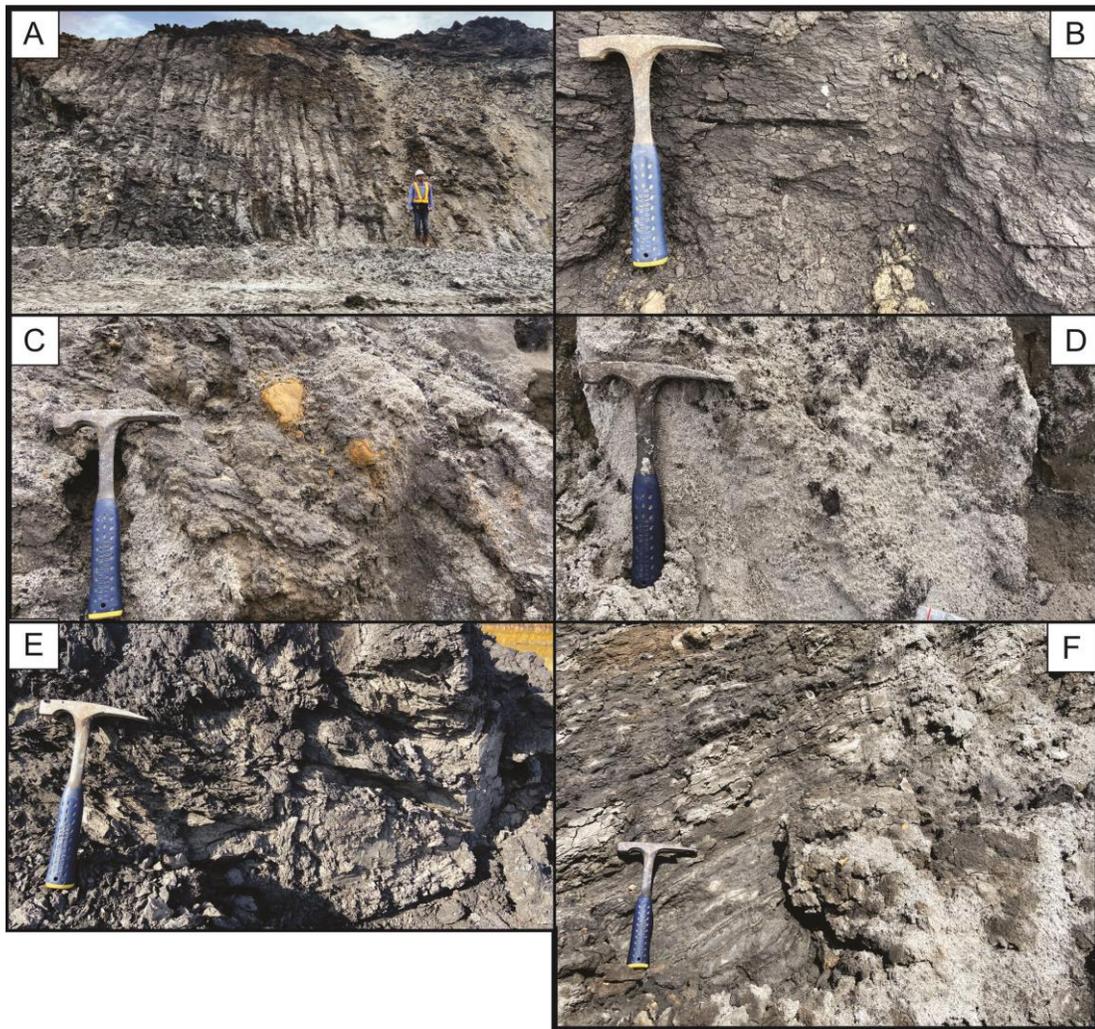
Secara megaskopis batupasir memiliki karakteristik warna abu-abu, struktur sedimen berupa *wavy lamination*, memiliki ukuran butir pasir halus $1/4$ mm - $1/8$ mm, semen silika.

7. Batubara (*Coal*)

Secara megaskopis batubara berwarna hitam, memiliki kilap kusam, memiliki gores hitam kecoklatan, dapat pecah dengan dua kali pukulan, pecahan berbentuk blocky, jarak antar cleat 2 mm – 6 mm.

8. Batuserpih (*Shalestone*)

Secara megaskopis serpih memiliki karakteristik warna hitam, struktur sedimen berupa menyerpih, memiliki ukuran butir $<1/256$ mm, terdapat sisipan karbon, semen silika.



Gambar 4.15. (A) Singkapan Satuan batulempung Warukin pada LP 106 Azimut foto N 043° E. (B) Batulempung berstruktur masif. (C) batupasir kuarsa dengan kongresi siderite. (D) Batupasir kuarsa berstruktur massif dengan nodule karbon. (E). Batuserpih berstruktur menyerpih pada LP 105. (F). Batupasir berstruktur *parallel lamination*.



Gambar 4.16. (A) Singkapan Satuan batulempung Warukin pada LP 87 Azimut foto N 255° E. (B) Batulanau berstruktur masif. (C) Batuserpilh berstruktur menyerpilh. (D) Batubara *seam* 3.

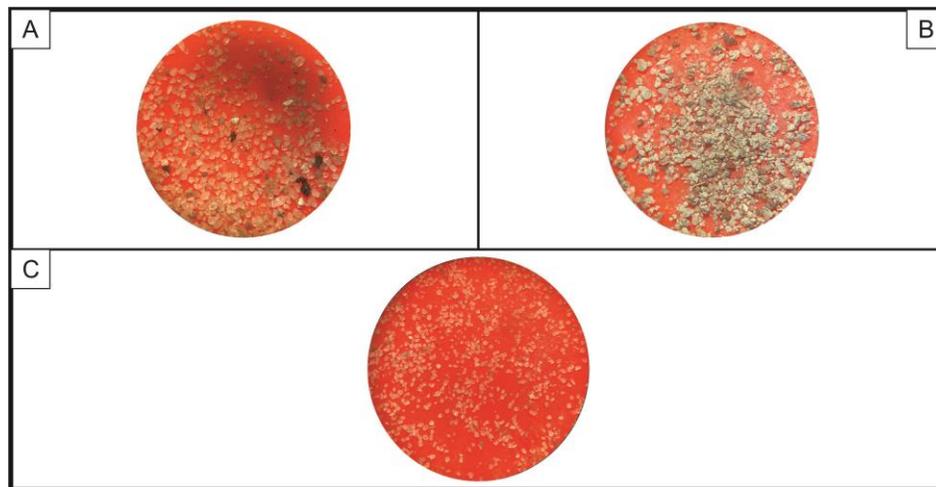
4.3.1.3. Penyebaran dan Ketebalan

Satuan batulempung Warukin menempati 35% dari luas total daerah penelitian (Lampiran A4) dan terletak dibagian tengah dan timur daerah penelitian. Singkapan terletak pada satuan bentuklahan area bukaan tambang/pit dan sump. Dibedakan dengan satuan batuan lainnya karena satuan ini didominasi oleh batulempung yang memiliki semen silika. Terdapat sisipan batubara yaitu seam 2 dan 3 yang terdapat pada Satuan batulempung Warukin. Ketebalan satuan ini berdasarkan penampang geologi sayatan A-A' adalah 201,85 m.

4.3.1.4. Umur dan Lingkungan pengendapan

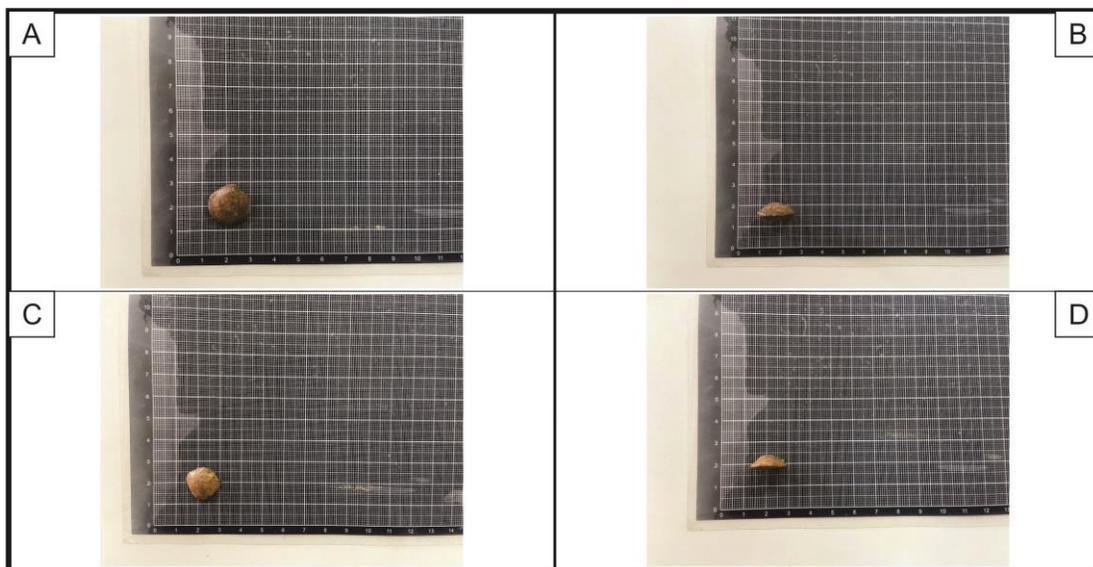
Penentuan umur Satuan batulempung Warukin mengacu berdasarkan :

1. Untuk menentukan umur Satuan batulempung Warukin, peneliti melakukan analisa mikrofosil pada lokasi pengamatan 117, 87, dan 94 yang kemudian didapatkan hasil bahwa dalam satuan ini tidak dijumpai adanya fosil foram planktonic (*barren*) sehingga tidak dapat menentukan umur.



Gambar 4.17. Analisa mikrofosil LP 117 litologi batupasir kuarsa mesh 80 (A), LP 87 litologi batulanau mesh 80 (B), dan LP 94 litologi batupasir kuarsa mesh 100 (C).

2. Penentuan umur Satuan batulempung Warukin, peneliti melakukan analisa makrofosil moluska yang didapatkan pada lokasi pengamatan 108 yang kemudian didapatkan hasil bahwa dalam satuan ini berumur *Lower Miocene* (*Cyclina cyclinorbis*) dan *Miocene-Resent* (*Rangia cyrenoides*) menurut Raymond C. Moore, 1969.



Gambar 4.18. Analisa makrofosil *Cyclina cyclinorbis* (tampak depan) (A), (tampak samping) (B); *Rangia cyrenoides* (tampak depan) (C), (tampak samping) (D).

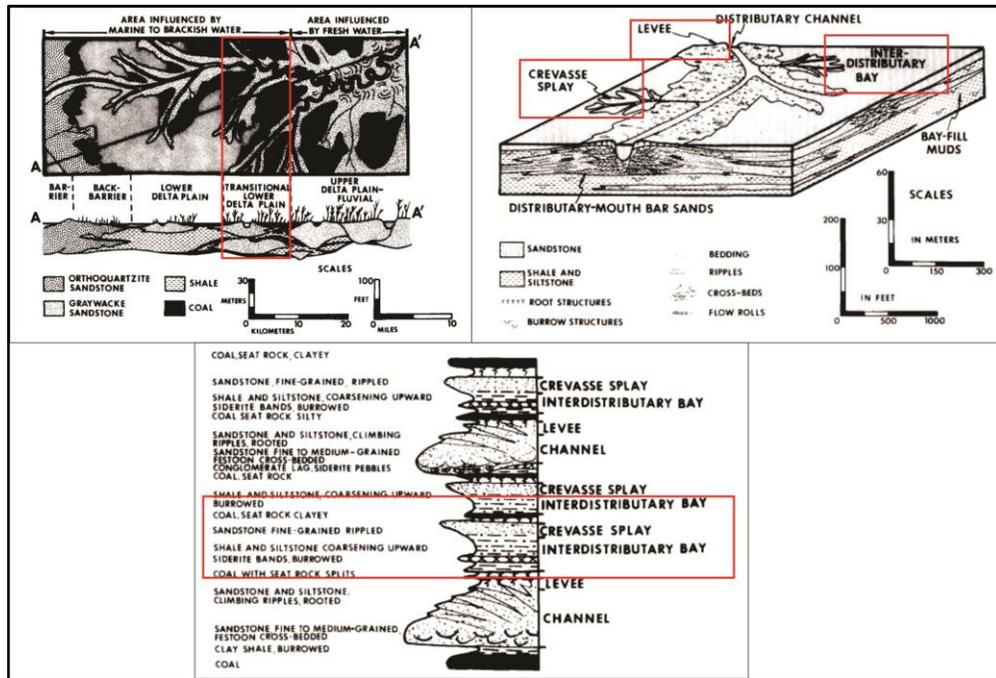
3. Berdasarkan posisi stratigrafi Satuan batulempung Warukin pada penampang A-A', dan B-B' menunjukkan bahwa satuan ini merupakan satuan batuan tertua pada daerah penelitian.

4. Terdapat fosil burrow pada satuan ini, terdapat pada Lokasi Pengamatan 106. Fosil burrow terdapat pada litologi batulanau, dan fosil ini mencerminkan fasies pengendapan *transitional lower delta plain* sub-fasies *interdistributary bay* menurut Horne, 1978 (Gambar 4.19).



Gambar 4.19. Fosil burrow litologi batulanau pada LP 106.

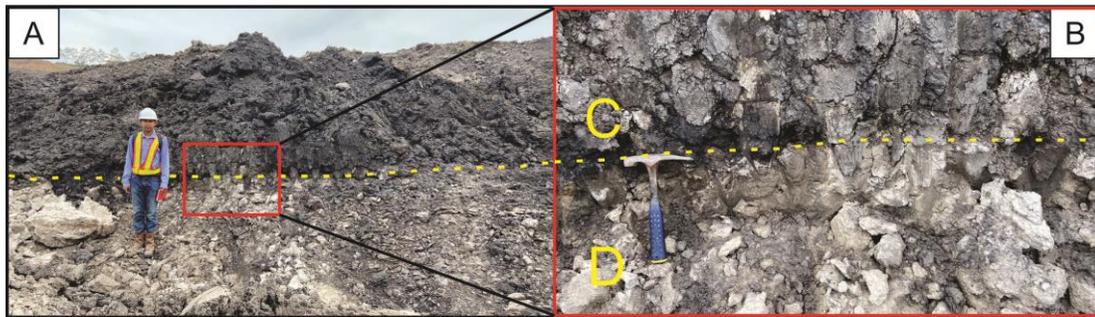
5. Penentuan lingkungan pengendapan Satuan batulempung Warukin menggunakan klasifikasi Horne (1978) berdasarkan analisa Jalur MS-2, MS-3, MS-5, dan MS-6 asosiasi sub-fasies pada satuan ini terdiri dari sub-fasies *interdistributary bay*, *crevasse splay*, dan *levee*, satuan ini diendapkan pada fasies *transitional lower delta plain* (Gambar 4.20.).



Gambar 4.20. Model lingkungan pengendapan *transitional lower delta plain* (Horne, 1978).

4.3.1.5. Hubungan Stratigrafi

Hubungan stratigrafi antara Satuan batulempung Warukin dengan satuan di atasnya (Satuan batupasir Warukin) adalah selaras. Hal ini terlihat pada kontak tegas antara batulempung Satuan batulempung Warukin dengan batubara pada Satuan batupasir Warukin.



Gambar 21. Hubungan satuan batulempung Warukin (atas) dengan satuan batupasir Warukin (bawah) pada LP 100 yakni selaras, azimuth foto N 018° E (A). Batulempung berstruktur massif (C). Batupasir berstruktur *flaser lamination* (D).

4.3.2. Satuan batupasir Warukin (Miosen Tengah-Akhir)

Satuan ini terdiri dari batuan sedimen klastik berbutir halus-sedang, menurut geologi regional oleh Rustandi, dkk. (1995) pada peta geologi lembar Kotabaru, Kalimantan skala 1:250.000 satuan ini memiliki umur geologi Miosen Tengah-Akhir. Penyebaran satuan ini pada daerah penelitian terdapat pada bagian tengah hingga selatan dengan kenampakan morfologi berupa cekungan atau *concavomorphic*, dataran aluvial dan tingkat resistensinya sedang-lemah.

4.3.2.1. Dasar Penamaan

Penamaan satuan batuan ini didasarkan pada ciri litologi yakni dominasi oleh batupasir. Penamaan batupasir didapatkan dari hasil pengamatan lapangan, dengan tekstur batuan yakni ukuran butir 0,5 - 0,004 mm yang merupakan ukuran butir berupa pasir sedang - lempung (Wenworth, 1922). Penamaan Warukin mengacu pada peta geologi regional lembar Kotabaru skala 1:250.000 oleh Rustandi, dkk. (1995) bahwa daerah penelitian termasuk ke dalam Formasi Warukin, serta dari kesamaan ciri litologi sesuai dengan karakteristik dari Formasi Warukin.

4.3.2.2. Ciri Litologi

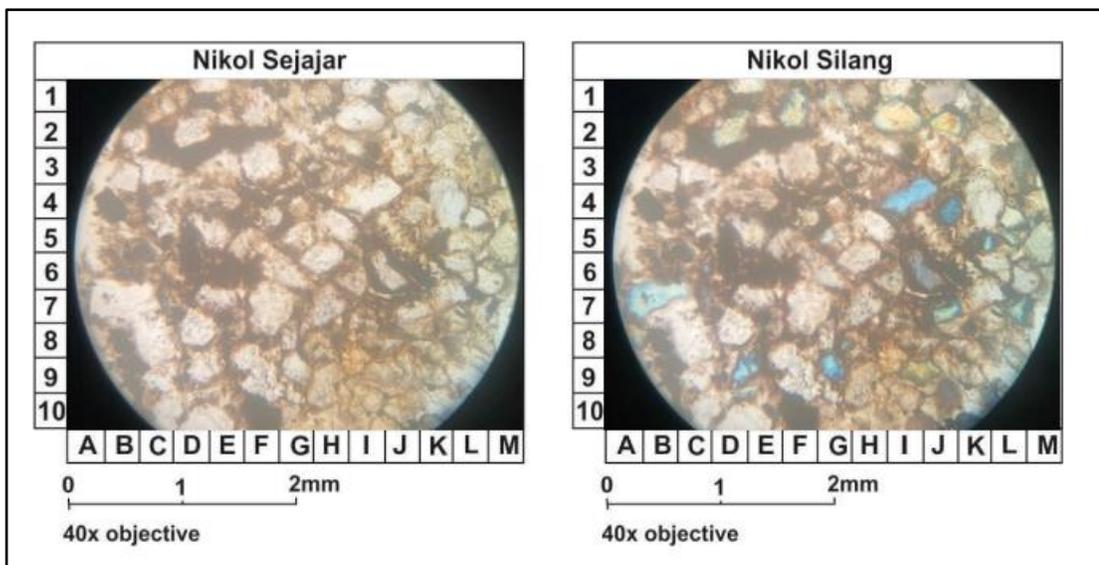
Penamaan satuan batuan mengacu pada geologi regional menurut Rustandi, dkk., (1995). Pengamatan singkapan satuan ini didominasi oleh batupasir, batulempung, perselingan batupasir batulanau, perselingan batulanau batulempung, batulanau, batubara seam (B0, B1, B2, B2A, B2A', B3, 1A upper, 1A lower, 1B upper, dan 1B lower), dan sedikit serpih.

Di lokasi pengamatan, Batupasir dicirikan dengan kekerasan keras-lunak, berwarna coklat – abu-abu, dengan semen berupa silika atau karbonan, berstruktur *flaser lamination*, *wavy lamination* dan *parallel lamination*. Batulempung dicirikan memiliki kekerasan yang lunak, berwarna coklat – abu-abu dengan semen berupa silika/karbonan, berstruktur *lenticular lamination*-masif. Batulanau dicirikan memiliki kekerasan yang keras, berwarna coklat muda – abu-abu, dengan semen berupa silika/karbonan, berstruktur masif. Batubara dicirikan memiliki kekerasan yang keras, berwarna hitam, memiliki kilap kusa, memiliki gores hitam kecoklatan, dapat pecah dengan dua kali pukulan, pecahan berbentuk *blocky*, jarak antar cleat

bervariasi antara 2 mm – 6 mm. Serpilh dicirikan memiliki kekerasan yang lunak, berwarna hitam kecoklatan, dengan struktur menyerpilh, terdapat sisipan berupa karbon, dan semen berupa silika.

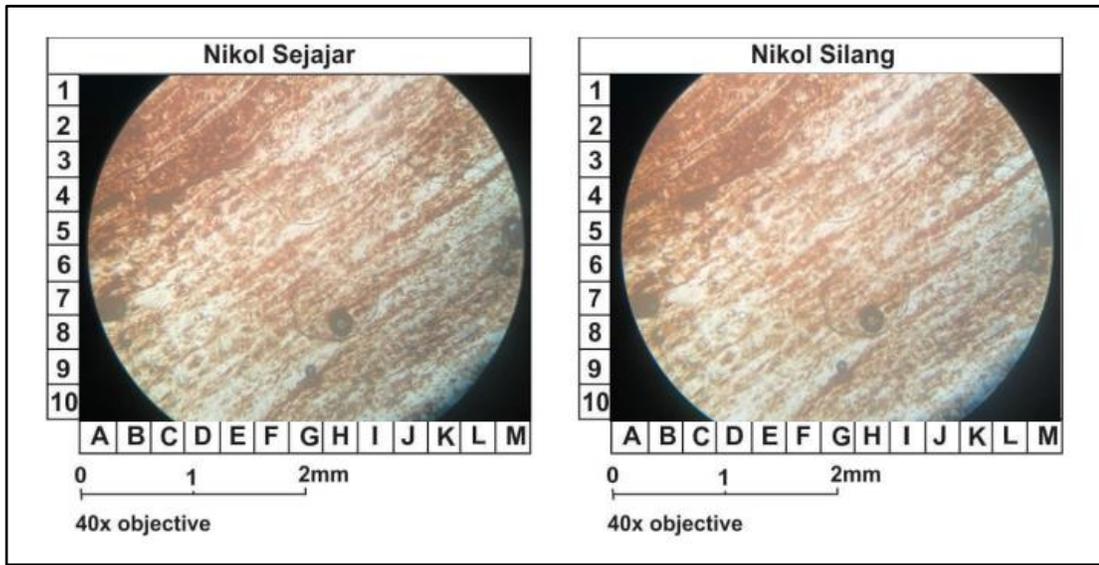
Berdasarkan pengamatan petrografis yang ditunjukkan oleh sayatan LP 95 (Gambar 4.22), LP 78 (Gambar 4.23), LP 104 (Gambar 4.24), dan LP 112 (Gambar 4.25), dalam sayatan tipis memperlihatkan:

Pengamatan petrografis dari sayatan LP 95 (Gambar 4.22) ini dalam sayatan memperlihatkan: Sayatan tipis batuan sedimen klastik; warna putih; bertekstur masif; ukuran butir < 0,004 - 0,6 mm; didukung oleh butiran, bentuk butir euhedral - subhedral; terpilah buruk; kontak butiran; disusun oleh mineral: kuarsa 80 %, mineral lempung 13 %, kuarsa, dan mineral opa 7 %, dari hasil analisis petrografi nama batuan yang diperoleh adalah *Arkosic arenite* (Menurut Klasifikasi Pettijohn, 1975).



