

**GEOLOGI DAN ANALISIS KESTABILAN LERENG
PADA JALAN *HAULING* TAMBANG NIKEL DAERAH GANDA GANDA,
KECAMATAN PETASIA, KABUPATEN MOROWALI UTARA,
PROVINSI SULAWESI TENGAH**



Disusun Oleh :

MOHAMMAD HAIKAL AL MUBAROK

111.160.145

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

2021

HALAMAN PENGESAHAN

**GEOLOGI DAN ANALISIS KESTABILAN LERENG
PADA JALAN *HAULING* TAMBANG NIKEL DAERAH GANDA GANDA,
KECAMATAN PETASIA, KABUPATEN MOROWALI UTARA,
PROVINSI SULAWESI TENGAH**

SKRIPSI

Oleh :

MOHAMMAD HAIKAL AL MUBAROK

111.160.145

Disusun Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Geologi

Yogyakarta, Maret 2021

Menyetujui,

Dosen Pembimbing 1



Ir. Puji Pratiknyo, M.T.
NIP 19601221 198703 1 001

Dosen Pembimbing 2



Dr. Agus Harjanto, S.T., M.T.
NPY 2 6908 95 0041 1

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Geologi



Dr. Ir. H. Jatmika Setiawan, M.T.
NIP 19640411 199303 1 001

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini dipersembahkan untuk :

“Kedua orang tua penulis, Abdul Somad dan Zakiyatul Fachiroh yang telah memberikan doa dan kasih sayang kepada penulis, kakak penulis Zulfatun Nimah dan Isman Susanto, adik penulis Laely Amalia serta keponakan penulis Athaya El Mohashibi yang selalu menghibur penulis.”

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penayang, penulis panjatkan puja dan puji syukur atas kehadiran-Nya, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu syarat kelulusan selama proses pembelajaran di Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.

Penulis bermaksud untuk mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua penulis, Abdul Somad dan Zakiyatul Fachiroh yang telah memberikan doa, kasih sayang, dan dukungan materi.
2. Bapak Dr. Ir. H. Jatmika Setiawan, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.
3. Bapak Ir. Puji Pratiknyo, M.T. dan Dr. Agus Harjanto, S.T, M.T. selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah memberikan bimbingan dalam penyusunan skripsi.
4. PT. Pakubumi Inti Mineral yang telah memberikan kesempatan melakukan penelitian skripsi.
5. Saudara Muhammad Ilham yang telah menemani saya selama pengambilan data di Sulawesi.
6. Teman-teman dan seluruh pihak yang telah memberikan bantuan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Saya menyadari bahwa masih ada kekurangan baik dari segi susunan kalimat maupun tata bahasanya. Oleh karena itu saya mohon kritik dan saran yang membangun untuk penulisan yang lebih baik di kemudian hari. Saya berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat.

**GEOLOGI DAN ANALISIS KESTABILAN LERENG
PADA JALAN *HAULING* TAMBANG NIKEL DAERAH GANDA GANDA,
KECAMATAN PETASIA, KABUPATEN MOROWALI UTARA,
PROVINSI SULAWESI TENGAH**

SARI

Oleh :

Mohammad Haikal Al Mubarak

111.160.145

Daerah penelitian secara administratif berada pada daerah Ganda Ganda, Kecamatan Petasia, Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah. Secara geografis berada pada UTM WGS84 Zona 51 S dengan koordinat X: 313450 m - 314350 m dan Y: 9789600 m - 9790600 m. Tujuan penelitian untuk mengkaji geologi dan kestabilan lereng pada daerah penelitian. Penelitian menggunakan metode kesetimbangan batas dan metode elemen hingga. Geomorfologi daerah penelitian terdapat bentuklahan pit (H1), disposal (H2), *stockpile* (H3), jalan *hauling* (H4), lahan bekas tambang (H5), dan lereng denudasional (D1). Stratigrafi daerah penelitian terdapat satuan litodem peridotit dan satuan litodem serpentinit dengan kontak berangsur. Struktur geologi daerah penelitian berupa kekar yang memiliki orientasi tenggara-barat laut dan sesar mendatar kanan naik dengan arah N 106⁰ E / 72⁰ serta sesar kanan naik dengan arah N 258⁰ E / 62⁰. Hasil dari analisis kestabilan didapatkan nilai faktor keamanan lereng 01 sebesar 1,584 pada kondisi tanah natural dan 0,983 pada kondisi tanah jenuh. Pada lereng 02 didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1,239 pada kondisi tanah natural dan 0,552 pada kondisi tanah jenuh. Pada lereng 03 didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1,92 pada kondisi natural dan 1,77 pada kondisi jenuh. Pada lereng 04 didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 2,73 pada kondisi natural dan 2,50 pada kondisi jenuh. Pada lereng 01 kondisi jenuh diperlukan penguatan stabilitas lereng dengan cara melandaikan sudut lereng menjadi 45⁰ sehingga didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1,277. Pada lereng 02, dilakukan penguatan stabilitas lereng dengan membagi dua *bench* lereng dan melandaikan sudut lereng menjadi 50⁰ sehingga didapatkan faktor keamanan 1,80 pada kondisi tanah natural sedangkan pada kondisi tanah jenuh didapatkan nilai faktor keamanan 1,295 pada sudut lereng 30⁰.

Kata kunci : geologi, nikel, kestabilan lereng, faktor keamanan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
SARI.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Maksud dan Tujuan.....	2
I.4 Lokasi Penelitian.....	2
I.5 Hasil Penelitian	3
I.6 Manfaat Penelitian	3
BAB II METODOLOGI.....	5
II.1 Metode Penelitian	5
II.1.1 Tahap Pra Pemetaan	5
II.1.2 Tahap Pemetaan	6
II.1.3 Tahap Pasca Pemetaan.....	6
II.1.4 Tahap Penyajian Data.....	9
II.2 Diagram Alir Penelitian	10
II.3 Alat.....	11
BAB III KAJIAN PUSTAKA.....	12
III.1 Nikel	12
III.1.1 Batuan Asal.....	12
III.1.1.1 Batuan Ultramafik	12
III.1.1.2 Serpentin	13
III.1.2 Tipe Endapan Nikel.....	14

III.1.3	Genesis Endapan Laterit.....	15
III.1.4	Faktor-Faktor Pembentukan Laterit Nikel.....	16
III.1.5	Zona Profil Laterit.....	17
III.2	Kestabilan Lereng.....	19
III.2.1	Faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng	20
III.2.2	Uji Geser Langsung (<i>Direct Shear Test</i>).....	23
III.2.3	Kriteria Keruntuhan Mohr Coulomb.....	24
III.2.4	Klasifikasi Massa Batuan	25
III.2.5	Kriteria Keruntuhan <i>Generalized Hoek & Brown</i> (1980).....	26
III.2.6	Analisis dengan Metode Keseimbangan Batas	30
III.2.6.1	Metode Spencer	32
III.2.7	Analisis dengan Metode Elemen Hingga	34
III.2.8	Jenis-Jenis Longsoran.....	35
III.2.9	Faktor Keamanan Lereng	40
BAB IV	GEOLOGI REGIONAL.....	41
IV.1	Fisiografi Regional	41
IV.2	Stratigrafi Regional	43
IV.3	Struktur Geologi Regional.....	45
BAB V	GEOLOGI DAERAH PENELITIAN.....	47
V.1	Fisiografi Daerah Penelitian.....	47
V.2	Geomorfologi Daerah Penelitian.....	47
V.2.1	Satuan Bentuk Asal Denudasional	49
V.2.2	Satuan Bentuk Asal Antropogenik.....	50
V.3	Stratigrafi Daerah Penelitian	54
V.3.1	Satuan Peridotit	54
V.3.1.1	Dasar Penamaan	54
V.3.1.2	Distribusi	54
V.3.1.3	Deskripsi Litologi	54
V.3.2	Satuan Serpentininit	59
V.3.2.1	Dasar Penamaan	59
V.3.2.2	Distribusi	59

V.3.2.3 Deskripsi Litologi	59
V.3.3 Hubungan Stratigrafi	62
V.3.4 Umur.....	62
V.4 Struktur Geologi Daerah Penelitian.....	63
V.4.1 <i>Shear Joint</i> (Kekar Gerus)	63
V.4.1.1 <i>Shear Joint</i> LP 06	63
V.4.1.2 <i>Shear Joint</i> LP 09	65
V.4.1.3 <i>Shear Joint</i> LP 18	66
V.4.1.4 <i>Shear Joint</i> LP 22	68
V.4.1.5 <i>Shear Joint</i> LP 23	69
V.4.1.6 <i>Shear Joint</i> LP 24	71
V.4.1.7 <i>Shear Joint</i> LP 34	72
V.4.1.8 <i>Shear Joint</i> LP 46	74
V.4.2 Sesar	75
V.4.2.1 Sesar LP 22.....	75
V.4.2.2 Sesar LP 24.....	76
V.5 Sejarah Geologi	77
V.6 Profil Laterit Nikel.....	79
V.7 Potensi Geologi Daerah Penelitian	80
V.7.1 Potensi Positif	80
V.7.2 Potensi Negatif.....	80
BAB VI ANALISIS KESTABILAN LERENG.....	82
VI.1 Lokasi Pengamatan Lereng.....	82
VI.2 Analisis Kestabilan Lereng.....	83
VI.2.1 Lereng 01.....	83
VI.2.1.1 Data Geometri Lereng	83
VI.2.1.2 Data Sifat Fisik Tanah	83
VI.2.1.3 Data Sifat Mekanika Tanah.....	84
VI.2.1.4 Analisis Kestabilan Lereng	85
VI.2.1.5 Rekomendasi Lereng	86
VI.2.2 Lereng 02.....	87

VI.2.2.1 Data Geometri Lereng	87
VI.2.2.2 Data Sifat Fisik Tanah	88
VI.2.2.3 Data Sifat Mekanika Tanah.....	89
VI.2.2.4 Analisis Kestabilan Lereng	89
VI.2.1.5 Rekomendasi Lereng	91
VI.2.3 Lereng 03.....	92
VI.2.3.1 Data Geometri Lereng	92
VI.2.3.2 Klasifikasi Massa Batuan.....	92
VI.2.3.3 Data Sifat Fisik Batuan	96
VI.2.3.4 Data Sifat Mekanika Batuan	97
VI.2.3.5 Analisis Kestabilan Lereng	97
VI.2.4 Lereng 04.....	99
VI.2.4.1 Data Geometri Lereng	99
VI.2.4.2 Klasifikasi Massa Batuan.....	99
VI.2.4.3 Data Sifat Fisik Batuan	102
VI.2.4.4 Data Sifat Mekanika Batuan	104
VI.2.4.5 Analisis Kestabilan Lereng	104
BAB VII KESIMPULAN.....	106
DAFTAR PUSTAKA.....	109
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1 Lokasi Daerah Penelitian	3
Gambar II.1 Diagram Alir Penelitian.....	10
Gambar III.1 Klasifikasi Batuan Ultramafik Berdasarkan Kandungan Olivin (Ol), Ortopiroksen (Opx), Klinopirksen (Cpx), Piroksen (Px) dan Hornblend (Hbl) (Menurut Streckeisen, 1973 dalam Le Maitre, 2002)	13
Gambar III.2 Proses Serpentinisasi (Li dan Aeolis Lee, 2006).....	14
Gambar III.3 Hubungan Laterit dan Topografi Menurut Ahmad (2008)	17
Gambar III.4 Profil Endapan Nikel Laterit (Ahmad, 2008).....	19
Gambar III.5 Uji Geser Langsung (J. Smith M., 1984).....	23
Gambar III.6 Grafik dari Tegangan Geser dan Tegangan Normal (J. Smith M., 1984).....	24
Gambar III.7 Keadaan Tegangan pada Saat Runtuh (F. Craig R. dan Susilo S. Budi, 1989).....	24
Gambar III.8 Gaya yang Bekerja pada Irisan (Spencer, 1967)	31
Gambar III.9 Hubungan Nilai Θ Terhadap Faktor Keamanan (Spencer, 1967) .	34
Gambar III.10 Contoh <i>Mesh</i> dari Metode Elemen Hingga (Cheng, Y. M. dkk, 2014)	35
Gambar III.11 Tipe Keruntuhan Lereng (Hoek dan Bray, 1981)	36
Gambar III.12 Kondisi Umum Longsoran Bidang (Hoek dan Bray, 1981)	37
Gambar III.13 Geometri Longsoran Baji (Hoek dan Bray, 1981)	38
Gambar III.14 Model Longsoran Guling (Hoek dan Bray, 1981).....	39
Gambar III.15 Kondisi Umum Longsoran Busur (Hoek dan Bray, 1981)....	39
Gambar IV.1 Fisiografi Regional Sulawesi (Hall and Wilson, 2000)	41
Gambar IV.2 Peta Geologi Lembar Poso, Sulawesi (Simandjuntak dkk,1997)..	43
Gambar IV.3 Stratigrafi Regional Peta Lembar Poso, Sulawesi (Simandjuntak dkk, 1997).....	43
Gambar V.1 Bentuklahan Lereng Denudasional (Azimuth N 088 ⁰ E)	50
Gambar V.2 Bentuklahan Pit (Azimuth N 005 ⁰ E)	51

Gambar V.3 Bentuklahan Disposal (Azimuth N 042 ⁰ E).....	51
Gambar V.4 Bentuklahan <i>Stockpile</i> (Azimuth N 020 ⁰ E).....	52
Gambar V.5 Bentuklahan Jalan <i>Hauling</i> (Azimuth N 320 ⁰ E).....	53
Gambar V.6 Bentuklahan Bekas Tambang (Azimuth N 020 ⁰ E).....	53
Gambar V.7 (A) Singkapan LP 12 (Az : N 280 ⁰ E); (B) Foto parameter batuan peridotit LP 12; (C) Sampel batuan peridotit LP 12.....	55
Gambar V.8 Deskripsi batuan olivin websterit terserpentinisasi LP 12 secara mikroskopis.	56
Gambar V.9 (A) Singkapan LP 09 (Az : N 268 ⁰ E); (B) Foto parameter batuan peridotit LP 09; (C) Sampel batuan peridotit LP 09.....	56
Gambar V.10 Deskripsi batuan olivin websterit terserpentinisasi LP 09 secara mikroskopis.	57
Gambar V.11 (A) Singkapan LP 44 (Az : N 255 ⁰ E); (B) Foto parameter batuan peridotit LP 44; (C) Sampel batuan peridotit LP 44.....	57
Gambar V.12 Deskripsi batuan olivin websterit terserpentinisasi LP 44 secara mikroskopis.	58
Gambar V.13 (A) Singkapan LP 45 (Az : N 308 ⁰ E); (B) Foto parameter batuan peridotit LP 45; (C) Sampel batuan peridotit LP 45.....	58
Gambar V.14 Deskripsi batuan lherzolit LP 45 secara mikroskopis..	59
Gambar V.15 (A) Singkapan LP 31 (Az : N 013 ⁰ E); (B) Foto parameter batuan serpentinit LP 31; (C) Sampel batuan serpentinit LP 31	60
Gambar V.16 Deskripsi batuan serpentinit LP 31 secara mikroskopis.....	61
Gambar V.17 (A) Singkapan LP 06 (Az : N 248 ⁰ E); (B) Foto parameter batuan serpentinit LP 06; (C) Sampel batuan serpentinit LP 06	61
Gambar V.18 Deskripsi batuan serpentinit LP 06 secara mikroskopis.....	62
Gambar V.19 Kolom Stratigrafi Daerah Penelitian	62
Gambar V.20 Foto Singkapan <i>Shear Joint</i> LP 06 (Azimuth Foto : N 276 ⁰ E)....	63
Gambar V.21 Foto Singkapan <i>Shear Joint</i> LP 06 (Azimuth Foto : N 276 ⁰ E)....	64
Gambar V.22 Analisis Stereografis pada LP 06	64
Gambar V.23 Foto Singkapan <i>Shear Joint</i> LP 09 (Azimuth Foto : N 280 ⁰ E)...	65
Gambar V.24 Foto Singkapan <i>Shear Joint</i> LP 09 (Azimuth Foto : N 280 ⁰ E)...	65

Gambar V.25 Analisis Stereografis pada LP 09	66
Gambar V.26 Foto Singkapan <i>Shear Joint</i> LP 18 (Azimuth Foto : N 311 ⁰ E)....	66
Gambar V.27 Foto Singkapan <i>Shear Joint</i> LP 18 (Azimuth Foto : N 311 ⁰ E)....	67
Gambar V.28 Analisis Stereografis pada LP 18	67
Gambar V.29 Foto Singkapan <i>Shear Joint</i> LP 22 (Azimuth Foto : N 301 ⁰ E)....	68
Gambar V.30 Foto Singkapan <i>Shear Joint</i> LP 22 (Azimuth Foto : N 301 ⁰ E)....	68
Gambar V.31 Analisis Stereografis pada LP 22	69
Gambar V.32 Foto Singkapan <i>Shear Joint</i> LP 23 (Azimuth Foto : N 278 ⁰ E)....	69
Gambar V.33 Foto Singkapan <i>Shear Joint</i> LP 23 (Azimuth Foto : N 278 ⁰ E)....	70
Gambar V.34 Analisis Stereografis pada LP 23	70
Gambar V.35 Foto Singkapan <i>Shear Joint</i> LP 24 (Azimuth Foto : N 335 ⁰ E)....	71
Gambar V.36 Foto Singkapan <i>Shear Joint</i> LP 24 (Azimuth Foto : N 335 ⁰ E)....	71
Gambar V.37 Analisis Stereografis pada LP 24	72
Gambar V.38 Foto Singkapan <i>Shear Joint</i> LP 34 (Azimuth Foto : N 075 ⁰ E)....	72
Gambar V.39 Foto Singkapan <i>Shear Joint</i> LP 34 (Azimuth Foto : N 075 ⁰ E)....	73
Gambar V.40 Analisis Stereografis pada LP 34	73
Gambar V.41 Foto Singkapan <i>Shear Joint</i> LP 46 (Azimuth Foto : N 284 ⁰ E)....	74
Gambar V.42 Foto Singkapan <i>Shear Joint</i> LP 46 (Azimuth Foto : N 284 ⁰ E)....	74
Gambar V.43 Analisis Stereografis pada LP 46	75
Gambar V.44 Foto Singkapan Sesar LP 22 (Azimuth Foto : N 314 ⁰ E).....	75
Gambar V.45 Analisis Stereografis pada LP 22	76
Gambar V.46 Foto Singkapan Sesar LP 24 (Azimuth Foto : N 322 ⁰ E).....	76
Gambar V.47 Analisis Stereografis pada LP 24	77
Gambar V.48 Penampang Sejarah Geologi Daerah Penelitian Menurut Kadarusman, dkk (2004) modifikasi Parkinson (1998), Hall dan Wilson (2000).....	78
Gambar V.49 Pertambangan yang Masih Aktif.....	80
Gambar V.50 Potensi Gerakan Massa Tanah	81
Gambar V.51 Perubahan Geomorfologi Akibat Aktivitas Penambangan.....	81
Gambar VI.1 Lokasi Pengamatan dan Pengambilan Sampel Lereng	82
Gambar VI.2 Foto Singkapan Lereng 01 (Azimuth Foto : N 276 ⁰ E)	83

Gambar VI.3 Analisis Kestabilan Lereng 01 Kondisi Tanah Natural	85
Gambar VI.4 Analisis Kestabilan Lereng 01 Kondisi Tanah Jenuh.....	85
Gambar VI.5 Grafik antara Faktor Keamanan (FK) dengan kondisi lereng natural dan jenuh	87
Gambar VI.6 Foto Singkapan Lereng 02 (Azimuth Foto : N 274 ⁰ E)	87
Gambar VI.7 Analisis Kestabilan Lereng 02 Kondisi Tanah Natural	90
Gambar VI.8 Analisis Kestabilan Lereng 02 Kondisi Tanah Jenuh.....	90
Gambar VI.9 Grafik antara Faktor Keamanan (FK) dengan kondisi lereng natural dan jenuh	91
Gambar VI.10 Foto Singkapan Lereng 03 dan Pengukuran Bidang Diskontinuitas Menggunakan Metode <i>Scanline</i> (Azimuth Foto : N 332 ⁰ E).....	92
Gambar VI.11 Analisis Kestabilan Lereng 03 Kondisi Natural	98
Gambar VI.12 Analisis Kestabilan Lereng 03 Kondisi Jenuh.....	98
Gambar VI.13 Foto Singkapan Lereng 04 dan Pengukuran Bidang Diskontinuitas Menggunakan Metode <i>Scanline</i> (Azimuth Foto : N 314 ⁰ E).....	99
Gambar VI.14 Analisis Kestabilan Lereng 04 Kondisi Natural	104
Gambar VI.15 Analisis Kestabilan Lereng 04 Kondisi Jenuh.....	104

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Koordinat Daerah Penelitian	3
Tabel III.1 <i>Rock Mass Rating</i> (Bieniawski, 1989)	26
Tabel III.2 Penentuan Nilai GSI (Hoek & Brown, 1980).....	28
Tabel III.3 Nilai m_i untuk Kriteria Keruntuhan <i>Generalized</i> Hoek & Brown (1980).....	29
Tabel III.4 <i>Disturbance Factor D</i> (Hoek-Brown, 2002)	30
Tabel III.5 Klasifikasi Kestabilan Lereng (Bowles, 1991).....	40
Tabel V.1 Pemerian Satuan Geomorfologi Daerah Penelitian	49
Tabel VI.1 Data Geometri Lereng 01	83
Tabel VI.2 Data Sifat Fisik Tanah Lereng 01	84
Tabel VI.3 Data Sifat Mekanika Tanah Lereng 01.....	85
Tabel VI.4 Data Sifat Fisik Tanah dan Mekanika Tanah Lereng 01	85
Tabel VI.5 Nilai Faktor Keamanan (FK) pada Lereng 01	86
Tabel VI.6 Nilai Faktor Keamanan (FK) pada Rekomendasi Lereng 01	86
Tabel VI.7 Data Geometri Lereng 02	88
Tabel VI.8 Data Sifat Fisik Tanah Lereng 02	88
Tabel VI.9 Data Mekanika Tanah Lereng 02.....	89
Tabel VI.10 Data Sifat Fisik Tanah dan Mekanika Tanah Lereng 02.....	89
Tabel VI.11 Nilai Faktor Keamanan (FK) pada Lereng 02	90
Tabel VI.12 Nilai Faktor Keamanan (FK) pada Rekomendasi Lereng 02.....	91
Tabel VI.13 Data Geometri Lereng 03	92
Tabel VI.14 Hubungan Nilai RQD dengan Kualitas Batuan(Deere, 1988).....	93
Tabel VI.15 Pembobotan RMR (Bieniawski, 1989).....	94
Tabel VI.16 Penentuan Nilai GSI (Hoek & Brown, 1980)	95
Tabel VI.17 Penentuan Nilai <i>Disturbance Factor D</i> Lereng 03	95
Tabel VI.18 Karakteristik Massa Batuan Lereng 03	96
Tabel VI.19 Data Sifat Fisik Batuan Lereng 03	96
Tabel VI.20 Berat Isi Natural dan Berat Isi Jenuh.....	97
Tabel VI.21 Data Sifat Mekanika Batuan Lereng 03	97

Tabel VI.22 Nilai Faktor Keamanan (FK) pada Lereng 03	98
Tabel VI.23 Data Geometri Lereng 04	99
Tabel VI.24 Hubungan Nilai RQD dengan Kualitas Batuan(Deere, 1988).....	100
Tabel VI.25 Pembobotan RMR (Bieniawski, 1989).....	101
Tabel VI.26 Penentuan Nilai <i>Disturbance Factor D</i> Lereng 04	102
Tabel VI.27 Karakteristik Massa Batuan Lereng 04	102
Tabel VI.28 Data Sifat Fisik Batuan Lereng 04	103
Tabel VI.29 Berat Isi Natural dan Berat Isi Jenuh.....	103
Tabel VI.30 Data Sifat Mekanika Batuan Lereng 04	104
Tabel VI.31 Nilai Faktor Keamanan (FK) pada Lereng 04	105

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Peta Lintasan dan Lokasi Pengamatan
- Lampiran 2 : Peta Geomorfologi
- Lampiran 3 : Peta Geologi
- Lampiran 4 : Peta Persebaran Laterit
- Lampiran 5 : Profil Laterit Satuan Peridotit pada Titik Bor DH 03
- Lampiran 6 : Analisis Petrografi
- Lampiran 7 : Analisis Struktur Geologi
- Lampiran 8 : Poster Analisis Kestabilan Lereng
- Lampiran 9 : Analisis Nilai RQD
- Lampiran 10 : Data Pemboran

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Eksplorasi merupakan penyelidikan geologi yang dilakukan untuk mengidentifikasi, menentukan lokasi, ukuran, bentuk, letak, sebaran, kuantitas dan kualitas suatu endapan bahan galian untuk kemudian dapat dilakukan analisis/kajian kemungkinan dilakukannya penambangan (Standar Nasional Indonesia, 2001). Nikel merupakan salah satu bahan galian yang memiliki nilai ekonomis sehingga perlu dilakukan kegiatan eksplorasi. Daerah penelitian secara fisiografis termasuk ke dalam Kompleks Ultramafik dan merupakan lajur dari Ofiolit Sulawesi Timur yang berada di Desa Ganda Ganda, Kecamatan Petasia, Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah. Endapan Nikel dibedakan menjadi dua kategori, yaitu nikel sulfida dan nikel laterit (oksida). Endapan nikel pada Daerah Ganda Ganda termasuk dalam kategori endapan nikel laterit. Endapan nikel laterit merupakan bijih yang dihasilkan dari proses pelapukan batuan ultramafik yang ada di permukaan bumi. Tambang nikel pada umumnya menggunakan metode penambangan *open cast*. Metode penambangan *open cast* merupakan penambangan endapan bijih yang terletak di lereng bukit. Metode penambangan *open cast* dapat menghasilkan lereng-lereng baru.

Lereng merupakan suatu bidang di permukaan tanah yang menghubungkan permukaan tanah yang lebih tinggi dengan permukaan tanah yang lebih rendah. Lereng dapat berupa lereng tanah atau lereng batuan. Lereng memiliki masalah utama yaitu mengalami longsor. Pada daerah Ganda Ganda pernah mengalami kelongsoran. Salah satu cara untuk mengetahui kondisi lereng stabil atau tidak dengan menggunakan analisis kestabilan lereng. Analisis kestabilan lereng dilakukan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan dari suatu bentuk lereng tertentu. Jika lereng tersebut tidak stabil atau mengalami kelongsoran maka dapat diperlukan suatu rekomendasi untuk meningkatkan stabilitas lereng sehingga dapat dipastikan lereng tersebut aman atau stabil.

I.2 Rumusan Masalah

Kondisi geologi daerah penelitian dapat digunakan dalam berbagai aspek yang dapat membantu pengembangan wilayah daerah penelitian. Penulis membuat rumusan masalah agar penelitian yang dilakukan memiliki batasan sehingga dapat dilakukan kegiatan lapangan yang efektif dan efisien. Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini, sebagai berikut :

1. Bagaimana kondisi geomorfologi daerah penelitian?
2. Bagaimana tatanan stratigrafi daerah penelitian?
3. Bagaimana struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian?
4. Bagaimana kondisi geometri lereng daerah penelitian?
5. Berapa nilai faktor keamanan (FK) lereng daerah penelitian?
6. Bagaimana rekomendasi yang dibutuhkan untuk meningkatkan stabilitas lereng pada daerah penelitian?

I.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengkaji kondisi geologi dan pengambilan data geologi serta mengkaji kondisi lereng di daerah penelitian.

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

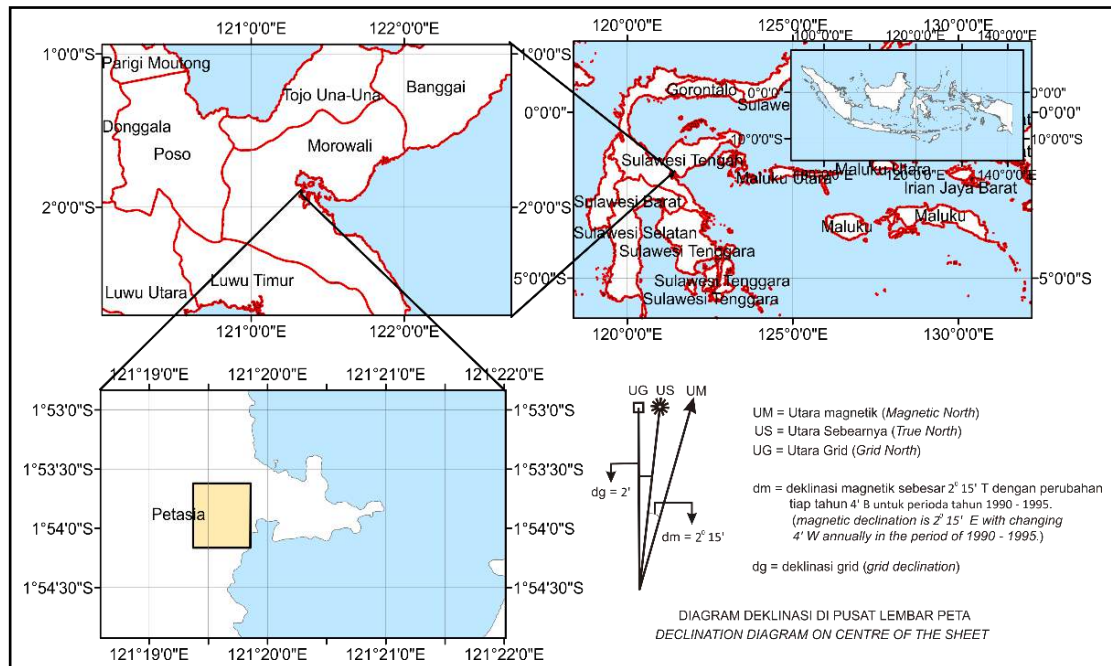
1. Untuk mengkaji satuan bentuklahan daerah penelitian
2. Untuk mengkaji tatanan stratigrafi daerah penelitian
3. Untuk mengkaji struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian
4. Untuk mengkaji kondisi lereng daerah penelitian
5. Untuk mengkaji nilai faktor keamanan (FK) lereng daerah penelitian
6. Untuk rekomendasi yang dibutuhkan guna meningkatkan stabilitas lereng pada daerah penelitian

I.4 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada tambang nikel yang terletak di Desa Ganda Ganda, Kecamatan Petasia, Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah. Lokasi penelitian berukuran 0,9 km x 1 km.

Tabel 1.1 Koordinat Daerah Penelitian

Sistem Grid Zona UTM 51 S				Sistem Geografis			
1	X : 313450	3	X : 314350	1	1°53'37.26" LS	3	1°53'37.26" LS
	Y : 9790600		Y : 9790600		121°19'22.27" BT		121°19'51.36" BT
2	X : 313450	4	X : 314350	2	1°54'9.82" LS	4	1°54'9.82" LS
	Y : 9789600		Y : 9789600		121°19'22.27" BT		121°19'51.36" BT



Gambar I.1 Lokasi Daerah Penelitian

I.5 Hasil Penelitian

Hasil Penelitian yang diharapkan berupa :

- Laporan Hasil Penelitian
- Peta Lintasan dan Lokasi Pengamatan dengan skala 1:5.000
- Peta Geologi dengan skala 1:5.000
- Peta Geomorfologi dengan skala 1:5.000
- Peta Persebaran Laterit dengan skala 1:5.000
- Profil Laterit dengan skala 1:100
- Hasil Analisis Kestabilan Lereng

I.6 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian pemetaan ini diharapkan bermanfaat bagi mahasiswa, institusi dan perusahaan sebagai berikut :

1. Manfaat bagi mahasiswa :

- Mahasiswa dapat menerapkan dan mengaplikasikan ilmu yang didapat di lingkungan kampus ke dalam industri pertambangan
- Mahasiswa dapat mengetahui kondisi geologi lapangan penelitian
- Menambah wawasan tentang endapan laterit nikel dan geologi teknik
- Menambah pengalaman sehingga dapat menjadi bekal ilmu setelah lulus

2. Manfaat bagi institusi :

- Dapat menambah referensi skripsi di perpustakaan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta
- Membangun hubungan baik dengan perusahaan sehingga dapat memberikan kesempatan bagi mahasiswa berkembang dengan adanya program skripsi ini

3. Manfaat bagi perusahaan :

- Perusahaan dapat melengkapi dan memperbaharui data hasil penelitian yang dilakukan di daerah penelitian
- Menambah relasi dengan universitas sehingga dapat menjalin kerjasama dalam bidang penelitian

BAB II

METODOLOGI

II.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode pemetaan lapangan. Metode ini digunakan oleh peneliti untuk melakukan pemetaan geologi pada daerah penelitian yang membutuhkan pengamatan detil pada tiap lokasi pengamatannya.

Metode ini dibagi menjadi empat tahap, yaitu tahap pertama pra pemetaan yang merupakan kegiatan untuk interpretasi awal, penentuan lintasan, dan studi literatur daerah penelitian. Tahap berikutnya adalah tahap pemetaan, pada tahap ini dilakukan observasi lapangan dan pengambilan data-data lapangan yang dibutuhkan. Kemudian tahap pasca pemetaan yaitu tahapan untuk menganalisis data yang telah diambil saat di lapangan. Selanjutnya tahap penyajian data berupa laporan hasil pemetaan dan peta daerah penelitian. Tahapan-tahapan penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:

II.1.1 Tahap Pra Pemetaan

Tahap ini merupakan tahapan yang dilakukan sebelum pemetaan di daerah penelitian. Tahap ini berfungsi untuk memudahkan saat pengambilan data di lapangan. Kegiatan pra pemetaan meliputi :

1. **Kajian Studi Pustaka**

Kajian studi pustaka merupakan kegiatan mencari informasi geologi daerah penelitian yang dapat diperoleh dari buku, jurnal dan artikel ilmiah dari peneliti sebelumnya. Data yang perlu dicari yaitu geologi regional, stratigrafi regional, struktur geologi regional, materi tentang endapan nikel laterit serta materi tentang geologi teknik.

2. **Analisis Data Sekunder**

Analisis data sekunder dilakukan supaya mengetahui daerah yang kemungkinan terdapat banyak singkapan sehingga dapat mempermudah mengetahui arah lintasan untuk pengambilan data lokasi

pengamatan. Dapat dilakukan dengan cara menganalisis dari peta topografi, peta geomorfologi.

3. Persiapan Lapangan

Persiapan lapangan berfungsi untuk mempersiapkan peralatan yang dibutuhkan saat pengambilan data di lapangan serta mempersiapkan materi yang dibutuhkan.

II.1.2 Tahap Pemetaan

Pada tahap pemetaan terbagi menjadi beberapa tahapan yaitu :

1. Observasi Geomorfologi

Observasi geomorfologi dilakukan dengan pengamatan morfologi serta interpretasi peta topografi dengan menentukan morfografi, morfometri dan morfogenesis sehingga dapat diketahui batas satuan bentuklahan berdasarkan klasifikasi van Zuidam (1985).

2. Pemetaan Geologi

Pemetaan geologi dilakukan dengan cara mengamati, mencatat serta mendokumentasikan hal-hal yang terkait dengan geologi seperti deskripsi litologi, pengukuran struktur geologi, persebaran zonasi laterit, pengambilan sampel batuan dan dokumentasi singkapan batuan.

3. Pengumpulan Data Geologi Teknik

Pada tahap ini data geologi teknik yang diambil berupa data geometri dari lereng yang akan dilakukan analisis kestabilan lereng yang meliputi pengukuran sudut lereng, tinggi lereng dan melakukan pengukuran bidang kekar, serta dilakukan pengambilan sampel tanah (*undisturbed*) maupun batuan dari lereng tersebut.

II.1.3 Tahap Pasca Pemetaan

Pada tahap pasca pemetaan dilakukan dengan analisis data dan penyajian data berupa laporan pemetaan dan peta yang dihasilkan.

1. Analisis Geologi

Pada tahapan ini penulis melakukan beberapa analisis geologi, yaitu sebagai berikut:

a. Analisis Geomorfologi

Analisis geomorfologi dilakukan untuk menentukan bentuk asal dan bentuklahan pada daerah penelitian dengan interpretasi pada peta topografi serta keadaan di lapangan. Penulis membagi bentuklahan berdasarkan pada klasifikasi van Zuidam (1985).

b. Analisis Petrografi (Sayatan Tipis Batuan)

Analisis petrografi dilakukan untuk mengetahui mineral penyusunnya beserta persentasenya secara lebih rinci dengan mineralogi optik dari sayatan tipis batuan.

c. Analisis Struktur Geologi

Data struktur geologi yang telah didapatkan saat pengambilan data di lapangan yang berupa kekar dan sesar yang dianalisis dengan metode stereografis menggunakan stereonet.

2. Analisis Geologi Teknik

Pada tahap ini dilakukan beberapa analisis geologi teknik, yaitu sebagai berikut :

a. Analisis mekanika tanah

- Uji Sifat Fisik Tanah

Uji sifat fisik tanah dilakukan untuk mengetahui sifat fisik tanah sebagai berikut :

- Bobot isi asli (*natural density*)
- Bobot isi kering (*dry density*)
- Bobot isi jenuh (*saturated density*)
- Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)
- Berat jenis sejati (*true specific gravity*)
- Kadar air asli (*natural water content*)
- Kadar air jenuh (*absorption*)
- Derajat Kejenuhan
- Porositas
- *Void Ratio*

- Uji Geser Langsung

Uji ini digunakan untuk mengetahui kuat geser batuan pada tegangan normal tertentu. Dari hasil uji dapat ditentukan:

- Garis *coulomb's shear strength*
- Kuat geser (*shear strength*)
- Sudut geser dalam (ϕ)
- Kohesi (c)

b. Analisis mekanika batuan

- Uji Sifat Fisik Batuan

Uji sifat fisik batuan yang dilakukan antara lain :

- Bobot isi asli (*natural density*)
- Bobot isi kering (*dry density*)
- Bobot isi jenuh (*saturated density*)
- Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)
- Berat jenis sejati (*true specific gravity*)
- Kadar air asli (*natural water content*)
- Kadar air jenuh (*absorption*)
- Derajat Kejenuhan
- Porositas
- *Void Ratio*

- Uji Kuat Tekan Uniaksial (*Unconfined Compressive Strength/UCS*)

Uji kuat tekan uniaksial data hasil pengujian kuat tekan, dapat digambarkan kurva tegangan-regangan (*stress-strain*) untuk tiap percontoh batuan. Kemudian dari kurva ini dapat ditentukan sifat mekanik batuan:

- Kuat tekan (σ_c)
- Batas elastik (σ_E)
- Modulus elastisitas
- *Poisson's ratio*

c. Perhitungan *Rock Quality Designation* (RQD), *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Geological Strength Index* (GSI)

d. Analisis Kestabilan Lereng

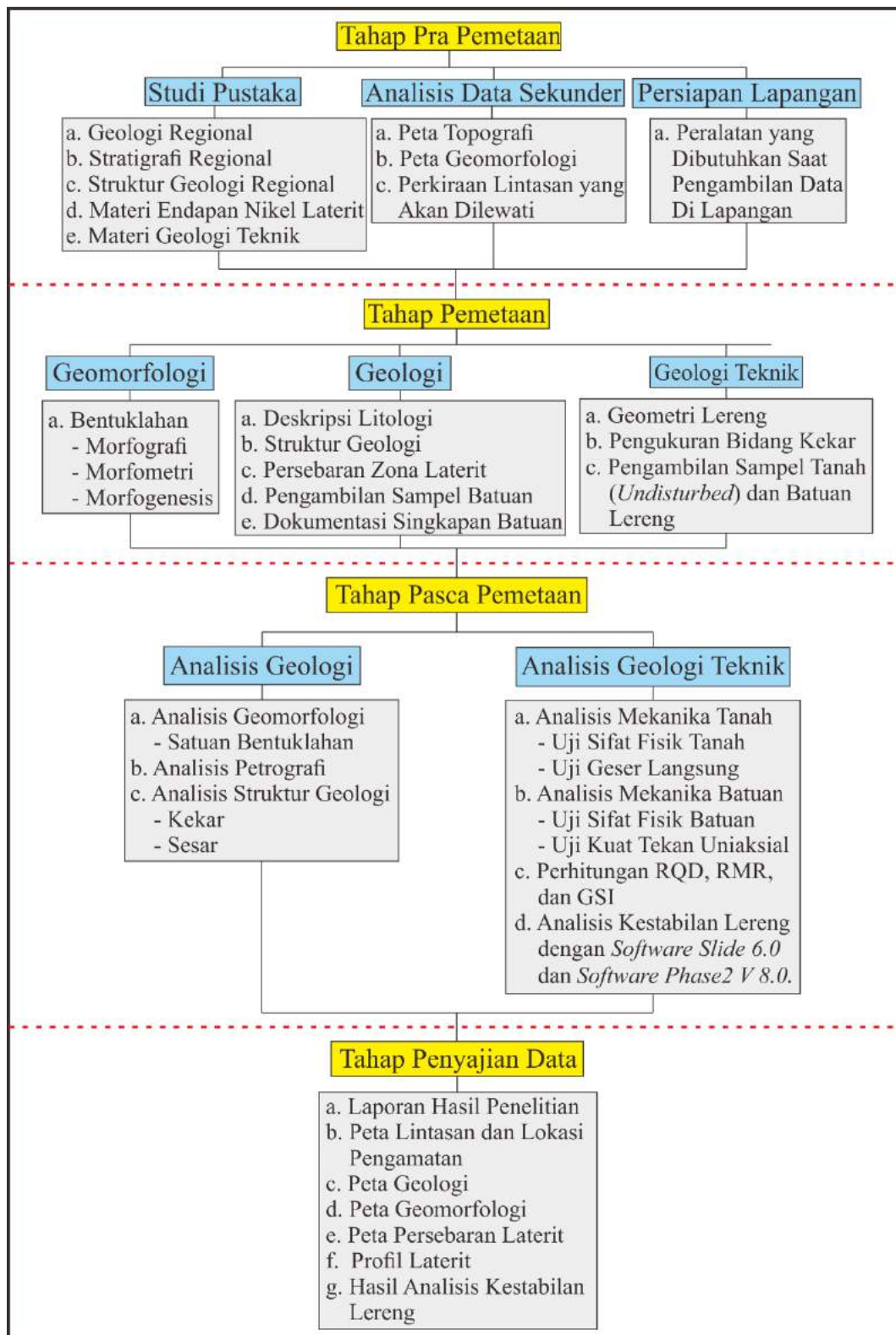
Analisis kestabilan lereng dengan melakukan perhitungan menggunakan metode kesetimbangan batas dan metode elemen hingga untuk mendapatkan nilai faktor keamanan dengan menggunakan *Software Slide 6.0* dan *Software Phase2 V 8.0*.

II.1.4 Tahap Penyajian Data

Setelah melakukan analisis-analisis diatas, data yang didapatkan di lapangan serta hasil analisis laboratorium disusun menjadi suatu laporan yang mencakup hasil penelitian. Hasil penelitian disajikan dalam bentuk laporan beserta peta yang meliputi :

- a. Laporan Hasil Penelitian
- b. Peta Lintasan dan Lokasi Pengamatan
- c. Peta Geologi
- d. Peta Geomorfologi
- e. Peta Persebaran Laterit
- f. Profil Laterit
- g. Hasil Analisis Kestabilan Lereng

II.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar II.1 Diagram Alir Penelitian

II.3 Alat

1. Peta topografi
2. Peta geologi regional
3. GPS
4. Kompas geologi
5. Palu geologi
6. Meteran
7. Buku lapangan
8. *Loupe*
9. Kamera
10. Parameter foto
11. Plastik sampel

BAB III

KAJIAN PUSTAKA

III.1 Nikel

III.1.1 Batuan Asal

III.1.1.1 Batuan Ultramafik

Batuan beku dapat dikatakan berjenis ultramafik apabila kandungan mineral mafiknya >90%. Batuan ultramafik diklasifikasikan menurut kandungan mineral mafiknya, yang terdiri dari olivin, ortopiroksen, klinopiroksen, hornblende, terkadang dengan sedikit biotit, dan sedikit garnet dan spinel. Streckeisen (1973) dalam Le Maitre, (2002), merekomendasikan dua diagram, keduanya ditunjukkan pada Gambar III.1. Satu untuk batuan yang terdiri dari olivin, ortopiroksen, dan klinopiroksen, dan yang lainnya untuk batuan yang mengandung hornblend, piroksen, dan olivin. Klasifikasi batuan ultramafik sebagai berikut :

1. Peridotit

Peridotit merupakan batuan ultramafik yang mengandung mineral olivin dan piroksen serta mineral mafik lainnya, dimana mineral olivin >40%. Peridotit dibagi menjadi :

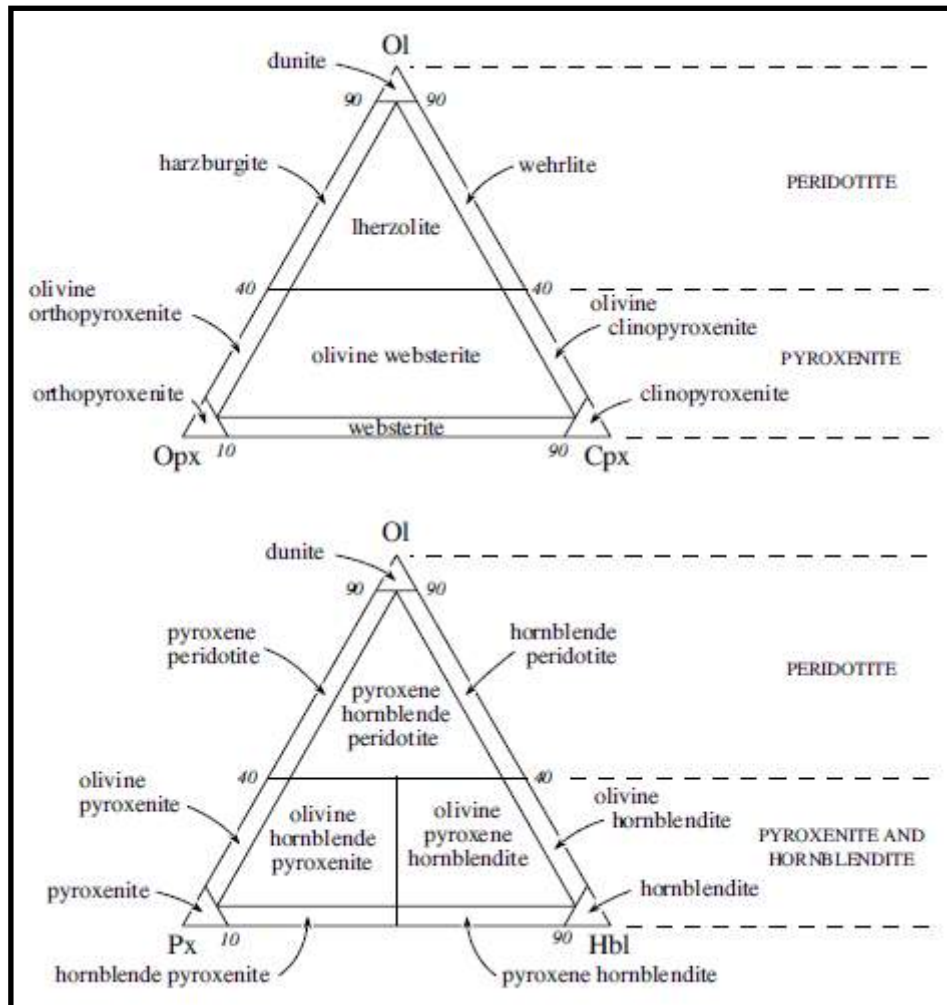
- a. Dunit : >90% mineral olivin dengan mineral aksesori kromit
- b. Harzburgit : memiliki kandungan olivin dan ortopiroksen
- c. Wehrlit : memiliki kandungan olivin dan klinopiroksen
- d. Lherzolit : memiliki kandungan olivin, klinopiroksen, dan ortopiroksen

2. Piroksenit

Piroksenit adalah batuan ultramafik dengan dominan mineral piroksen dan mengandung mineral olivin hingga 40%. Piroksenit dibagi menjadi ortopiroksenit, websterit, klinopiroksenit, olivin ortopiroksenit, olivin websterit, dan olivin klinopiroksenit berdasarkan jenis piroksennya.

3. Hornblendit

Hornblendit adalah batuan ultramafik yang memiliki kandungan mineral hornblen >90%.



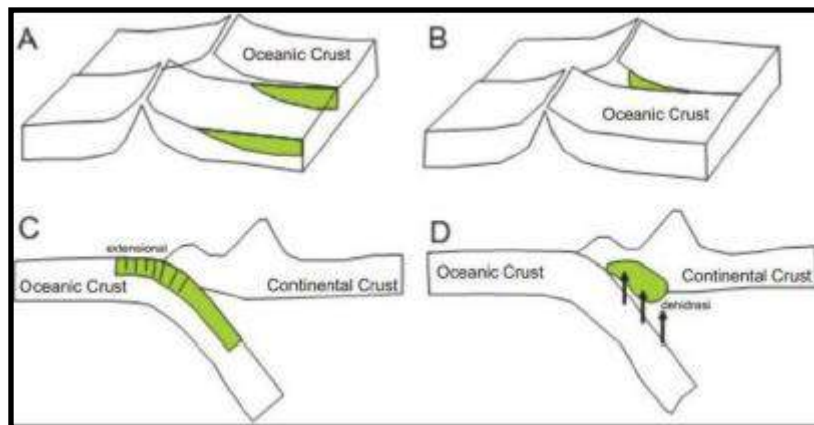
Gambar III.1 Klasifikasi Batuan Ultramafik Berdasarkan Kandungan Olivin (Ol), Ortopirosen (Opx), Klinopirosen (Cpx), Piroksen (Px) dan Hornblend (Hbl) (Menurut Streckeisen, 1973 dalam Le Maitre, 2002)

III.1.1.2 Serpentin

Serpentin merupakan batuan ultramafik yang telah berubah dan didominasi oleh mineral serpentin. Mineral serpentin dibagi menjadi lizardit, krisotil dan antigorit, namun jika tidak dapat diidentifikasi secara spesifik maka dapat digunakan mineral serpentin.