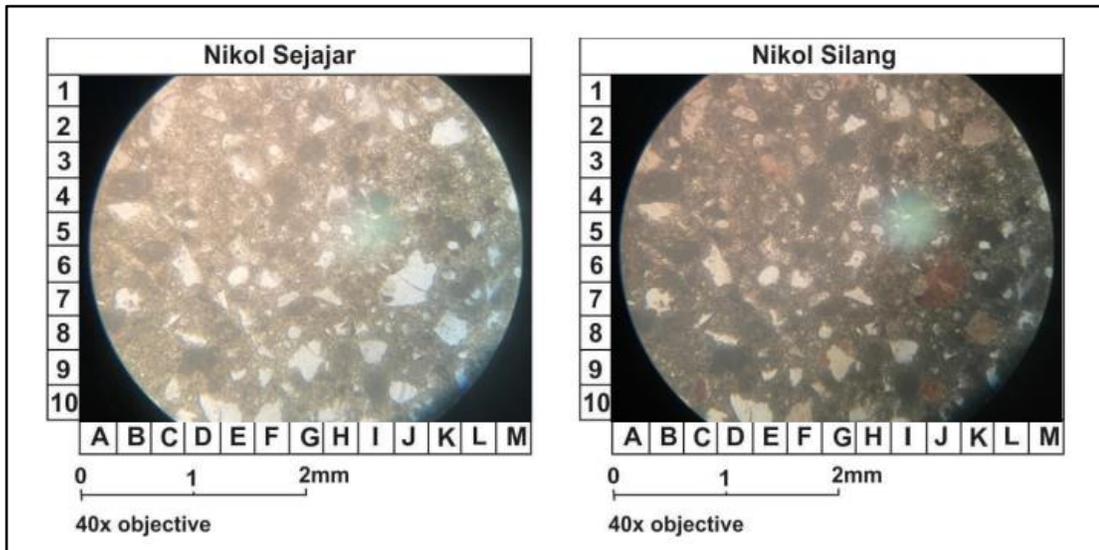
Gambar 4.22. Sayatan petrografi LP 95 (*Arkosic arenite*).

Pengamatan petrografis dari sayatan LP 78 (Gambar 4.23) ini dalam sayatan memperlihatkan: Sayatan tipis batuan sedimen klastik; warna coklat; berstruktur laminasi serpilh; ukuran butir < 0,004 - 0,125 mm; didukung oleh butiran, bentuk butir euhedral - subhedral; terpilah buruk; kontak butiran; disusun oleh mineral: *clay* 75 %, kuarsa 20 %, litik 5 %, dari hasil analisis petrografi nama batuan yang diperoleh adalah *Clayey shale* (Modifikasi klasifikasi lithofasies oleh Wang, 2016).



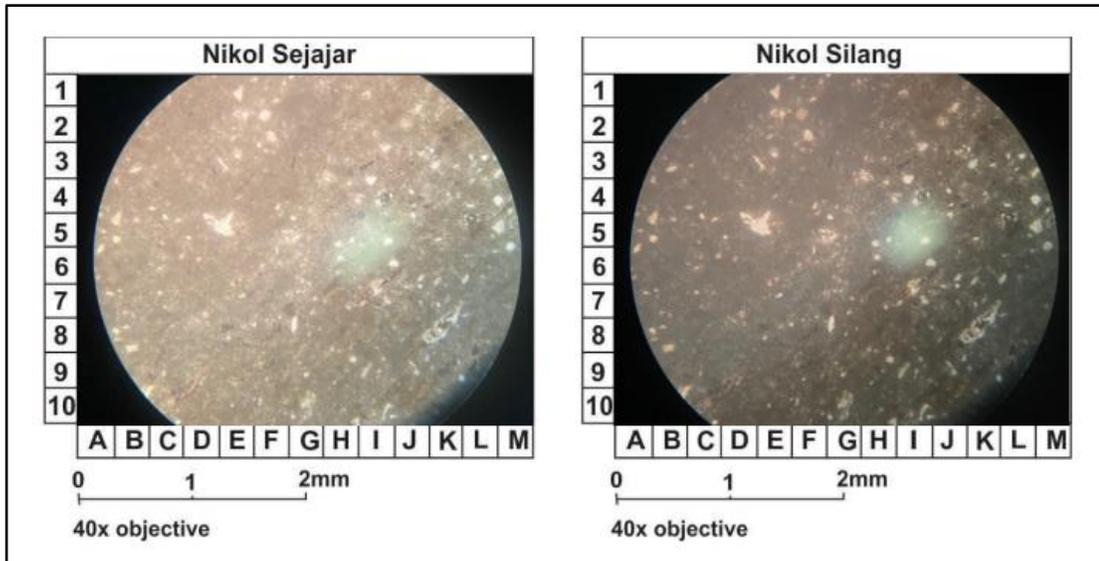
Gambar 4.23. Sayatan petrografi LP 78 (*Clayey shale*).

Pengamatan petrografis dari sayatan LP 104 (Gambar 4.24) ini dalam sayatan memperlihatkan: Sayatan tipis batuan sedimen klastik; warna coklat; bertekstur masif; ukuran butir < 0,004 - 0,5 mm; didukung oleh butiran, bentuk butir euhedral - subhedral; terpilah buruk; kontak butiran; disusun oleh mineral: *silt* 70 %, kuarsa 15 %, litik 15 %, dari hasil analisis petrografi nama batuan yang diperoleh adalah *Sandy siltstone* (Klasifikasi oleh Picard, 1971).



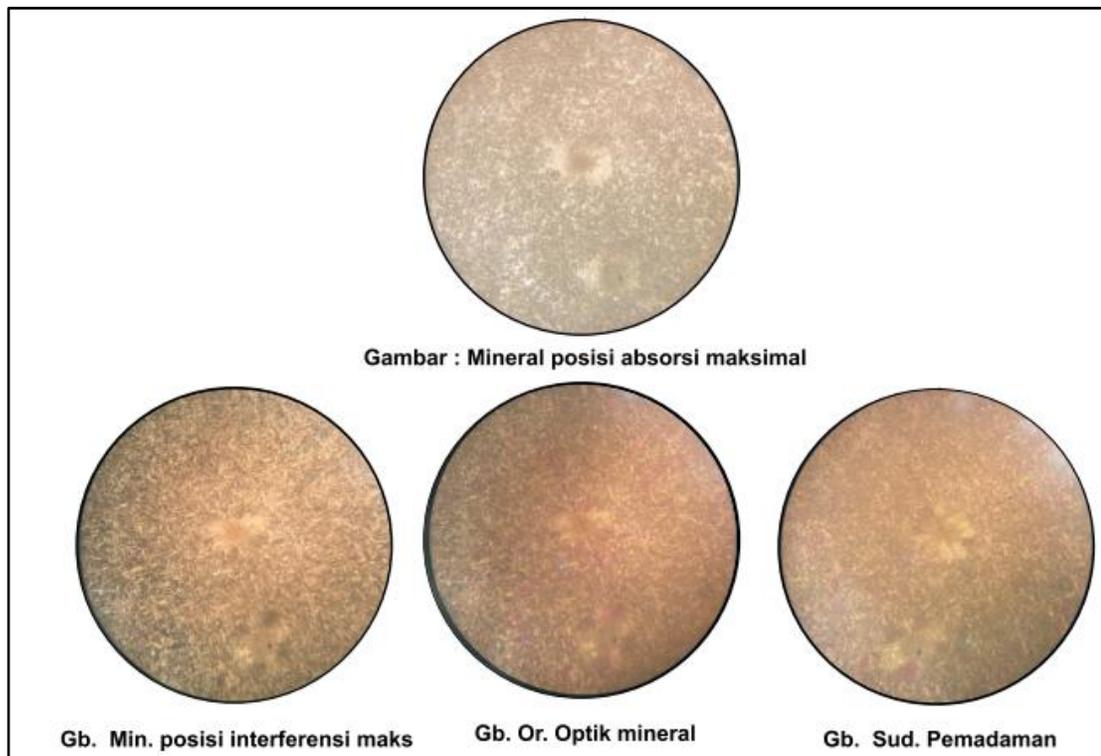
Gambar 4.24. Sayatan petrografi LP 104 (*Sandy siltstone*).

Pengamatan petrografis dari sayatan LP 112 (Gambar 4.25) ini dalam sayatan memperlihatkan: Sayatan tipis batuan sedimen klastik; warna coklat; bertekstur masif; ukuran butir $< 0,004 - 0,125$ mm; didukung oleh butiran, bentuk butir euhedral - subhedral; terpilah buruk; kontak butiran; disusun oleh mineral: *clay* 80 %, kuarsa 10 %, litik 10 %, dari hasil analisis petrografi nama batuan yang diperoleh adalah *claystone* (Klasifikasi oleh Picard, 1971).



Gambar 4.25. Sayatan petrografi LP 112 (*Claystone*).

Pengamatan mineralogi optis dari sayatan LP 82 (Gambar 4.26) ini dalam sayatan memperlihatkan: Sayatan tipis mineral sedimen; warna absorsi coklat; pleokroisme ada, lemah; ukuran kristal 0,125 mm; bentuk kristal subhedral; pecahan uneven; relief rendah; indeks bias $n > m$; warna interferensi coklat, orde 1; dari hasil analisis mineralogi optis nama mineral yang diperoleh adalah *siderite*.



Gambar 4.26. Sayatan mineralogi optis LP 82 (mineral siderite).

Litologi penyusun Satuan batupasir Warukin terdiri atas batupasir, batulempung, perselingan batupasir batulanau, perselingan batulanau batulempung, batulanau, batubara seam (B0, B1, B2, B2A, B2A', B3, 1A upper, 1A lower), dan sedikit serpih.

1. Batulempung (*Claystone*)

Secara megaskopis batulempung memiliki karakteristik warna abu-abu, struktur sedimen berupa masif, memiliki ukuran butir $<1/256$ mm, kadang terdapat karbon, semen silika.

2. Batulempung (*Claystone*)

Secara megaskopis batulempung memiliki karakteristik warna hitam, struktur sedimen berupa lenticular *lamination*, memiliki ukuran butir $<1/256$ mm, semen silika.

3. Batulanau (*Siltstone*)

Secara megaskopis batulanau memiliki karakteristik warna abu-abu, struktur sedimen berupa masif, memiliki ukuran $1/256$ mm - $1/16$ mm,

terdapat kandungan mineral siderit, pecahan cangkang, dan fragmen tumbuhan, serta memiliki semen silika.

4. Batupasir (*Sandstone*)

Secara megaskopis batupasir memiliki karakteristik warna abu-abu, struktur sedimen berupa masif, memiliki ukuran butir pasir halus 1/4 mm - 1/8 mm, semen silika.

5. Batupasir (*Sandstone*)

Secara megaskopis batupasir memiliki karakteristik warna abu-abu, struktur sedimen berupa *flaser lamination*, memiliki ukuran butir pasir halus 1/4 mm - 1/8 mm, semen silika.

6. Batupasir (*Sandstone*)

Secara megaskopis batupasir memiliki karakteristik warna abu-abu, struktur sedimen berupa *wavy lamination*, memiliki ukuran butir pasir halus 1/4 mm - 1/8 mm, semen silika.

7. Batubara (*Coal*)

Secara megaskopis batubara berwarna hitam, memiliki kilap kusam, memiliki gores hitam kecoklatan, dapat pecah dengan dua kali pukulan, pecahan berbentuk blocky, jarak antar cleat 2 mm – 6 mm.

8. Batuserpih (*Shalestone*)

Secara megaskopis serpih memiliki karakteristik warna hitam, struktur sedimen berupa menyerpih, memiliki ukuran butir $<1/256$ mm, terdapat sisipan karbon, semen silika.



Gambar 4.27. Singkapan Satuan batupasir Warukin LP 97, azimuth foto N 172° E (A). Batupasir berstruktur *parallel lamination* (B). Batulanau berstruktur massif (C). Kontak batubara seam B3 dengan batulempung sisipan batulanau (D). Batupasir dengan struktur *cross bedding* (E). Batupasir dengan struktur *flaser lamination* LP 88 (F).



Gambar 4.28. Singkapan Satuan batupasir Warukin LP 82, azimuth foto N 226° E. Batulempung berstruktur masif dengan kongresi *siderite* (B). Batupasir dengan sisipan batupasir (C). Batulempung sisipan batulanau (D).

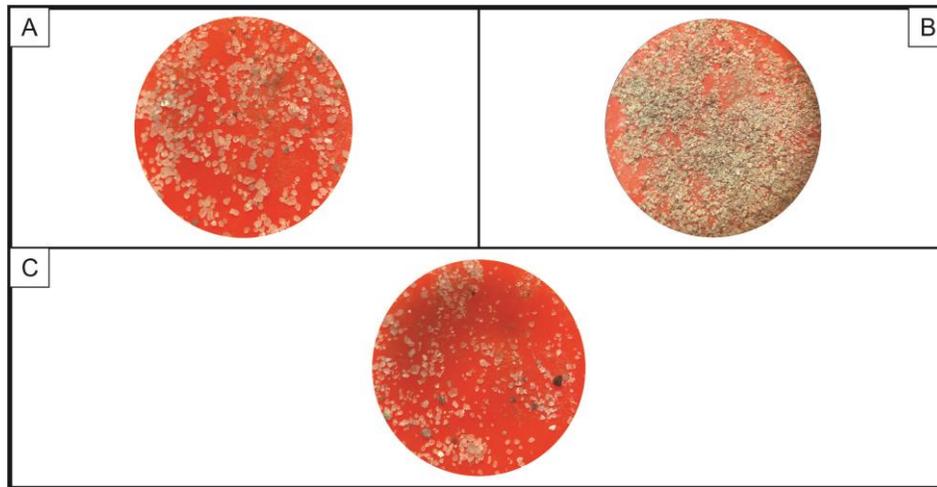
4.3.2.3. Penyebaran dan Ketebalan

Satuan batupasir Warukin menempati 40% dari luas total daerah penelitian (Lampiran A4) dan terletak dibagian tengah dan barat daerah penelitian. Singkapan terletak pada satuan bentuklahan area bukaan tambang, dataran alluvial. Dibedakan dengan satuan batuan lainnya karena satuan ini didominasi oleh batupasir yang memiliki semen silika/karbonan. Terdapat sisipan batubara yaitu seam (B0, B1, B2, B2A, B2A', B3, 1A upper, 1A lower, 1B upper, dan 1B lower) yang terdapat pada Satuan batupasir Warukin. Ketebalan satuan ini berdasarkan penampang geologi sayatan A-A' adalah 254,15 m.

4.3.2.4. Umur dan Lingkungan pengendapan

Penentuan umur Satuan batulempung Warukin mengacu berdasarkan :

1. Untuk menentukan umur Satuan batulempung Warukin, peneliti melakukan analisa mikrofosil pada lokasi pengamatan 98, 45, dan 104 yang kemudian didapatkan hasil bahwa dalam satuan ini tidak dijumpai adanya fosil foram planktonic (*barren*) sehingga tidak dapat menentukan umur.



Gambar 4.29. Analisa mikrofosil LP 98 litologi batupasir kuarsa mesh 80 (A), LP 45 litologi batulanau mesh 100 (B), dan LP 104 litologi batupasir kuarsa mesh 80 (C).

2. Pada satuan ini tidak terdapat makrofosil sehingga dalam penentuan umur satuan ini mengacu pada hasil penelitian terdahulu yakni Rustandi (1995), umur Formasi Warukin berumur Miosen Tengah-Akhir dengan fosil index yang ditemukan berupa *Miogypsina* sp., *Cycloclypeus* sp., dan *Lepidocyclina* sumatrensis.

3. Pada satuan ini ditemukan fosil daun pada litologi batulanau dan batulempung yang dapat diinterpretasi bahwa satuan ini berada di lingkungan transisi.

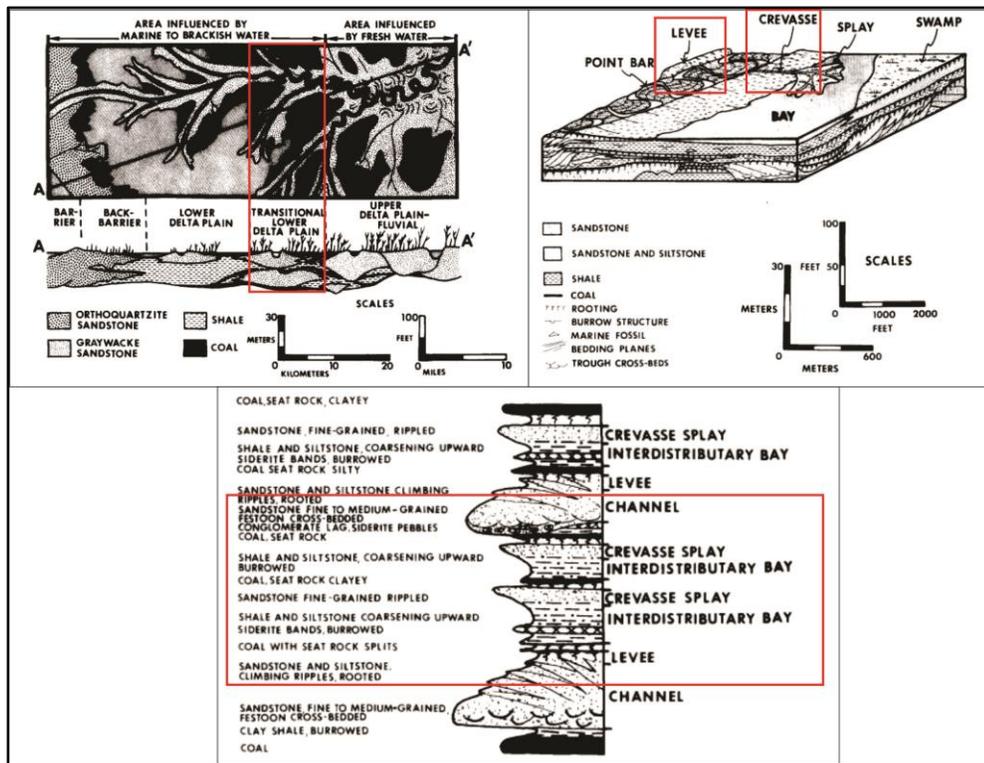


Gambar 4.30. Fosil daun pada litologi batulanau LP 97 (A),

Fosil daun pada litologi batulempung LP 100 (B), dan fosil daun pada singkapan batulanau LP 104 (C).

4. Berdasarkan posisi stratigrafi Satuan batupasir Warukin pada penampang A-A', dan B-B' menunjukkan bahwa satuan ini merupakan satuan batuan lebih muda dari Satuan batulempung Warukin pada daerah penelitian.

5. Penentuan lingkungan pengendapan Satuan batulempung Warukin menggunakan klasifikasi Horne (1978) berdasarkan analisa Jalur MS-1 dan MS-4 asosiasi sub-fasies pada satuan ini terdiri dari sub-fasies *interdistributary bay*, *crevasse splay*, *channel*, dan *levee*, satuan ini diendapkan pada fasies *transitional lower delta plain* (Gambar 4.31.).



Gambar 4.31. Model lingkungan pengendapan *transitional lower delta plain* (Horne, 1978).

4.3.2.5. Hubungan Stratigrafi

Hubungan stratigrafi antara Satuan batupasir Warukin dengan satuan di atasnya adalah tidak selaras. Hal ini terlihat pada kontak erosional antara batubara dan batupasir dengan material lepas berukuran krakal pada Satuan endapan aluvial.



Gambar 4.32. Hubungan ketidakselarasan antara Satuan batupasir Warukin dengan endapan aluvial, arah kamera utara.

4.3.3. Endapan Aluvial (Holosen)

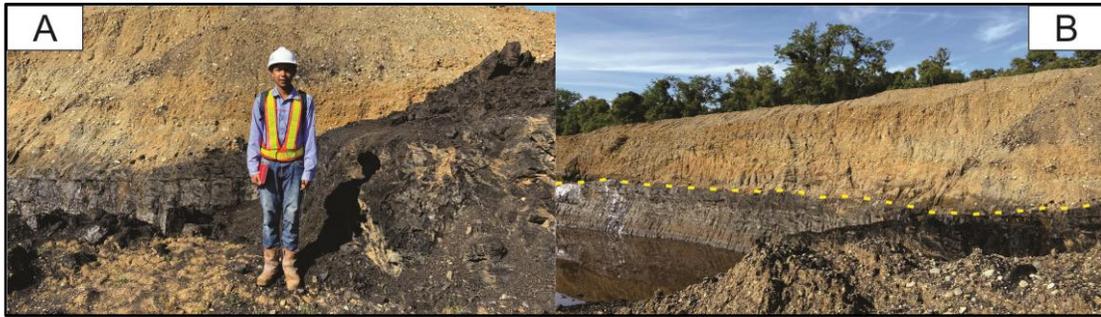
Endapan aluvial merupakan satuan yang berumur Holosen. Material endapan aluvial berasal dari hasil transportasi akibat proses fluvial. Material endapan bervariasi mulai berukuran bongkah-kerikil. Penyebaran endapan ini ditemukan pada sepanjang tubuh sungai pada daerah penelitian dengan kenampakan morfologi berupa dataran dan resistensinya yang lemah.