Menurut Li dan Aeolus Lee (2006) proses serpentinisasi dari batuan peridotit kerak samudera dapat terjadi karena proses sebagai berikut :

1. Infiltrasi air laut : rekahan atau kekar di kerak samudera akan menyebabkan air laut dapat masuk ke batuan ultramafik menyebabkan air laut bereaksi dengan batuan peridotit sehingga membentuk serpentin.
2. Ekshumasi : pelapukan yang terjadi di samudera menyebabkan ekshumasi peridotit ke permukaan pada zona rekahan dengan derajat kemiringan yang landai sehingga air laut berinteraksi dengan peridotit.
3. Zona lemah : infiltrasi air laut dapat masuk pada zona lemah di tunjaman subduksi yang menyebabkan rekahan ekstensi dan terjadi proses hidrotermal.
4. Dehidrasi saat subduksi : terjadi percampuran atau interaksi antara material kerak samudera dengan mantel dan fluida hidrotermal.



Gambar III.2 Proses Serpentinisasi (Li dan Aeolis Lee, 2006)

III.1.2 Tipe Endapan Nikel

Nikel memiliki dua tipe endapan, yaitu nikel primer atau nikel sulfida dan nikel sekunder atau nikel laterit. Perbedaan tipe endapan nikel menurut Cornwall (1966) :

1. Nikel Sulfida

Pada tipe endapan nikel sulfida terdapat pada mineral pentlandit $[(Fe,Ni)_9S_8]$ yang berasosiasi dengan mineral logam lain seperti kobalt dan selenium dengan batuan *host rock* berupa peridotit. Mineral ini terendapkan dengan cara diseminasi, masif atau dalam bentuk *vein* dalam batuan. Pada endapan nikel sulfida dikontrol oleh adanya struktur sesar sehingga endapan *ore* nikel terendapkan di sepanjang zona sesar atau zona rekahan.

e. Nikel Laterit

Pada tipe endapan nikel laterit terbentuk pada area yang sangat luas dengan periode pembentukan yang sangat lama serta mengalami pelapukan serta erosi yang dominan pada daerah beriklim tropis maupun subtropis. Batuan peridotit mengandung mineral olivin dan piroksen. Mineral olivin dan piroksen mengalami pelapukan sehingga menjadi endapan nikel laterit.

III.1.3 Genesis Endapan Laterit

Proses pembentukan nikel laterit karena adanya pelapukan intensif pada batuan dasar. Pengertian laterit menurut Evans (1993) yaitu produk sisa dari pelapukan kimia batuan di permukaan bumi, dimana berbagai mineral primer akan mengalami ketidakstabilan karena adanya air, lalu larut dan membentuk mineral baru yang lebih stabil.

Batuan dasar akan mengalami proses laterisasi yang terjadi karena faktor struktur, iklim, reaksi kimia, topografi dan waktu yang lama sehingga batuan dasar akan menjadi endapan laterit yang memiliki nilai ekonomis. Batuan yang menjadi batuan dasar dari pembentukan endapan nikel laterit yaitu batuan ultramafik seperti batuan peridotit dan serpentinit yang memiliki kandungan mineral olivin dan piroksen yang dominan, dengan adanya mineral olivin dan piroksen maka batuan tersebut mudah mengalami pelapukan karena unsur-unsur dalam mineral olivin dan piroksen mudah larut.

Menurut Golightly (1981), sebagian unsur-unsur Ca, Mg, dan Si

akan mengalami dekomposisi dan beberapa terkayakan secara supergen (Ni, Mn, Co, Zn) atau terkayakan secara relatif (Fe, Cr, Al, Ti, S, dan Cu). Air resapan yang mengandung CO₂ yang berasal dari udara akan meresap ke permukaan tanah dengan melindi mineral primer seperti olivin dan piroksen. Kemudian air meresap sampai ke batas zona limonit dan zona saprolit, lalu mengalir secara lateral dan kemudian didominasi transportasi larutan secara horizontal (Valeton, 1987).

Unsur-unsur sukar larut seperti Ni, Co, Cr, Fe akan tertinggal dan membentuk suspensi koloid. Larutan besi akan terikat dengan oksida dan membentuk ferri hidroksida sehingga membentuk mineral baru seperti goetit, hematit. Kandungan nikel akan membentuk konsentrasi residual.

III.1.4 Faktor-Faktor Pembentukan Laterit Nikel

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi pembentukan laterit nikel menurut Ahmad (2008), yaitu sebagai berikut :

1. Batuan Asal

Batuan asal merupakan faktor paling utama pembentukan laterit nikel. Batuan asal untuk proses pembentukan laterit nikel yaitu batuan ultra basa karena dalam batuan ultrabasa terdapat unsur Ni dalam mineral olivin dan piroksen.

2. Struktur

Struktur berupa kekar maupun sesar sebagai rekahan yang menjadi zona lemah akan dijadikan sebagai jalur air untuk masuk dan membantu dalam proses pelapukan.

3. Iklim

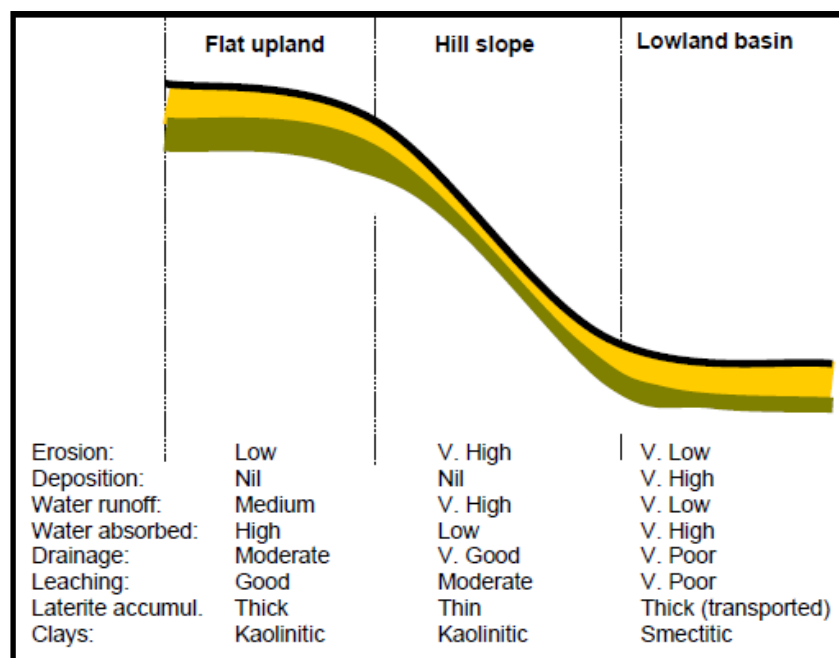
Adanya musim kemarau dan musim penghujan akan menyebabkan perubahan penurunan dan kenaikan permukaan air tanah yang dapat membantu proses pelapukan.

4. Reaksi Kimia

Proses pelarutan kimia dan vegetasi dapat mempercepat proses pelapukan batuan menjadi soil dari adanya pemisahan unsur-unsur dan senyawa-senyawa.

5. Topografi

Pada daerah dataran tinggi yang datar memiliki tingkat erosi yang rendah, aliran air sedang, penyerapan air tinggi, drainase yang baik, leaching yang baik tetapi pengendapannya hampir tidak ada. Daerah lereng bukit memiliki tingkat erosi yang sangat tinggi, aliran air sangat tinggi, penyerapan air rendah, drainase sangat baik dan leaching baik namun hampir tidak ada pengendapan di daerah ini. Pada daerah cekungan dataran rendah memiliki tingkat erosi sangat rendah, aliran air sangat rendah, penyerapan air sangat tinggi, drainase sangat buruk dan leaching sangat buruk namun memiliki tingkat pengendapan laterit yang sangat tinggi.



Gambar III.3 Hubungan Laterit dan Topografi Menurut Ahmad (2008)

6. Waktu

Waktu yang semakin lama akan mengalami pelapukan yang semakin intensif sehingga terakumulasi laterit yang cukup tinggi.

III.1.5 Zona Profil Laterit

Pada proses laterisasi dari batuan dasar maka akan menghasilkan profil laterit. Pembagian zona profil laterit menurut Ahmad (2008) yaitu :

1. Tanah Penutup (*Top Soil*)

Tanah penutup atau *top soil* merupakan tanah residu berwarna merah tua kecoklatan yang dihasilkan dari proses oksidasi yang terdiri dari hematit, goethit serta limonit. Pada tanah penutup ini memiliki kandungan kadar besi yang sangat tinggi dengan Ni yang sangat rendah.

2. Zona Limonit

Zona limonit merupakan lapisan paling atas dari profil laterit. Zona limonit pada umumnya berwarna coklat merah atau kuning, memiliki ukuran butir halus hingga lempungan. Zona ini dapat disebut sebagai zona oksida atau zona laterit. Pada zona ini mineral goetit dominan dan disertai dengan mineral yang tidak mudah larut seperti magnetit, spinel dan talk primer. Zona limonit memiliki kandungan kadar besi yang tinggi.

3. Zona Transisi

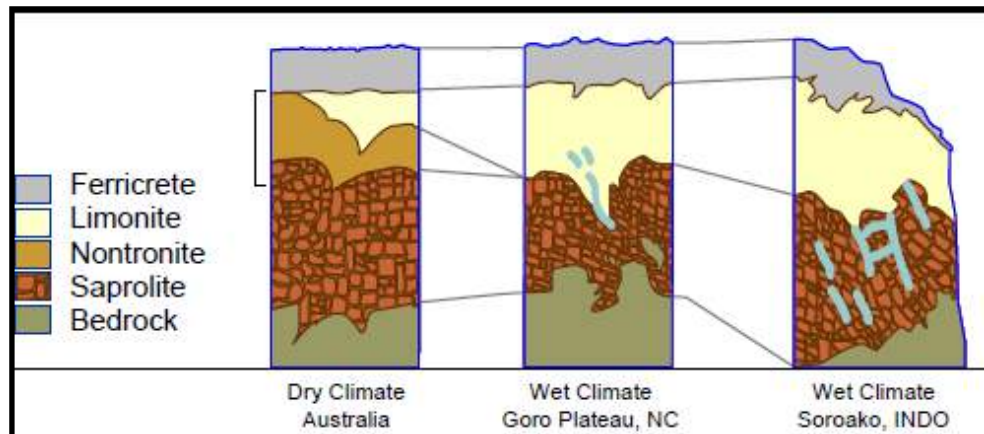
Zona transisi berwarna putih-orange, pada rekahan-rekahan terisi *chert*, *quartz* dan sebagian menggantikan zona terluar dari fragmen peridotit yang tidak mengalami serpentinisasi. Zona ini jarang terdapat pada batuan dasar yang mengalami serpentinisasi.

4. Zona Saprolit

Zona saprolit memiliki warna kekuningan, dan merupakan campuran dari batuan yang telah mengalami pelapukan. Memiliki sifat pasiran, *vein garnierite*, *saprolite rims*, *nickeliferous quartz*, mangan dan beberapa kasus terdapat *silica boxwork*. Struktur dan tekstur dari batuan dasar masih terlihat pada zona saprolit ini. Zona ini memiliki kandungan Ni yang tinggi dan kadar besi yang rendah.

5. Zona Batuan Dasar (*Bedrock*)

Zona batuan dasar tersusun dari bongkahan dari batuan induk. Zona ini merupakan zona yang paling bawah dari profil laterit.



Gambar III.4 Profil Endapan Nikel Laterit (Ahmad, 2008)

III.2 Kestabilan Lereng

Lereng adalah suatu permukaan yang menghubungkan tanah yang lebih tinggi dengan permukaan tanah yang lebih rendah. Ada tiga macam lereng yang perlu mendapat perhatian dari ahli-ahli geoteknik, yaitu:

1. Lereng alam, yaitu lereng yang terbentuk akibat kegiatan alam, seperti erosi, gerakan tektonik dan sebagainya.
2. Lereng yang dibuat manusia, akibat penggalian atau pemotongan pada tanah asli untuk pembuatan jalan atau keperluan irigasi.
3. Lereng timbunan tanah, seperti urugan untuk jalan raya atau bendungan tanah.

Dalam setiap kasus tanah yang tidak datar akan menghasilkan komponen gravitasi dari berat yang cenderung menggerakkan massa tanah dari elevasi yang lebih tinggi ke elevasi yang lebih rendah. Tujuan utama dari analisis kestabilan lereng tambang adalah menghasilkan suatu rancangan dinding tambang yang aman dan ekonomis. Menurut Arief (2007), tujuan dari analisis kestabilan lereng adalah :

- a. Menentukan kondisi kestabilan suatu lereng
- b. Memperkirakan bentuk keruntuhan kritis yang mungkin terjadi
- c. Menganalisis penyebab terjadinya longsor
- d. Merancang suatu desain lereng galian atau timbunan yang optimal dan memenuhi kriteria keamanan dan kelayakan ekonomis

- e. Memperkirakan kestabilan lereng, selama konstruksi dilakukan maupun dalam jangka waktu yang panjang
- f. Mempelajari gaya-gaya yang bekerja dari luar
- g. Menentukan metode perkuatan atau perbaikan lereng yang sesuai.

Kestabilan lereng batuan banyak dikaitkan dengan tingkat pelapukan dan struktur geologi yang hadir pada massa batuan tersebut. Disamping struktur geologi, kehadiran air bawah permukaan maupun diatas permukaan dan karakteristik fisik-mekanik yang dimiliki batuan tersebut dapat mempengaruhi tingkat kestabilan lereng suatu dinding tambang.

Sebelum menganalisis kestabilan lereng, hal paling mendasar yang harus diperhatikan yaitu material pembentuk lereng berupa tanah atau batuan. Tanah merupakan sekumpulan mineral, bahan organik dan sedimen yang relatif lepas yang terdapat diatas batuan dasar. Tanah dapat dengan mudah dihancurkan menjadi butiran-butiran mineral atau bahan organik (Holtz & Kovacs, 1981). Menurut Bieniawski (1973), tanah merupakan suatu material bentukan alam yang mempunyai kuat tekan uniaksial kurang dari 1 MPa sedangkan batuan mempunyai nilai kuat tekan uniaksial lebih dari 1 MPa.

III.2.1 Faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

Umumnya stabil atau tidaknya suatu lereng tergantung dari beberapa faktor, antara lain:

1. Geometri lereng

Geometri lereng meliputi bentukan lereng, baik tinggi lereng dan besar sudut lereng. Kemiringan dan tinggi suatu lereng sangat mempengaruhi kestabilannya. Semakin besar kemiringan dan ketinggian suatu lereng, maka kestabilan semakin berkurang.

2. Iklim

Iklim berpengaruh terhadap kemandapan lereng karena iklim mempengaruhi perubahan temperatur. Temperatur yang cepat berubah akan mempercepat proses pelapukan batuan. Untuk daerah tropis pelapukan berlangsung lebih cepat dan kelongsoran pada lereng lebih cepat berlangsung.

3. Penyebaran batuan

Macam penyebaran dan hubungan antar batuan yang terdapat di daerah penyelidikan harus diketahui. Hal ini perlu dilakukan karena sifat fisis dan mekanis batuan berbeda sehingga kekuatan batuan dalam menahan bebannya sendiri juga berbeda.

4. Relief permukaan bumi

Faktor ini mempengaruhi laju erosi, pengendapan, menentukan arah aliran air permukaan lebih besar dan mengakibatkan pengikisan yang lebih banyak. Akibatnya adalah banyak dijumpai singkapan-singkapan yang mempercepat proses pelapukan. Batuan akan mudah lapuk dan mempengaruhi kekuatan batuan. Pada akhirnya kekuatan batuan menjadi kecil sehingga kemantapan lereng berkurang.

5. Struktur batuan

Struktur batuan yang sangat mempengaruhi kestabilan lereng adalah bidang-bidang sesar, perlapisan dan rekahan. Struktur batuan tersebut merupakan bidang-bidang lemah (diskontinuitas) dan sekaligus sebagai tempat merembesnya air, sehingga batuan lebih mudah longsor. Jika orientasi umum bidang-bidang lemah tersebut searah dengan arah lereng dan kemiringan bidang lemah lebih landai dari kemiringan bidang lereng. Maka struktur tersebut mempunyai pengaruh langsung yang lebih besar terhadap stabilitas lereng, sebaliknya jika arah dan kemiringan bidang lereng berlawanan maka struktur bidang lemah tersebut mempunyai pengaruh langsung yang lebih kecil terhadap stabilitas lereng.

6. Kandungan air tanah

Kandungan air tanah sebagai kelembaban tanah pada lereng yang bersangkutan akan memberikan tambahan beban yang besar pada lereng. Selain itu juga, kondisi material yang jenuh dengan air tanah akan mengalami penurunan kekuatan geser akibat adanya tekanan air pori di dalam tubuh material tersebut. Penambahan air tanah pada pori-pori tanah atau batuan akan memperbesar beban dan pada akhirnya

menimbulkan gaya penggerak yang dapat mengakibatkan terjadinya longsor. Kondisi air tanah yang dimaksud disini adalah ketinggian level air tanah yang berada di bawah permukaan lereng. Pengaruh air tanah terhadap kestabilan lereng yaitu adanya tekanan ke atas dari air pada bidang-bidang lemah yang secara efektif mengurangi kekuatan geser dan mempercepat proses pelapukan dari batuan.

7. Berat beban yang ditanggung oleh lereng

Pada suatu lereng yang menanggung beban massa, semakin berat beban yang ditanggung lereng maka semakin besar potensi lereng untuk mengalami pergerakan. (Bowles, 1991)

8. Sifat fisik dan sifat mekanik

a. Sifat fisik

Sifat fisik terdiri dari:

- Bobot isi asli (*natural density*)
- Bobot isi kering (*dry density*)
- Bobot isi jenuh (*saturated density*)
- Berat Jenis Semu (*apparent specific gravity*)
- Berat jenis sejati (*true specific gravity*)
- Kadar air asli (*natural water content*)
- Kadar air jenuh (*absorption*)
- Derajat Kejenuhan
- Porositas
- *Void Ratio*

b. Uji Kuat Tekan Uniaksial (*Unconfined Compressive Strength/UCS*)

Uji kuat tekan uniaksial (*Unconfined Compressive Strength/UCS*) data hasil pengujian kuat tekan, dapat digambarkan kurva tegangan-regangan (*stress-strain*) untuk tiap percontoh batuan. Kemudian dari kurva ini dapat ditentukan sifat mekanik batuan:

- Kuat tekan (σ_c)
- Batas elastik (σ_E)

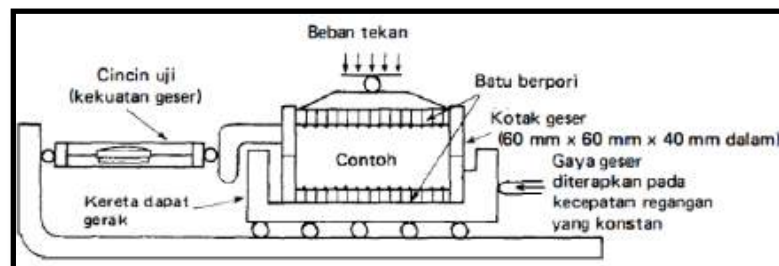
- Modulus elastisitas
 - *Poisson's ratio*
- c. Uji Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

Uji ini digunakan untuk mengetahui kuat geser batuan pada tegangan normal tertentu. Dari hasil uji dapat ditentukan:

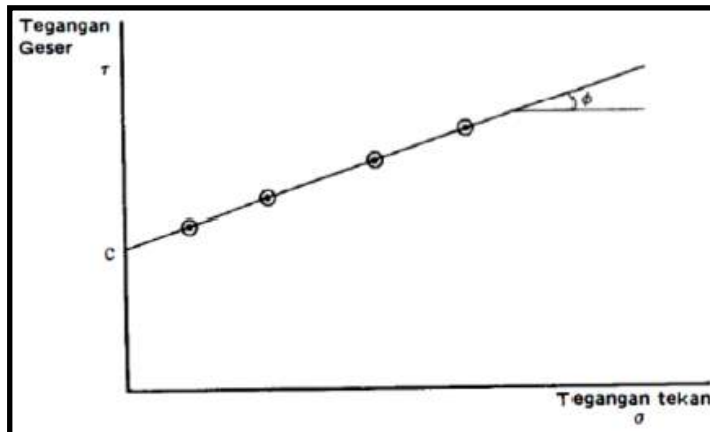
- *Garis coulomb's shear strength*
 - Kuat geser (*shear strength*)
 - Sudut geser dalam (ϕ)
 - Kohesi (c)
9. Gaya dari luar
- Gaya-gaya dari luar yang dapat mempengaruhi (mengurangi) kestabilan suatu lereng adalah:
- a. Getaran yang diakibatkan oleh gempa.
 - b. Peledakan di dekat lereng.
 - c. Pemakaian alat-alat mekanis yang berat. (Bowles, 1991)

III.2.2 Uji Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

Uji geser langsung (*direct shear test*) adalah uji laboratorium untuk mendapatkan parameter nilai kohesi dan sudut geser dalam. Percobaan sederhana untuk mendapatkan kuat geser tanah adalah dengan percobaan geser langsung (Gambar III.5). Tegangan geser diukur pada suatu cincin uji dan nilai maksimum yaitu kuat geser tanah pada keruntuhan. Kuat geser ini didapatkan dengan sampel yang dibebani bermacam-macam beban tekan (normal) dan digambar pada suatu grafik dari tegangan geser dan tegangan normal menghasilkan suatu grafik garis lurus (Gambar III.6).

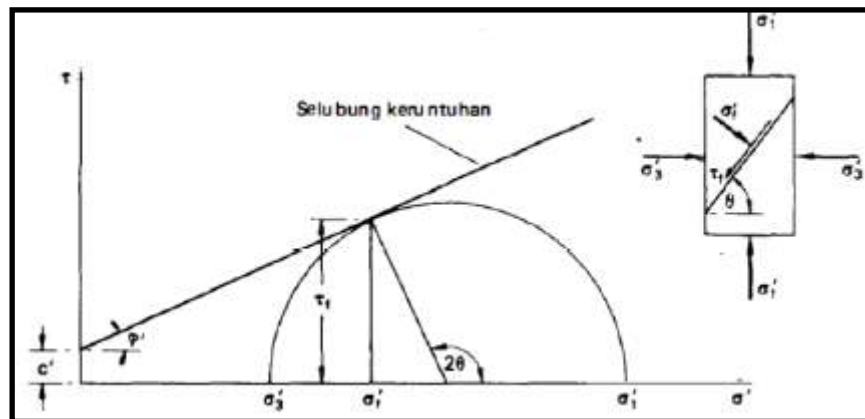


Gambar III.5 Uji Geser Langsung (J. Smith M., 1984)



Gambar III.6 Grafik dari Tegangan Geser dan Tegangan Normal
(J. Smith M., 1984)

III.2.3 Kriteria Keruntuhan Mohr Coulomb



Gambar III.7 Keadaan Tegangan pada Saat Runtuh (F. Craig R. dan Susilo S. Budi, 1989)

Persamaan garis yang didapatkan dari percobaan dikenal dengan hukum Mohr Coulomb dan dalam bentuk paling sederhana sebagai berikut:

$$T = c + \sigma \tan \phi \dots \dots \dots (III.1)$$

Keterangan :

T : tegangan geser

c : kohesi

σ : tegangan tekan total

φ : sudut geser dalam

III.2.4 Klasifikasi Massa Batuan

Bieniawski (1976) mempublikasikan suatu klasifikasi massa batuan yang disebut Klasifikasi Geomekanika atau lebih dikenal dengan *Rock Mass Rating* (RMR). Setelah bertahun-tahun, klasifikasi massa batuan ini telah mengalami penyesuaian dikarenakan adanya penambahan data masukan sehingga Bieniawski membuat perubahan bobot nilai pada parameter yang digunakan untuk penilaian klasifikasi massa batuan tersebut. Pada penelitian ini, klasifikasi massa batuan yang digunakan adalah klasifikasi massa batuan tahun 1989 (Bieniawski, 1989).

5 Parameter utama dan 1 parameter kondisi yang digunakan dalam klasifikasi RMR yaitu :

1. Kuat tekan uniaksial batuan utuh
2. *Rock Quality Designation* (RQD)
3. Spasi bidang diskontinyu
4. Kondisi bidang diskontinyu
5. Kondisi air tanah
6. Orientasi/arah bidang diskontinyu

Pada penggunaan sistem klasifikasi ini, massa batuan dibagi kedalam daerah struktural yang memiliki kesamaan sifat berdasarkan 6 parameter di atas dan klasifikasi massa batuan untuk setiap daerah tersebut dibuat terpisah. Batas dari daerah struktur tersebut biasanya disesuaikan dengan kenampakan perubahan struktur geologi seperti patahan, perubahan kerapatan kekar, dan perubahan jenis batuan.

Dalam klasifikasi massa batuan dengan *Rock Mass Rating* (RMR) sistem seperti disajikan pada Tabel III.1., setiap parameter yang ditinjau mempunyai bobot nilai tersendiri. Nilai-nilai dari setiap parameter tersebut kemudian dijumlahkan untuk memperoleh nilai RMR.

Tabel III.1 Rock Mass Rating (Bieniawski, 1989)

Parameter		Selang nilai					Untuk nilai yang		
1	kekuatan	Indek kekuatan	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	kecil dipakai UCS		
	batuan	Point Load(Mpa)							
	Utuh	Kuat tekan Uniaksial(Mpa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50			< 1
	Pembobotan		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Pembobotan		20	17	13	8	3		
3	spasi rekahan		> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Pembobotan		20	15	10	8	5		
4	Kondisi rekahan		permukaan sangat kasar tidak menerus, tidak renggang, tidak lapuk	Agak kasar renggangan < 1 mm, Agak lapuk	Agak Kasar, renggangan < 1 mm, sangat kasar	Slickenside/gauge < 5 mm, renggangan 1-5 mm, menerus	Gauge lemah, tebal > 5 mm, menerus		
	Pembobotan		30	25	20	10	0		
5	Air tanah	aliran/ 10 m panjang terowongan(L/min)	tidak ada	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		Tekanan pori	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
	Tag Utama max								
	Keadaan umum	Kering	lembab	Basah	Menetes	Mengalir			
	Pembobotan		15	10	7	4	0		

III.2.5 Kriteria Keruntuhan *Generalized* Hoek & Brown (1980)

Dalam kriteria keruntuhan ini, Hoek & Brown (1980) mengusulkan hubungan tegangan utama maksimum dan minimum untuk menentukan runturan yang terjadi pada batuan utuh dan batuan retak. Kriteria keruntuhan ini berdasarkan hasil penelitian Hoek & Brown mengenai mekanisme pecahan batuan utuh dan perilaku massa batuan yang terkekarkan. Hoek & Brown menentukan nilai faktor keamanan dengan menggabungkan data nilai GSI (*Geological Strength Index*), dan mi (massa batuan) serta uji kuat tekan dan berat jenis batuan dari hasil uji sifat fisik batuan. Hoek & Brown membuat persamaan hubungan antar tegangan utama yaitu (Hoek & Brown *Failure Criterion*, 2002)

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left(m \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^{0.5} \dots\dots\dots(III.2)$$

Keterangan :

- σ₁' dan σ₃' adalah tegangan utama efektif mayor dan minor pada runturan
- σ_{ci} adalah kuat tekan uniaksial pada batuan utuh
- m dan s adalah nilai konstanta material (s = 1 untuk batuan utuh)

Kriteria keruntuhan Generalized Hoek & Brown diperkenalkan Hoek dimana bentuk dari tegangan utama dalam lingkaran Mohr disesuaikan dengan nilai konstanta a, sehingga persamaannya menjadi (Hoek & Brown *Failure Criterion*, 2002) :

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \dots\dots\dots(III.3)$$

m_b merupakan nilai reduksi dari konstanta material m_i (Tabel III.3) yang didapatkan dari (Hoek & Brown *Failure Criterion*, 2002) :

$$m_b = m_i \exp \left(\frac{GSI-100}{28-14D} \right) \dots\dots\dots(III.4)$$

s dan a merupakan konstanta massa batuan dari hubungan (Hoek & Brown *Failure Criterion*, 2002) :

$$s = \exp \left(\frac{GSI-100}{9-3D} \right) \dots\dots\dots(III.5)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right) \dots\dots\dots(III.6)$$

D merupakan faktor yang memiliki ketergantungan pada tingkat gangguan terhadap massa batuan akibat dari efek peledakan dan redistribusi tegangan akibat penggalian. Nilai dari faktor D (Tabel III.4) mulai dari 0 untuk massa batuan tidak terganggu (*undisturbed*) hingga 1 untuk massa batuan terganggu (*disturbed*).

Kuat tekan uniaksial diperoleh dari $\sigma_3' = 0$ di persamaan III.3

$$\sigma_c = \sigma_{ci} \cdot s^a \dots\dots\dots(III.7)$$







dan kuat tariknya yaitu :

$$\sigma_t = - \frac{s \sigma_{ci}}{m_b} \dots\dots\dots(III.8)$$

1. Klasifikasi *Geological Strength Index* (GSI)

Nilai GSI ini merupakan perhitungan yang dilakukan dengan memberikan range penilaian berdasarkan orientasi bidang kekar dengna kondisi permukaan tubuh batuan. Grafik orientasi jumlah kekar terwakilkan sebagai sumbu Y dan kondisi permukaan sebagai sumbu X. Penentuan nilai GSI dalam tabel dibawah sebagai berikut :

Tabel III.2 Penentuan Nilai GSI (Hoek & Brown, 1980)

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000) From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.		SURFACE CONDITIONS				
STRUCTURE		VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Slackensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	VERY POOR Slackensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
	VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60			
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			50		
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				40	
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes					30
						20
						10
		N/A	N/A			

Nilai GSI juga bisa didapatkan dari nilai RMR yang diperoleh dari klasifikasi massa batuan menurut Bieniawski (1989) dengan rumus sebagai berikut :

$$GSI = RMR - 5 \dots \dots \dots (III.9)$$

2. Klasifikasi Nilai mi

Hoek & Brown (1980), dalam metode perhitungan kestabilan lereng harus mencantumkan nilai mi atau pengganti *phi* (sudut geser dalam), dimana nilai mi merupakan konstanta material yang diambil dari batuan utuh. Tabel nilai mi sebagai berikut :






Tabel III.3 Nilai mi untuk Kriteria Keruntuhan *Generalized Hoek & Brown* (1980)

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerates* (21 ± 3) Breccias (19 ± 5)	Sandstones 17 ± 4	Siltstones 7 ± 2 Greywackes (18 ± 3)	Claystones 4 ± 2 Shales (6 ± 2) Marls (7 ± 2)
		Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestones (10 ± 2)	Micritic Limestones (9 ± 2)	Dolomites (9 ± 3)
	Non-Clastic	Evaporites		Gypsum 8 ± 2	Anhydrite 12 ± 2	
		Organic				Chalk 7 ± 2
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9 ± 3	Hornfels (19 ± 4) Metasandstone (19 ± 3)	Quartzites 20 ± 3	
	Slightly foliated		Migmatite (29 ± 3)	Amphibolites 26 ± 6		
	Foliated**		Gneiss 28 ± 5	Schists 12 ± 3	Phyllites (7 ± 3)	Slates 7 ± 4
IGNEOUS	Plutonic	Light	Granite 32 ± 3 Granodiorite (29 ± 3)	Diorite 25 ± 5		
		Dark	Gabbro 27 ± 3 Norite 20 ± 5	Dolerite (16 ± 5)		
	Hypabyssal		Porphyries (20 ± 5)		Diabase (15 ± 5)	Peridotite (25 ± 5)
	Volcanic	Lava		Rhyolite (25 ± 5) Andesite 25 ± 5	Dacite (25 ± 3) Basalt (25 ± 3)	Obsidian (19 ± 3)
		Pyroclastic	Agglomerate (19 ± 3)	Breccia (19 ± 5)	Tuff (13 ± 5)	

3. Disturbance Factor *D*

Disturbance Factor D adalah faktor yang memiliki ketergantungan pada tingkat gangguan terhadap massa batuan akibat dari efek peledakan dan redistribusi tegangan akibat penggalan.

Tabel III.4 *Disturbance Factor D* (Hoek-Brown, 2002)

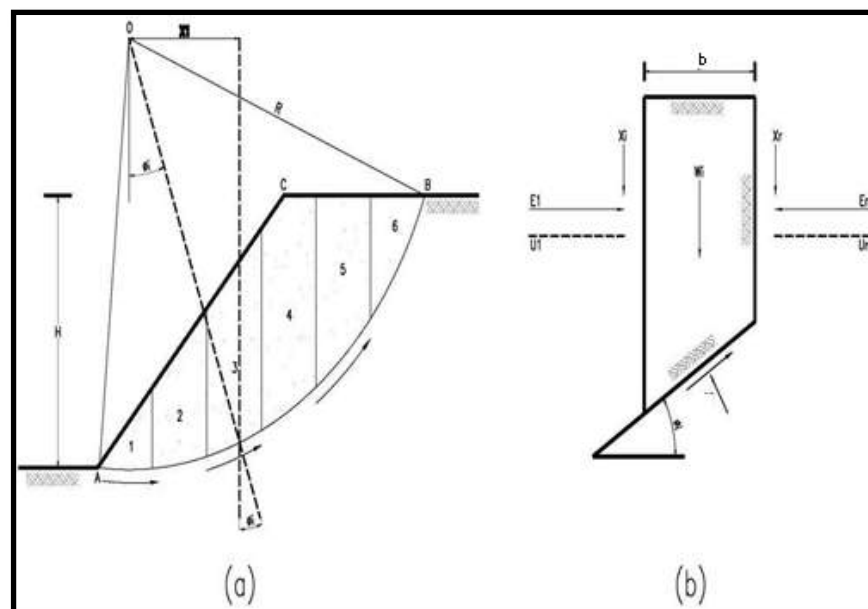
Appearance of rock mass	Description of rock mass	Suggested value of <i>D</i>
	Excellent quality controlled blasting or excavation by Tunnel Boring Machine results in minimal disturbance to the confined rock mass surrounding a tunnel.	$D = 0$
	Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) results in minimal disturbance to the surrounding rock mass. Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.	$D = 0$ $D = 0.5$ No invert
	Very poor quality blasting in a hard rock tunnel results in severe local damage, extending 2 or 3 m, in the surrounding rock mass.	$D = 0.8$
	Small scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance.	$D = 0.7$ Good blasting $D = 1.0$ Poor blasting
	Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and also due to stress relief from overburden removal. In some softer rocks excavation can be carried out by ripping and dozing and the degree of damage to the slopes is less.	$D = 1.0$ Production blasting $D = 0.7$ Mechanical excavation

III.2.6 Analisis dengan Metode Kestimbangan Batas

Salah satu metode yang dikembangkan dalam menganalisis kestabilan suatu lereng adalah metode kestimbangan batas. Metode kestimbangan batas merupakan suatu metode kestimbangan antara gaya yang menahan longsor terhadap gaya yang menyebabkan longsoran.

Metode kesetimbangan batas untuk kestabilan lereng membagi massa bidang longsor menjadi irisan-irisan kecil. Gaya gesek yang bekerja pada irisan diasumsikan mewakili seluruh bagian yang sama dari kuat gesek batuan atau tanah dimana gaya gesek ini bekerja. Sedangkan gaya normal yang bekerja pada suatu titik di lingkaran bidang longsor dipengaruhi oleh berat tanah di atas titik tersebut. Penentuan angka keamanan lereng membutuhkan paling sedikit satu asumsi yang berkenaan dengan gaya-gaya antar irisan (*interslice force*). Asumsi yang paling umum dibuat adalah yang berkenaan dengan arah, besar dan titik kerja (*point of application*) dari gaya-gaya antar irisan.

Pada Gambar III.8 memperlihatkan satu irisan dengan gaya-gaya yang bekerja, Gaya-gaya ini terdiri dari gaya gesek (X_r dan X_l) dan gaya normal efektif (E_r dan E_l) di sepanjang sisi irisan, dan juga resultan gaya gesek efektif (S_i) dan resultan gaya normal efektif (P_i) yang bekerja di sepanjang dasar irisan. Pada irisan, tekanan air pori U_l dan U_r bekerja di kedua sisinya, dan tekanan air pori U_i bekerja pada dasar irisan.



Gambar III.8 Gaya yang Bekerja pada Irisan (Spencer, 1967)

Berdasarkan kondisi kesetimbangan yang dapat dipenuhi, metode irisan dapat dikelompokkan menjadi 2 kategori :

1. Metode yang tidak memenuhi kedua kesetimbangan gaya dan momen, antara lain metode biasa, metode bishop disederhanakan dan metode janbu disederhanakan.
2. Metode yang memenuhi kondisi kesetimbangan gaya dan momen, antara lain metode spencer, metode morgenstern-price dan metode kesetimbangan batas umum.

Setiap metode memiliki asumsi dasar yang berbeda dalam penentuan angka keamanan stabilitas lereng. Prinsip dasar dihitung dari perbandingan antara kuat geser tanah (τ_f) dengan gaya dorong tanah (τ), atau perbandingan dari momen tahan RM (*Resisting Moment*) dengan momen dorong DM (*Driving Moment*).

III.2.6.1 Metode Spencer

Metode spencer merupakan metode yang dapat digunakan untuk sembarang bentuk bidang longsor dan memenuhi semua kondisi kesetimbangan gaya dan kesetimbangan momen pada setiap irisan (Spencer, 1967). Spencer mengasumsikan bahwa gaya-gaya yang bekerja disekitar bidang irisan adalah paralel sehingga gaya-gaya tersebut memiliki sudut kemiringan yang sama yaitu :

$$\frac{X}{E} = \tan \Theta = \lambda \dots\dots\dots(III.10)$$

Dimana Θ adalah sudut kemiringan resultan gaya antar irisan
Perhitungannya adalah :

Kekuatan untuk menahan kestabilan lereng :

$$S = \frac{1}{F}(c.l + (P-u.l) \tan \emptyset) \dots\dots\dots(III.11)$$

Kesetimbangan vertikal : $P \cos \alpha + S \sin \alpha = W - (Xr-Xl)$

Untuk turunan rumus kesetimbangan vertikal menjadi :

$$(P-ul) = \frac{W-1\left(\left[\frac{c.\sin \alpha}{F}\right]+u.\cos \alpha\right)}{\cos \alpha + \frac{\tan \emptyset}{F}.\sin \alpha} \dots\dots\dots(III.12)$$

Kesetimbangan momen :

$$\Sigma WR \sin \alpha = \Sigma SR \dots\dots\dots(III.13)$$

Substitusi persamaan diatas, sehingga didapatkan kesetimbangan momen:

Kesetimbangan Horizontal :

$$FK = \frac{\Sigma [c.b + (W - u.b) \tan \phi'] \left(\frac{1}{\cos \alpha (1 + \tan \phi \tan \alpha / F)} \right)}{\Sigma W \sin \alpha} \dots\dots\dots(III.14)$$

$$S + (Er - El) \cos \alpha = (W - (Xr - Xl)) \sin \alpha \dots\dots\dots(III.15)$$

Berdasarkan kesetimbangan gaya horizontal, didapatkan FK gaya :

$$FK = \frac{\Sigma (c.b + (w - ub) \tan \phi) \frac{\sec \alpha^2}{1 + \tan \alpha \tan \phi / F}}{\Sigma W \tan \alpha} \dots\dots\dots(III.16)$$

Untuk menghitung Er-El digunakan rumus kesetimbangan gaya, sehingga diperoleh :

$$\Sigma (Er - El) = \Sigma (W - Xr - Xl) \tan \alpha - 1/F_m \Sigma (cl + P - ul) \tan \phi \cos \alpha \dots\dots(III.17)$$

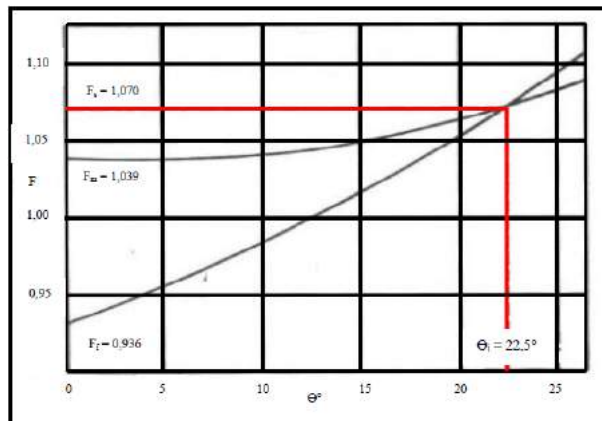
Setelah didapatkan nilai Er-El, maka Xr-Xl dapat digunakan untuk menentukan λ terlebih dahulu.

Keterangan :

- S : kekuatan geser efektif
- c : kohesi efektif
- P' : gaya normal efektif pada dasar irisan
- ϕ : sudut geser dalam efektif
- U : tekanan air pori
- F : FK
- l : panjang dasar irisan
- W : berat irisan
- b : lebar irisan

- X_R, X_L : gaya-gaya vertikal pada batas irisan
- E_R, E_L : gaya-gaya horisontal pada batas irisan
- λ : Skala dari sudut yang terbentuk oleh gaya normal dan gaya gesek pada sisi irisan
- F_m : Faktor Keamanan moment
- F_f : Faktor Keamanan gaya

Pada metode Spencer, gaya antar irisan dan gaya normal tidak diabaikan, tapi untuk mencari angka faktor keamanan pada iterasi pertama ($X_r - X_l$) dianggap 0 (nol) , sehingga ($E_r - E_l$) dapat ditentukan. Untuk iterasi yang kedua terlebih dahulu asumsikan nilai λ , kemudian cari nilai ($X_r - X_l$). Nilai ($X_r - X_l$) yang telah didapatkan digunakan untuk menghitung nilai P kembali untuk menentukan F berikutnya. Angka faktor keamanan yang tepat untuk analisis dengan metode Spencer akan diperoleh ketika $F_f = F_m$. Untuk memperoleh nilai $F_f = F_m$, diperlukan grafik perbandingan antara FK dengan pengaruh Θ seperti gambar III.9.

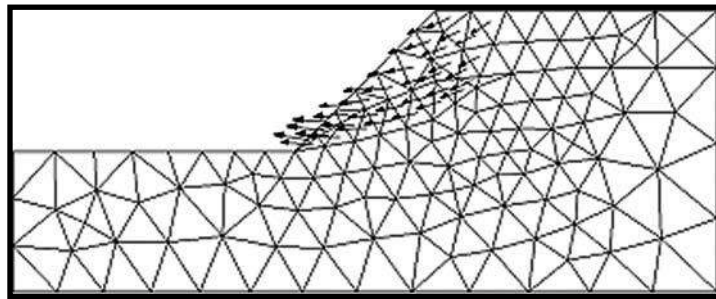


Gambar III.9 Hubungan Nilai Θ Terhadap Faktor Keamanan (Spencer, 1967)

III.2.7 Analisis dengan Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah metode numeris untuk menyelesaikan masalah teknik dan fisika matematis. Metode ini secara umum mampu memodelkan berbagai kondisi kompleks dengan baik, seperti perilaku tegangan-tegangan non linear, kondisi-kondisi non homogen dan perubahan geometri selama konstruksi lereng.

Metode elemen hingga dapat digunakan untuk menganalisis suatu struktur agar dapat diketahui nilai pendekatan tegangan. Struktur dalam hal ini yaitu semua benda yang dikenai suatu beban atau pengaruh lain. Hal tersebut akan menyebabkan deformasi dan terjadi tegangan dalam reaksi tersebut. Analisis metode elemen hingga dibagi menjadi beberapa elemen yang tersambung oleh titik-titik nodul. Metode ini dapat memperhitungkan kondisi tegangan secara menyeluruh dari tiap elemen serta deformasi secara horizontal dan vertikal pada titik-titik nodul.



Gambar III.10 Contoh *Mesh* dari Metode Elemen Hingga (Cheng, Y. M. dkk, 2014)

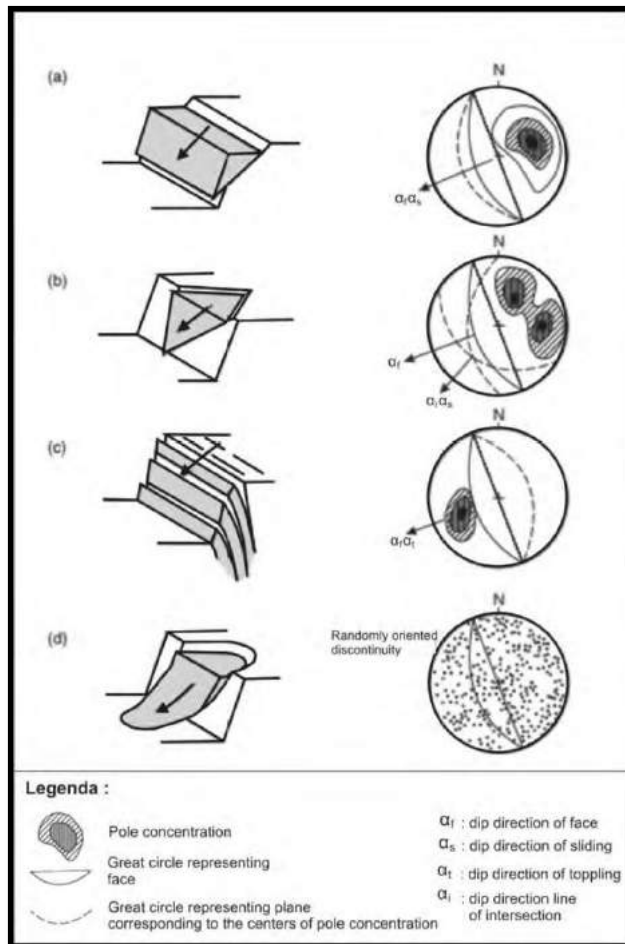
III.2.8 Jenis-Jenis Longsoran

Terzaghi dan Peck (1996) menyatakan bahwa longsoran dapat terjadi pada hampir setiap kemungkinan, perlahan-lahan ataupun secara tiba-tiba dan dengan atau tanpa adanya suatu peringatan yang nyata

Berdasarkan kedudukan bidang lemah pada batuan, longsoran yang sering terjadi adalah longsoran busur (*circular failure*) yaitu longsoran yang berbentuk busur biasanya terbentuk pada material yang umumnya homogen sedangkan pada material dengan heterogenitas kompleks sering terjadi longsoran bidang (*plane failure*), longsoran baji (*wedge failure*) dan juga longsoran *toppling*. (Gambar III.11)

Longsoran pada tanah diasumsikan terjadi pada suatu massa tanah yang homogen dan kontinu, sehingga bentuk/geometri dari longsoran tersebut berupa busur lingkaran atau paling tidak mendekati/dapat dianggap sebagai busur lingkaran. Dalam hal ini

parameter-parameter sifat fisik maupun sifat mekanik tanah dianggap sama dan merata di semua bagian tubuh tanah tersebut. Sedangkan pada batuan keras, untuk batuan yang utuh (*intact*) sifatnya juga homogen dan kontinyu seperti pada tanah, tetapi karena batuan utuh tersebut sangat kuat maka umumnya tidak ada masalah mengenai kemantapan lerengnya. Masalah kemantapan lereng akan muncul apabila batuan keras tersebut mempunyai bidang-bidang lemah (*discontinuities*).



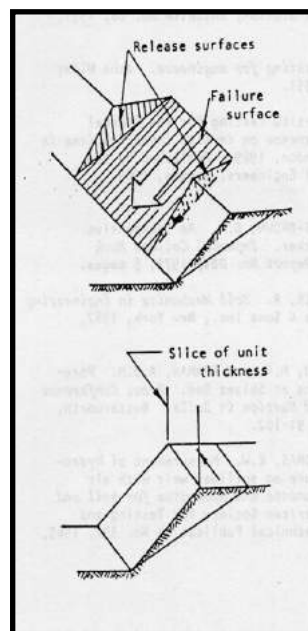
Gambar III.11 Tipe Keruntuhan Lereng (Hoek dan Bray, 1981)

1. Longsoran Bidang

Longsoran bidang bila dibandingkan dengan jenis longsoran yang lain merupakan longsoran yang relatif jarang terjadi. Namun bila kondisi yang menunjang terjadinya longsoran bidang ada, maka longsoran yang terjadi mungkin akan lebih besar secara volume daripada longsoran lainnya.

Longsoran bidang akan terjadi bila seluruh kondisi di bawah ini terpenuhi:

1. Bidang gelincir mempunyai arah jurus (strike) sejajar atau hampir sejajar dengan arah jurus muka lereng dengan perbedaan maksimal 20° .
2. Kemiringan bidang gelincir harus lebih kecil daripada kemiringan muka lereng ($\psi_p < \psi_f$)
3. Kemiringan bidang gelincir harus lebih besar daripada sudut geser dalam ($\psi_p > \phi$).
4. Harus terdapat bidang bebas (release) yang menjadi pembatas di kiri dan kanan blok yang menggelincir.

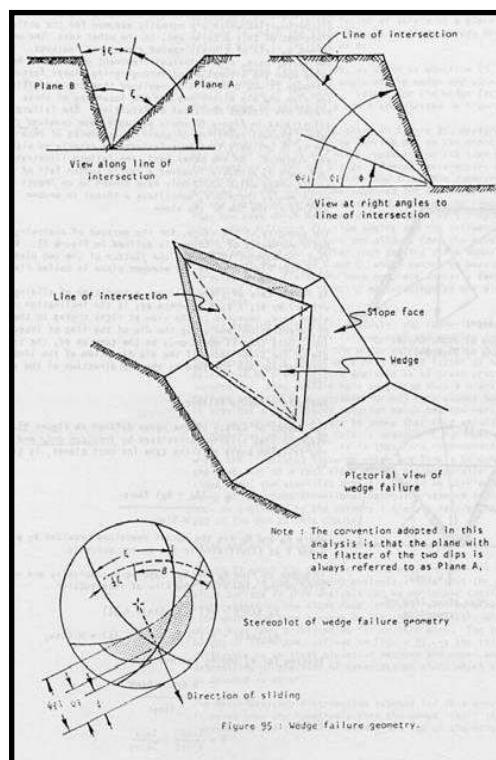


Gambar III.12 Kondisi Umum Longsoran Bidang (Hoek dan Bray, 1981)

Pada analisis kestabilan lereng, dipakai analisis 2 dimensi dimana dipertimbangkan unit ketebalan yang arahnya tegak lurus dengan garis muka lereng. Bidang gelincir direpresentasikan sebagai garis dengan kemiringan tertentu dan blok yang menggelincir dapat direpresentasikan dengan suatu luasan pada penampang vertikal yang tegak lurus dengan arah jurus lereng (Gambar III.12).