4.3.3.1. Dasar Penamaan

Penamaan ini didasarkan pada ciri litologi yang didominasi oleh endapan sungai, berupa material campuran berupa material batuan beku, batuan metamorf dan berukuran bongkah sampai kerikil yang memiliki ketebalan 6 m.

4.3.3.2. Ciri Litologi

Satuan ini terdiri atas material lepas berukuran bongkah sampai kerikil yang semi terkonsolidasi (Gambar 4.33.). Material ini berasal dari proses erosi, transportasi, dan sedimentasi batuan yang lebih tua.



Gambar 4.33. Singkapan endapan aluvial yang memiliki hubungan ketidakselarasan dengan satuan batupasir, singkapan LP 112 endapan aluvial (A), batas ketidakselarasan dua satuan, azimuth kemara selatan (B).

4.3.3.3. Penyebaran dan Ketebalan

Satuan endapan aluvial menempati 5% dari luas total daerah penelitian (Lampiran A4) dan terletak disepanjang tubuh sungai daerah penelitian. Singkapan terletak pada satuan bentuklahan dataran aluvial. Dibedakan dengan satuan batuan lainnya karena satuan ini didominasi oleh material lepas berukuran bongkah-kerikil. Ketebalan satuan ini berdasarkan data *measuring section* adalah 6 m.

4.3.3.4. Umur dan Lingkungan Pengendapan

Menurut Rustandi, dkk (1995) umur dari Satuan endapan aluvial ini adalah Holosen. Lingkungan pengendapan dari Satuan endapan aluvial ini adalah darat.

4.3.4. Waste Disposal (Holosen)

Material timbunan tambang terdiri dari akumulasi material yakni dari rombakan batuan yang ada pada tambang terbuka daerah penelitian. Akumulasi ini terdiri dari variasi litologi berupa batupasir, batulempung, batulanau, dan batuserpih. Penyebaran timbunan ini ditemukan pada bagian dalam lahan bukaan tambang (*in pit dump*) dan bagian luar lahan bukaan tambang (*out pit dump*) dengan kenampakan morfologi berupa lereng dan tingkat resisitensinya yang lemah.

4.3.4.1. Dasar Penamaan

Penamaan ini didasarkan pada ciri litologi yang didominasi oleh hasil material timbunan penambangan, berupa material overburden, interburden, dan seam batubara yang memiliki ketebalan < 30 cm.

4.3.4.2. Ciri Litologi

Berdasarkan pengamatan di lapangan material timbunan tambang terdiri dari litologi batupasir, batulempung, batulanau, batuserpih, dan batubara.



Gambar 4.34. Singkapan material timbunan tambang LP 59, arah kamera N 131° E (A). Litologi material lepas LP 59 (B). Singkapan material timbunan tambang LP 62, arah kamera N 305° E (C). Litologi material lepas LP 62 (D).

4.3.4.3. Penyebaran dan Ketebalan

Material timbunan tambang menempati 20% dari luas total daerah penelitian (Lampiran A4) dan terletak dibagian utara daerah penelitian. Persebaran material timbunan tambang yakni setempat dengan lokasi yang telah direncanakan dan dikaji sebelumnya. Penyebaran vertikal berdasarkan penampang geologi didapatkan ketebalannya yakni 26 meter.

4.3.4.4. Umur dan Lingkungan Pengendapan

Material timbunan tambang berumur Holosen, mengingat bahwa tambang terbuka batubara milik PT. Mitra Setia Tanah Bumbu-CV. Hidup Hidayah Ilahi dibuka pada tahun 2012. Berdasarkan pengamatan lapangan diketahui bahwa material ini memiliki sifat belum terlitifikasi, sehingga material timbunan ini belum dapat dikatakan sebagai suatu satuan batuan.

Lingkungan pengendapan material timbunan tambang yakni di darat, meskipun dalam hal pengendapan material tidak terendapkan secara alamiah, melainkan diendapkan secara buatan terkait kepentingan pengelolaan tambang, hal ini dicirikan dari materialnya yang belum kompak dan merupakan hasil rombakan dari batuanbatuan yang ada pada sekitar area tambang.

Berdasarkan data pengamatan lapangan dan analisis stratigrafi, maka kaitan stratigrafi terhadap geologi daerah penelitian adalah:

1). Daerah penelitian tersusun oleh tiga satuan batuan dari tua ke muda yaitu Satuan batulempung Warukin, Satuan batupasir Warukin, dan endapan aluvial.

2). Satuan batulempung Warukin menempati bagian tengah-utara daerah penelitian yang terdiri dari area bukaan tambang/pit dan lowwall dengan sebaran relatif berarah barat-timur. Satuan ini diendapkan pada fasies transitional lower delta plain (Horne, 1978) dengan asosiasi sub-fasies yakni *interdistributary bay*, *crevasse splay*, dan *levee*. Hubungan stratigrafi dengan Satuan batupasir Warukin yang berada di atasnya adalah selaras.

3). Satuan batupasir Warukin menempati bagian tengah-selatan daerah penelitian yang merupakan area bukaan tambang/pit, highwall, dan dataran aluvial dengan sebaran relatif berarah barat-timur. Satuan ini diendapkan pada fasies transitional lower delta plain (Horne, 1978) dengan asosiasi sub-fasies yakni fasies *interdistributary bay*, *crevasse splay*, *channel*, dan *levee*. Hubungan stratigrafi dengan endapan aluvial yang berada di atasnya adalah tidak selaras (menyudut) atau *angular unconformity*.

4). Material timbunan tambang merupakan timbunan termuda pada daerah penelitian yang menempati secara setempat baik pada bagian dalam maupun luar lahan bukaan tambang. Material timbunan ini terdiri hasil rombakan material overbuden seam batubara yang terendapkan secara buatan oleh manusia sesuai dengan perencanaan tambang. Material timbunan ini berumur geologi Holosen, mengacu pada tahun dibukanya tambang terbuka batubara oleh PT. Mitra Setia Tanah Bumbu-CV. Hidup Hidayah Ilahi pada tahun 2012.

4.4. Struktur Geologi Daerah Telitian

4.4.1. Sesar Kusan

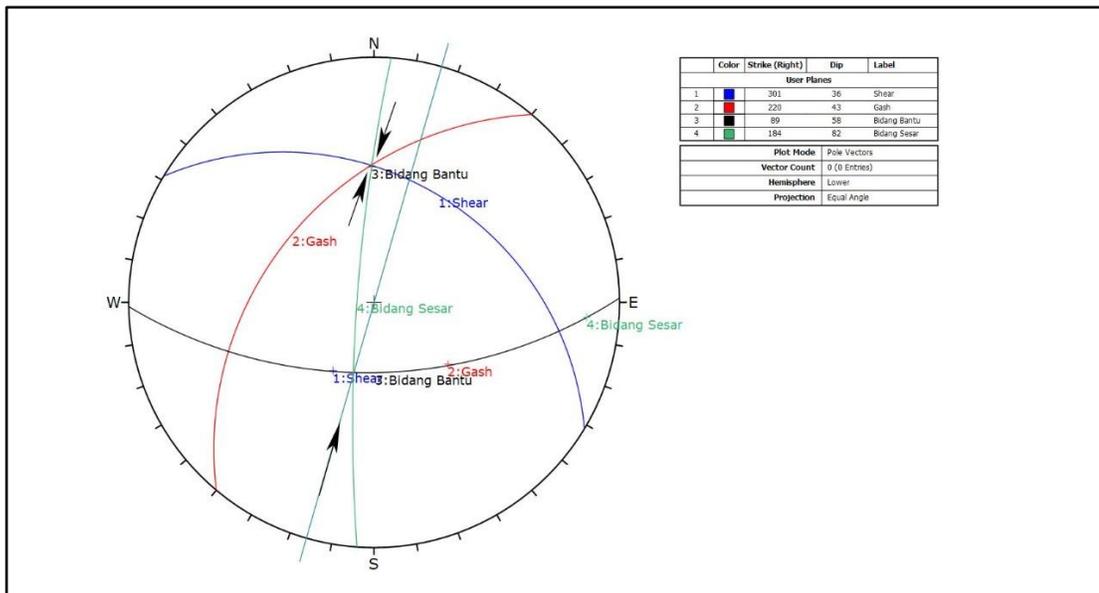
Struktur geologi yang didapatkan pada daerah penelitian adalah sesar. Sesar didapatkan pada LP 88 yang termasuk kedalam Satuan batulempung Warukin (Gambar 4.35). Sesar ini memiliki arah umum shear fracture yaitu $N 301^{\circ} E / 26^{\circ}$ dan arah umum gash fracture yaitu $N 220^{\circ} E / 43^{\circ}$ (Gambar 4.35). Setelah dilakukan analisis menggunakan stereonet didapatkan kedudukan bidang sesar $N 184^{\circ} E / 82^{\circ}$, netslip 36° , $N 195^{\circ} E$, tegasan 1 47° , $N 094^{\circ} E$, tegasan 1' 74° , $N 050^{\circ} E$, tegasan 2 38° , $N 207^{\circ} E$, tegasan 2' 38° , $N 207^{\circ} E$, tegasan 3 44° , $N 310^{\circ} E$, tegasan 3' 10° , $N 299^{\circ} E$, dan rake 12° . Dari kalsifikasi nama sesar menurut Rickard, 1972, didapatkan sesar mendatar kiri naik / *lag left slip fault* (Gambar 4.37).



Gambar 4.35. Kenampakan sesar mendatar kiri naik pada LP 88, azimuth $N 236^{\circ} E$.



Gambar 4.36. Kenampakan shear fracture (garis merah) dan gash fracture (garis kuning) pada LP 88, arah kamera N 192° E.

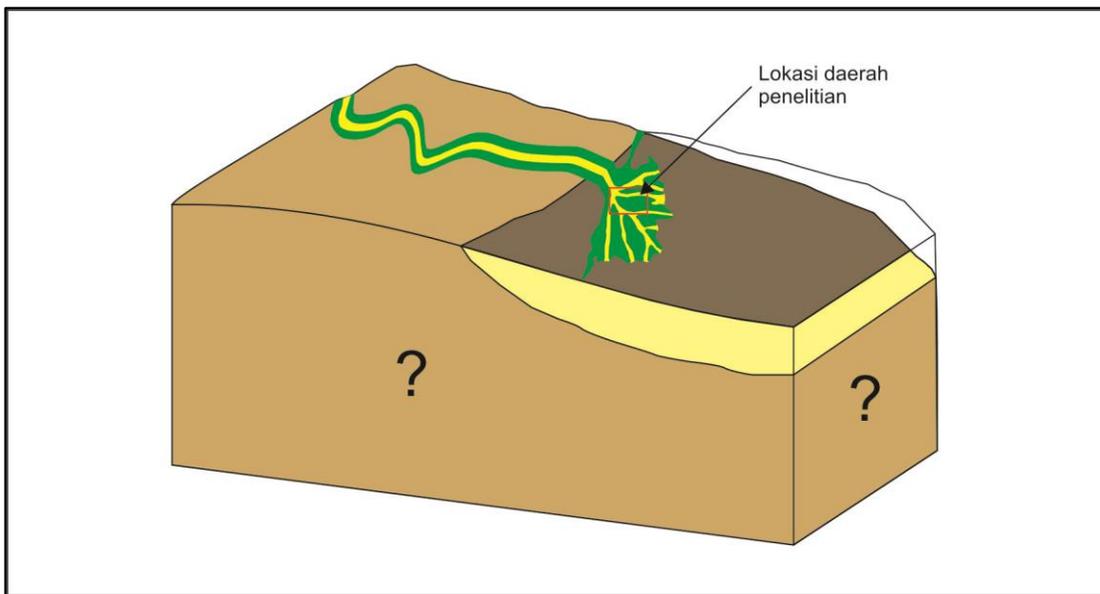


Gambar 4.37. Analisis stereografi Sesar Kusan.

4.5. Sejarah Geologi Daerah Penelitian

Sejarah geologi merupakan suatu rangkaian proses fenomena geologi yang menceritakan tentang terjadinya dari awal proses pembentukan batuan hingga kondisi pada saat ini, dalam aspek ruang dan waktu. Penentuan sejarah geologi daerah

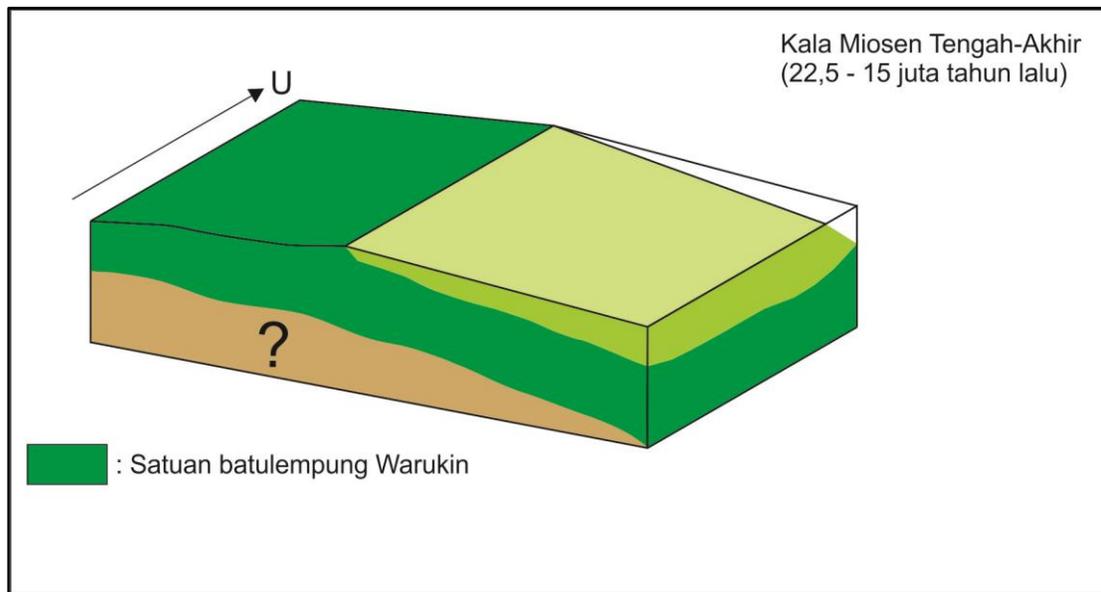
penelitian didasarkan pada data geologi lapangan primer (stratigrafi, struktur geologi, geomorfologi), analisis laboratorium, dan mengacu pada peneliti terdahulu. Sejarah geologi satuan batuan pada daerah penelitian dibuat berdasarkan umur geologi daerah penelitian yang dijumpainya fosil makro yang memiliki umur Miosen Bawah, Miosen-Resent (sekarang), dan mengacu geologi regional. Geologi daerah penelitian menurut geologi regional menurut Rustandi, dkk. (1995) yakni berumur Miosen Tengah-Akhir, berdasarkan hal tersebut penjelasan mengenai sejarah geologi dibawah ini memiliki rentang waktu dari Miosen.



Gambar 4.38. Lokasi daerah penelitian dahulunya merupakan lingkungan transisi (delta).

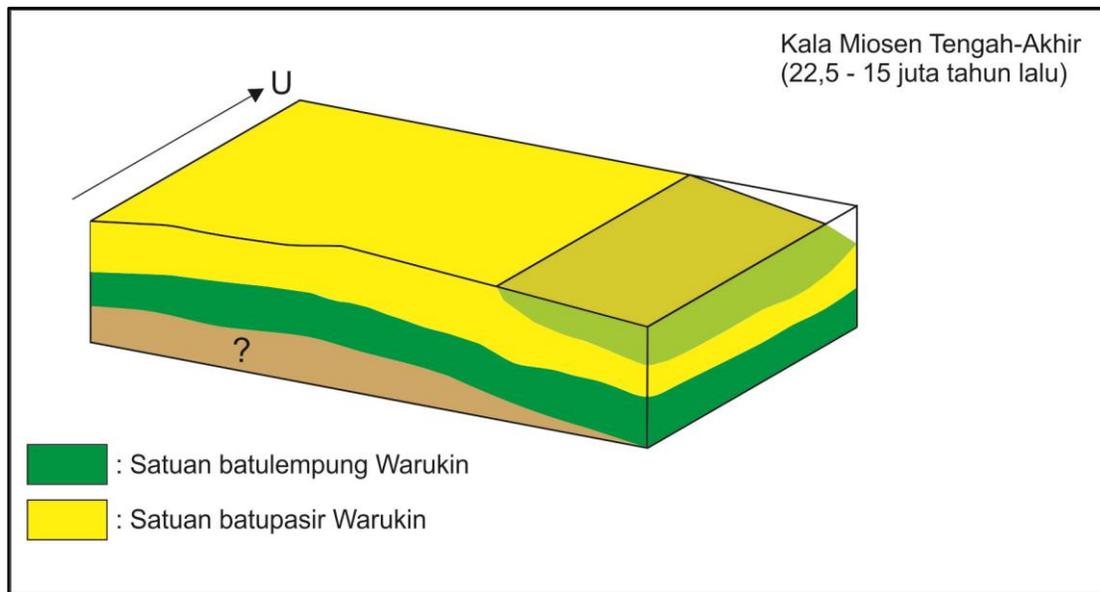
Daerah penelitian merupakan bagian dari Formasi Warukin dengan lingkungan pengendapan pada daerah transisi, yakni delta (Gambar 4.38), Formasi Warukin ini merupakan formasi pembawa batubara atau *coal bearing formation*. Pada daerah penelitian terdiri dari tiga satuan batun yakni Satuan batulempung Warukin, Satuan batupasir Warukin, dan *waste disposal*.

Pada Kala Miosen terendapkan Satuan batulempung Warukin (Gambar 4.39) yang terendapkan pada fasies *transitional lower delta plain*, sub fasies *interdistributary bay*, *crevasse splay*, dan *levee* (Horne, 1978). Satuan batulempung Warukin ini di susun oleh batulempung, batulanau, batupasir, batupasir sisipan batuserpih, batubara seam 2 dan 3, dan sedikit serpih.



Gambar 4.39. Proses pengendapan Satuan batulempung Warukin.

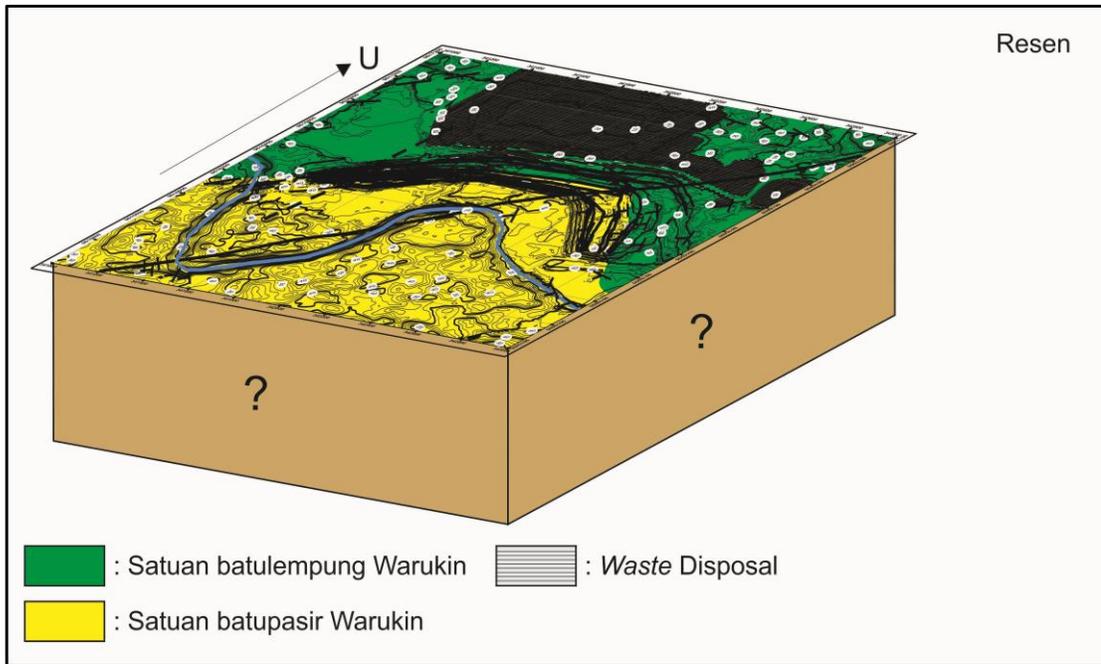
Pada kala yang sama, terjadi penurunan muka air laut (regresi) dan terendapkan secara selaras di atas Satuan batulempung Warukin adalah Satuan batupasir Warukin (Gambar 4.40), yang terendapkan pada fasies *transitional lower delta plain* dengan subfasies *interdistributary bay*, *crevasse splay*, *channel*, dan *levee* (Horne, 1978). Satuan batupasir Warukin ini disusun oleh batupasir, batulempung, perselingan batupasir batulanau, perselingan batulanau batulempung, batulanau, batubara seam (B0, B1, B2, B2A, B2A', B3, 1A upper, 1A lower, 1B upper, dan 1B lower), dan sedikit serpih.



Gambar 4.40. Proses pengendapan Satuan batupasir Warukin.

Selanjutnya pada Kala Miosen terjadi proses pengangkatan kompleks Meratus sehingga satuan batuan pada daerah penelitian tersingkap ke permukaan, kemudian terjadi tumbukan antara fragmen benua Laut Cina Selatan dengan Kalimantan bagian utara, pada saat yang bersamaan pula terjadi tumbukan lengan timur Sulawesi, kedua elemen tektonik ini mengawali inversi yang terjadi pada daerah penelitian, dimana pada daerah penelitian kedudukan kemenerusan lapisan relatif ke arah timur lautbarat daya dengan kemiringan lapisan relatif ke arah tenggara.