2. Longsoran Baji

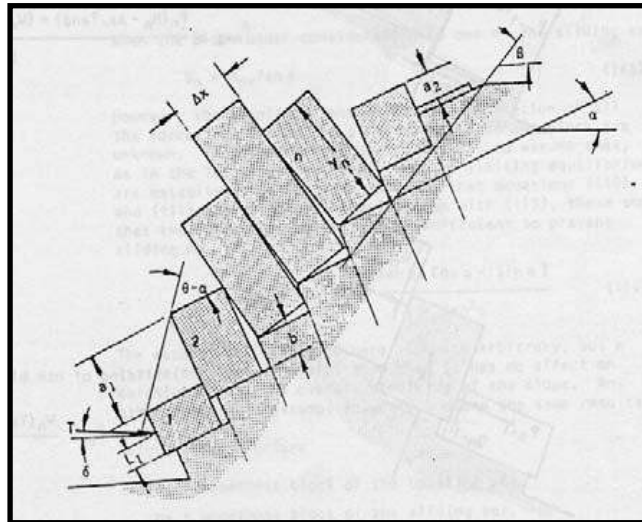
Longsoran baji terjadi jika terdapat 2 bidang lemah atau lebih berpotongan sedemikian rupa sehingga membentuk baji terhadap lereng (Gambar III.13). Persyaratan lainnya yang harus dipenuhi untuk terjadinya longsoran baji adalah bila sudut lereng lebih besar daripada sudut garis potong kedua bidang lemah tersebut ($\psi_{fi} > \psi_i$), dan sudut garis potong kedua bidang lemah lebih besar daripada sudut geser dalamnya



Gambar III.13 Geometri Longsoran Baji (Hoek dan Bray, 1981)

4. Longsoran Guling

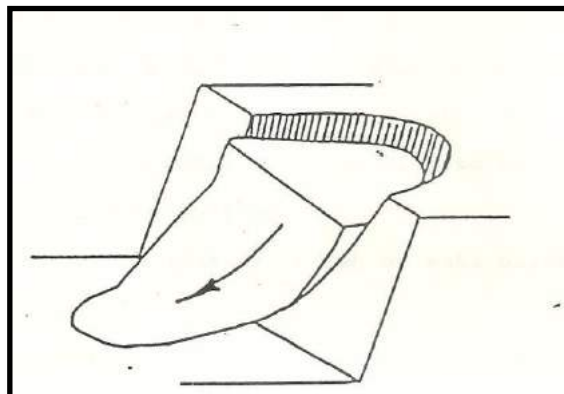
Longsoran guling terjadi apabila bidang-bidang lemah yang hadir di lereng mempunyai kemiringan yang berlawanan dengan kemiringan lereng dimana struktur bidang lemahnya berbentuk kolom.



Gambar III.14 Model Longsoran Guling (Hoek dan Bray, 1981)

5. Longsoran Busur

Longsoran busur merupakan longsoran yang umum terjadi di alam pada material tanah atau batuan yang telah mengalami pelapukan dan memiliki bidang-bidang lemah yang sangat rapat sehingga sudah tidak diketahui kedudukannya.



Gambar III.15 Kondisi Umum Longsoran Busur (Hoek dan Bray, 1981)

III.2.9 Faktor Keamanan Lereng

Pada suatu lereng berlaku dua macam gaya, yaitu gaya penahan dan gaya penggerak (Spencer, 1967). Gaya penahan, yaitu gaya yang menahan massa dari pergerakan sedangkan gaya penggerak adalah gaya yang menyebabkan massa bergerak. Lereng akan longsor jika gaya penggeraknya lebih besar dari gaya penahan. Secara matematis kemantapan suatu lereng dinyatakan dalam bentuk Faktor Keamanan (FK), sebagai berikut:

$$FK = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}} \dots\dots\dots (III.18)$$

Nilai faktor keamanan secara umum dapat dinyatakan sebagai berikut :

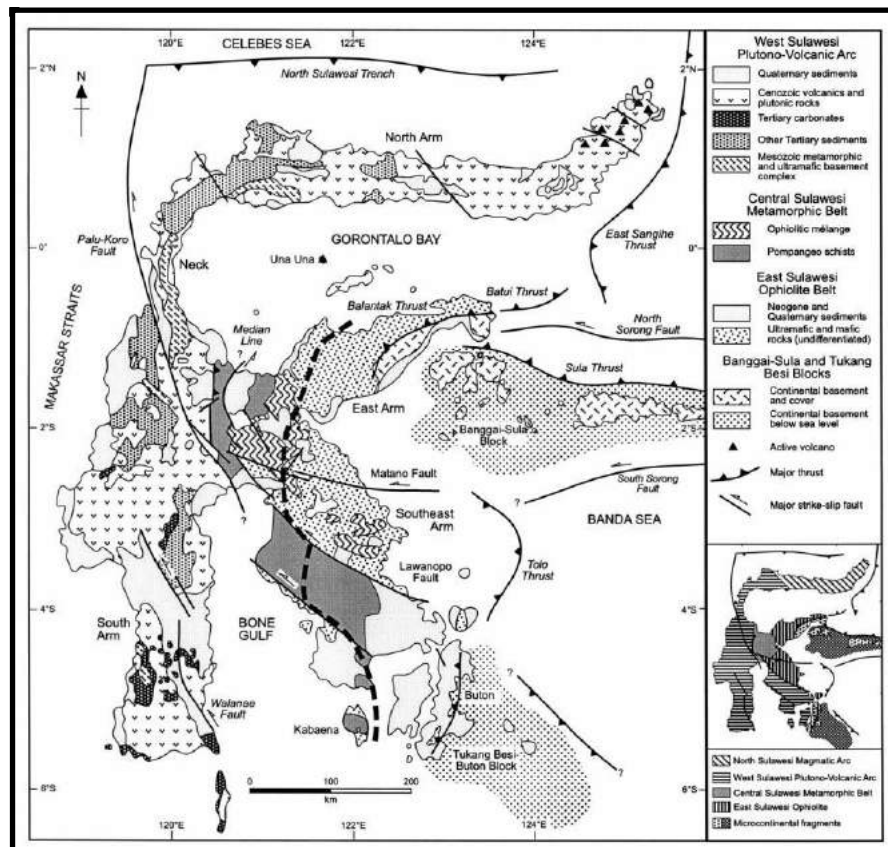
Tabel III.5 Klasifikasi Kestabilan Lereng (Bowles, 1991)

Nilai Faktor Keamanan (FK)	Intensitas Longsor
< 1,07	Longsoran sering terjadi (Lereng Labil)
1,07-1,25	Longsoran pernah terjadi (Lereng Kritis)
>1,25	Longsoran jarang terjadi (Lereng Stabil)

BAB IV GEOLOGI REGIONAL

IV.1 Fisiografi Regional

Berdasarkan struktur litotektonik, Pulau Sulawesi dan pulau-pulau disekitarnya dibagi menjadi empat bagian, yaitu Mandala Barat (*West & North Sulawesi Volcano-Plutonic Arc*), Mandala Tengah (*Central Sulawesi Metamorphic Belt*), Mandala Timur (*East Sulawesi Ophiolite Belt*) dan Fragmen Benua Banggai-Sula-Tukang Besi.



Gambar IV.1 Fisiografi Regional Sulawesi (Hall and Wilson, 2000)

Dibawah ini dijelaskan pembagian Sulawesi berdasarkan struktur litotektonik menurut Sompotan (2012) :

1. Mandala Barat (*West & North Sulawesi Volcano-Plutonic Arc*)

Mandala barat memanjang dari lengan utara sampai dengan lengan selatan pulau Sulawesi. Secara umum busur ini terdiri dari batuan volkanik-

plutonik yang memiliki umur Paleogen-Kuarter dan batuan metamorf yang berumur mesozoikum-tercier.

2. Mandala Tengah (*Central Sulawesi Metamorphic Belt*)

Batuan magmatik *potassic calc-alkaline* di Sulawesi Tengah yang terdapat di bagian kiri zona sesar Palu-Koro berumur Miosen akhir. Batuan granit di wilayah tersebut berkorelasi dengan subduksi *microcontinent* Banggai-Sula dengan Pulau Sulawesi pada Miosen tengah. Pada mandala tengah merupakan zona akresi antara lengan bagian timur dan barat sehingga tetingkap batuan *melange* dan Komplek Sekis Pompangeo.

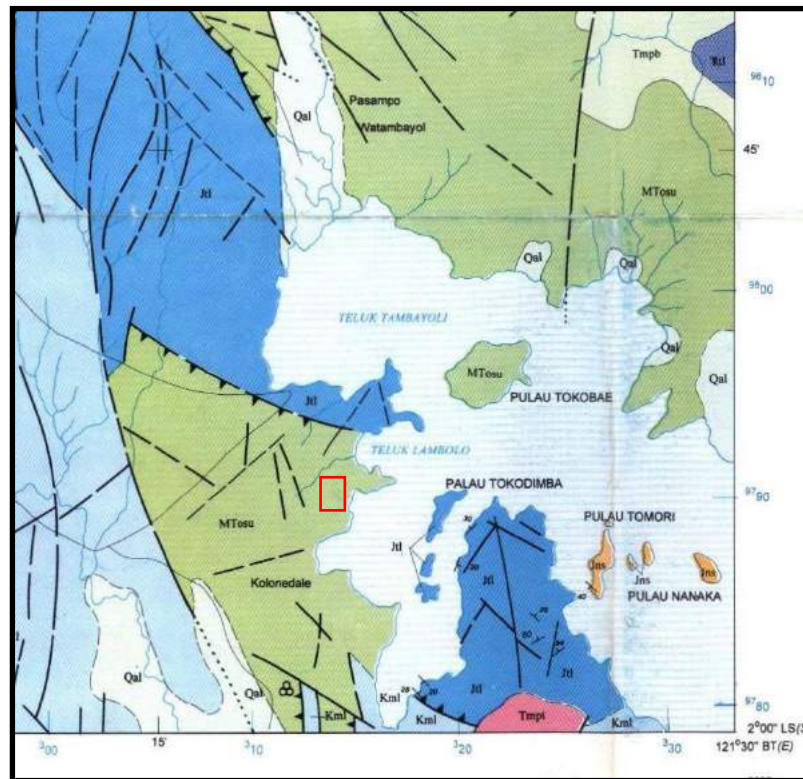
3. Mandala Timur (*East Sulawesi Ophiolite Belt*)

Batuan kompleks ofiolit dan sedimen pelagis yang terdapat di Lengan Timur dan Tenggara Sulawesi disebut Sabuk Ofiolit Sulawesi Timur. Sabuk Ofiolit Sulawesi Timur ini terdiri atas batuan-batuan mafik dan ultramafik yang disertai di beberapa tempat dengan ditemukannya batuan sedimen pelagis dan *melange*. Batuan ultramafik dominan di Lengan Tenggara, sedangkan batuan mafiknya dominan di sebelah utara sepanjang pantai utara Lengan Tenggara Sulawesi. Sikuen ofiolit yang lengkap terdapat di Lengan Timur, meliputi batuan mafik dan ultramafik, *pillow lava* dan batuan sedimen pelagis yang didominasi *limestone* laut dalam serta interkalasi rijang berlapis yang berasal dari *mid-oceanic ridge*.

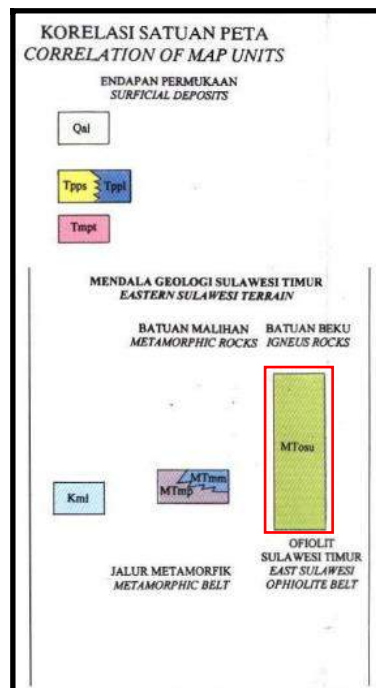
4. Fragmen Benua Banggai-Sula dan Tukang Besi

Fragmen benua Banggai-Sula dan Tukang Besi di wilayah Sulawesi bersama dengan wilayah Sulawesi Tengah dan Sulawesi Tenggara berasal dari bagian benua Australia bagian utara. Pada masa *Jurassic*, daratan ini bergerak menuju ke timur laut yang memisahkan diri dari Australia ke posisi yang sekarang ini. Batuan metamorfik dominan terdapat di bagian timur Sulawesi Tengah, lengan tenggara Sulawesi dan Pulau Kabaena. Batuan metamorf tersebut dibagi menjadi fasies epidot-amfibolit, fasies amfibolit dan fasies *blueschist* atau *dynamometamorphic* tingkat rendah glaukofan.

IV.2 Stratigrafi Regional



Gambar IV.2 Peta Geologi Lembar Poso, Sulawesi (Simandjuntak dkk,1997)



Gambar IV.3 Stratigrafi Regional Peta Lembar Poso, Sulawesi (Simandjuntak dkk, 1997)

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Poso pada Gambar IV.2, daerah penelitian merupakan bagian dari Mandala Ofiolit Sulawesi Timur yang terdiri atas jalur metamorf dan jalur ofiolit Sulawesi timur yang tersusun oleh batuan ultramafik dan batuan metamorf (Simandjuntak dkk, 1997). Daerah penelitian berada pada kompleks ultramafik (Mtosu).

Menurut Peta Geologi Lembar Poso, stratigrafi dibagi menjadi :

1. Aluvium dan Endapan Pantai (Qal)

Aluvium dan endapan pantai (Qal) terdiri atas pasir, lempung, lumpur, kerikil dan kerakal.

2. Formasi Puna (Tpps)

Formasi Puna (Tpps) terdiri atas konglomerat, batupasir, lanau, serpih, batulempung gampingan dan batugamping. Konglomerat tersusun oleh komponen batugamping, sekis, genes dan kuarsa, dengan semen karbonat, padat dan keras. Umur dari formasi ini Pliosen sedang lingkungan pengendapannya Laut dangkal. Formasi ini menindih tidak selaras dengan Formasi Pompangeo.

3. Formasi Poso (Ttpl)

Formasi Poso (Ttpl) terdiri atas batugamping, napal, batupasir tufan dan konglomerat. Umur formasi ini Pliosen sedang lingkungan pengendapannya laut dangkal.

4. Formasi Tomata (Tmpt)

Formasi Tomata (Tmpt) terdiri atas perselingan serpih, batupasir, konglomerat, serta sisipan lignit. Umur formasi ini Miosen akhir-Pliosen.

Mandala Geologi Sulawesi Timur

5. Formasi Matano (Kml)

Formasi Matano (Kml) terdiri atas batugamping hablur, kalsilutit, argilit dan serpih serta sisipan rijang dan batusabak. Batugamping mengandung fosil *Heterohelix sp.*, sedang rijang nya mengandung radiolaria. Fosil fosil tersebut menunjukkan umur Kapur Akhir dan lingkungan pengendapan laut dalam.

6. Batugamping Malih (MTmm)

Batugamping Malih (MTmm) terdiri atas pualam dan batugamping berwarna kelabu muda sampai kelabu kehijauan coklat sampai merah kecoklatan. Satuan ini berasal dari sedimen pelagis laut dalam sedang umurnya kemungkinan lebih tua dari Kapur.

7. Kompleks Pompangeo (Mtmp)

Kompleks Pompangeo (Mtmp) terdiri atas sekis, grafit, batusabak, genes, serpentinit, kuarsit, batugamping malih dan setempat breksi. Umur satuan diperkirakan lebih tua dari Kapur.

8. Kompleks Ultramafik (MTosu)

Kompleks Ultramafik (MTosu) merupakan bagian dari Jalur Ofiolit Sulawesi terdiri atas harzburgit, lezorlit, werlit, websterit, dunit, piroksenit dan serpentinit. Satuan ini berumur Kapur sampai Miosen Tengah.

IV.3 Struktur Geologi Regional

Menurut Zulfialdi dan Sidarto (2015), bahwa tektonik Sulawesi berkaitan dengan peristiwa tektonik sebagai berikut :

1. Tektonik Ekstensi Mesozoikum

Pada zaman Mesozoikum, di tenggara Sulawesi terjadi pemekaran (rifting) yang membentuk pecahan-pecahan benua Australia yang bergerak ke arah barat laut, sehingga terbentuk beberapa mikrokontinen di daerah Laut Banda (Pigram dan Panggabean, 1984 dalam Zulfialdi dan Sidarto, 2015) termasuk Mendala Banggai-Sula, Mendala Tukangbesi-Buton, dan Mendala Mekonga (Simandjuntak, 1986 dalam Zulfialdi dan Sidarto, 2015).

2. Tunjaman Kapur

Pada Kapur Awal, Mendala Sulawesi Timur bergerak ke barat mengikuti gerakan ke barat dari tunjaman landai di bagian timur Mendala Sulawesi Barat. Dibuktikan dengan adanya bancuh Bantimala di Sulawesi Selatan dari tunjaman Kapur Awal (Sukamto, 1975a dalam Zulfialdi dan Sidarto, 2015) dan batuan malihan Sekis Pompangeo dekat

Danau Poso yang menunjukkan suatu pemalihan karena tunjaman (Parkinson, 1991 dalam Zulfialdi dan Sidarto, 2015).

3. Tunjaman Paleogen

Tunjaman kedua yang disebabkan karena mikrokontinen bergerak ke arah barat laut bertumbukan dengan kompleks tunjaman di Sulawesi Timur. Peristiwa penunjaman kedua ini ditandai dengan aktifnya zona Tunjaman Kapur selama Oligosen Tengah, yang ditunjukkan oleh adanya kompleks ofiolit di lengan timur. Batuan gunungapi berumur Paleogen di Lajur Magmatik Sulawesi Barat dan ofiolit di Lajur Ofiolit Sulawesi Timur diduga terbentuk bersama dan beruntun setelah terjadinya tunjaman (Simandjuntak, 1980 dalam Zulfialdi dan Sidarto, 2015).

4. Tunjaman Neogen

Zona tunjaman ketiga mempunyai arah miring ke selatan, menghasilkan batuan magmatik kalk-alkalin berumur Miosen Awal di lengan utara. Tunjaman ini diikuti oleh tumbukan antara busur dan benua (blok benua Banggai-Sula dan Buton-Tukangbesi) yang menyebabkan rotasi lengan utara searah jarum jam, pensesar-naikan (back thrusting), dan mulai tunjaman sepanjang palung Sulawesi Utara (Kavalieris drr., 1992 dalam Zulfialdi dan Sidarto, 2015).

5. Tunjaman Ganda Kwartir

Tunjaman di Laut Sulawesi yang terbentuk sejak Miosen masih aktif, pada zaman Kwartir terjadi tunjaman di sebelah tenggara lengan utara Sulawesi yang menghasilkan busur gunungapi Minahasa-Sangihe. Akibatnya, di lengan utara Sulawesi pada bagian timur terjadi tunjaman ganda dengan arah tunjaman berlawanan, di sebelah barat laut sampai utara dan di sebelah selatan sampai tenggara lengan utara. Sampai sekarang aktivitas tektonik di Sulawesi masih aktif.

BAB V

GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

V.1 Fisiografi Daerah Penelitian

Fisiografi pada daerah penelitian termasuk ke dalam Mandala *East Sulawesi Ophiolite* menurut Kadarusman, dkk (2004). Morfologi daerah penelitian berupa lereng dari tinggian pada sebelah barat menuju rendahan pada sebelah timur.

V.2 Geomorfologi Daerah Penelitian

Pengamatan Geomorfologi daerah penelitian dilakukan dengan melakukan interpretasi pada peta topografi dan dibuktikan dengan pengamatan secara langsung di lapangan. Klasifikasi satuan geomorfologi daerah penelitian menggunakan klasifikasi menurut van Zuidam (1985), klasifikasi tersebut berdasarkan aspek-aspek geomorfologi, yaitu :

1. Morfologi

Morfologi merupakan studi bentuklahan yang mempelajari relief secara umum. Morfologi dibagi menjadi dua aspek, yaitu :

- Morfografi

Morfografi merupakan susunan dari objek alami yang ada di permukaan bumi, bersifat deskriptif suatu bentuklahan seperti bukit, lereng, lembah.

- Morfometri

Morfometri merupakan aspek kuantitatif bentuklahan seperti kelerengan, beda tinggi.

2. Morfogenesis

Morfogenesis merupakan asal usul pembentukan suatu bentuklahan serta proses-proses perkembangan yang terjadi dari suatu bentuklahan. Morfogenesis dibagi menjadi tiga aspek, yaitu :

- Morfostruktur Aktif

Morfostruktur aktif merupakan proses perkembangan suatu

bentuklahan yang berasal dari tenaga endogen seperti pengangkatan, perlipatan dan pensesaran.

- Morfostruktur Pasif




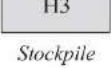
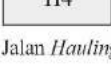

Morfostruktur pasif merupakan klasifikasi bentuklahan berdasarkan tipe dan litologi batuan serta pengaruhnya bagi proses yang terjadi.

- Morfodinamik

Morfodinamik merupakan proses perkembangan suatu bentuklahan yang berasal dari tenaga eksogen seperti air, angin.

Berdasarkan interpretasi geomorfologi yang dilakukan di daerah penelitian, maka didapatkan dua satuan bentuk asal yaitu bentuk asal denudasional dan bentuk asal antropogenik. Bentuk asal denudasional merupakan material yang tersusun atas proses pelapukan dan erosi, pada daerah penelitian terdapat bentuklahan lereng denudasional (D1). Bentuk asal antropogenik merupakan proses yang terbentuk oleh akibat adanya aktivitas manusia, pada daerah penelitian terdapat bentuklahan pit (H1), bentuklahan disposal (H2), bentuklahan *stockpile* (H3), bentuklahan jalan *hauling* (H4), bentuklahan lahan bekas tambang (H5).