Selanjutnya pada resent (sekarang) dimulailah aktivitas manusia mempengaruhi bentukan morfologi pada daerah penelitian. Aktivitas pertambangan yang meliputi pembukaan tambang IUP PT. Mitra Setia Tanah Bumbu-CV. Hidup Hidayah Ilahi dimulai pada tahun 2012 hingga saat ini yang menyebabkan terbentuknya area bukaan tambang (pit), genangan air bekas tambang (*Sump*), stockpile atau stockroom, hasil timbunan tambang (disposal), dan area penanaman (reklamasi) (Gambar 4.41).



Gambar 4.41. Kondisi geologi daerah penelitian pada saat sekarang.

BAB V

**STUDI POROSITAS DAN PERMEABILITAS BATUAN
TERHADAP KESTABILAN LERENG HIGHWALL-
LOWWALL TAMBANG TERBUKA**

Daerah penelitian merupakan area konsensi tambang batubara terbuka yang dikelola oleh PT. Mitra Setia Tanah Bumbu-CV. Hidup Hidayah Ilahi yang berlokasi pada Site Mangkalapi, Kecamatan Teluk Kepayang, Kabupaten Tanah Bumbu, Kalimantan Selatan. Kestabilan lereng merupakan hal penting yang harus diperhatikan karena desain kemiringan lereng suatu bukaan tambang secara langsung berpengaruh pada keekonomian proyek penambangan tersebut. Oleh sebab itu, untuk mengetahui kestabilan lereng perlu memahami karakteristik-karakteristik material penyusun lereng mulai dari lereng (highwall-lowwall). Hal tersebut untuk mendapatkan nilai geoteknik dari pengujian lab berdasarkan uji fisik (*basic properties test*) untuk mengetahui nilai porositas dll, uji mekanik (*direct shear test*) untuk mengetahui nilai kohesi dan sudut geser dalam, dan uji permeabilitas (*permeability test*) untuk mengetahui nilai permeabilitas batuan.

5.1. Kondisi Geologi Teknik Daerah Penelitian

Sebelum melakukan analisis kestabilan lereng, perlu diketahui kondisi umum daerah yang akan diteliti guna menentukan metode yang akan digunakan dan perlu ditentukan pula metode dan asumsi yang digunakan. Pada penelitian ini, kondisi geoteknik, metode, dan asumsi yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Daerah penelitian terdiri atas litologi yaitu batulempung, batupasir, batulanau, batuserpih, batubara, dan endapan aluvial.
2. Bidang diskontinu tidak banyak berkembang di daerah penelitian.
3. Faktor pengontrol kestabilan lereng diasumsikan adalah *material properties* penyusun lereng itu sendiri.
4. Bidang gelincir diasumsikan berupa *circular*.
5. Data lapisan batuan penyusun lereng merupakan kombinasi data *measuring section*.

5.2. Karakteristik Batuan

Karakteristik batuan merupakan karakter suatu batuan dilihat secara megaskopis. Karakteristik batuan berkaitan dengan pembentuk suatu batuan, mulai dari ukuran butir, bentuk butir, derajat pembundaran, rongga dalam batuan. Hal tersebut akan mencerminkan kekuatan suatu batuan apabila mengalami suatu gangguan (struktur geologi berupa lipatan, kekar, dan sesar).

Daerah penelitian termasuk ke dalam Formasi Warukin Cekungan Asam-asam, yang di dominasi oleh batuan sedimen atau batuan hasil sedimentasi batuan sebelumnya. Berikut karakteristik-karakteristik batuan sedimen silisklastik secara megaskopis:

1. Ukuran butir
2. Bentuk butir
3. Derajat pembundaran
4. Derajat pemilahan
5. Relasi atau kemas
6. Komposisi mineral
7. Struktur sedimen

5.2.1. Karakteristik Batuan Lereng Highwall

Karakteristik batuan yang ada di lereng highwall di dominasi oleh Satuan batupasir Warukin. Satuan batupasir Warukin terdiri dari beberapa litologi tetapi di dominasi oleh batupasir, batuan yang ada di dalam satuan ini antara lain adalah batulempung, batulanau, batuserpil, dan batubara. Struktur sedimen yang berkembang di satuan ini antara lain *cross bedding*, *flaser lamination*, *wavy lamination*, *parallel lamination*, perlapisan, menyerpil, dan masif. Satuan ini dapat di interpretasikan merupakan satuan pembawa akuifer karena banyak ditemukan lapisan batupasir (yang memiliki porositas dan permeabilitas yang baik). Satuan ini menjadi indikasi merupakan area atau daerah jenuh air karena memiliki banyak lapisan pembawa air (akuifer).



Gambar 5.1. Bentang alam lereng highwall, arah kamera selatan.

5.2.2. Karakteristik Batuan Lereng Lowwall

Karakteristik batuan yang ada di lereng lowwall di dominasi oleh Satuan batulempung Warukin. Satuan batulempung Warukin terdiri dari beberapa litologi tetapi di dominasi oleh batulempung, batuan yang ada di dalam satuan ini antara lain adalah batupasir, batulanau, batuserpih, dan batubara. Struktur sedimen yang berkembang di satuan ini antara lain *flaser lamination*, *wavy lamination*, *parallel lamination*, perlapisan, menyerpih, dan masif. Satuan ini dapat di interpretasikan merupakan satuan tidak pembawa akuifer karena banyak ditemukan lapisan batulempung (yang memiliki porositas buruk tetapi memiliki permeabilitas yang baik). Satuan ini menjadi indikasi merupakan area atau daerah tidak jenuh air karena tidak memiliki lapisan pembawa air (akuifer), melainkan berupa lapisan kedap air atau *impermeable* (akuiklud).



Gambar 5.2. Bentang alam lereng lowwall, arah kamera utara.

5.2.3. Air tanah

Air tanah pada area bukaan tambang atau pit memiliki potensi yang cukup besar mengganggu kegiatan penambangan. Air rembesan dan limpasan terdapat beberapa titik dalam area penambangan. Air tersebut berpotensi mengakibatkan masuknya air ke dalam bukaan pertambangan dan menjadikan lereng jenuh air

akibat keluarnya air di lereng tambang. Berikut data rembesan dan limpasan air tanah yang diambil pada tanggal 15 Maret 2022:

Tabel 5.1. Lokasi pengambilan data air tanah (rembesan dan limpasan air).

No	Lokasi	X	Y	Z	Keterangan
1	Pit HHI Timur	342615	9616143	-7	Rembesan
2	Pit HHI Timur	342597	9616148	-6	Rembesan
3	Pit HHI Timur	342626	9616122	-7	Rembesan
4	Pit HHI Timur	342731	9616118	2	Limpasan
5	Pit HHI Timur	342712	9616115	2	Rembesan
6	Pit MSTB Timur	342761	9616110	3	Rembesan
7	Pit MSTB Timur	342774	9616124	4	Rembesan
8	Pit MSTB Timur	342767	9616312	10	Limpasan
9	Pit MSTB Timur	342716	9616358	11	Limpasan
10	Pit HHI Barat	341593	9616280	14	Rembesan

Pengambilan data air tanah menggunakan media botol air mineral, ember, papan untuk mengalirkan air ke wadah, dan *stopwatch*. Volume air tanah yang masuk ke dalam area penambangan adalah sebagai berikut:

Tabel 5.2. Hasil perhitungan air tanah (rembesan dan limpasan air).

No	Lokasi	Keterangan	Media	Volume (ml)	Waktu (s)	Debit (ml/s)
1	Pit HHI Timur	Rembesan	Botol	600	19	31,57
2	Pit HHI Timur	Rembesan	Botol	300	63	4,761
3	Pit HHI Timur	Rembesan	Botol	300	83	3,614
4	Pit HHI Timur	Limpasan	Ember	1 ember full (diameter atas = 22 cm, diameter bawah = 17 cm, dan tinggi 16 cm)	9,7	11,826
5	Pit HHI Timur	Rembesan	Botol	600	9	66,66
6	Pit MSTB Timur	Rembesan	Botol	600	35	17,142
7	Pit MSTB Timur	Rembesan	Botol	600	48	12,5
8	Pit MSTB Timur	Limpasan	Ember	1 ember full (diameter atas = 22 cm, diameter bawah = 17 cm, dan tinggi 16 cm)	2	57,455
9	Pit MSTB Timur	Limpasan	Ember	1 ember full (diameter atas = 22 cm, diameter bawah = 17 cm, dan tinggi 16 cm)	10	1147.101
10	Pit HHI Barat	Rembesan	Botol	600	25,31, 27	21.85

Hasil pengambilan data debit air rembesan dan limpasan pada daerah pit dihasilkan yaitu:

- 1 Debit rembesan 157,747 ml/s = $1,57 \times 10^{-1}$ l/s
- 2 Debit limpasan 70.428 ml/s = 70,428 l/s
- 3 Total debit rembesan dan limpasan = 70.585,428 ml/s = 70,585 l/s

Tabel 5.3. Perhitungan debit air rembesan dan limpasan.

No	Lokasi	Keterangan	Debit (ml/s)
1	Pit HHI Timur	Limpasan	11,826
2	Pit MSTB Timur	Limpasan	57,455
3	Pit MSTB Timur	Limpasan	1147.101
Total			70,428

No	Lokasi	Keterangan	Debit (ml/s)
1	Pit HHI Timur	Rembesan	31,57
2	Pit HHI Timur	Rembesan	4,761
3	Pit HHI Timur	Rembesan	3,614
4	Pit HHI Timur	Rembesan	66,66
5	Pit MSTB Timur	Rembesan	17,142
6	Pit MSTB Timur	Rembesan	12,5
7	Pit HHI Barat	Rembesan	21,5
Total			157,747

5.3. Kondisi Kestabilan Lereng Highwall-Lowwall

Kondisi kestabilan lereng highwall-lowwall berkaitan dengan faktor pengontrol dari material properties penyusun lereng tersebut. Material properties berkaitan dengan kondisi geologi teknik penyusun litologi yang berada di lereng highwall-lowwall. Sifat fisik dan sifat mekanik merupakan parameter untuk mengetahui nilai berat isi, kohesi, dan sudut geser dalam kaitan digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng highwall-lowwall.

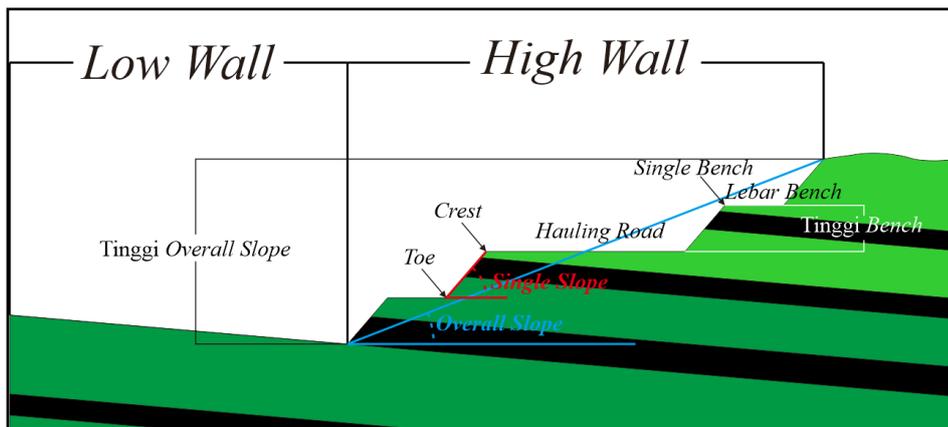
5.3.1. Lereng Highwall

Lereng highwall merupakan lereng yang dibentuk berlawanan dengan arah kemiringan (dip). Litologi penyusun dari lereng highwall berupa:

Tabel 5.4. Litologi penyusun lereng highwall.

1. Seam 1A	14. Roof Seam B2A' (Interburden)
2. Roof Seam 1A (Overburden)	15. Seam B1
3. Seam B3	16. Roof Seam B1 (Overburden)
4. Roof Seam B3 (Overburden)	17. Seam B0
5. Seam B3 Upper	18. Roof Seam B0 (Overburden)
6. Roof Seam B3 Upper (Overburden)	19. Seam X
7. Seam B3 Lower	20. Roof Seam X (Overburden)

8. Roof Seam B3 Lower (Overburden)	21. Seam Y
9. Seam B2	22. Roof Seam Y (Overburden)
10. Roof Seam B2 (Overburden)	23. Seam Z
11. Seam B2A	24. Roof Seam z (Overburden)
12. Roof Seam B2A (Interburden)	25. Soil
13. Seam B2A'	26. Gravel



Gambar 5.3. Geometri lereng tambang terbuka (highwall-lowwall).

5.3.2. Lereng Lowwall

Lereng lowwall merupakan lereng yang dibentuk searah dengan arah kemiringan (dip). Litologi penyusun dari lereng lowwall berupa:

Tabel 5.5. Litologi penyusun lereng lowwall.

1. Seam X	6. Roof Seam 2 (Overburden)
2. Roof Seam X (Overburden)	7. Seam 1B
3. Seam 3	8. Roof Seam 1B (Interburden)
4. Roof Seam 3 (Overburden)	9. Soil
5. Seam 2	10. Gravel

5.4. Cara Menganalisis Kestabilan Lereng

Dalam melakukan analisis kestabilan lereng memerlukan beberapa tahapan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan (fk), software yang digunakan antara lain *software Minescape*, *AutoCAD Map 3D 2015*, dan *Slide V.6.0*. Dalam analisis yang dilakukan, rekomendasi serta penampang 2D lereng tambang dapat diamati

secara detail beserta material propertis penyusun tiap-tiap lapisan. Berikut langkah kerja tiap-tiap analisis yang dilakukan.

5.4.1. *Minescape*

Minescape adalah *software* (*geotechnical*) yang digunakan untuk analisa kestabilan lereng meliputi untuk mengetahui geometri lereng dan lapisan bawah permukaan berdasarkan sifat-sifat fisik dan mekanik batuan atau tanah. *Minescape* mampu memberikan gambaran geometri penampang 2D baik secara topografi lereng tambang dan persebaran *seam* batubara serta kemenerusan *seam* batubara. Data yang diperlukan dalam analisa adalah data topografi untuk analisis kestabilan lereng desain final, data *measuring section* untuk mengetahui lapisan batuan yang berada pada lereng, dan data model geologi untuk mengetahui data bawah permukaan *seam* batubara (sebaran dan kemenerusan) pada lereng.

Berikut adalah langkah-langkah kerja software *minescape* untuk pembuatan penampang geometri 2D lereng tambang terbuka:

1. Membuka data yang akan diolah pada *mineScape* dengan cara klik open write file – pada kolom source type, pilih design file – pilih design file yang akan kita buka pada kolom name.
2. Membuat sayatan pada peta dengan cara klik draw line – buat garis pada sayatan sesuai dengan yang diinginkan.
3. Membuat penampang dari sayatan yang telah dibuat sebelumnya dengan cara klik graphic – section – stratmodel.
4. Selanjutnya pada menu ID, pilih file yang akan dibuat penampang pada kolom input dan pilih file di mana penampang akan dibuat pada kolom output.
5. Pada menu section, kemudian pilih sayatan yang akan dibuat menjadi penampang dengan cara klik kanan pada kolom ID – pick – pilih sayatan tersebut - masukkan koordinat di mana penampang akan dibuat (dipeta) - apply. Pastikan layer yang dibuat untuk output penampang telah dibuat dalam dimensi 2D. Penampang tersebut meliputi data permukaan dan bawah permukaan lereng (interpretasi).

6. Pada penelitian ini, data bawah permukaan yang didapat adalah kemenerusan *seam* batubara. Penambahan litologi dibuat berdasarkan data *measuring section* dan mengacu pada kemenerusan *seam* batubara yang telah dimodelkan pada software *minescape*.
7. Mengespor file yang telah dibuat ke dalam format .DXF dengan cara klik *minescape explorer* – pilih file yang akan diekspor – klik export – .DXF – pilih file yang akan diekspor pada kolom input dan masukkan nama file yang diinginkan dan masukan seri software AutoCAD sesuai dengan yang dimiliki.

5.4.2. AutoCAD Map 3D 2015

AutoCAD Map 3D 2015 adalah *software (planning, survey, design)* yang digunakan untuk memberikan batas dari *material properties* batuan, tanah, dan gravel pada lapisan bawah permukaan. Setelah geometri lereng didapat dari pengolahan data pada *software minescape* berupa sayatan geoteknik, selanjutnya adalah membuat *external boundary* dan *material boundary* pada lereng tersebut dengan menggunakan *software AutoCAD Map 3D 2015*.

Tujuan dalam penggunaan *AutoCad 2010* ini adalah untuk mengimport file yang akan diolah di *software Slide V.6.0* sehingga pastikan pembuatan lapisan batuan menggunakan metode *external boundary* untuk membatasi bagian luar dari penampang desain lereng. Pastikan seluruh garis menutup sempurna sehingga menjadi sebuah bidang, dan *material boundary* untuk membatasi tiap-tiap lapisan batuan. Pembuatan *material boundary* dilakukan berdasarkan data hasil *measuring section* untuk jenis batuan dan tebalnya, sedangkan untuk geometri atau kemenerusannya mengacu pada kemenerusan dan sebaran *seam* batubara yang telah ada berdasarkan data *minescape*.

5.4.3. Slide V.6.0.

Slide V.6.0 adalah *software* yang digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng (lereng batuan atau tanah) agar mendapatkan nilai faktor keamanan (fk). Setelah didapat geometri lereng beserta *external* dan *material boundary* pada *software AutoCAD Map 2015*, langkah selanjutnya

adalah melakukan analisis kestabilan lereng pada *software Slide V.6.0* untuk mendapatkan nilai Faktor Keamanan dengan langkah pengolahan data sebagai berikut:

1. Pertama melakukan *import external boundary* yang telah dibuat pada *software AutoCAD Map 3D 2015* dengan cara klik file – import – import .DXF – check external boundary – import – pilih file external boundary yang telah dibuat sebelumnya.
2. Menentukan *material properties* pada setiap lapisan batuan pada lereng highwall-lowwall dengan cara klik kanan pada geometri lereng – material properties – tentukan strength type atau kriteria keruntuhan yang akan digunakan (dalam penelitian ini menggunakan *Mohr-Coulomb*) – tentukan nama, warna, dan material properties (bobot isi natural/kering/jenuh (kN/m^3), bobot isi jenuh (kN/m^3), kohesi (kN/m^2), dan sudut gesek dalam ($^\circ$)).
3. Menentukan metode analisis ketabilan yang akan digunakan dengan cara klik analysis – project setting – method – tentukan metode yang akan digunakan (dalam penelitian ini menggunakan Bishop Simplified).
4. Menentukan arah lereng dengan cara klik analysis – project Setting – general – direction failure – tentukan apakah Right to Left atau Left to Right tergantung pada geometri lereng yang dibuat.
5. Menginput data air tanah, dengan cara isi pore fluid unit weight sesuai data yang didapatkan pada kondisi lapangan, apabila tidak ada maka tidak perlu diisikan.
6. Menginput deskripsi project yang dibuat dengan cara klik analysis – project setting – project summary – input data-data dari project yang telah dibuat.
7. Membuat batasan zona yang akan dianalisis dengan cara klik surface - add grid – tentukan grid yang akan dianalisis sesuai dengan kebutuhan.
8. Menganalisis project yang telah dibuat dengan cara klik analysis – compute.

9. Melakukan interpretasi tipe permukaan dengan cara klik surface – surface options – pilih surface type sesuai dengan kebutuhan (circular atau non circular) – pilih search method – auto refine search – ok.
10. Melakukan interpretasi data yang telah diinput dengan cara klik analysis – interpret, maka hasil analisis kestabilan lereng akan muncul.
11. Pilih metode *Bishop simplified* untuk mengetahui nilai faktor keamanan.
12. Pada project ini, kita juga dapat menambahkan keterangan pada lereng, seperti tinggi lereng, sudut lereng, lebar lereng, dan keterangan lain menggunakan toolbar yang ada.
13. Untuk mendapatkan nilai fk lebih dari satu lereng pilih slope limit – define limits – second set of limits – kemudian letakkan limit tepat pada lereng yang akan kita lakukan analisa – maka akan muncul nilai fk pada lereng yang telah kita batasi sebelumnya.
14. Pembacaan nilai faktor keamanan mengacu pada kepmen 1827 k/30/mem/2018 tentang pedoman pelaksanaan kaidah teknik pertambangan yang baik.

5.5. Studi Porositas dan Permeabilitas Batuan Lereng Highwall-Lowwall

Porositas dan permeabilitas dalam lereng highwall berkaitan dengan jenis akuifer yang ada pada lereng highwall di lokasi penelitian. Berdasarkan fakta lapangan, lereng highwall memiliki jenis akuifer berupa akuifer tertekan (*confined aquifer*). Akuifer tertekan sepenuhnya jenuh air, bagian atas dan bawahnya dibatasi oleh lapisan kedap air atau *impermeable* (praktis mempunyai harga $k = 0$). Air di dalam akuifer ini disebut air artesian (*artesian water*). Jenis akuifer tertekan terdapat pada litologi berupa batupasir berukuran (pasir halus-pasir sangat halus), dan lapisan kedap air atau *impermeable* litologi berupa batulempung, batuserpah, dan batulanau.

Pada daerah penelitian yang memiliki potensi besar mempunyai air tanah di lokasi lereng highwall. Karena penyusun litologi yang ada di lereng highwall berupa Satuan batupasir Warukin didominasi oleh litologi berupa batupasir sebagai lapisan akuifer. Selain itu, di daerah penelitian merupakan zona atau

sumbu lipatan berupa sinklin yang memiliki potensi air masuk ke dalam pit melalui area rendahan dari sumbu sinklin tersebut.

Tabel 5.6. Hasil pengujian sifat fisik dan mekanik tanah, gravel, dan batuan pada lereng highwall.

Basic Properties											Direct Shear Test	
No Sample	Kode Sample	Litologi	ρ_n (gr/cm3)	ρ_d (gr/cm3)	ρ_s (gr/cm3)	Natural Water Content W (%)	Degree of Saturation S (%)	Porosity N (%)	Void Ratio	Permeability k (cm/s)	Cohesi (kg/cm2)	ϕ (°) Peak
1	MP_HHI_07	Soil	2,178	1,861	2,058	54,17	46,15	59,80	1,488	6,88E-02	0,0689	16,34
2	MP_HHI_08	Gravel	2,40	2,37	2,42	1,30	67,38	4,56	0,05	1,89E-07	-	-
3	MP_HHI_09	Sandstone	2,40	2,38	2,42	0,93	54,77	4,04	0,04	6,23E-06	4	25,96
4	MP_HHI_10	Claystone	2,15	2,13	2,16	1,22	73,30	3,53	0,04	1,64E-07	3,296	25,05
5	MP_HHI_11	Claystone	2,42	2,40	2,45	0,82	46,82	4,23	0,04	1,65E-07	2,572	37,72
6	MP_HHI_12	Shale	2,41	2,39	2,44	0,93	46,82	4,77	0,05	7,89E-07	3,345	30,23
7	MP_HHI_13	Siltstone	2,45	2,44	2,55	0,45	10,03	10,97	0,12	7,39E-08	0,9675	31,38
8	MP_HHI_14	Sandstone	2,43	2,35	2,45	3,39	79,34	10,04	0,11	9,25E-08	2,877	26,07
9	MP_HHI_15	Sandstone	2,40	2,37	2,49	1,17	24,14	11,50	0,13	2,18E-07	1	36,48
10	MP_HHI_16	Coal	1,37	1,33	1,41	2,83	72,88	16,61	0,08	2,24E-05	-	-

Tabel 5.7. Hasil pengujian sifat fisik dan mekanik tanah, batuan pada lereng lowwall.

Basic Properties											Direct Shear Test	
No Sample	Kode Sample	Litologi	ρ_n (gr/cm3)	ρ_d (gr/cm3)	ρ_s (gr/cm3)	Natural Water Content W (%)	Degree of Saturation S (%)	Porosity N (%)	Void Ratio	Permeability k (cm/s)	Cohesi (kg/cm2)	ϕ (°) Peak
1	MP_HHI_01	Sandstone	1,84	1,82	1,84	0,78	65,77	2,15	0,02	6,23E-06	2,582	24,32
2	MP_HHI_02	Claystone	1,91	1,90	1,92	0,65	75,53	1,63	0,02	1,67E-07	3,44	32,32
3	MP_HHI_03	Claystone	1,98	1,97	1,98	0,23	54	0,83	0,01	4,03E-07	2,898	31,65
4	MP_HHI_04	Siltstone	2,05	2,02	2,09	1,39	41,20	6,80	0,07	2,84E-07	3	34,42
5	MP_HHI_05	Sandstone	2,07	2,07	2,08	0,12	33,62	0,73	0,01	2,26E-06	3,155	27,65
6	MP_HHI_06	Claystone	2,01	2,00	2,02	0,65	60,56	2,13	0,02	6,28E-06	2,785	22,33

5.5.1. Porositas Batuan Lereng Highwall-Lowwall

5.5.1.1. Lereng Highwall

Studi porositas lereng lowwall digunakan untuk mengetahui nilai porositas dari suatu batuan. Pengambilan sampel batuan pada lereng lowwall sebanyak 6. Batuan yang diambil untuk analisis berupa batulempung dan batupasir.

Porositas lereng highwall bervariasi sesuai dengan jenis batuan yang dianalisa dilaboratorium. Pengujian untuk mendapatkan nilai porositas menggunakan uji sifat fisik batuan (*basic properties test*), sehingga akan mendapatkan nilai porositas. Nilai porositas (N) memiliki satuan persen (%).

Tabel 5.8. Nilai porositas batuan pada lereng highwall.

Basic Properties											Direct Shear Test	
No Sample	Kode Sample	Litologi	ρ_n (gr/cm3)	ρ_d (gr/cm3)	ρ_s (gr/cm3)	Natural Water Content W (%)	Degree of Saturation S (%)	Porosity N (%)	Void Ratio	Permeability k (cm/s)	Cohesi (kg/cm2)	ϕ (°) Peak
1	MP_HHI_01	Sandstone	1,84	1,82	1,84	0,78	65,77	2,15	0,02	6,23E-06	2,582	24,32
2	MP_HHI_02	Claystone	1,91	1,90	1,92	0,65	75,53	1,63	0,02	1,67E-07	3,44	32,32
3	MP_HHI_03	Claystone	1,98	1,97	1,98	0,23	54	0,83	0,01	4,03E-07	2,898	31,65
4	MP_HHI_04	Siltstone	2,05	2,02	2,09	1,39	41,20	6,80	0,07	2,84E-07	3	34,42
5	MP_HHI_05	Sandstone	2,07	2,07	2,08	0,12	33,62	0,73	0,01	2,26E-06	3,155	27,65
6	MP_HHI_06	Claystone	2,01	2,00	2,02	0,65	60,56	2,13	0,02	6,28E-06	2,785	22,33

Hasil yang didapatkan dari pengujian yaitu rata-rata nilai porositas pada lereng highwall bernilai 2,378%. Nilai porositas tersebut termasuk kedalam jenis *fine sandstone* atau batupasir halus (Bell, 1993).

5.5.1.2. Lereng Lowwall

Studi porositas lereng highwall digunakan untuk mengetahui nilai porositas dari suatu batuan. Pengambilan sampel batuan pada lereng lowwall sebanyak 10 (termasuk tanah, gravel, dan batuan). Batuan yang diambil untuk analisis berupa batulempung, batupasir, batulanau, batuserpih, dan batubara.

Porositas lereng highwall bervariasi sesuai dengan jenis batuan yang dianalisa dilaboratorium. Pengujian untuk mendapatkan nilai porositas menggunakan uji sifat fisik tanah atau batuan (*basic properties test*), sehingga akan mendapatkan nilai porositas. Nilai porositas (N) memiliki satuan persen (%).

Tabel 5.9. Nilai porositas tanah, gravel, dan batuan pada lereng lowwall.

No Sample	Kode Sample	Litologi	Basic Properties							Direct Shear Test		
			ρ_n (gr/cm ³)	ρ_d (gr/cm ³)	ρ_s (gr/cm ³)	Natural Water Content W (%)	Degree of Saturation S (%)	Porosity N (%)	Void Ratio	Permeability k (cm/s)	Cohesi (kg/cm ²)	ϕ (°) Peak
1	MP_HHI_07	Soil	2,178	1,861	2,058	54,17	46,15	59,80	1,488	6,88E-02	0,0689	16,34
2	MP_HHI_08	Gravel	2,40	2,37	2,42	1,30	67,38	4,56	0,05	1,89E-07	-	-
3	MP_HHI_09	Sandstone	2,40	2,38	2,42	0,93	54,77	4,04	0,04	6,23E-06	4	25,96
4	MP_HHI_10	Claystone	2,15	2,13	2,16	1,22	73,30	3,53	0,04	1,64E-07	3,296	25,05
5	MP_HHI_11	Claystone	2,42	2,40	2,45	0,82	46,82	4,23	0,04	1,65E-07	2,572	37,72
6	MP_HHI_12	Shale	2,41	2,39	2,44	0,93	46,82	4,77	0,05	7,89E-07	3,345	30,23
7	MP_HHI_13	Siltstone	2,45	2,44	2,55	0,45	10,03	10,97	0,12	7,39E-08	0,9675	31,38
8	MP_HHI_14	Sandstone	2,43	2,35	2,45	3,39	79,34	10,04	0,11	9,25E-08	2,877	26,07
9	MP_HHI_15	Sandstone	2,40	2,37	2,49	1,17	24,14	11,50	0,13	2,18E-07	1	36,48
10	MP_HHI_16	Coal	1,37	1,33	1,41	2,83	72,88	16,61	0,08	2,24E-05	-	-

Hasil yang didapatkan dari pengujian yaitu rata-rata nilai porositas pada lereng lowwall bernilai 7,805%. Nilai porositas tersebut termasuk kedalam jenis *coarse sandstone* atau batupasir sedang (Bell, 1993).

5.5.2. Permeabilitas Batuan Lereng Highwall-Lowwall

5.5.2.1. Lereng Highwall

Studi permeabilitas lereng highwall digunakan untuk mengetahui nilai permeabilitas dari suatu batuan. Pengambilan sampel batuan pada lereng lowwall sebanyak 6. Batuan yang diambil untuk analisis berupa batulempung, batuserpih, dan batupasir.

Permeabilitas lereng highwall bervariasi sesuai dengan jenis batuan yang dianalisa dilaboratorium. Pengujian untuk mendapatkan nilai permeabilitas menggunakan uji permeabilitas batuan (*permeability test*), sehingga akan mendapatkan nilai permeabilitas. Nilai permeabilitas (k) memiliki satuan persen (cm/s).

Tabel 5.10. Nilai permeabilitas batuan pada lereng highwall.

Basic Properties											Direct Shear Test	
No Sample	Kode Sample	Litologi	ρ_n (gr/cm ³)	ρ_d (gr/cm ³)	ρ_s (gr/cm ³)	Natural Water Content W (%)	Degree of Saturation S (%)	Porosity N (%)	Void Ratio	Permeability k (cm/s)	Cohesi (kg/cm ²)	ϕ (°) Peak
1	MP_HHI_01	Sandstone	1,84	1,82	1,84	0,78	65,77	2,15	0,02	6,23E-06	2,582	24,32
2	MP_HHI_02	Claystone	1,91	1,90	1,92	0,65	75,53	1,63	0,02	1,67E-07	3,44	32,32
3	MP_HHI_03	Claystone	1,98	1,97	1,98	0,23	54	0,83	0,01	4,03E-07	2,898	31,65
4	MP_HHI_04	Siltstone	2,05	2,02	2,09	1,39	41,20	6,80	0,07	2,84E-07	3	34,42
5	MP_HHI_05	Sandstone	2,07	2,07	2,08	0,12	33,62	0,73	0,01	2,26E-06	3,155	27,65
6	MP_HHI_06	Claystone	2,01	2,00	2,02	0,65	60,56	2,13	0,02	6,28E-06	2,785	22,33

Hasil yang didapatkan dari pengujian yaitu rata-rata nilai permeabilitas pada lereng highwall bernilai 2,6E-06 atau $2,6 \times 10^{-6}$ cm/detik = 22,464E-04 atau $22,464 \times 10^{-4}$ m/hari. Nilai permeabilitas tersebut termasuk kedalam jenis material lanau (menurut Morris dan Johnson dalam Todd, 1995) dan permeabilitas sedang (Bell, 1993). Dan jenis akuifer berdasarkan data porositas dan permeabilitas berupa akuifer (Bell, 1993).

Rock types	Porosity		Permeability range (m s ⁻¹)						Well yields			Type of water-bearing unit
	Primary (grain)%	Secondary (fracture)*	10 ⁰	10 ⁻²	10 ⁻⁴	10 ⁻⁶	10 ⁻⁸	10 ⁻¹⁰	High	Medium	Low	
			Very High	High	Medium	Low	Very Impermeable					
Sediments, unconsolidated												
Gravel	30-40											Aquifer
Coarse sand	30-40											Aquifer
Medium to fine sand	25-35											Aquifer
Silt	40-50	Occasional										Aquiclude
Clay, till	45-55	Often fissured										Aquiclude
Sediments, consolidated												
Limestone, dolostone	1-50	Solution joints										Aquifer or aquiclude
Coarse, medium sandstone	<20	Joints and bedding planes										Aquifer or aquiclude
Fine sandstone	<10	Joints and bedding planes										Aquifer or aquiclude
Shale, Siltstone	-	Joints and bedding planes										Aquiclude or aquifer
Volcanic rocks, e.g. basalt	-	Joints and "bedding" planes										Aquifer or aquiclude
Plutonic and metamorphic rocks		Weathering and joints decreasing as depth increases										Aquiclude or aquifer

*Rarely exceeds 10%

Gambar 5.4. Hubungan nilai porositas dan permeabilitas lereng highwall.

5.5.2.2. Lereng Lowwall

Studi permeabilitas lereng lowwall digunakan untuk mengetahui nilai permeabilitas dari suatu batuan. Pengambilan sampel batuan pada lereng lowwall sebanyak 10 (termasuk tanah, gravel, dan batuan). Batuan yang diambil untuk analisis berupa batulempung, batupasir, batulanau, batuserpih, dan batubara.

Permeabilitas lereng lowwall bervariasi sesuai dengan jenis batuan yang dianalisa dilaboratorium. Pengujian untuk mendapatkan nilai permeabilitas menggunakan uji permeabilitas tanah atau batuan (*permeability test*), sehingga

akan mendapatkan nilai permeabilitas. Nilai permeabilitas (k) memiliki satuan persen (cm/s).

Tabel 5.11. Nilai permeabilitas tanah, gravel, dan batuan pada lereng lowwall.

Basic Properties											Direct Shear Test	
No Sample	Kode Sample	Litologi	ρ_n (gr/cm3)	ρ_d (gr/cm3)	ρ_s (gr/cm3)	Natural Water Content W (%)	Degree of Saturation S (%)	Porosity N (%)	Void Ratio	Permeability k (cm/s)	Cohesi (kg/cm2)	ϕ (°) Peak
1	MP_HHI_07	Soil	2,178	1,861	2,058	54,17	46,15	59,80	1,488	6,88E-02	0,0689	16,34
2	MP_HHI_08	Gravel	2,40	2,37	2,42	1,30	67,38	4,56	0,05	1,89E-07	-	-
3	MP_HHI_09	Sandstone	2,40	2,38	2,42	0,93	54,77	4,04	0,04	6,23E-06	4	25,96
4	MP_HHI_10	Claystone	2,15	2,13	2,16	1,22	73,30	3,53	0,04	1,64E-07	3,296	25,05
5	MP_HHI_11	Claystone	2,42	2,40	2,45	0,82	46,82	4,23	0,04	1,65E-07	2,572	37,72
6	MP_HHI_12	Shale	2,41	2,39	2,44	0,93	46,82	4,77	0,05	7,89E-07	3,345	30,23
7	MP_HHI_13	Siltstone	2,45	2,44	2,55	0,45	10,03	10,97	0,12	7,39E-08	0,9675	31,38
8	MP_HHI_14	Sandstone	2,43	2,35	2,45	3,39	79,34	10,04	0,11	9,25E-08	2,877	26,07
9	MP_HHI_15	Sandstone	2,40	2,37	2,49	1,17	24,14	11,50	0,13	2,18E-07	1	36,48
10	MP_HHI_16	Coal	1,37	1,33	1,41	2,83	72,88	16,61	0,08	2,24E-05	-	-

Hasil yang didapatkan dari pengujian yaitu rata-rata nilai permeabilitas pada lereng lowwall bernilai 0,0000440834 cm/detik = 4,40834E-05 atau $3,8 \times 10^{-2}$ m/hari. Nilai permeabilitas tersebut kecuali data tanah dan gravel termasuk kedalam jenis material lanau (menurut Morris dan Johnson dalam Todd, 1995) dan permeabilitas tinggi (Bell, 1993). Dan jenis akuifer berdasarkan data porositas dan permeabilitas berupa akuifer atau akuiklud (Bell, 1993).

Rock types	Porosity		Permeability range (m s ⁻¹)					Well yields			Type of water-bearing unit	
	Primary (grain)%	Secondary (fracture)*	10 ⁰	10 ⁻²	10 ⁻⁴	10 ⁻⁶	10 ⁻⁸	10 ⁻¹⁰	High	Medium		Low
			Very High	High	Medium	Low	Very Impermeable					
Sediments, unconsolidated												
Gravel	30-40											Aquifer
Coarse sand	30-40											Aquifer
Medium to fine sand	25-35											Aquifer
Silt	40-50	Occasional										Aquiclude
Clay, till	45-55	Often fissured										Aquiclude
Sediments, consolidated												
Limestone, dolostone	1-50	Solution joints										Aquifer or aquiclude
Coarse, medium sandstone	<20	Joints and bedding planes										Aquifer or aquiclude
Fine sandstone	<10	Joints and bedding planes										Aquifer or aquiclude
Shale, Siltstone	-	Joints and bedding planes										Aquiclude or aquifer
Volcanic rocks, e.g. basalt	-	Joints and "bedding" planes										Aquifer or aquiclude
Plutonic and metamorphic rocks		Weathering and joints decreasing as depth increases										Aquiclude or aquifer

*Rarely exceeds 10%

Gambar 5.5. Hubungan nilai porositas dan permeabilitas lereng lowwall.

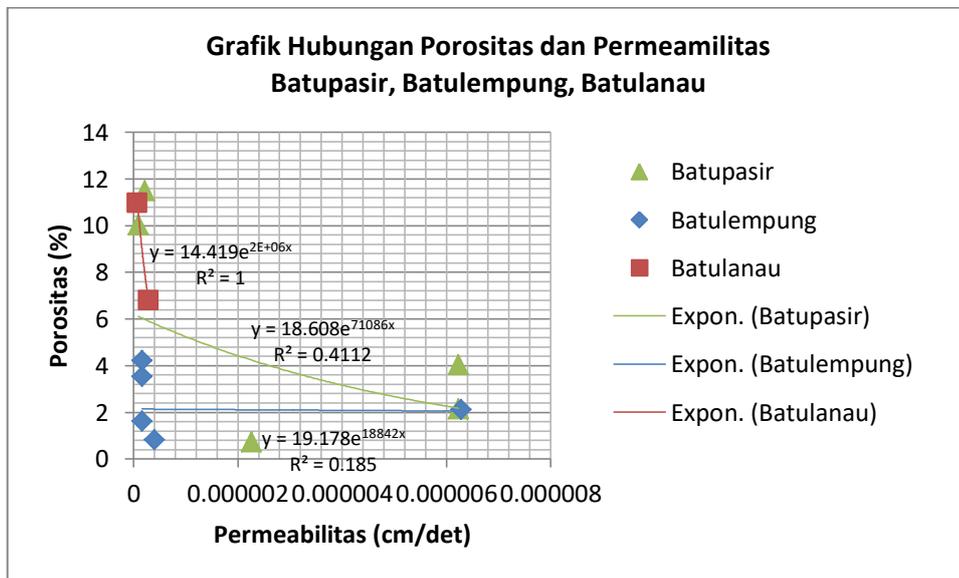
5.5.3. Hubungan Porositas dan Permeabilitas Batuan Lereng Highwall-Lowwall Terhadap Kestabilan Lereng

Hubungan parameter kestabilan lereng berupa data berat isi (ρ), kohesi (c), dan sudut geser (ϕ) terhadap porositas dan permeabilitas akan saling berkaitan.

Hubungan tersebut akan saling dikaitkan untuk mengetahui fungsi setiap parameter dalam analisis kestabilan lereng.

5.5.3.1. Hubungan Porositas dan Permeabilitas Lereng Highwall-Lowwall

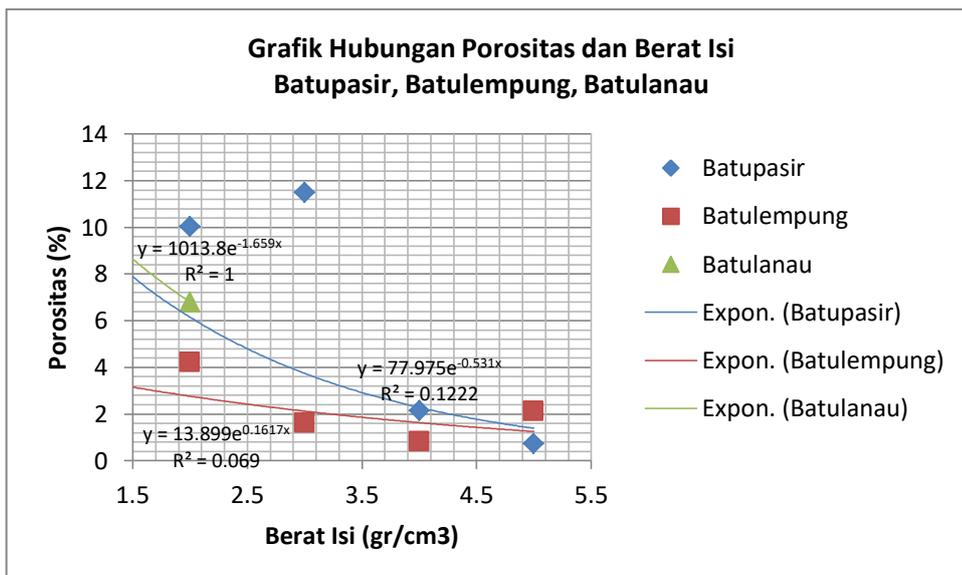
Pada satuan lereng highwall-lowwall terdapat lima (5) sampel batupasir, lima (5) sampel batulempung, dan dua (dua) sampel batulanau. Korelasi porositas terhadap permeabilitas dalam grafik dengan persamaan ($y = 18,608e^{71086x}$ dan $R^2 = 0,4112$, batupasir), ($y = 19,178e^{18842x}$ dan $R^2 = 0,185$, batulempung), dan ($y = 14,419e^{2E+06x}$ dan $R^2 = 1$, batulanau). Dari hasil persamaan tersebut disajikan dalam grafik hubungan pada (Gambar 5.5.)



Gambar 5.6. Hubungan porositas dengan permeabilitas lereng highwall-lowwall.