Tabel V.1 Pemerian Satuan Geomorfologi Daerah Penelitian

Aspek Geomorfologi Simbol & Bentuk Lahan	Morfologi		Morfogenesis			Bentuk Asal
	Morfografi	Morfometri	Morfostruktur Aktif	Morfostruktur Pasif	Morfodinamik	
 D1 Lereng Denudasional	Lereng	Lereng agak curam - curam (15-70%), beda tinggi 75-500m, menempati luasan $\pm 55\%$ pada peta	Pengangkatan	Litologi berupa peridotit dan serpentinit yang memiliki resistensi sedang - tinggi	Pelapukan & erosi yang disebabkan oleh air dan angin	Denudasional
 H1 Pit	Lereng dan cekungan	Lereng landai - agak curam (7-30%), beda tinggi 25-200m, menempati luasan $\pm 15\%$ pada peta	Pengangkatan	Litologi berupa peridotit dan serpentinit yang memiliki resistensi sedang - tinggi	Pelapukan dan erosi oleh air, angin dan aktivitas penambangan	Antropogenik
 H2 Disposal	Bukit	Lereng landai (7 - 15%), beda tinggi 25-75 m, menempati luasan $\pm 7\%$ pada peta	Pengangkatan	Litologi berupa batuan beku peridotit yang memiliki resistensi sedang - tinggi	Pelapukan dan erosi oleh air, angin dan aktivitas penambangan	Antropogenik
 H3 <i>Stockpile</i>	Bukit	Lereng agak landai-landai (2-15%), beda tinggi 5-75 m, menempati luasan $\pm 12\%$ pada peta	—	Litologi berupa batuan beku peridotit yang memiliki resistensi sedang - tinggi	Pelapukan dan erosi oleh air, angin dan aktivitas penambangan	Antropogenik
 H4 <i>Jalan Hauling</i>	Dataran	Lereng agak landai-agak curam (2-20%), beda tinggi 5-200 m, menempati luasan $\pm 3\%$ pada peta	Pengangkatan	Litologi berupa peridotit dan serpentinit yang memiliki resistensi sedang - tinggi	Pelapukan dan erosi oleh air, angin	Antropogenik
 H5 Lahan Bekas Tambang	Dataran	Lereng landai (7-15%), beda tinggi 25-75 m, menempati luasan $\pm 8\%$ pada peta	—	Litologi berupa batuan beku peridotit yang memiliki resistensi sedang - tinggi	Pelapukan dan erosi oleh air, angin	Antropogenik

Berdasarkan Klasifikasi van Zuidam, 1985

V.2.1 Satuan Bentuk Asal Denudasional

a. Lereng Denudasional (D1)

Satuan bentuklahan lereng denudasional memiliki morfografi berupa lereng dengan kemiringan lereng termasuk dalam lereng agak curam-curam (14-55%) dan dengan beda ketinggian 50-500 m. Pada bentuklahan lereng denudasional ini mengalami proses pengangkatan, serta memiliki litologi berupa peridotit dan serpentinit yang memiliki resistensi sedang-tinggi. Pada aspek morfodinamik mengalami proses pelapukan dan erosi oleh air dan angin. Bentuklahan lereng denudasional memiliki luasan sebesar $\pm 55\%$ pada peta



Gambar V.1 Bentuklahan Lereng Denudasional
(Azimuth N 088⁰ E)

V.2.2 Satuan Bentuk Asal Antropogenik

a. Pit (H1)

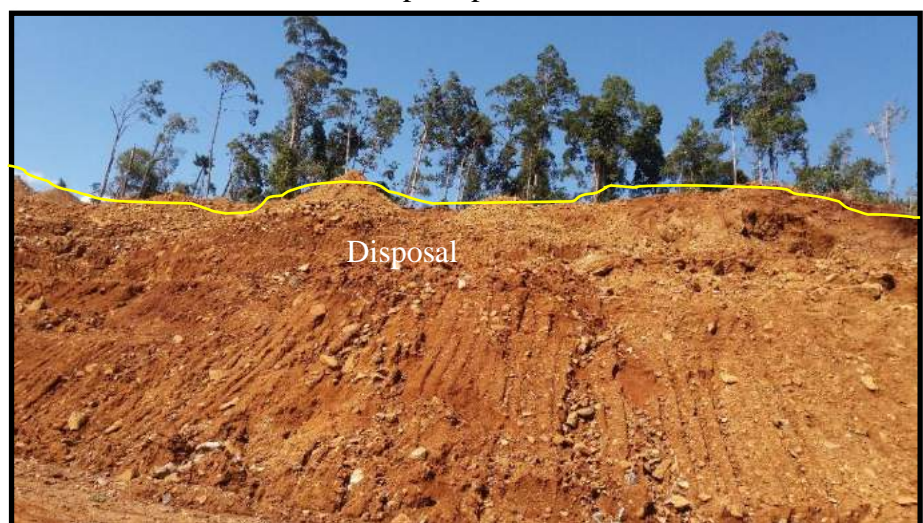
Satuan bentuklahan pit memiliki morfografi lereng dan cekungan. Kemiringan lereng termasuk dalam lereng landai-agak curam (8-20%) dan dengan beda ketinggian 25-200 m. Pada bentuklahan pit ini mengalami proses pengangkatan serta memiliki litologi berupa peridotit dan serpentinit yang memiliki resistensi sedang-tinggi. Morfodinamik dari bentuklahan pit mengalami proses pelapukan dan erosi oleh air serta aktivitas penambangan. Bentuklahan pit memiliki luasan sebesar $\pm 15\%$ pada peta.



Gambar V.2 Bentuklahan Pit
(Azimuth N 005⁰ E)

b. Disposol (H2)

Satuan bentuklahan disposol memiliki morfografi berupa bukit dan memiliki kemiringan lereng landai (8-13%) serta memiliki beda ketinggian 25-75 m. Bentuklahan ini mengalami pengangkatan dan memiliki litologi berupa peridotit yang memiliki resistensi sedang-tinggi. Morfodinamik dari bentuk lahan ini mengalami proses pelapukan dan erosi oleh air serta aktivitas penambangan. Bentuklahan disposol memiliki luasan sebesar $\pm 7\%$ pada peta.



Gambar V.3 Bentuklahan Disposol
(Azimuth N 042⁰ E)

c. *Stockpile* (H3)

Satuan bentuklahan ini memiliki relief berupa bukit dengan kemiringan lereng sangat landai-landai (3-13%) dan beda ketinggian 5-75 m. Litologi berupa peridotit yang memiliki resistensi sedang-tinggi dan mengalami pelapukan proses pelapukan dan erosi oleh air serta aktivitas penambangan. Bentuklahan *stockpile* memiliki luasan sebesar $\pm 12\%$ pada peta.



Gambar V.4 Bentuklahan *Stockpile*

(Azimuth N 020⁰ E)

d. Jalan *Hauling* (H4)

Satuan bentuklahan ini memiliki morfografi berupa dataran dengan kemiringan lereng sangat landai-agak curam (3-20%) dan memiliki beda ketinggian 5-200 m. Bentuklahan ini mengalami pengangkatan dan memiliki litologi berupa peridotit dan serpentinit yang memiliki resistensi sedang-tinggi. Serta mengalami pelapukan proses pelapukan dan erosi oleh air dan angin. Bentuklahan jalan *hauling* memiliki luasan sebesar $\pm 3\%$ pada peta.



Gambar V.5 Bentuklahan *Jalan Hauling*
(Azimuth N 320⁰ E)

e. Lahan Bekas Tambang (H5)

Satuan bentuklahan ini memiliki relief berupa dataran dengan kemiringan lereng landai (8-13%) dan memiliki beda ketinggian 25-75m. Bentuklahan ini memiliki litologi berupa peridotit yang memiliki resistensi sedang-tinggi. Serta mengalami pelapukan proses pelapukan dan erosi oleh air dan angin. Bentuklahan jalan *hauling* memiliki luasan sebesar $\pm 8\%$ pada peta.



Gambar V.6 Bentuklahan Bekas Tambang
(Azimuth N 020⁰ E)

V.3 Stratigrafi Daerah Penelitian

Daerah penelitian termasuk dalam kompleks ultramafik Mandala *East Sulawesi Ophiolite*. Dasar pembagian satuan batuan daerah penelitian melalui analisis batuan secara megaskopis yang diamati di lapangan dan secara mikroskopis dengan analisis petrografi. Hasil yang didapatkan dari pembagian satuan batuan pada daerah penelitian yaitu satuan peridotit dan satuan serpentininit yang berumur Kapur (Kadarusman, 2004). Pada daerah penelitian mengalami proses serpentinisasi serta terjadi proses pelapukan sehingga menghasilkan endapan laterit.

V.3.1 Satuan Peridotit

V.3.1.1 Dasar Penamaan

Dasar penamaan dari satuan batuan ini secara megaskopis menurut William (1954) dan penamaan batuan secara mikroskopis menurut Streckeisen (1973) dalam Le Maitre, (2002).

V.3.1.2 Distribusi

Satuan Peridotit memiliki luasan 70% pada daerah penelitian dan ditunjukkan dengan warna merah pada peta geologi (Lampiran 3). Singkapan batuan peridotit pada daerah-daerah bukaan tambang dikarenakan adanya aktivitas penambangan. Sedangkan pada daerah lereng denudasional sulit terlihat dikarenakan pelapukan yang intensif sehingga hanya ditemukan soil.

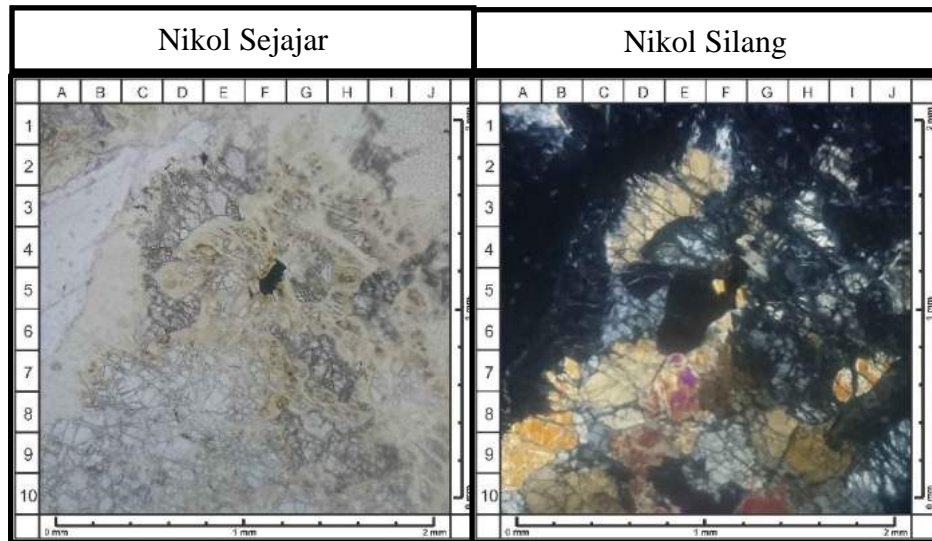
V.3.1.3 Deskripsi Litologi

Pada lokasi pengamatan (LP) 12, secara megaskopis batuan ini memiliki karakteristik warna segar abu-abu kehijauan dan warna lapuk kecoklatan, struktur masif, derajat kristalisasi holokristalin, derajat granularitas fanerik halus-sedang, bentuk kristal subhedral, dan relasi equigranular hipidiomorfik, komposisi mineral utama olivin (60%), piroksen (30%), serta mineral sekunder serpentin (10%). Batuan ini dinamakan peridotit berdasarkan klasifikasi Williams (1954).

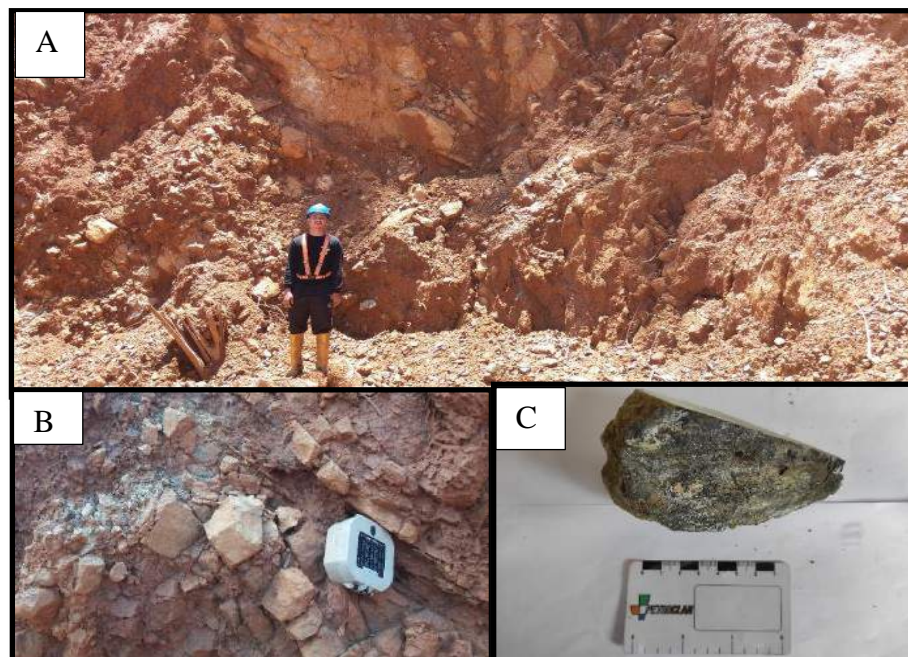
Sedangkan secara mikroskopis dideskripsi sebagai sayatan tipis batuan beku ultrabasa, warna abu-abu, indeks warna 70%, derajat kristalinitas holokristalin, granularitas fanerik halus-sedang, bentuk kristal subhedral-anhedral, ukuran kristal < 0,2-1 mm, relasi equigranular hipidiomorfik, memiliki tekstur khusus *mesh structure* pada olivin, disusun oleh olivin (F7), ortho piroksen (A9), klinto piroksen (F9), lizardit (A7) dan mineral oksida (F5). Berdasarkan analisis petrografi, batuan peridotit ini diklasifikasikan sebagai olivin websterit terserpentinisasi menurut Streckeisen (1973).



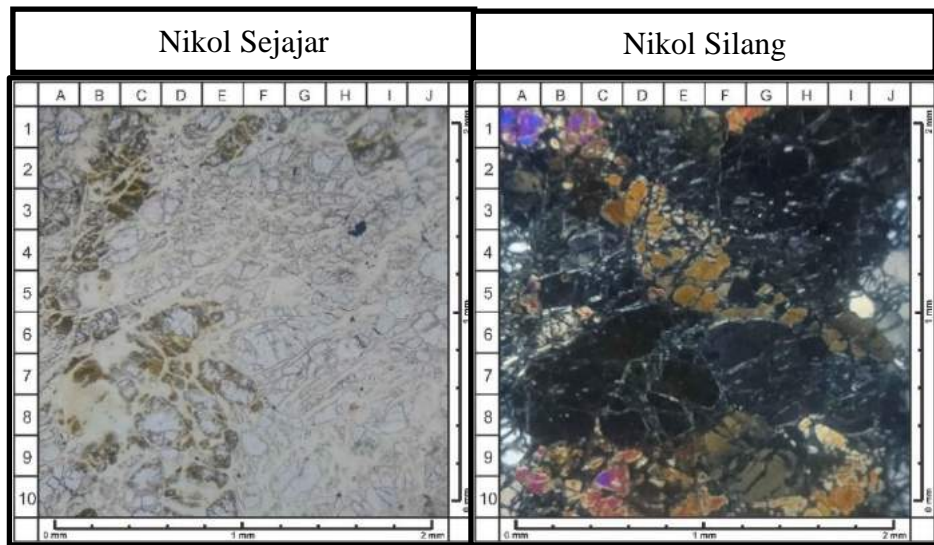
Gambar V.7 (A) Singkapan LP 12 (Az : N 280⁰ E); (B) Foto parameter batuan peridotit LP 12; (C) Sampel batuan peridotit LP 12



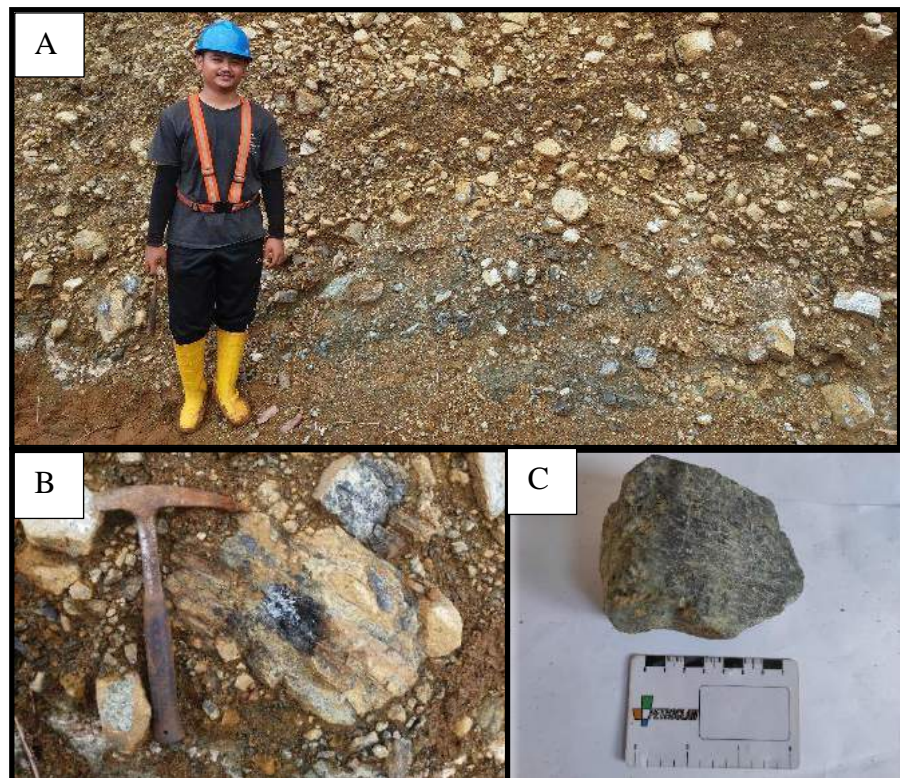
Gambar V.8 Deskripsi batuan olivin websterit terserpentinisasi LP 12 secara mikroskopis. Pada olivin websterit terserpentinisasi memiliki tekstur khusus *mesh structure*. Tersusun oleh mineral olivin (F7), ortho piroksen (A9), klinto piroksen (F9), lizardit (A7) dan mineral oksida (F5).



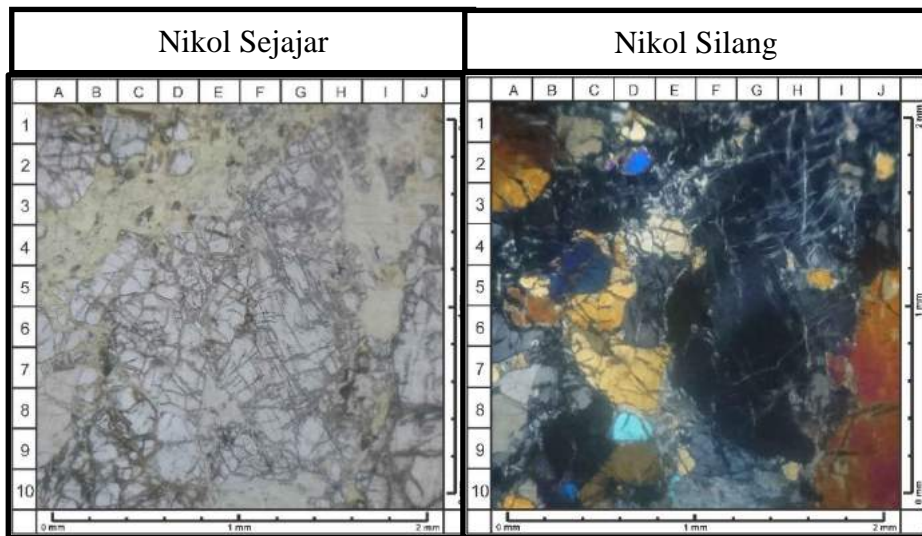
Gambar V.9 (A) Singkapan LP 09 (Az : N 268⁰ E); (B) Foto parameter batuan peridotit LP 09; (C) Sampel batuan peridotit LP 09



Gambar V.10 Deskripsi batuan olivin websterit terserpentinisasi LP 09 secara mikroskopis. Pada olivin websterit terserpentinisasi memiliki tekstur khusus *mesh structure*. Tersusun oleh mineral olivin (C10), ortho piroksen (F5), klinto piroksen (J5), lizardit (B6), antigorit (D7), mineral oksida (H4).



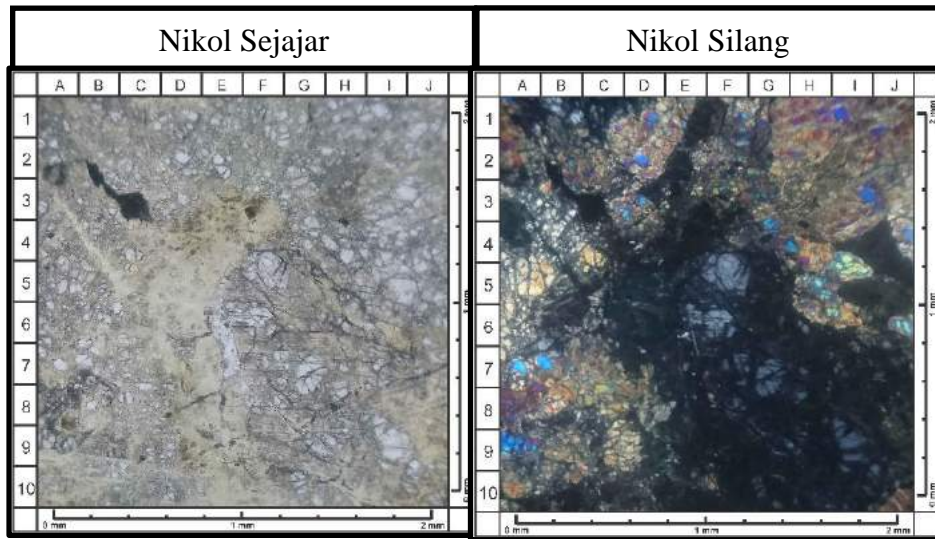
Gambar V.11 (A) Singkapan LP 44 (Az : N 255⁰ E); (B) Foto parameter batuan peridotit LP 44; (C) Sampel batuan peridotit LP 44



Gambar V.12 Deskripsi batuan olivin websterit terserpentinisasi LP 44 secara mikroskopis. Pada olivin websterit terserpentinisasi memiliki tekstur khusus *mesh structure*. Tersusun oleh mineral olivin (D8), ortho piroksen (J7), klinto piroksen (D2), lizardit (H3), mineral oksida (H8).



Gambar V.13 (A) Singkapan LP 45 (Az : N 308⁰ E); (B) Foto parameter batuan peridotit LP 45; (C) Sampel batuan peridotit LP 45



Gambar V.14 Deskripsi batuan lherzolit LP 45 secara mikroskopis. Pada lherzolit memiliki tekstur khusus *mesh structure*. Tersusun oleh mineral olivin (A7), ortho piroksen (A5), klinto piroksen (F5) dan lizardit (F6).

V.3.2 Satuan Serpentin

V.3.2.1 Dasar Penamaan

Dasar penamaan batuan serpentin berdasarkan klasifikasi Winkler, H.G.F. (1979). Dengan terdapatnya mineral serpentin >60% maka dinamakan batuan serpentin.

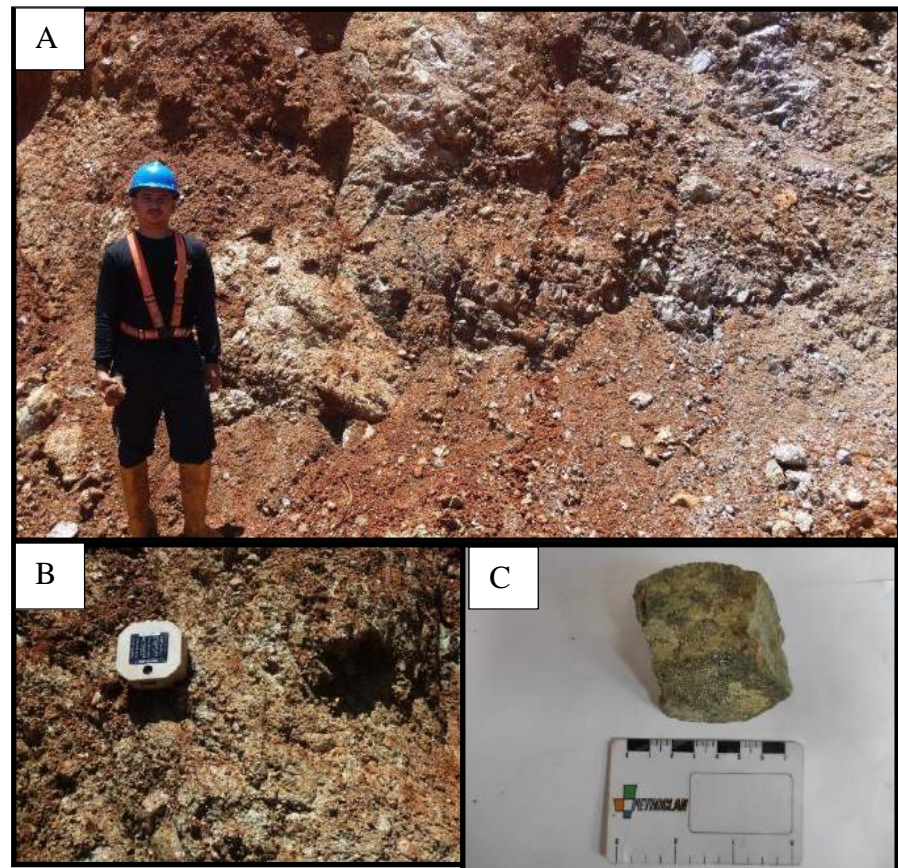
V.3.2.2 Distribusi

Distribusi satuan Serpentin memiliki luasan 30% pada daerah penelitian. Singkapan batuan serpentin banyak ditemukan di daerah-daerah bukaan tambang dan persebarannya setempat serta pada umumnya ditemukan adanya struktur baik kekar maupun sesar.

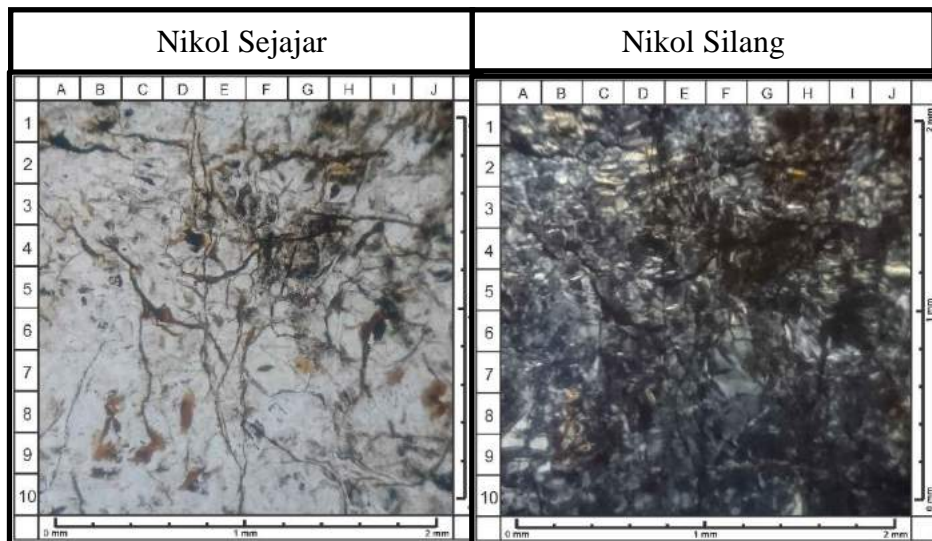
V.3.2.3 Deskripsi Litologi

Pada lokasi pengamatan (LP) 31, batuan ini secara megaskopis memiliki karakteristik warna segar abu hijau tua dan warna lapuk hijau kecoklatan, struktur non-foliasi, tekstur nematoblastik, komposisi mineral serpentin (70%), mika (20%), mineral oksida (10%). Batuan ini diklasifikasikan sebagai batuan serpentin karena mineral serpentin yang mendominasi dari batuan ini.