5.5.3.2. Hubungan Porositas dengan Berat Isi Lereng Highwall-Lowwall

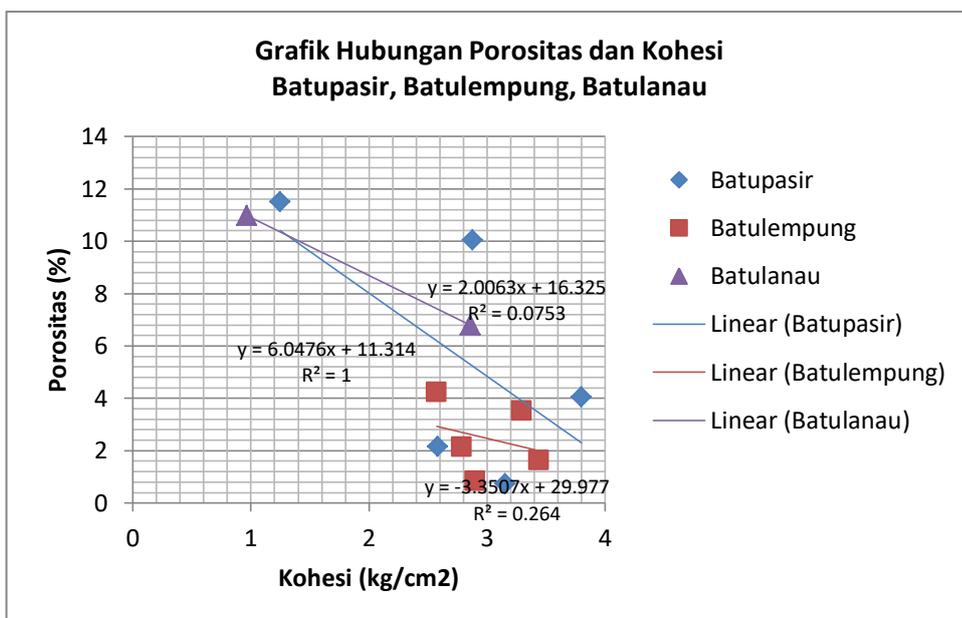
Pada satuan lereng highwall-lowwall terdapat lima (5) sampel batupasir, lima (5) sampel batulempung, dan dua (dua) sampel batulanau. Korelasi porositas terhadap berat isi dalam grafik dengan persamaan ($y = 77.975e^{-0.531x}$ dan $R^2 = 0.1222$, batupasir), ($y = 13.899e^{0.1617x}$ dan $R^2 = 0.069$, batulempung), dan ($y = 1013.8e^{-1.659x}$ dan $R^2 = 1$, batulanau). Dari hasil persamaan tersebut disajikan dalam grafik hubungan pada (Gambar 5.6.)



Gambar 5.7. Hubungan porositas dengan berat isi (*saturated*) lereng highwall-lowwall.

5.5.3.3. Hubungan Porositas dengan Kohesi Lereng Highwall-Lowwall

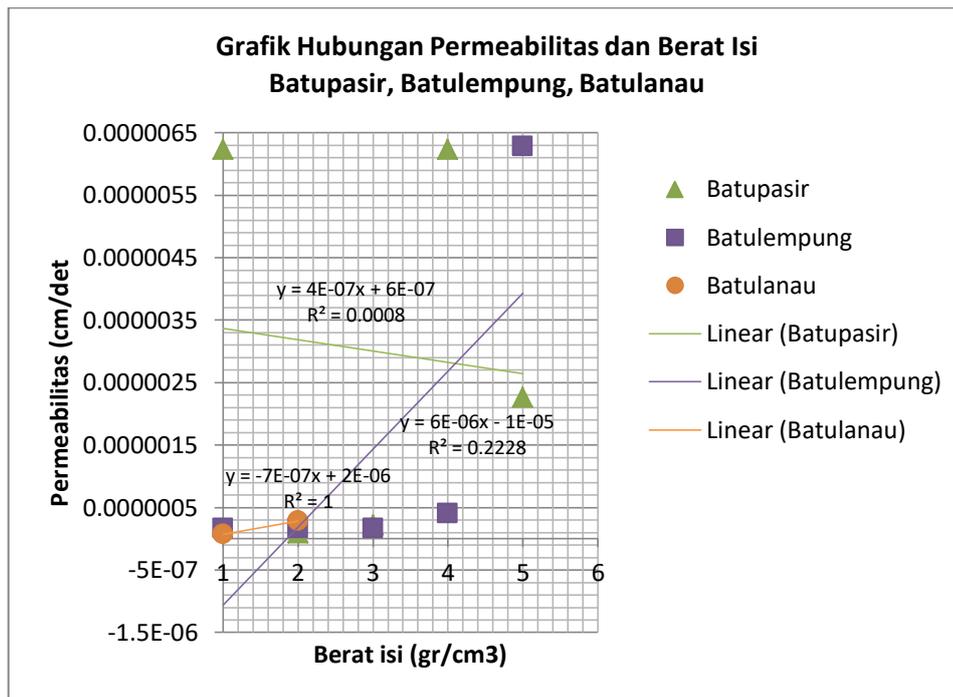
Pada satuan lereng highwall-lowwall terdapat lima (5) sampel batupasir, lima (5) sampel batulempung, dan dua (dua) sampel batulanau. Korelasi porositas terhadap kohesi dalam grafik dengan persamaan ($y = 2.0063x + 16.325$ dan $R^2 = 0.0753$, batupasir), ($y = -3.3507x + 29.977$ dan $R^2 = 0.264$, batulempung), dan ($y = 6.0476x + 11.314$ dan $R^2 = 1$, batulanau). Dari hasil persamaan tersebut disajikan dalam grafik hubungan pada (Gambar 5.7.)



Gambar 5.8. Hubungan porositas dengan kohesi lereng highwall-lowwall.

5.5.3.4. Hubungan Permeabilitas dengan Berat Isi Lereng Highwall-Lowwall

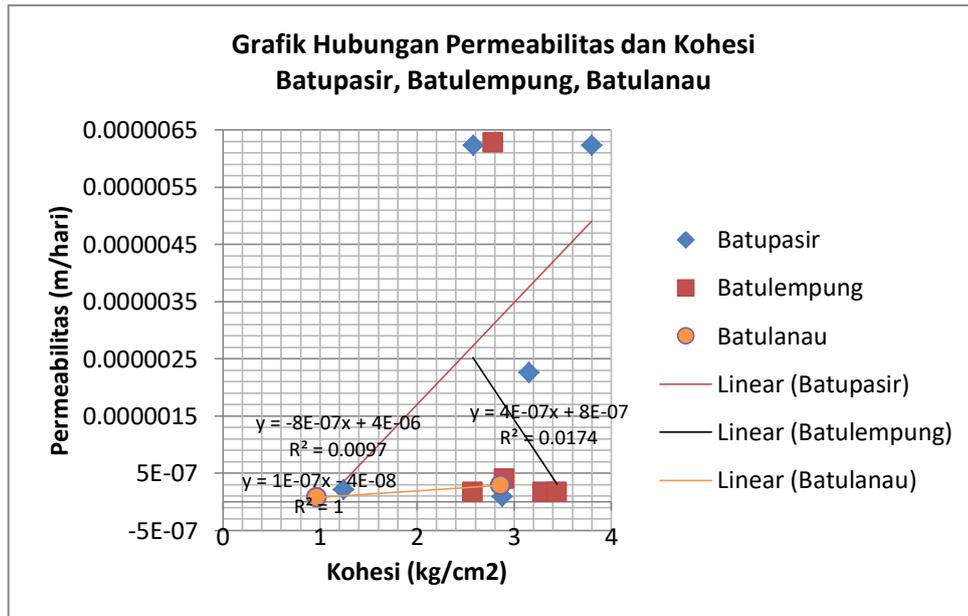
Pada satuan lereng highwall-lowwall terdapat lima (5) sampel batupasir, lima (5) sampel batulempung, dan dua (dua) sampel batulanau. Korelasi permeabilitas terhadap berat isi dalam grafik dengan persamaan ($y = 6E-06x - 1E-05$ dan $R^2 = 0.2228$, batupasir), ($y = 4E-07x + 6E-07$ dan $R^2 = 0.0008$, batulempung), dan ($y = 7E-07x + 2E-06$ dan $R^2 = 1$, batulanau). Dari hasil persamaan tersebut disajikan dalam grafik hubungan pada (Gambar 5.8.)



Gambar 5.9. Hubungan permeabilitas dengan berat isi lereng highwall-lowwall.

5.5.3.5. Hubungan Permeabilitas dengan Kohesi Lereng Highwall-Lowwall

Pada satuan lereng highwall-lowwall terdapat lima (5) sampel batupasir, lima (5) sampel batulempung, dan dua (dua) sampel batulanau. Korelasi permeabilitas terhadap kohesi dalam grafik dengan persamaan ($y = 4E-07x + 8E-07$ dan $R^2 = 0.0174$, batupasir), ($y = -8E-07x + 4E-06$ dan $R^2 = 0.0097$, batulempung), dan ($y = 1E-07x - 4E-08$ dan $R^2 = 1$, batulanau). Dari hasil persamaan tersebut disajikan dalam grafik hubungan pada (Gambar 5.9.)



Gambar 5.10. Hubungan permeabilitas dengan kohesi lereng highwall-lowwall.

5.5.3.6. Korelasi Hubungan Porositas dan Permeabilitas Terhadap Kestabilan Lereng Highwall-Lowwall

Korelasi hubungan porositas dan permeabilitas batuan lereng highwall berkaitan dengan hasil data sifat fisik dan mekanik. Sifat-sifat yang terpengaruh dari hasil porositas dan permeabilitas berupa data berat isi (ρ) dan kohesi (c). Dari hasil analisis laboratorium enam (6) sampel yang diambil di lereng highwall, tidak digunakan untuk analisis kestabilan lereng, karena hasil analisis tidak merepresentasikan kondisi aktual dilapangan. Sehingga data yang digunakan untuk analisis kestabilan lereng menggunakan data dari lereng lowwall.

Korelasi hubungan porositas dan permeabilitas batuan lereng lowwall berkaitan dengan hasil data sifat fisik dan mekanik. Sifat-sifat yang terpengaruh dari hasil porositas dan permeabilitas berupa data berat isi (ρ) dan kohesi (c). Dari hasil analisis laboratorium enam (10) sampel yang diambil di lereng lowwall, digunakan untuk analisis kestabilan lereng, karena hasil analisis merepresentasikan kondisi aktual dilapangan. Sehingga data yang digunakan untuk analisis kestabilan lereng menggunakan data dari lereng lowwall. Dan analisis kestabilan lereng mencari nilai faktor keamanan (FK) yang terendah digunakan untuk mengantisipasi kemungkinan yang terburuk dalam kondisi lereng secara aktual.

Berikut merupakan material properties batuan yang digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng Highwall berdasarkan hasil analisis laboratorium berdasarkan pengujian sifat fisik batuan (*basic properties test*) dan sifat mekanik batuan (*direct shear test*):

1 Batulanau (MP_HHI_13)

- Porositas = 10,97%
- Permeabilitas = 7,39E-08 cm/s
- Berat isi (*saturated*) = 2,55 gr/cm³
- Kohesi = 0,9675 kg/cm²
- Sudut geser dalam = 31,38°

2 Batulempung (MP_HHI_10)

- Porositas = 3,53%
- Permeabilitas = 1,64E-07 cm/s
- Berat isi (*saturated*) = 2,16 gr/cm³
- Kohesi = 3,296 kg/cm²
- Sudut geser dalam = 25,05°

3 Batulempung (MP_HHI_11)

- Porositas = 4,23%
- Permeabilitas = 1,65E-07 cm/s
- Berat isi (*saturated*) = 2,45 gr/cm³
- Kohesi = 2,572 kg/cm²
- Sudut geser dalam = 37,72°

4 Batupasir (MP_HHI_14)

- Porositas = 10,04%
- Permeabilitas = 9,25E-08 cm/s
- Berat isi (*saturated*) = 2,45 gr/cm³
- Kohesi = 2,877 kg/cm²
- Sudut geser dalam = 26,07°

5 Batupasir (MP_HHI_15)

- Porositas = 11,50%
- Permeabilitas = 2,18E-07 cm/s
- Berat isi (*saturated*) = 2,49 kg/cm³
- Kohesi = 1,2455 kg/cm²

- Sudut geser dalam = 36,48°
- 6 Batuserpih (MP_HHI_12)
- Porositas = 4,77%
 - Permeabilitas = 7,89E-07 cm/s
 - Berat isi (*saturated*) = 2,44 gr/cm³
 - Kohesi = 3,345 kg/cm²
 - Sudut geser dalam = 30,23°

Berdasarkan analisis kestabilan lereng dengan berdasarkan data berkaitan dengan porositas dan permeabilitas didapatkan nilai faktor keamanan (FK) lereng highwall sebagai berikut:

Tabel 5.12. Korelasi hubungan porositas dan permeabilitas dengan nilai FK 1,853 lereng highwall sayatan No. 3.

No	Nilai porositas (%)		Nilai permeabilitas (cm/s)	Sayatan Lereng (Highwall)	Jenis Lereng	Keparahan Longsor	FK Statis	FK Statis menurut Kepmen 1827
1	Batulanau	10,97	7,39E-08	No 3	Keseluruhan (Overall)	Tinggi	1,853	1,3-1,5
2	Batulempung	3,53	1,64E-07					
		4,23	1,65E-07					
3	Batupasir	10,04	9,25E-08					
		11,50	2,18E-07					
4	Batuserpih	4,77	7,89E-07					

Tabel 5.13. Korelasi hubungan porositas dan permeabilitas dengan nilai FK 1,582 lereng highwall sayatan No. 13.

No	Nilai porositas (%)		Nilai permeabilitas (cm/s)	Sayatan Lereng (Highwall)	Jenis Lereng	Keparahan Longsor	FK Statis	FK Statis menurut Kepmen 1827
1	Batulanau	10,97	7,39E-08	No 13	Keseluruhan (Overall)	Tinggi	1,582	1,3-1,5
2	Batulempung	3,53	1,64E-07					
		4,23	1,65E-07					
3	Batupasir	10,04	9,25E-08					
		11,50	2,18E-07					
4	Batuserpih	4,77	7,89E-07					

Tabel 5.14. Korelasi hubungan porositas dan permeabilitas dengan nilai FK 2,246 lereng highwall sayatan No. 17.

No	Nilai porositas (%)		Nilai permeabilitas (cm/s)	Sayatan Lereng (Highwall)	Jenis Lereng	Keparahan Longsor	FK Statis	FK Statis menurut Kepmen 1827
1	Batulanau	10,97	7,39E-08	No 17	Keseluruhan (Overall)	Tinggi	2,246	1,3-1,5
2	Batulempung	3,53	1,64E-07					
		4,23	1,65E-07					
3	Batupasir	10,04	9,25E-08					
		11,50	2,18E-07					
4	Batuserpih	4,77	7,89E-07					

Berikut merupakan material properties batuan yang digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng lowwall berdasarkan hasil analisis laboratorium berdasarkan pengujian sifat fisik batuan (*basic properties test*) dan sifat mekanik batuan (*direct shear test*):

1 Batulanau (MP_HHI_04)

- Porositas = 6,80%
- Permeabilitas = $2,84E-07$ cm/s
- Berat isi (*saturated*) = 2,09 gr/cm³
- Kohesi = 2,8589 kg/cm²
- Sudut geser dalam = 34,42°

2 Batulempung (MP_HHI_02)

- Porositas = 1,63%
- Permeabilitas = $6,23E-06$ cm/s
- Berat isi (*saturated*) = 1,92 gr/cm³
- Kohesi = 3,44 kg/cm²
- Sudut geser dalam = 32,32°

3 Batulempung (MP_HHI_06)

- Porositas = 2,13%
- Permeabilitas = $6,28E-06$ cm/s
- Berat isi = 2,02 gr/cm³
- Kohesi = 2,785 kg/cm²
- Sudut geser dalam = 22,33°

4 Batupasir (MP_HHI_01)

- Porositas = 2,15%
- Permeabilitas = $6,23E-06$ cm/s
- Berat isi (*saturated*) = 1,84 gr/cm³
- Kohesi = 2,582 kg/cm²
- Sudut geser dalam = 24,32°

5 Batupasir (MP_HHI_05)

- Porositas = 0,73%
- Permeabilitas = $2,26E-06$ cm/s
- Berat isi (*saturated*) = 2,08 gr/cm³
- Kohesi = 3,155 kg/cm²
- Sudut geser dalam = 27,65°

6 Batuserpih (MP_HHI_12)

- Porositas = 4,77%
- Permeabilitas = 7,89E-07 cm/s
- Berat isi (*saturated*) = 2,44 gr/cm³
- Kohesi = 3,345 kg/cm²
- Sudut geser dalam = 30,23°

Berdasarkan analisis kestabilan lereng dengan berdasarkan data berkaitan dengan porositas dan permeabilitas didapatkan nilai faktor keamanan (FK) lereng lowwall sebagai berikut:

Tabel 5.15. Korelasi hubungan porositas dan permeabilitas dengan nilai FK 0,608 lereng lowwall sayatan No. 3.

No	Nilai porositas (%)		Nilai permeabilitas (cm/s)	Sayatan Lereng (lowwall)	Jenis Lereng	Keparahan Longsor	FK Statis	FK Statis menurut Kepmen 1827
1	Batulanau	6,80	2,84E-07	No 3	Keseluruhan (Overall)	Rendah	0,608	1,2-1,3
2	Batulempung	1,63	6,23E-06					
		2,13	6,28E-06					
3	Batupasir	2,15	6,23E-06					
		0,73	2,26E-06					
4	Batuserpih	4,77	7,89E-07					

Tabel 5.16. Korelasi hubungan porositas dan permeabilitas dengan nilai FK 1,859 lereng lowwall sayatan No. 13.

No	Nilai porositas (%)		Nilai permeabilitas (cm/s)	Sayatan Lereng (lowwall)	Jenis Lereng	Keparahan Longsor	FK Statis	FK Statis menurut Kepmen 1827
1	Batulanau	6,80	2,84E-07	No 13	Keseluruhan (Overall)	Tinggi	1,859	1,3-1,5
2	Batulempung	1,63	6,23E-06					
		2,13	6,28E-06					
3	Batupasir	2,15	6,23E-06					
		0,73	2,26E-06					
4	Batuserpih	4,77	7,89E-07					

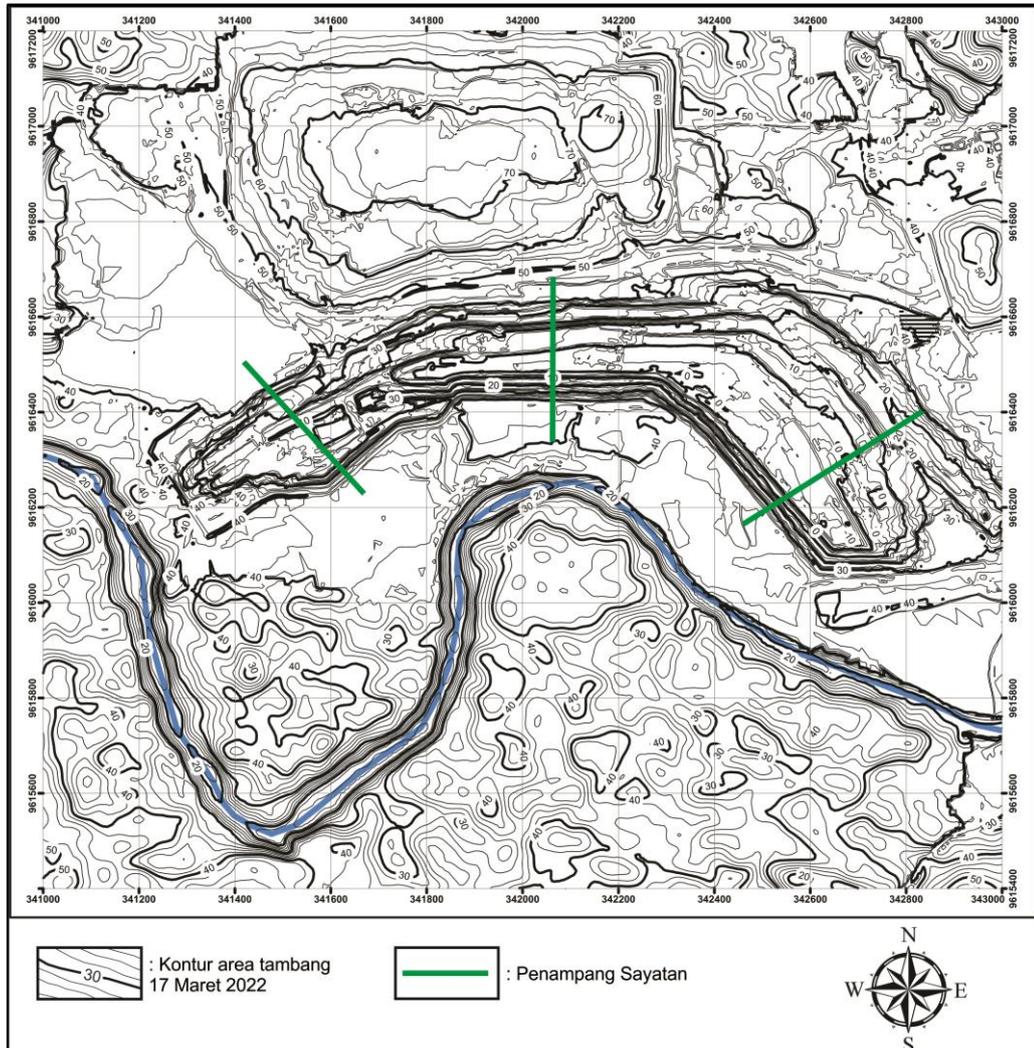
Tabel 5.17. Korelasi hubungan porositas dan permeabilitas dengan nilai FK 4,032 lereng lowwall sayatan No. 17.

No	Nilai porositas (%)		Nilai permeabilitas (cm/s)	Sayatan Lereng (lowwall)	Jenis Lereng	Keparahan Longsor	FK Statis	FK Statis menurut Kepmen 1827
1	Batulanau	6,80	2,84E-07	No 17	Keseluruhan (Overall)	Tinggi	4,032	1,3-1,5
2	Batulempung	1,63	6,23E-06					
		2,13	6,28E-06					
3	Batupasir	2,15	6,23E-06					
		0,73	2,26E-06					
4	Batuserpih	4,77	7,89E-07					

5.6. Kajian Kestabilan Lereng Highwall-Lowwall

5.6.1. Kondisi Lereng yang Dikaji

Lokasi penelitian terletak pada area Pit PT. Mitra Setia Tanah Bumbu-CV. Hidup Hidayah Ilahi dengan penyusun batuan berupa Satuan batulempung Warukin yang didominasi oleh batuan berbutir halus-sangat halus berupa batulempung berada di bagian lereng lowwall. Terdapat 17 seam batubara pada daerah penelitian. Satuan batupasir Warukin yang didominasi oleh batuan berbutir sedang-halus berupa batupasir berada di bagian lereng highwall. Kemudian lapisan paling atas terdapat endapan aluvial yang didominasi oleh material lepas dan endapan semi terkonsolidasi berupa (*Aluvial*). Pada area Pit 17 Maret 2022 (Gambar 5.17) memiliki kemiringan lereng sebesar 76° pada bagian barat, memiliki kemiringan lereng sebesar 60° pada bagian tengah, dan memiliki kemiringan lereng sebesar 35° pada bagian timur. Ada beberapa titik area tambang pada bagian lowwall yang berpotensi atau telah mengalami longsoran berupa longsoran bidang dan busur. Maka perlu dilakukan kajian geologi teknik untuk menanggulangi terjadinya bencana alam berupa longsor yang akan menyebabkan kerugian ekonomi maupun kerugian korban jiwa.



Gambar 5.11. Peta lokasi penelitian pada area tambang 17 Maret 2022.

Untuk fokus penelitian tentang lereng yang akan dikaji, penulis membuat garis penampang sayatan, pemilihan lokasi penampang dikarenakan kondisi pada lereng tersebut merupakan kondisi lereng yang dapat mewakili dari kondisi seluruh area tambang pada daerah penelitian, dan juga memiliki variasi litologi yang paling lengkap. Sehingga semua kajian kestabilan lereng terletak pada garis penampang sayatan. Berdasarkan kondisi lereng pada daerah penelitian, maka analisis yang dilakukan akan dibagi menjadi 3 bagian sebagai berikut:

1. Analisis Lereng Aktual

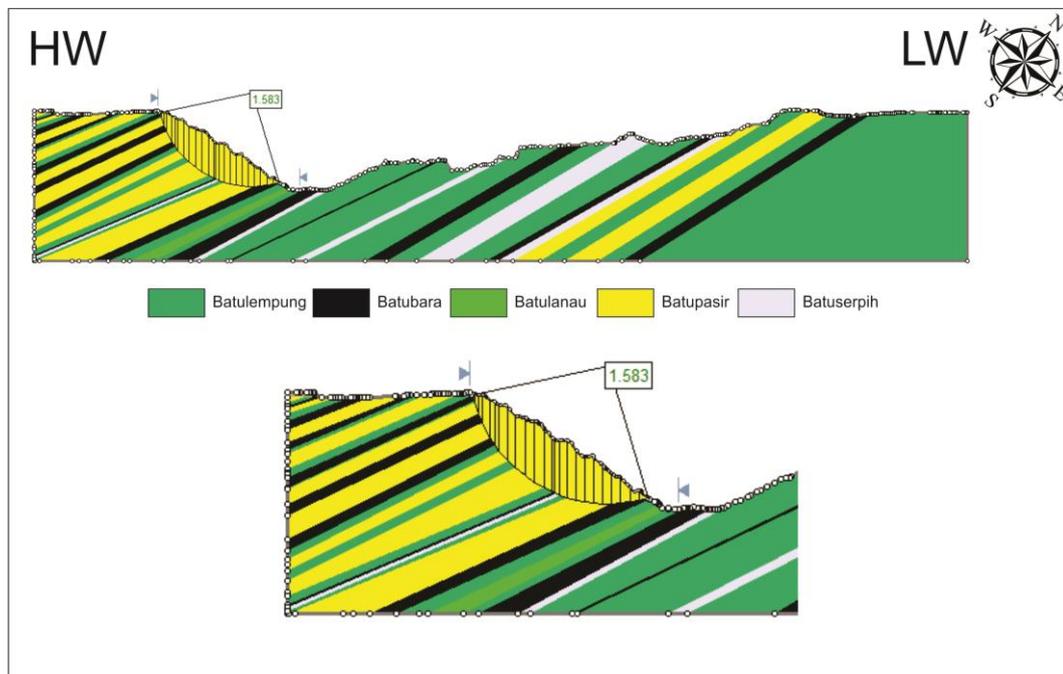
Analisis lereng aktual bertujuan untuk mengetahui tingkat keamanan/kestabilan lereng aktual yang terdapat pada lokasi penambangan.

2. Upaya peningkatan kestabilan lereng

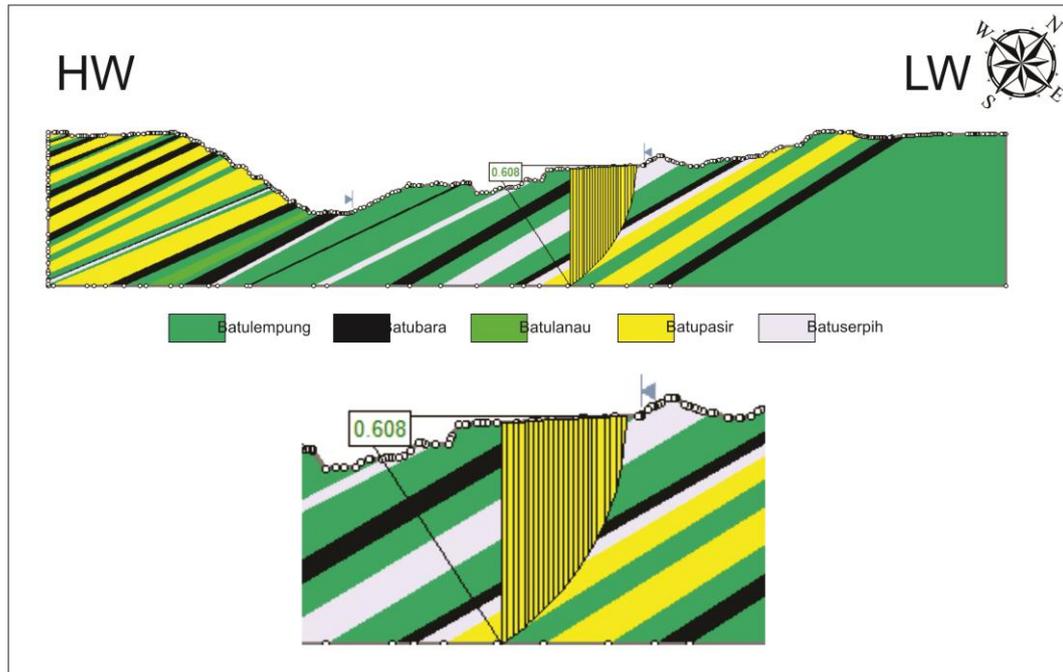
Upaya peningkatan kestabilan lereng bertujuan untuk memberikan rekomendasi apabila hasil kajian lereng desain final mempunyai nilai FK tidak aman.

5.6.2. Sayatan No. 3 (Highwall-Lowwall Bagian Timur)

Berdasarkan hasil model analisa kestabilan lereng aktual area bukaa tambang/pit Maret 2022 sayatan No. 3 dengan metode LEM menggunakan software Slide 6.0 pada kondisi statis menunjukkan bahwa lereng highwall memiliki nilai Faktor Keamanan (FK) dengan metode Bishop sebesar 1,583 (Gambar 5.12). Sedangkan pada lereng lowwall memiliki nilai Faktor Keamanan (FK) metode Bishop sebesar 0,608 (Gambar 5.13).



Gambar 5.12. Hasil analisa LEM *software* slide pada lereng highwall metode Bishop FK 1,583.

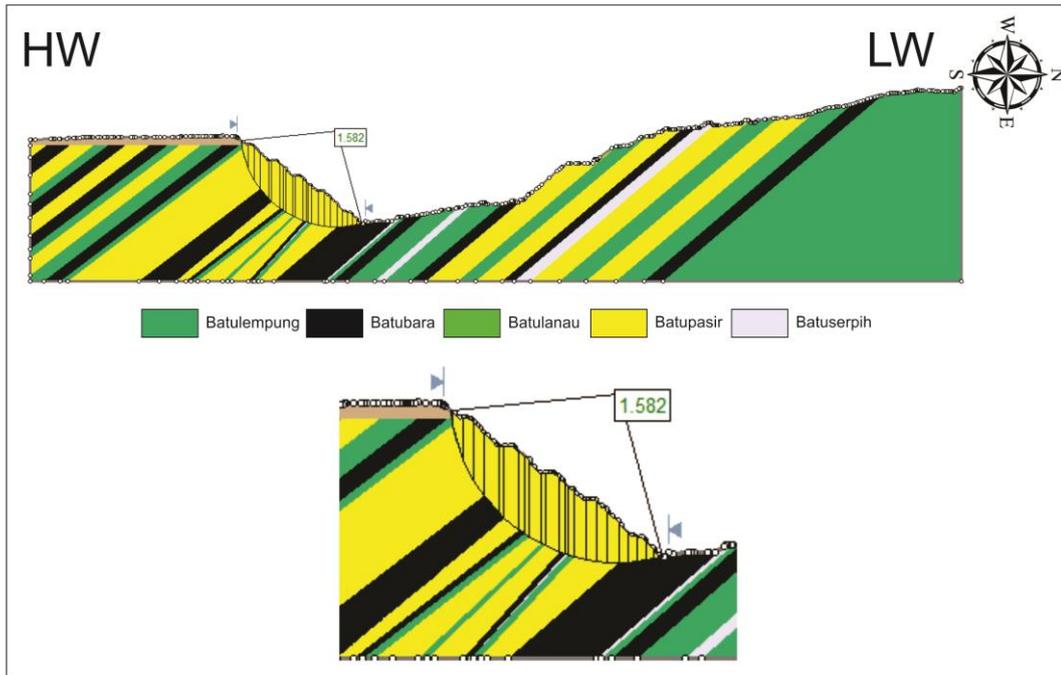


Gambar 5.13. Hasil analisa LEM *software* slide pada lereng lowwall metode Bishop FK 0,608.

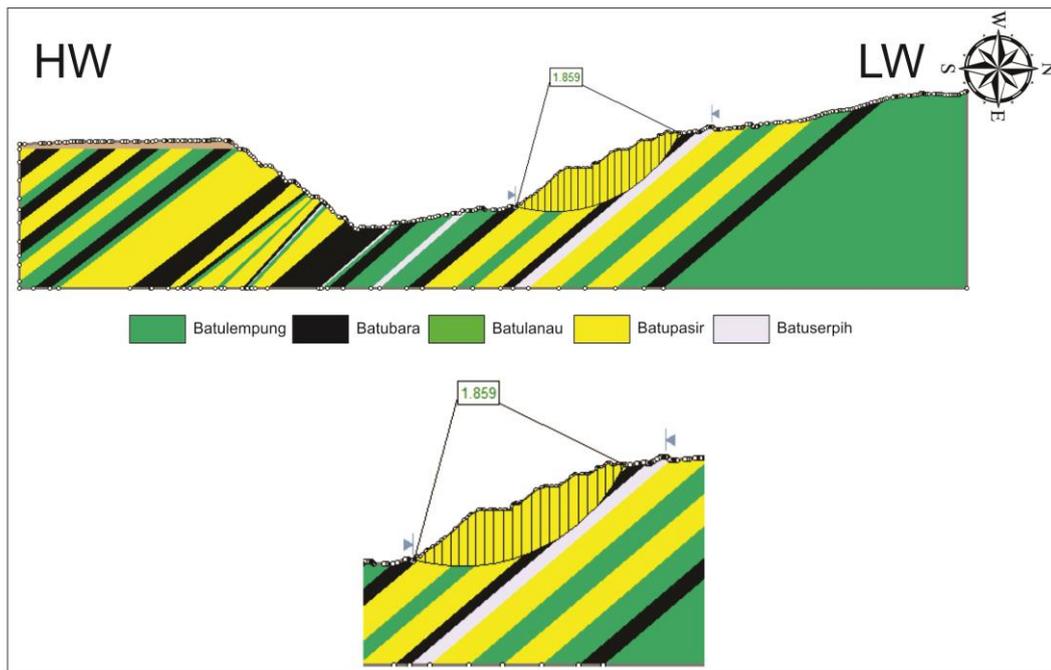
Nilai faktor keamanan lereng highwall sayatan No. 3 dengan kondisi statis berdasarkan Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K-30-MEM-2018 untuk keparahan longsor tinggi dengan nilai FK 1,3-1,5. Sedangkan nilai faktor keamanan lereng lowwall dengan kondisi statis berdasarkan Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K-30-MEM-2018 untuk keparahan longsor rendah dengan nilai FK 1,1.

5.6.3. Sayatan No. 13 (Highwall-Lowwall Bagian Tengah)

Berdasarkan hasil model analisa kestabilan lereng aktual area bukaa tambang/pit Maret 2022 sayatan No. 13 dengan metode LEM menggunakan software Slide 6.0 pada kondisi statis menunjukkan bahwa lereng highwall memiliki nilai Faktor Keamanan (FK) metode Bishop sebesar 1,582 (Gambar 5.14). Sedangkan pada lereng lowwall memiliki nilai Faktor Keamanan (FK) metode Bishop sebesar 1,859 (Gambar 5.15).



Gambar 5.14. Hasil analisa LEM *software* slide pada lereng highwall metode Bishop FK 1,582.



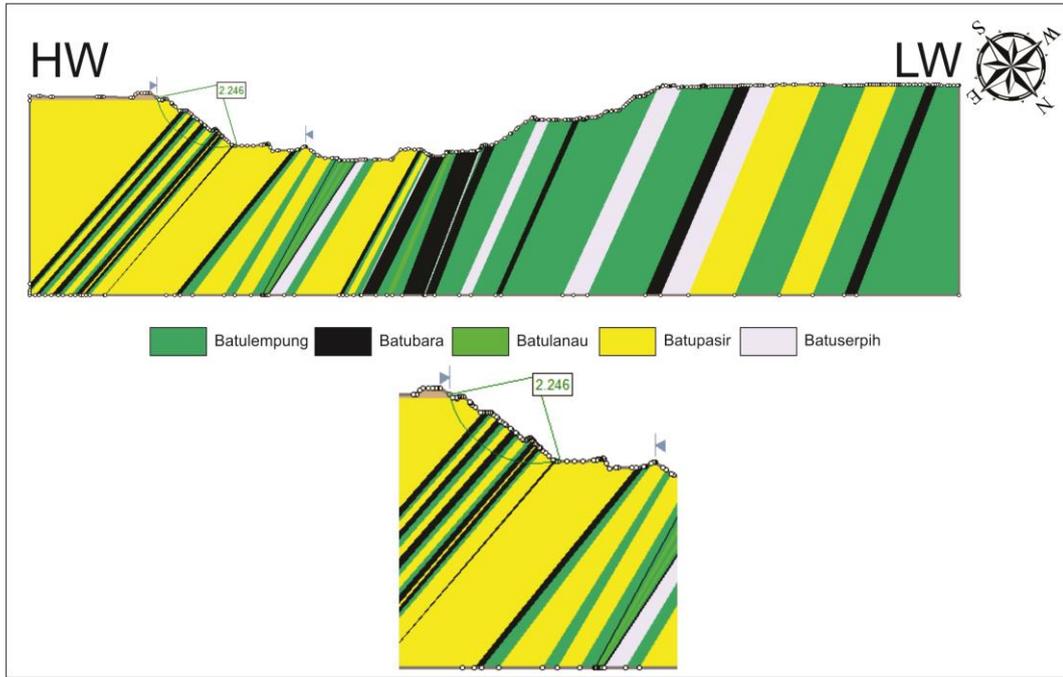
Gambar 5.15. Hasil analisa LEM *software* slide pada lereng lowwall metode Bishop FK 1,859.

Nilai faktor keamanan pada lereng highwall dan lowwall sayatan No.13 dengan kondisi statis berdasarkan Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K-30-MEM-2018 untuk keparahan longsor tinggi dengan nilai FK 1,3-1,5.

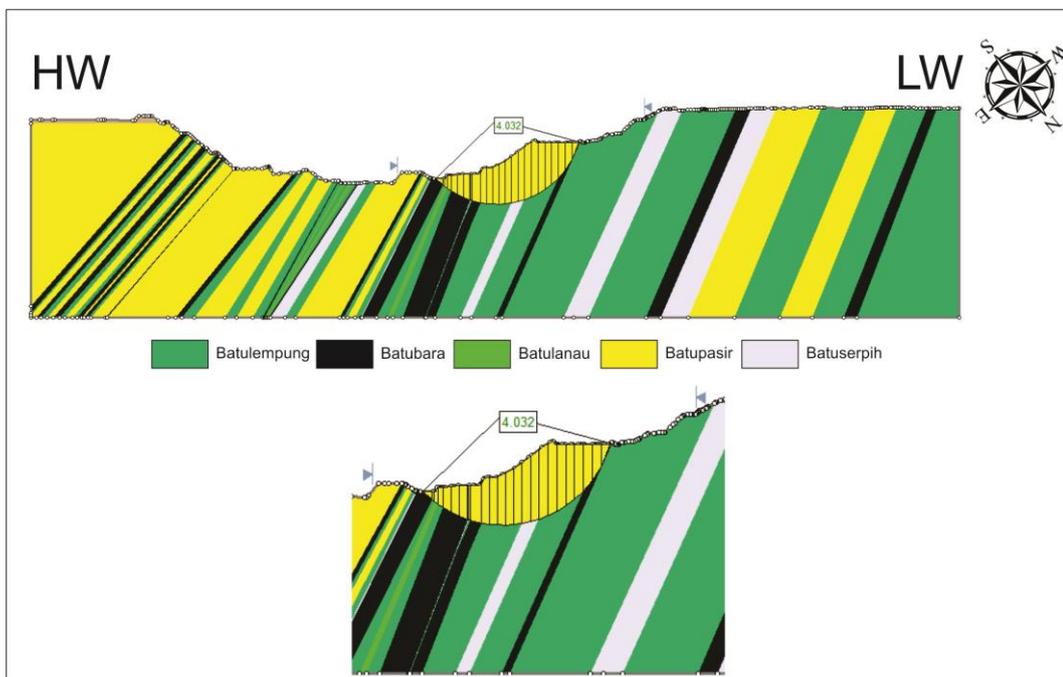
5.6.4. Sayatan No. 17 (Highwall-Lowwall Bagian Barat)

Berdasarkan hasil model analisa kestabilan lereng aktual area bukaa tambang/pit Maret 2022 sayatan No. 17 dengan metode LEM menggunakan

software Slide 6.0 pada kondisi statis menunjukkan bahwa lereng highwall memiliki nilai Faktor Keamanan (FK) metode Bishop sebesar 2,246 (Gambar 5.16). Sedangkan pada lereng lowwall memiliki nilai Faktor Keamanan (FK) metode Bishop sebesar 4,032 (Gambar 5.17).



Gambar 5.16. Hasil analisa LEM *software* slide pada lereng highwall metode Bishop FK 2,246.



Gambar 5.17. Hasil analisa LEM *software* slide pada lereng lowwall metode Bishop FK 4,032.

Nilai faktor keamanan pada lereng highwall dan lowwall sayatan No.17 dengan kondisi statis berdasarkan Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K-30-MEM-2018 untuk keparahan longsor tinggi dengan nilai FK 1,3-1,5.

5.7. Rekomendasi Peningkatan Kestabilan Lereng Highwall-Lowwall

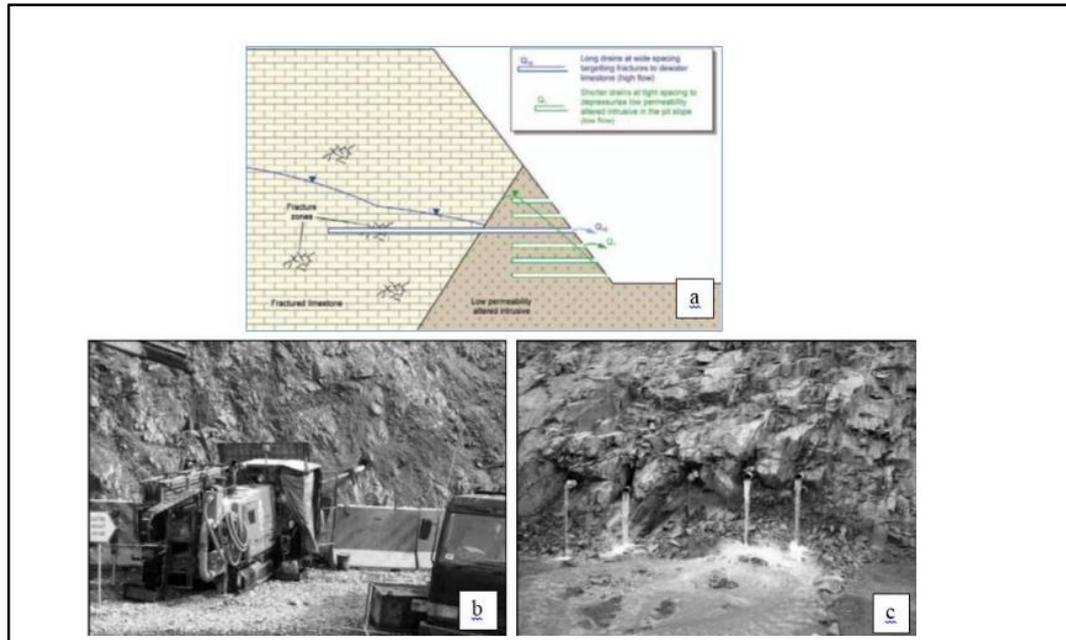
Rekomendasi peningkatan kestabilan lereng akan mempengaruhi bentuk atau desain lereng. Peningkatan geometri lereng dilakukan dengan cara merubah besar geometri lereng dengan tetap mempertahankan target *seam* batubara pada target awal, dengan kata lain target *seam* batubara paling bawah tidak akan dihilangkan.

Upaya peningkatan kestabilan lereng bertujuan untuk memberikan rekomendasi apabila hasil kajian lereng desain final mempunyai nilai FK tidak aman.