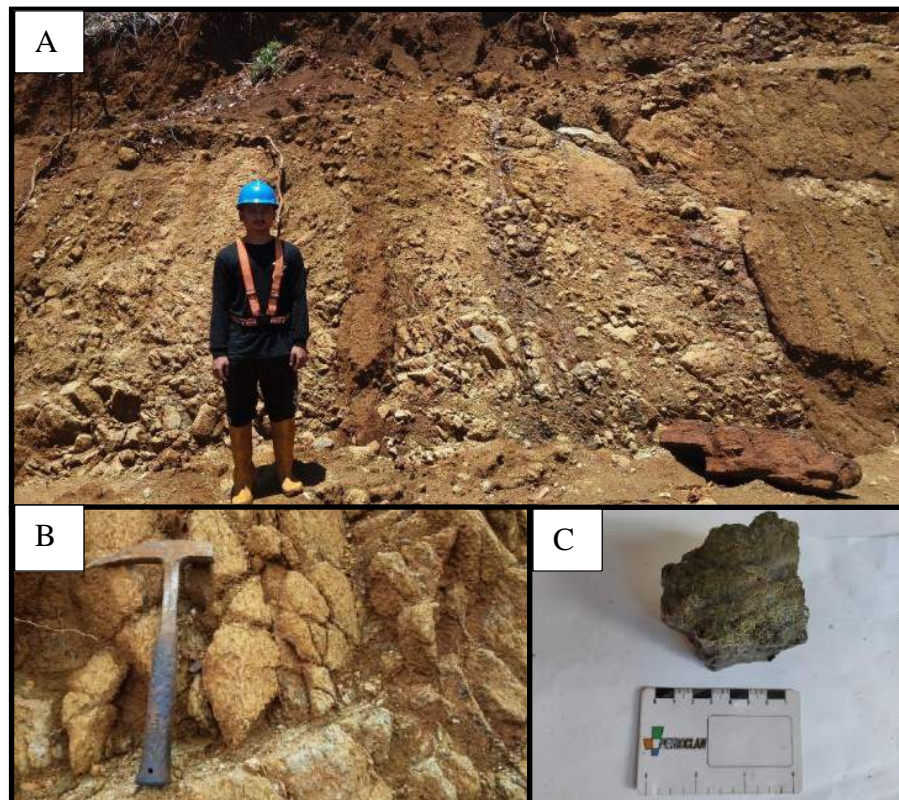
Sedangkan secara mikroskopis dideskripsikan sebagai sayatan tipis batuan metamorf non foliasi, warna abu kehijauan, struktur non foliasi, tekstur nematoblastik, disusun oleh mineral lizardit (D2), antigorit (I3), dan mineral oksida (H1).



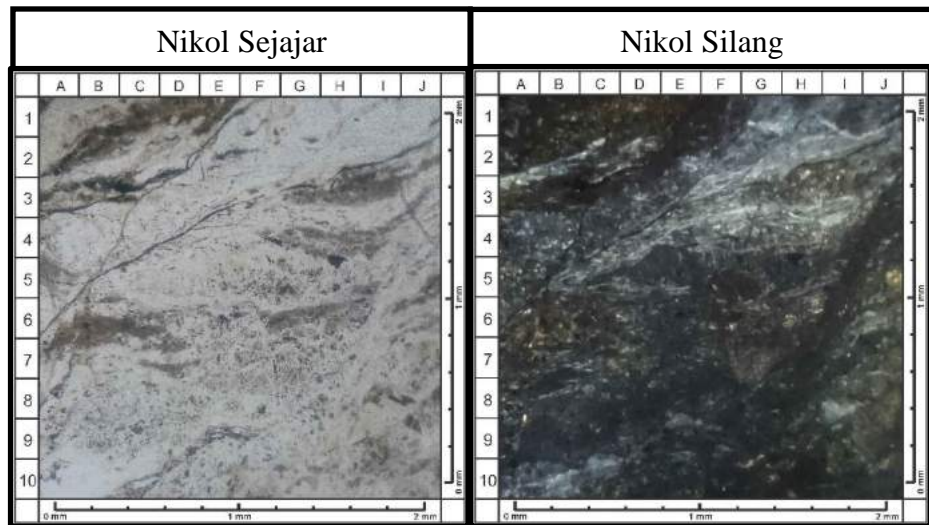
Gambar V.15 (A) Singkapan LP 31 (Az : N 013⁰ E); (B) Foto parameter batuan serpentinit LP 31; (C) Sampel batuan serpentinit LP 31



Gambar V.16 Deskripsi batuan serpentinit LP 31 secara mikroskopis. Sayatan tipis batuan metamorf non foliasi, warna abu kehijauan, struktur non foliasi, tekstur nematoblastik, disusun oleh mineral lizardit (D2), antigorit (I3), dan mineral oksida (H1)



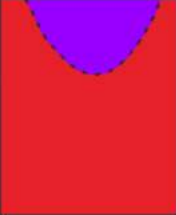
Gambar V.17 (A) Singkapan LP 06 (Az : N 248⁰ E); (B) Foto parameter batuan serpentinit LP 06; (C) Sampel batuan serpentinit LP 06



Gambar V.18 Deskripsi batuan serpentinit LP 06 secara mikroskopis. Sayatan tipis batuan metamorf non foliasi, warna abu kehijauan, struktur non foliasi, tekstur nematoblastik, disusun oleh mineral lizardit (H3), antigorit (C5), mineral oksida (B2)

V.3.3 Hubungan Stratigrafi

Satuan litodem peridotit termasuk ke dalam Kompleks Ultramafik, tersusun oleh satuan peridotit dan satuan serpentinit. Hubungan stratigrafi dari satuan litodem peridotit dengan satuan litodem serpentinit yaitu hubungan kontak berangsur dengan berdasarkan meningkatnya mineral serpentin pada batuan peridotit hingga menjadi batuan serpentinit.

UMUR GEOLOGI		WARNA SATUAN	SATUAN LITODEM	KETERANGAN
MASA	ZAMAN			
MESOZOIKUM	KAPUR		Serpentinit Peridotit	Satuan Serpentinit disusun oleh batuan serpentinit Satuan Peridotit disusun oleh batuan peridotit

Umur menurut Kadarusman, 2004

Gambar V.19 Kolom Stratigrafi Daerah Penelitian

V.3.4 Umur

Pada daerah penelitian dengan litologi berupa peridotit dan serpentinit yang masuk ke dalam Kompleks Ultramafik Ophiolit Sulawesi Timur atau ESO (*East Sulawesi Ophiolite*). Berdasarkan umur dari batuan

tertua ESO, maka batuan ESO berumur 137 Ma atau Kapur Awal dan umur ini dianggap sebagai waktu awal pembentukannya (Bergman, dkk. 1996). Dan menurut Parkinson (1998) dalam Kadarusman (2004) berdasarkan penarikan umur dari K-Ar menyebutkan bahwa peristiwa obduksi ESO dengan *Sundaland* pada 30 juta tahun yang lalu.

V.4 Struktur Geologi Daerah Penelitian

Struktur geologi merupakan hasil dari adanya tektonisme. Struktur geologi berfungsi sebagai jalur fluida bergerak sehingga akan terjadi pelarutan unsur sehingga terbentuk endapan laterit. Pada daerah penelitian ditemukan struktur geologi berupa kekar dan sesar yang berjumlah masing-masing delapan kekar dan dua sesar.

V.4.1 *Shear Joint* (Kekar Gerus)

Struktur geologi berupa *shear joint* pada daerah penelitian terdapat pada beberapa lokasi pengamatan. *Shear joint* ini memiliki orientasi tenggara-barat laut.

V.4.1.1 *Shear Joint* LP 06



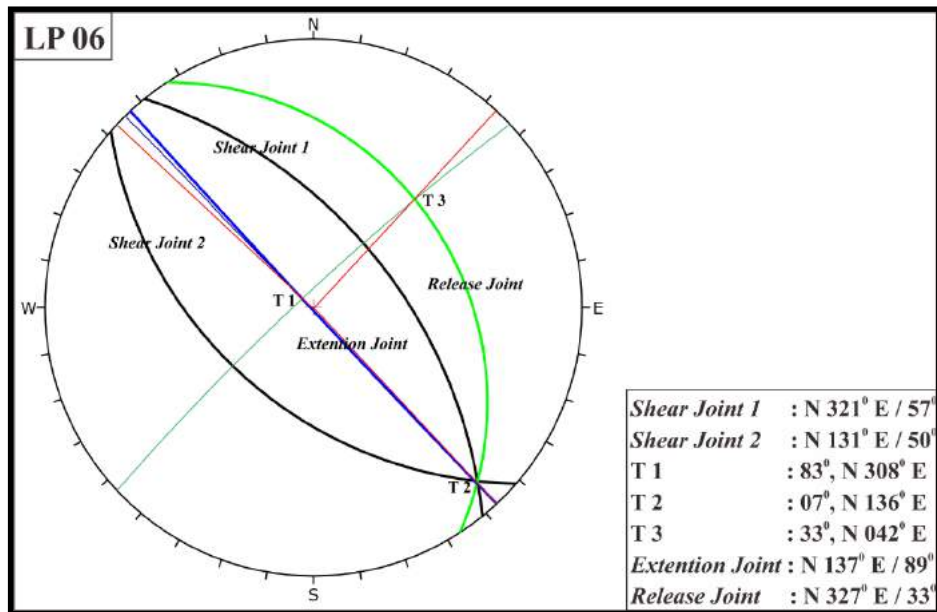
Gambar V.20 Foto Singkapan *Shear Joint* LP 06
(Azimuth Foto : N 276⁰ E)



Gambar V.21 Foto Singkapan *Shear Joint* LP 06

(Azimuth Foto : N 276° E)

Pada lokasi pengamatan 06, terdapat *shear joint* pada satuan batuan serpentinit. Arah umum dari *shear joint* tersebut yaitu N 321° E / 57° dan N 131° E / 50°, dengan arah tegasan utama 83°, N 308° E.



Gambar V.22 Analisis Stereografis pada LP 06

V.4.1.2 *Shear Joint* LP 09

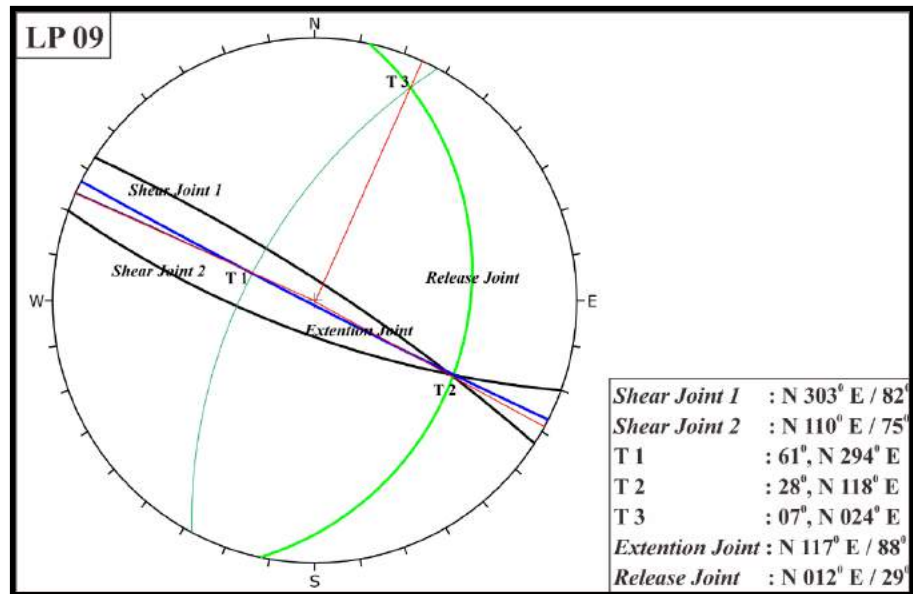


Gambar V.23 Foto Singkapan *Shear Joint* LP 09
(Azimuth Foto : N 280⁰ E)



Gambar V.24 Foto Singkapan *Shear Joint* LP 09
(Azimuth Foto : N 280⁰ E)

Pada lokasi pengamatan 09, terdapat *shear joint* pada satuan batuan peridotit. Arah umum dari *shear joint* tersebut yaitu $N 303^{\circ} E / 82^{\circ}$ dan $N 110^{\circ} E / 75^{\circ}$, dengan arah tegasan utama 61° , $N 294^{\circ} E$.



Gambar V.25 Analisis Stereografis pada LP 09

V.4.1.3 Shear Joint LP 18



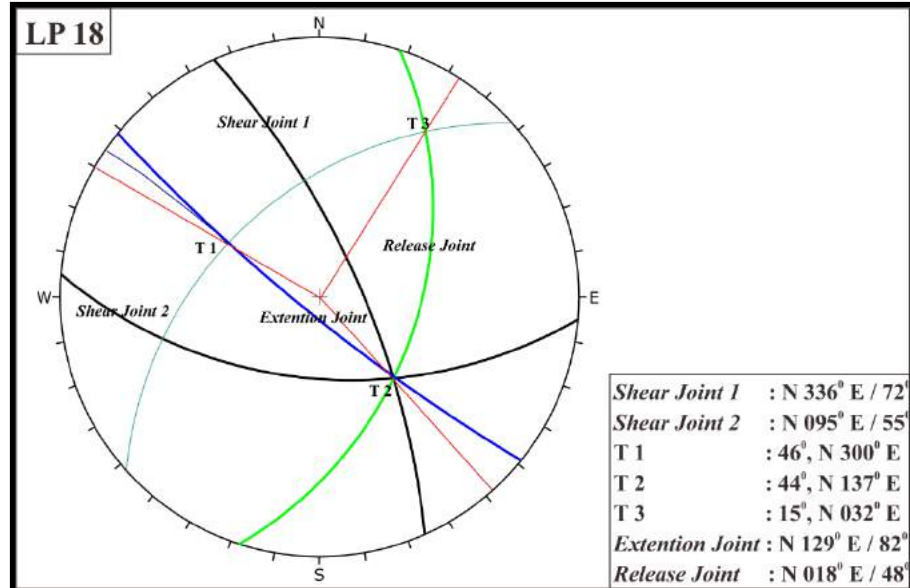
Gambar V.26 Foto Singkapan *Shear Joint* LP 18

(Azimuth Foto : $N 311^{\circ} E$)



Gambar V.27 Foto Singkapan *Shear Joint* LP 18
(Azimuth Foto : N 311⁰ E)

Pada lokasi pengamatan 18, terdapat *shear joint* pada satuan batuan peridotit. Arah umum dari *shear joint* tersebut yaitu N 336⁰ E / 72⁰ dan N 095⁰ E / 55⁰, dengan arah tegasan utama 46⁰, N 300⁰ E.



Gambar V.28 Analisis Stereografis pada LP 18

V.4.1.4 *Shear Joint* LP 22



Gambar V.29 Foto Singkapan *Shear Joint* LP 22

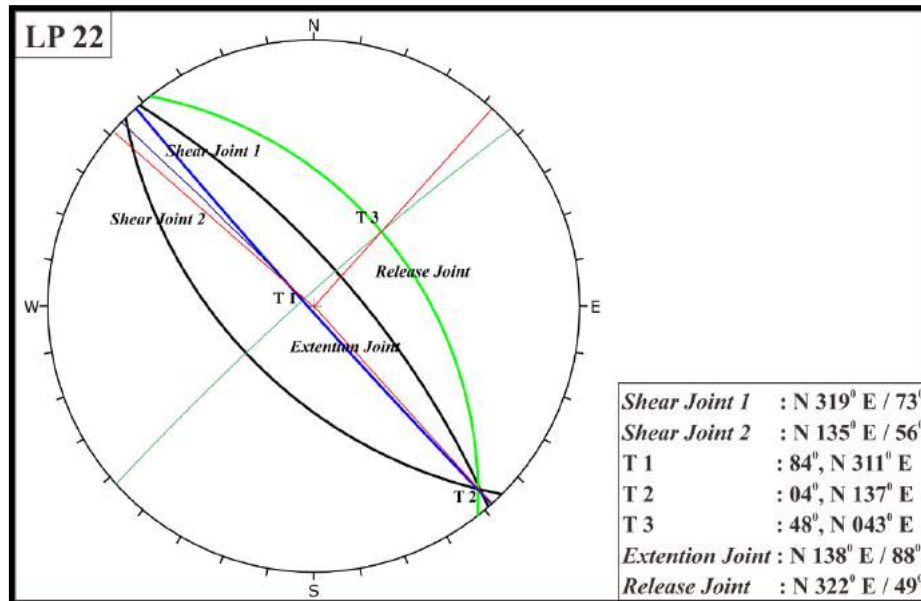
(Azimuth Foto : N 301⁰ E)



Gambar V.30 Foto Singkapan *Shear Joint* LP 22

(Azimuth Foto : N 301⁰ E)

Pada lokasi pengamatan 22, terdapat *shear joint* pada satuan batuan serpentinit. Arah umum dari *shear joint* tersebut yaitu N 319⁰ E / 73⁰ dan N 135⁰ E / 56⁰, dengan arah tegasan utama 84⁰, N 311⁰ E.



Gambar V.31 Analisis Stereografis pada LP 22

V.4.1.5 Shear Joint LP 23



Gambar V.32 Foto Singkapan *Shear Joint* LP 23

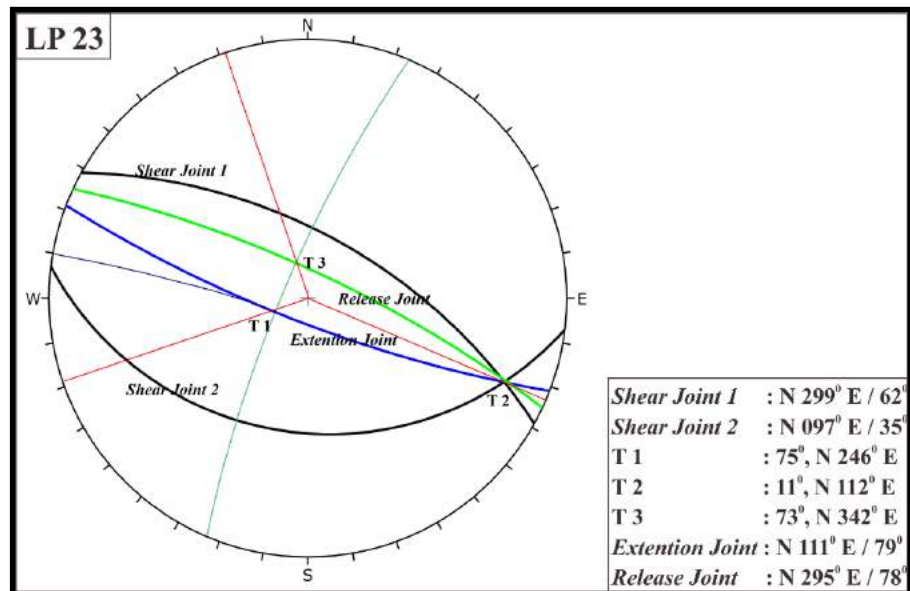
(Azimuth Foto : N 278° E)



Gambar V.33 Foto Singkapan *Shear Joint* LP 23

(Azimuth Foto : N 278⁰ E)

Pada lokasi pengamatan 23, terdapat *shear joint* pada satuan batuan peridotit. Arah umum dari *shear joint* tersebut yaitu N 299⁰ E / 62⁰ dan N 097⁰ E / 35⁰, dengan arah tegasan utama 75⁰, N 246⁰ E.



Gambar V.34 Analisis Stereografis pada LP 23

V.4.1.6 *Shear Joint* LP 24

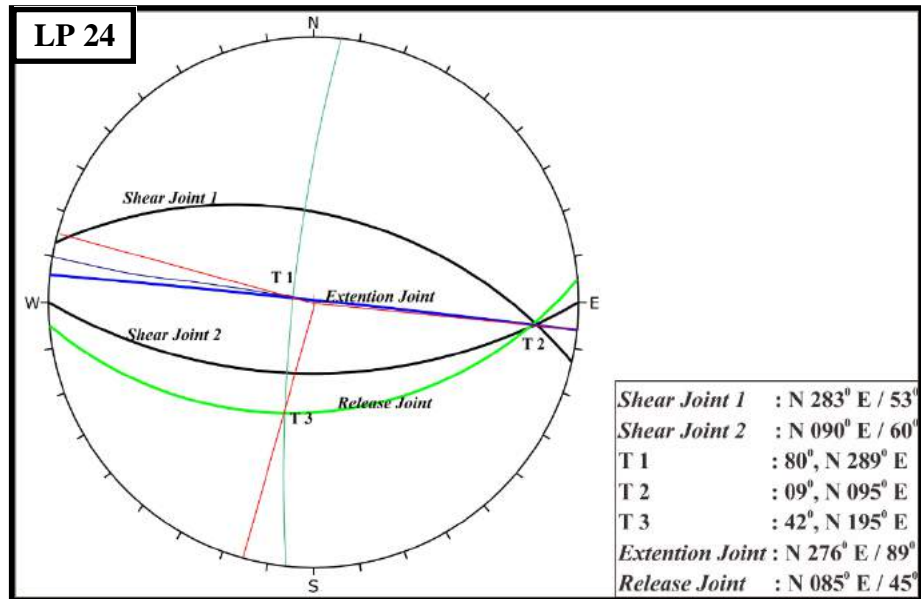


Gambar V.35 Foto Singkapan *Shear Joint* LP 24
(Azimuth Foto : N 335⁰ E)



Gambar V.36 Foto Singkapan *Shear Joint* LP 24
(Azimuth Foto : N 335⁰ E)

Pada lokasi pengamatan 24, terdapat *shear joint* pada satuan batuan peridotit. Arah umum dari *shear joint* tersebut yaitu N 283⁰ E / 53⁰ dan N 090⁰ E / 60⁰, dengan arah tegasan utama 80⁰, N 289⁰ E.



Gambar V.37 Analisis Stereografis pada LP 24

V.4.1.7 *Shear Joint* LP 34



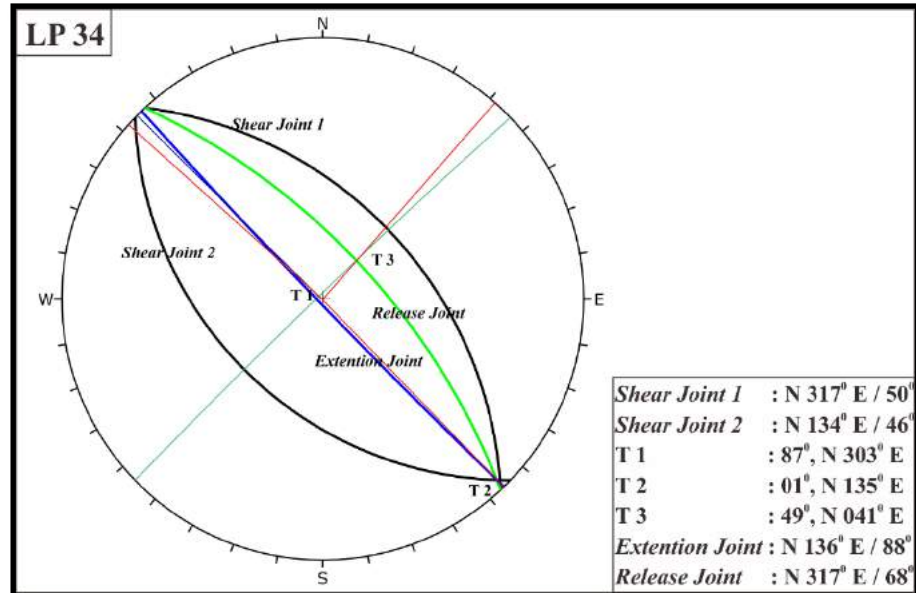
Gambar V.38 Foto Singkapan *Shear Joint* LP 34

(Azimuth Foto : N 075° E)



Gambar V.39 Foto Singkapan *Shear Joint* LP 34
(Azimuth Foto : N 075° E)

Pada lokasi pengamatan 34, terdapat *shear joint* pada satuan batuan serpentinit. Arah umum dari *shear joint* tersebut yaitu N 317° E / 50° dan N 134° E / 46°, dengan arah tegasan utama 87°, N 303° E.