5.7.1. Penempatan Horizontal Drain Hole di Lereng Tambang

Drain hole merupakan cara untuk mengatasi lereng tambang yang memiliki kejenuhan air tanah yang cukup tinggi. Metode ini bertujuan untuk menurunkan muka air tanah di sekitar area lereng dalam rangka untuk lereng tetap stabil dan aman. Pemasangan pipa drain hole yang tepat akan menghasilkan penurunan muka air tanah yang optimal. Pemasangan ini membutuhkan data-data muka air tanah untuk mengetahui elevasi muka air tanah di sekitar area lereng tambang. Produktivitas drain hole yang dipasang di lapangan dapat dipantau melalui sumur piezometer yang dipasang mendekati screen dari drain hole tersebut.

Kegiatan horisontal dewatering (pengurangan air) dengan cara drain hole harus memiliki tujuan dan target yang jelas. Desain dari penempatan drain hole dapat dioptimalkan dengan cara melakukan simulasi dengan simulator. Media aliran yang berbeda menyebabkan panjang pipa drain hole yang dipasang akan memiliki dimensi yang beragam terkait panjang, diameter, lokasi dan arah penempatan.



Gambar 5.18. Penempatan Horizontal Drain hole di Lereng Tambang Terbuka (dikutip dari Read dan Stacy., 2009 serta Leech dkk., 2007 dalam Tedy Agung, dkk., 2016).

5.7.2. Pemasangan Geomembrane

Geomembrane adalah material dari bahan HDPE (High Density Polyethylene) yang fungsi utamanya sebagai material pelapis. Material ini sangat tahan terhadap bahan kimia, asam tinggi dan limbah sehingga sangat sesuai untuk aplikasi pelindung air, tanah terhadap berbagai macam limbah. Geomembrane memungkinkan ditempatkan pada areal yang bergeometri berlekuk – lekuk, dan mampu mengikuti kontur tanah yang tidak rata, seperti perbukitan, dan kolam. Polyethelene Geomembrane tersedia dalam permukaan halus maupun bertekstur dan juga tersedia dalam berbagai ketebalan. Geomembrane dapat dipergunakan diberbagai disiplin, yaitu lingkungan hidup, geotechnic (geologi teknik).

Pemasangan geomembrane pada tepi sungai kusan dibagian selatan area penambangan pada daerah penelitian berguna untuk mengurangi aliran air bawah permukaan masuk kedalam area penambangan. Dan untuk menurunkan muka air tanah sehingga air yang ada disekitar area penambangan tidak mengganggu kejenuhan lereng tambang.



Gambar 5.19. Pemasangan geomembrane pada area tepi sungai.

(<https://www.geotextilewoven.com>).

5.7.3. Pelandaian Lereng

Metode yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kestabilan lereng adalah dengan melandaikan *overall slope*. *Overall slope* adalah sudut yang dibentuk dari *toe bench* paling bawah dengan *crest bench* paling atas suatu lereng. Semakin landai *overall slope*, maka lereng tersebut akan semakin stabil, begitu pula sebaliknya, semakin curam *overall slope*, maka lereng tersebut akan cenderung semakin tidak stabil. Oleh karena itu pelandaian *overall slope* dipilih sebagai salah satu alternatif upaya meningkatkan kestabilan lereng.

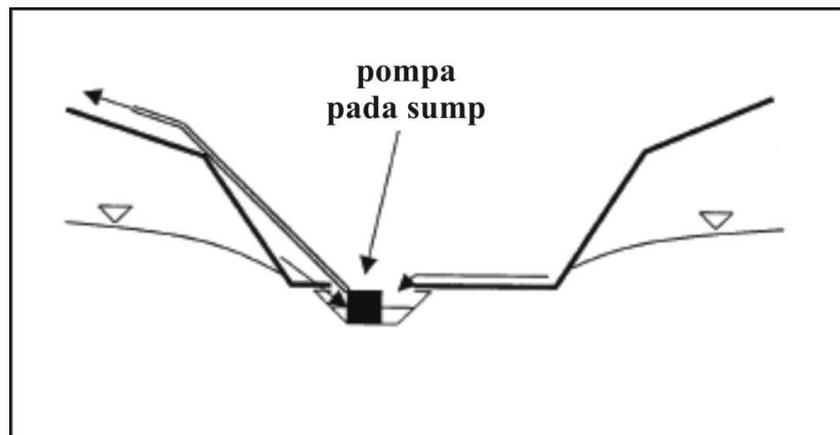
5.7.4. Dewatering Penurunan MAT -30 m – Dipompa disekitar area pit

Penurunan muka air tanah disebut penirisan air tambang atau *dewatering*. Untuk upaya menurunkan muka air tanah, metode yang sudah dilakukan adalah metode *Sump Dewatering* yang terletak pada area penambangan. Terdapat 3 metode utama dalam penirisan air tambang tersebut, diantaranya adalah:

1. Metode *Sump Dewatering*

Metode ini dibuat dengan cara membuat selokan dalam tambang diarahkan untuk mengumpulkan semua air pada satu atau lebih titik sump dan pada titik

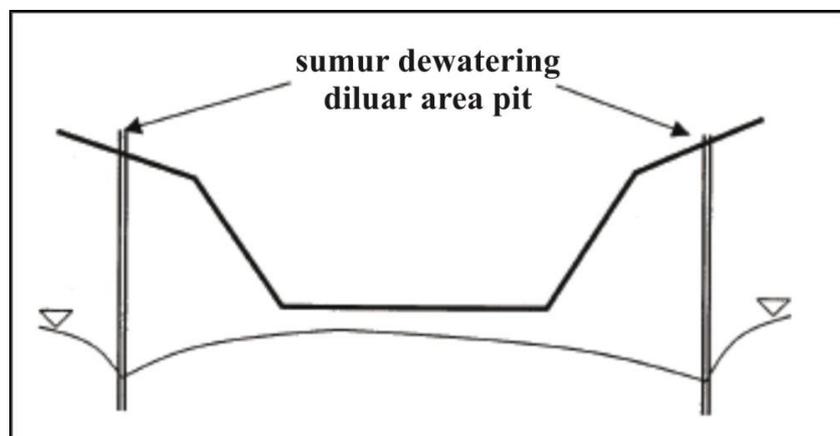
tersebut diberi sebuah pompa untuk memompa air keluar dan di buang di lain tempat.



Gambar 5.20. *Dewatering menggunakan metode sump dewatering.*

2. Metode Eksternal *Dewatering*

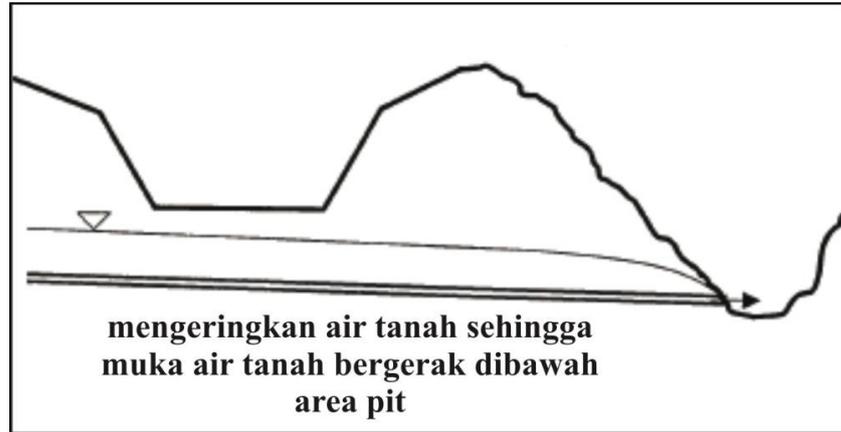
Metode ini dibuat dengan cara membuat lubang bor pada akuifer digunakan untuk memompa air keluar, kemudian air didalam tanah dapat dikeluarkan dengan memompa air keluar. Cara ini cukup efektif untuk mencegah air tanah masuk ke dalam tambang karena pengaruh gravitasi, dan juga cara ini cukup efektif untuk merendahkan MAT dibawah area aktif tambang.



Gambar 5.21. *Dewatering menggunakan metode eksternal dewatering.*

3. Metode Adit *Dewatering*

Metode ini dibuat dengan cara membuat lorong horisontal yang mengarah di bawah tambang dan lebih rendah dibagian ujung satunya, agar air dapat mengalir dengan gaya gravitasi.



Gambar 5.22. *Dewatering* menggunakan metode *adit dewatering*.

BAB VI

POTENSI GEOLOGI

6.1. Potensi Geologi Daerah Telitian

Potensi geologi merupakan hasil manifestasi proses geologi yang telah terjadi pada suatu daerah. Potensi geologi ini dapat bersifat positif yaitu potensi yang memberikan dampak baik terhadap nilai ekonomi bagi masyarakat dan perusahaan, maupun bersifat negatif yaitu memberikan dampak kerugian berupa bencana alam bagi masyarakat dan perusahaan.

6.1.1. Potensi Geologi Positif

Potensi geologi positif di daerah penelitian merupakan asset penting yang menyangkut nilai ekonomis yang jika digunakan dengan baik maka akan membawa keuntungan dan kesejahteraan bagi masyarakat maupun bagi negara. Adapun potensi positif daerah telitian adalah sebagai berikut:

6.1.1.1. Penambangan

Potensi positif memberikan keuntungan dalam sektor ekonomi. Pada daerah penelitian yang tersusun oleh Satuan batulempung Warukin dan Satuan batupasir Warukin, merupakan satuan pembawa batubara dengan ketebalan 16 meter sampai dengan 1 meter. Hal ini dapat dijumpai pada area penambangan batubara. Adanya penambangan batubara pada daerah penelitian, secara langsung dapat meningkatkan pertumbuhan ekonomi masyarakat sekitar dan juga sebuah perusahaan, serta meningkatkan pendapatan daerah pada pemerintahan.



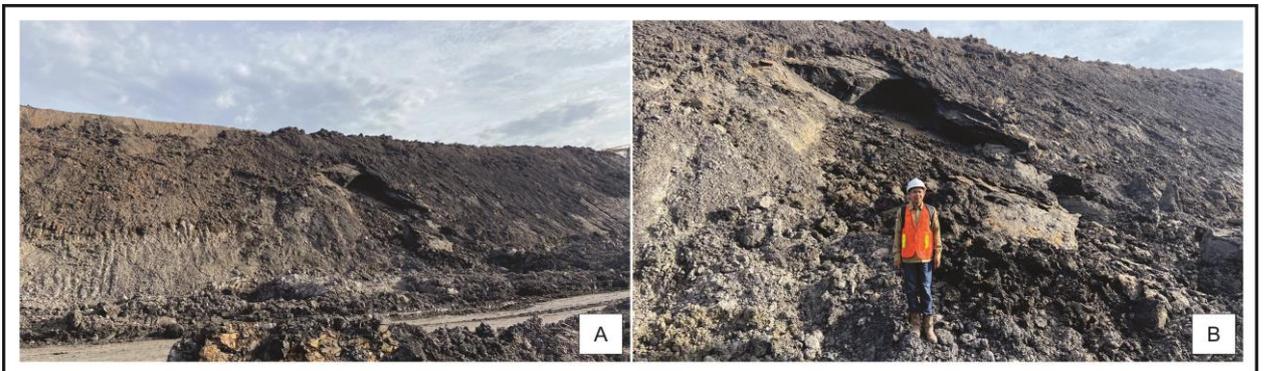
Gambar 6.1. Kegiatan penambangan batubara dengan ketebalan 1-16 meter, arah kamera timur laut.

6.1.2. Potensi Geologi Negatif

Potensi negatif daerah penelitian merupakan potensi yang akan berdampak buruk bagi masyarakat maupun bagi negara jika tidak ditanggulangi atau dicegah dengan segera. Adapun potensi negatif daerah telitian adalah sebagai berikut:

6.1.2.1. Kelongsoran

Potensi negatif memberikan kerugian dalam hal bencana alam. Pada daerah penelitian lereng-lereng yang terbentuk merupakan hasil kegiatan penambangan batubara terbuka, kegiatan tersebut membentuk lereng-lereng curam, menjadikan lereng tersebut rawan akan terjadinya longsor dalam skala besar maupun kecil. Longsor tersebut akan menyebabkan kerugian terhadap keselamatan pekerja, kegiatan produksi, dan asset atau peralatan.



Gambar 6.2. Lereng *Lowwall* area penambangan batubara terbuka berpotensi menimbulkan longsor pada Lokasi Pengamatan 95, arah kamera N 029° E.

6.1.2.2. Air Asam Tambang

Potensi geologi negatif yang menyangkut dengan dampak lingkungan yang dihasilkan dari kegiatan penambangan yaitu potensi timbulnya air asam tambang yang dapat mencemari sungai di sekitar area tambang apabila tidak segera dilakukan penindakan atau rekayasa yang mengubah kembali kadar pH air tersebut.



Gambar 6.3. Air asam penambangan batubara terbuka berpotensi menimbulkan perubahan pH air pada lokasi pengamatan 86, arah kamera selatan.

6.1.2.3. Rembesan Air tanah

Potensi geologi negatif yang menyangkut dengan kondisi kestabilan lereng berupa rembesan airtanh. Rembesan airtanh pada lereng tambang akan berdampak pada kejenuhan batuan yang menyusun suatu lereng tambang. Upaya yang harus dilakukan yaitu mengurangi potensi rembesan airtanh dengan cara membuat titik pemompaan airtanh untuk mengurangi laju airtanh yang masuk ke area tambang pada daerah penelitian.



Gambar 6.4. Rembesan airtanah berpotensi menimbulkan kejenuhan batuan pada lereng tambang pada LP 104, singkapan lereng area Pit HHI timur highwall (A), litologi batupasir memiliki kejenuhan air cukup tinggi (B), arah kamera N 228°E.

BAB VII

PENUTUP

7.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian mengenai geologi dan studi porositas serta permeabilitas batuan terhadap kestabilan lereng highwall-lowwall di Desa Mangkalapi, Kecamatan Teluk Kepayang, Kabupaten Tanah Bumbu, Kalimantan Selatan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Daerah penelitian terletak pada Cekungan Asam-asam, Kalimantan Selatan.
2. Geomorfologi daerah pada daerah penelitian dibagi menjadi 3 bentukasal dan 8 bentuklahan, yakni bentukasal denudasional: satuan bentuklahan dataran rendah (D1), bentukasal fluvial: satuan bentuklahan tubuh sungai (F1), satuan bentuklahan dataran aluvial (F2), dan bentukasal atropogenik: satuan bentuklahan area bukaan tambang/*pit* (A1), satuan bentuklahan genangan air bekas tambang/*sump* (A2), satuan bentuklahan *stockpile/stockroom* (A3), satuan bentuklahan hasil timbunan tambang/*disposal* (A4), dan satuan bentuklahan area penanaman/reklamasi (A5).
3. Stratigrafi daerah penelitian terdiri atas 4 satuan batuan, yakni dari tua ke muda terusun oleh satuan batulempung Warukin yang diendapkan pada *lower delta plain* dengan sublingkungan *interdistributary bay or prodelta* memiliki umur Miosen Tengah-Akhir, Satuan batupasir Warukin yang diendapkan pada *transitional lower delta plain* dengan sublingkungan *interdistributary bay or prodelta–distal bar* memiliki umur Miosen Akhir, Satuan endapan alluvial dan Satuan material timbunan tambang yang diendapkan pada lingkungan pengendapan darat dan memiliki umur Holosen.
4. Struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian adalah sesar mendatar kiri naik yang berarah relatif utara-selatan.

5. Hasil analisis data porositas dan permeabilitas batuan pada lereng highwall memiliki tipe akuifer dan lereng lowwall akuifer-akuiklud.
6. Hasil hubungan antara parameter porositas dan permeabilitas berhubungan dengan kestabilan lereng meliputi berat isi, kohesi batuan berdasarkan hasil analisa uji sifat fisik (*basic properties test*), uji sifat mekanik (*direct shear test*), dan uji permeabilitas.
7. Hasil nilai porositas lereng highwall 2,378%, dan permeabilitas $2,6 \times 10^{-6}$ cm/detik.
8. Hasil nilai porositas lereng lowwall 7,805%, dan permeabilitas $3,8 \times 10^{-2}$ cm/detik.
9. Hasil analisis kestabilan lereng sayatan No. 3 didapatkan nilai FK pada lereng highwall dengan metode 1,583. Sedangkan lereng lowwall dengan metode 0,608.
10. Hasil analisis kestabilan lereng sayatan No. 13 didapatkan nilai FK pada lereng highwall dengan metode 1,582. Sedangkan lereng lowwall dengan metode 1,859.
11. Hasil analisis kestabilan lereng sayatan No. 17 didapatkan nilai FK pada lereng highwall dengan metode 2246. Sedangkan lereng lowwall dengan metode 4,032.
12. Potensi geologi daerah penelitian terdapat positif dan negatif. Potensi positif berupa penambangan, dan potensi negatif berupa lereng berpotensi longsor, air asam tambang, dan rembesan air tanah yang ada pada lereng tambang.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyadi, Tedy Agung, dkk., 2016. *Pengaruh Instalasi Drain Hole Terhadap Penurunan Muka Airtanah pada Media Permeabilitas yang Berbeda (Studi Kasus Model Konseptual)*. Bandung: ITB Press.
- Pratistho, Bambang, dkk. 2018. *Hubungan Struktur Geologi dan Sistem Air Tanah*. Yogyakarta: Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat.
- Bell, F. G. 1993. *Engineering Geology*. Burlington, USA: Elsevier.
- Blow, W. H. 1969. Late Middle Eocene to Recent Planktonic Foraminiferal Biostratigraphy. *Proceedings of the 1st International Conference on Planktonic Microfossils*, Geneva, Vol. 1, 199-422
- Boggs Jr, S. 2009. *Petrology of Sedimentary Rocks*. New York: Cambridge University Press.
- Dawson, Andrew. 2008. *Water in Road Structure*. Nottingham Transportation Engineering Centre University of Nottingham, UK: Springer.
- Hoek, E. 2006. *Partical Rock Engineering*. Canada: Evert Hoek Consulting Engineer Inc.
- Hoiriyah, Yuliana Ulfidatul. 2019. Peningkatan Kualitas Produksi Garam Menggunakan Teknologi Geomembran. Vol 6 (2) 2019 hal 35-42.
- Horne, J.C., Ferm, J.C., Caruccio, F.T., & Baganz, B.P. 1978. Depositional Models in Coal Exploration and Mine Planning in Appalachian Region. *The American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, Vol. 62, No. 12. pp. 2379-2411.
- Howard, A.D. 1967. Drainage Analysis in Geologic Interpretation: A Summation. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*. Vol. 51 No. 11: 2246 - 2259.
- Huang, Y. H. (2014). *Slope Stability Analysis by the Limit Equilibrium Method*. Virginia: ASCE Press
- Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik.

- Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia. 1996. *Sandi Stratigrafi Indonesia*. Ikatan Ahli Geologi Indonesia. Jakarta. 34 hal.
- Laubach, S. E., dkk. 1998. Characteristics and Origins of Coal Cleat: A Review. *International Journal of Coal Geology*. Vol. 35: 175 – 207.
- Lau, Y. C. 2008. *Slope Stability Analysis and Stabilization*. New York : Routledge.
- Morgan, R. P. C. 2005. *Soil Erosion and Conservation*. USA: Blackwell Publishing Company.
- Nurfalaq, J. S. 2019. Studi Geoteknik Pengaruh Muka Air Tanah. *Indonesian Mining Professionals Journal*, 5-6
- Pettijohn, F. J. 1975. *Sedimentary Rocks* (3rd ed.). New York: Harper & Row Publishing Co.
- Picard, M. D. 1971. Classification of Fine-Grained Sedimentology Rocks. *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 41, No 1, pp. 179-195.
- Price, D.G. 2009. *Engineering Geology*. Berlin: Springer.
- Rahmad, B., Rahardjo, S., Ediyanto, Giamboro, W. S., Deswanto, D., Haryadi, & Prasetya, G. (2021). Coal Potential as Source Rock of Hydrocarbon Warukin Formation Based on Coal Macerals Composition, Central Wara, Tabalong, South Kalimantan. *Open Journal of Geology*, 1-17.
- Rickard, M. J. 1972. Fault Classification – Discussion. *Geological Society of America Bulletin*, vol. 83, pp. 2545-2546.
- Rockscience Inc. 2010. Slide Version 6.0 [Software]. Rocscience Inc., Toronto.
- Rustandi, E., Nila, E. S., Sanyoto, P., dan Margono, U., 1995. *Peta Geologi Lembar Kota Baru, Kalimantan*. Pusat Survei Geologi, Bandung.
- Sabelli, Bruno. 1979. *Guide to Shell*. New York: Simon & Schuser Inc.
- Satyana, A.H. and Silitonga, P.D. 2003. Tectonic Reversal in East Baritio Basin, South Kalimantan Consideration of Types of Inversion Structures and Petroleum System Significance. The Proceedings of Twenty-Third Annual Convention of Indonesian Petroleum Association, Jakarta, October 2003, 1-27
- Satyana, A.H., & C. Armandita. 2008. On The Origin of the Meratus Up lift, Southeast Kalimantan – Tectonic and Gravity Constraints: A Model for

- Exhumation of Collisional Orogen in Indonesia. *Proc. Indonesian Association of Geophysicists 33rd Annual Convention and Exhibition*.
- Thomas, L. 2013. *Coal Geology*. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.
- Todd, D. K. 1995 *Groundwater Hydrology Second Edition*. New York: John Wiley & Sons.
- Undang-Undang Nomor 4 tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara. Kementerian Energi Sumber Daya Mineral.
- Van Bemmelen, R.W., 1949, *The Geology of Indonesia*, Vol.1A, 2nd, Batavia, Netherland, 732 hal
- Van Zuidam, R. A. 1983. *Guide to Geomorphologic Aerial Photographic Interpretation and Mapping*. Netherlands: ITC Enschede.
- Verstappen, H. 1983. *Applied Geomorphology: Geomorphological Surveys for Environmental Development*. New York: Elsevier.
- William, H., Thurner, F. J., Gilbert, C. M. 1982. *Petrography: An Introduction to the Study of Rocks in Thin Section, 2nd Edition*, New York-san Francisco. *W. H. Freeman and Company*, 406 hal
- Zuhdi, Muhammad. 2019. *Buku Ajar Pengantar Geologi*. Mataram: Duta Pustaka Ilmu