Gambar V.40 Analisis Stereografis pada LP 34

V.4.1.8 *Shear Joint* LP 46

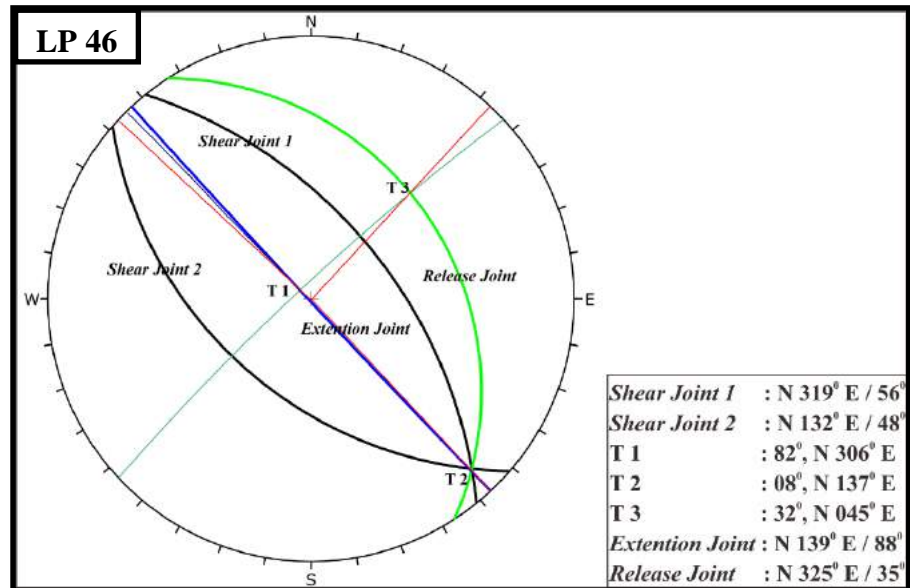


Gambar V.41 Foto Singkapan *Shear Joint* LP 46
(Azimuth Foto : N 284⁰ E)



Gambar V.42 Foto Singkapan *Shear Joint* LP 46
(Azimuth Foto : N 284⁰ E)

Pada lokasi pengamatan 46, terdapat *shear joint* pada satuan batuan serpentinit. Arah umum dari *shear joint* tersebut yaitu N 319⁰ E / 56⁰ dan N 132⁰ E / 48⁰, dengan arah tegasan utama 82⁰, N 306⁰ E.



Gambar V.43 Analisis Stereografis pada LP 46

V.4.2 Sesar

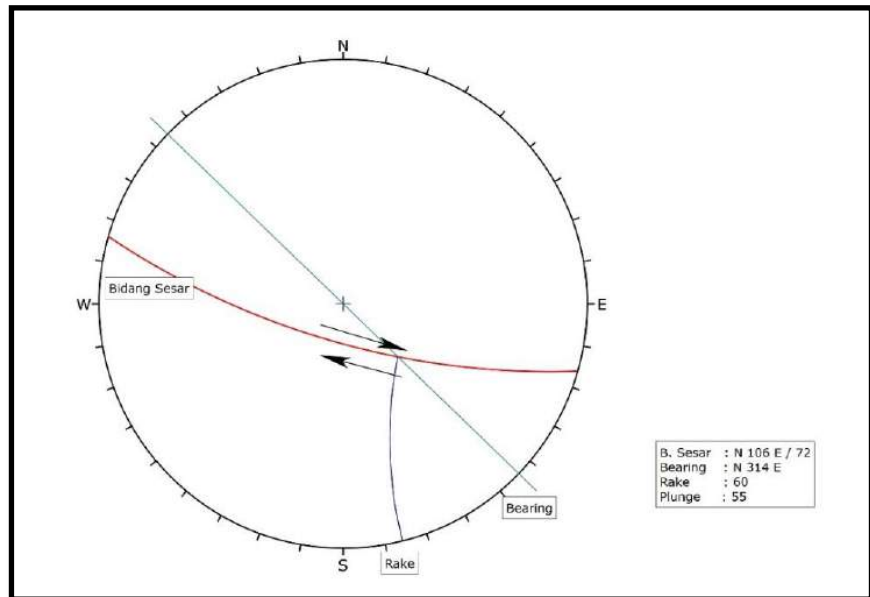
V.4.2.1 Sesar LP 22



Gambar V.44 Foto Singkapan Sesar LP 22

(Azimuth Foto : N 314° E)

Pada lokasi pengamatan 22, terdapat bidang sesar dengan arah N 106° E / 72°. Serta terdapat bearing dengan besaran N 314° E dan didapatkan rake melalui analisis stereografis dengan besaran 60°. Berdasarkan klasifikasi sesar menurut Rickard (1972), maka sesar ini disebut *Reverse Right Slip Fault* (Sesar Mendatar Kanan Naik).



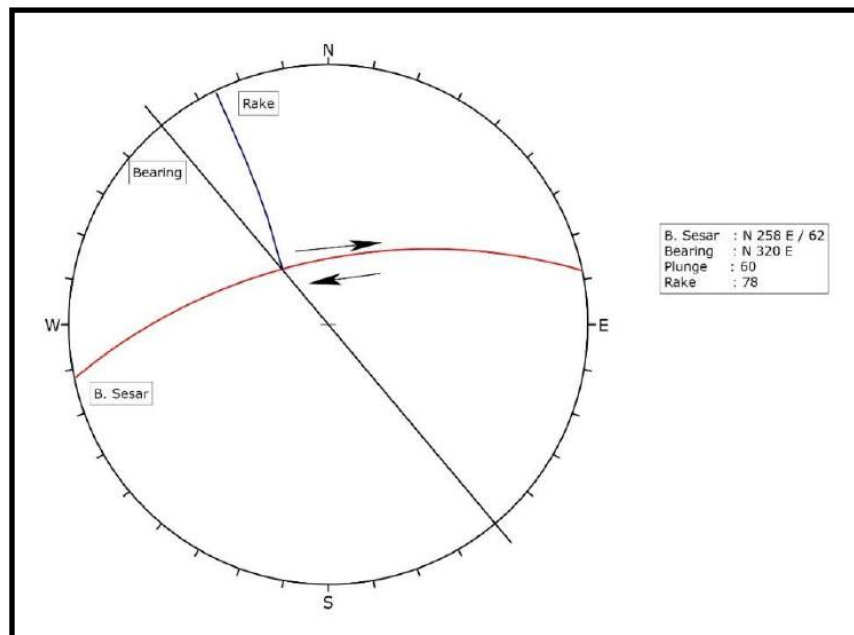
Gambar V.45 Analisis Stereografis pada LP 22

V.4.2.2 Sesar LP 24



Gambar V.46 Foto Singkapan Sesar LP 24
 (Azimuth Foto : N 322⁰ E)

Pada lokasi pengamatan 24, terdapat bidang sesar dengan arah N 258° E / 62°. Serta terdapat bearing dengan besaran N 320° E dan didapatkan rake melalui analisis stereografis dengan besaran 78°. Berdasarkan klasifikasi sesar menurut Rickard (1972), maka sesar ini disebut *Right Reverse Slip Fault* (Sesar Kanan Naik).



Gambar V.47 Analisis Stereografis pada LP 24

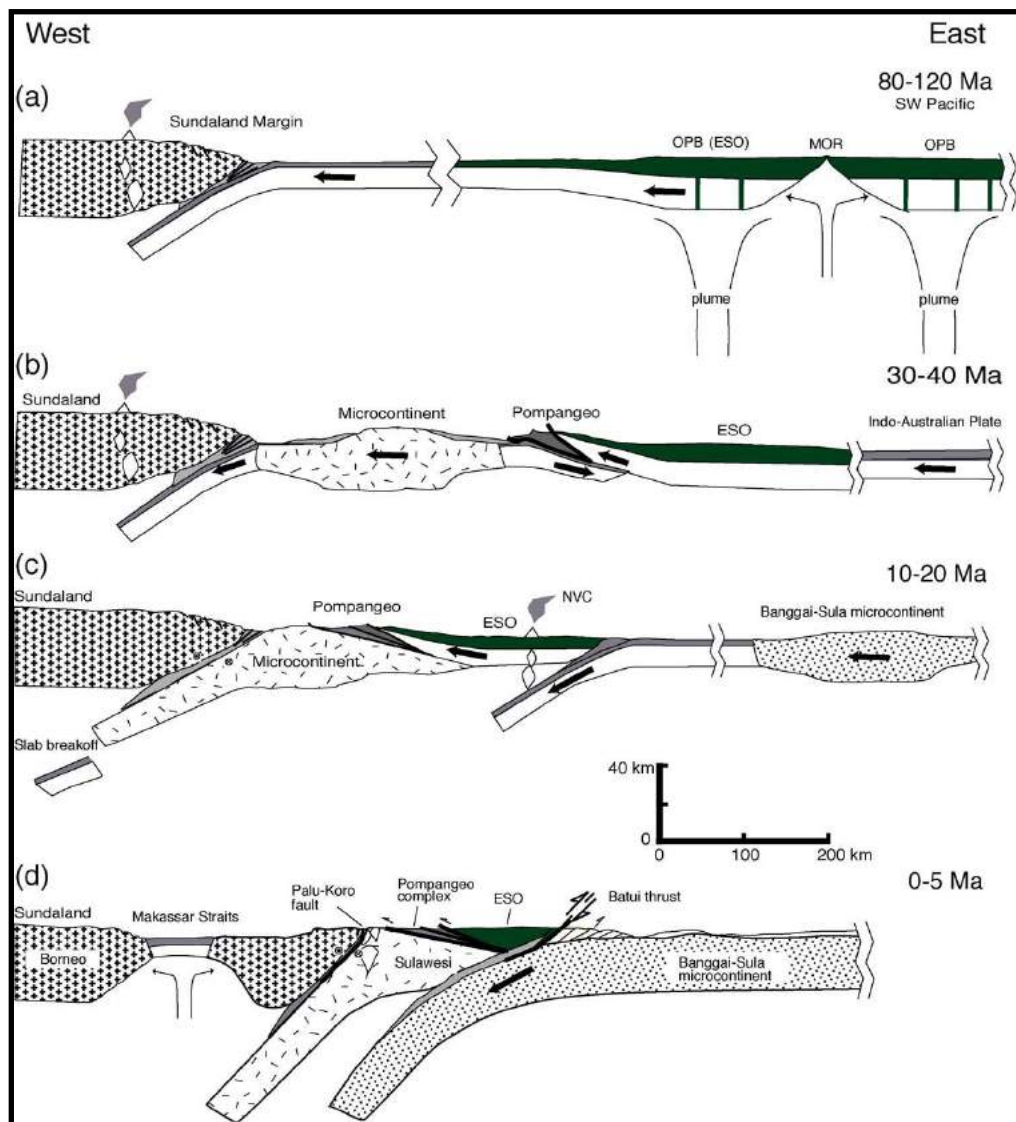
V.5 Sejarah Geologi

Pada daerah penelitian masuk ke dalam kompleks ultramafik dari *East Sulawesi Ophiolite*. Proses pembentukan East Sulawesi Ophiolite berasal dari proses magmatisme (Kadariusman, dkk. 2004). Dijelaskan pada Gambar V.48 (a) di 120 Ma-80 Ma, ESO memisahkan diri dari dataran tinggi samudera Pasifik dan gunung laut, yang menghasilkan Mid Oceanic Ridge; ESO kemudian bergerak ke arah barat.

Posisi ESO menjadi dekat dengan margin Sundaland dan berada di belakang lempeng samudera, yang berisi fragmen mikrokontinental yang terlepas dari margin benua Australia. Akhirnya, ESO terhalang ke margin Sundaland di 30 Ma dan mengalami obduksi (Parkinson, 1998) pada Gambar V.48 (b).

Busur magmatisme dimulai pada 20 Ma, akibat subduksi lempeng Banggai-Sula ke arah barat di bawah ESO (Gambar V.48 (c)). Produk busur magmatisme sesuai dengan formasi NVC yang menutupi lapisan basaltik ESO. Benua mikro Banggai-Sula mulai bertabrakan di 10 Ma (Miosen Akhir) dengan bagian timur ESO.

Gambar V.48 (d) Banggai-Sula mengalami kolisi menghasilkan Batui thrust serta menunjukkan posisi akhir ESO setelah pembukaan Selat Makassar, yang kemungkinan dimulai pada 5 Ma (Hall dan Wilson, 2000).



Gambar V.48 Penampang Sejarah Geologi Daerah Penelitian Menurut Kadarusman, dkk (2004) modifikasi Parkinson (1998), Hall dan Wilson (2000)

V.6 Profil Laterit Nikel

Pada daerah penelitian terdapat profil laterit nikel yang terdapat pada dinding tenggara daerah penelitian. Dinding ini memiliki profil laterit yang cukup lengkap, penjelasan profil laterit sebagai berikut :

1. Tanah Penutup (Top Soil)

Tanah penutup merupakan zona paling atas dari profil endapan laterit. Ciri-ciri tanah penutup yaitu berwarna coklat gelap, ukuran butir lempung ($<0,0039$ mm). Pada zona tanah penutup ini terdapat akar-akar tumbuhan.

2. Limonit

Zona limonit memiliki ciri-ciri berwarna coklat kemerahan, ukuran butir lempung ($<0,0039$ mm)-pasir halus (0,125-0,25mm). Berwarna coklat kemerahan karena mengalami oksidasi. Zona ini mengandung Fe yang paling tinggi.

3. Saprolit

Zona saprolit ini memiliki ciri-ciri berwarna coklat kekuningan atau coklat kehijauan, memiliki ukuran butir pasir halus (0,125-0,25mm)-pasir kasar (1-2 mm). Terkadang masih terdapat boulder dari batuan dasar. Terdapat mineral piroksen, serpentin, silika, dan garnierit. Zona ini merupakan zona yang memiliki kandungan Ni paling tinggi.

4. Batuan Dasar

Batuan Dasar merupakan zona yang paling bawah dari profil laterit. Terdiri dari batuan peridotit yang lapuk dan terdapat sedikit urat silika. Memiliki karakteristik warna segar abu-abu kehijauan dan warna lapuk kecoklatan, struktur masif, derajat kristalisasi holokristalin, derajat granularitas fanerik halus-sedang, bentuk kristal subhedral, dan relasi equigranular hipidiomorfik, komposisi mineral utama olivin (60%), piroksen (30%), serta mineral sekunder serpentin (10%).

V.7 Potensi Geologi Daerah Penelitian

Potensi geologi daerah penelitian dibagi menjadi dua, yaitu potensi positif dan potensi negatif. Potensi tersebut dijelaskan sebagai berikut :

V.7.1 Potensi Positif

Potensi positif yang terdapat di daerah penelitian yaitu bahan galian nikel. Pada daerah penelitian komoditas logam nikel berupa nikel sekunder yaitu endapan nikel laterit. Endapan nikel laterit ini dihasilkan dari proses pelapukan batuan beku ultramafik.



Gambar V.49 Pertambangan yang Masih Aktif

V.7.2 Potensi Negatif

Potensi negatif pada daerah penelitian berupa gerakan massa yang disebabkan adanya aktivitas penambangan serta lereng yang terlalu curam sehingga material batuan atau tanah akan mudah mengalami pergerakan massa. Potensi negatif yang kedua berupa adanya perubahan geomorfologi, perubahan geomorfologi terjadi akibat adanya aktivitas penambangan.



Gambar V.50 Potensi Gerakan Massa Tanah



Gambar V.51 Perubahan Geomorfologi Akibat Aktivitas Penambangan

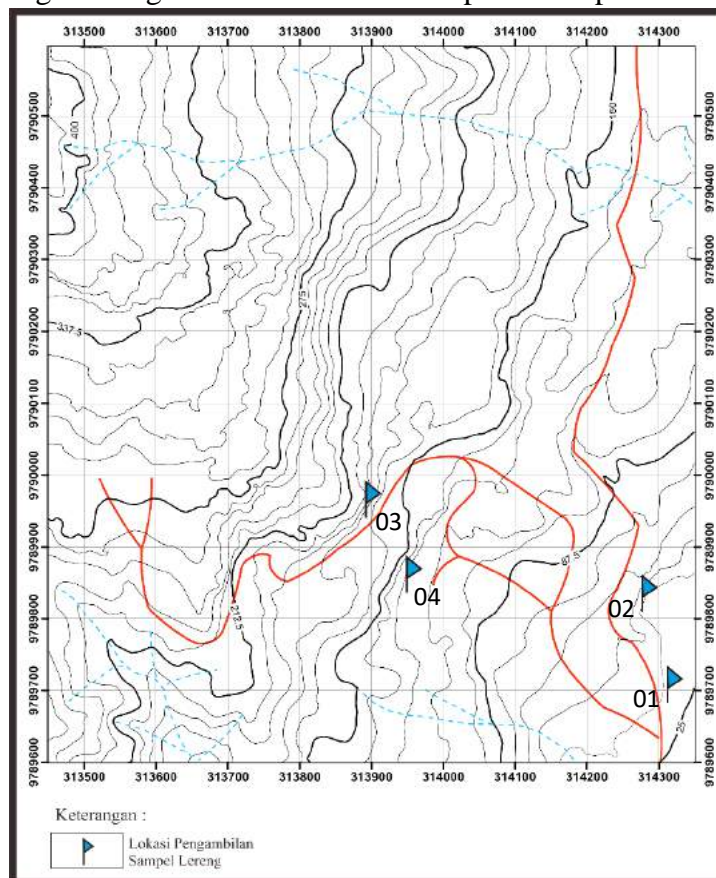
BAB VI

ANALISIS KESTABILAN LERENG

Analisis kestabilan lereng pada tambang terbuka dilakukan dengan cara pemetaan geologi teknik. Pemilihan lereng yang dianalisis pada lahan *post mining* tepatnya pada jalan *hauling* tambang nikel, ketersediaan struktur geologi berupa kekar. Pengambilan data geologi teknik dilakukan pengamatan secara langsung. Pada daerah penelitian terdapat lereng dengan material tanah berupa zona limonit dan material batuan pada litologi batuan peridotit.

VI.1 Lokasi Pengamatan Lereng

Lokasi pengamatan lereng yang dianalisis berada di tengah dan tenggara daerah penelitian. (Gambar VI.1). Terdapat empat lereng yang diamati, dengan lereng 01 dan lereng 02 dengan material tanah berupa zona limonit serta lereng 03 dan lereng 04 dengan material batuan berupa batuan peridotit.



Gambar VI.1 Lokasi Pengamatan dan Pengambilan Sampel Lereng

VI.2 Analisis Kestabilan Lereng

VI.2.1 Lereng 01

VI.2.1.1 Data Geometri Lereng



Gambar VI.2 Foto Singkapan Lereng 01 (Azimuth Foto : N 276⁰ E)

Lokasi lereng 01 berada di tenggara daerah penelitian. Lereng 01 memiliki material berupa zona limonit. Pada lereng 01 dilakukan pengamatan dan pengambilan data geometri lereng. Didapatkan data geometri lereng yang terdiri dari dua *bench*. Geometri lereng sebagai berikut :

Tabel VI.1 Data Geometri Lereng 01

Lokasi	Tinggi Lereng	Lebar Jenjang	Sudut Lereng
X : 314326	4 m	2 m	57°
Y : 9789621	6,5 m	5 m	62°

VI.2.1.2 Data Sifat Fisik Tanah

Pada lereng 01 dilakukan pengambilan sampel tanah secara *undisturbed* (tanah tak terganggu). Uji sifat fisik tanah pada sampel tanah di laboratorium untuk mendapatkan nilai kadar air, berat jenis dan bobot isi (Tabel VI.2). Berikut data sifat fisik tanah yang diperoleh :

Tabel VI.2 Data Sifat Fisik Tanah Lereng 01

Lokasi Pengambilan Sample	
Lokasi Pengambilan Sample	Sulawesi
Nama Cawan	Lereng 01
Berat Cawan (W1, gram)	5
Berat Cawan + Tanah Basah (W2, gram)	12,8
Berat Cawan + Tanah Kering (W3, gram)	10,5
Berat Air (W2-W3, gram)	2,3
Berat Tanah Kering (W3-W1, gram)	5,5
Kadar Air $\{(W2-W3)/(W3-W1) \times 100\}$	41,81%
Pengujian Berat Jenis	
Lokasi Pengambilan Sample	Sulawesi
Nomor Pikhnometer	Lereng 01
Berat Pikhnometer (W1, gram)	37,8
Berat Pikhnometer + Tanah (W2, gram)	52,8
Berat Pikhnometer + Air + Tanah (W3, gram)	146
Berat Pikhnometer + Air (W4, gram)	136,3
Berat Tanah (W2-W1, gram)	15
Isi Tanah $\{(W2-W1) + (W4-W3), \text{gram}\}$	5,3
Berat Jenis $\{(W2-W1)/((W2-W1) + (W4-W3))\}$	2,830188679
Pengujian Bobot Isi	
Lokasi Pengambilan Sample	Sulawesi
Nomor Cincin	Lereng 01
Tinggi Cincin (t, cm)	2
Diameter Cincin (d, cm)	6,2
Berat Cincin (W1, gram)	60,5
Berat Cincin + Tanah Basah (W2, gram)	197,2
Berat Tanah Basah (W2-W1, gram)	136,7
Isi Tanah $(t \times 0,25 \times \pi \times d^2, \text{cm}^3)$	60,3508
Berat Isi $(W2-W1)/(t \times 0,25 \times \pi \times d^2, \text{gr/cm}^3)$	2,265090107
Berat Isi (kN/m ³)	15,453169

VI.2.1.3 Data Sifat Mekanika Tanah

Pada lereng 01 dilakukan pengambilan sampel tanah secara *undisturbed* (tanah tak terganggu). Uji geser langsung pada sampel tanah di laboratorium dilakukan untuk mendapatkan nilai tegangan normal dan nilai tegangan geser. Dari nilai tegangan normal dan nilai tegangan geser dapat diperoleh nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (phi) (Tabel VI.3).

Tabel VI.3 Data Sifat Mekanika Tanah Lereng 01

Lereng	Kohesi (c)	Phi
Lereng 01	24 KPa	32 ⁰

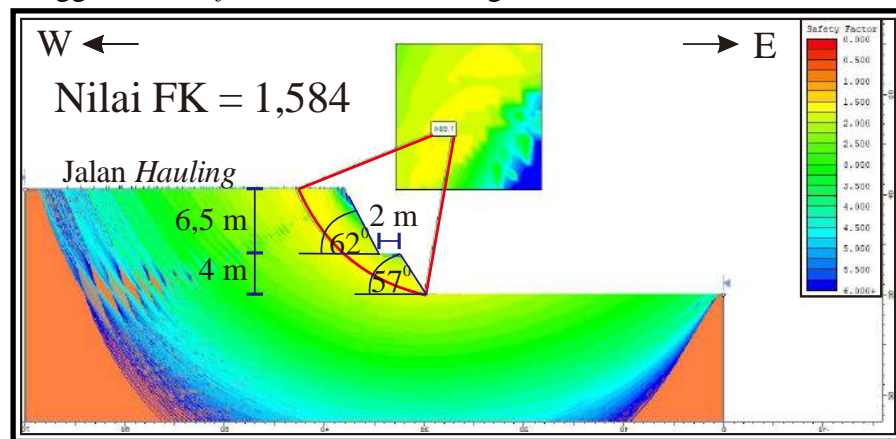
VI.2.1.4 Analisis Kestabilan Lereng

Data yang diperoleh dari uji sifat fisik tanah dan uji geser langsung diatas yaitu sebagai berikut :

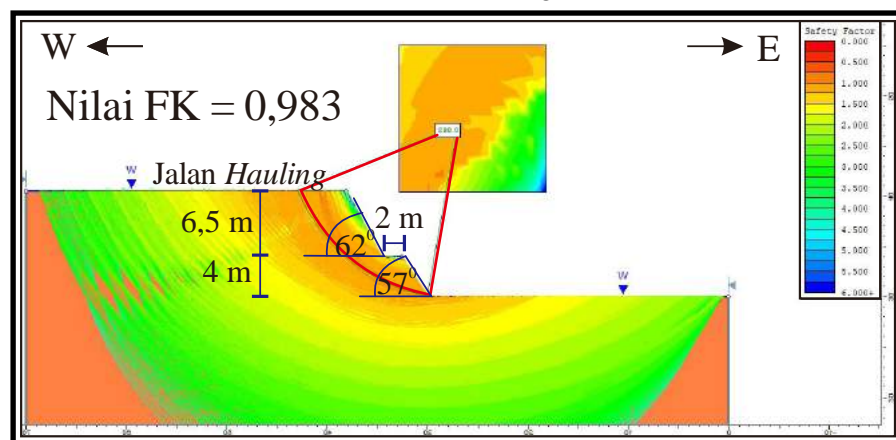
Tabel VI.4 Data Sifat Fisik Tanah dan Mekanika Tanah Lereng 01

Lereng	Litologi	Bobot Isi Tanah	Kohesi (c)	Phi
Lereng 01	Zona Limonit	15,4531 kN/m ³	24 KPa	32 ⁰

Berdasarkan data yang telah diperoleh diatas maka dapat dilakukan analisis kestabilan lereng pada lereng 01 dengan menggunakan *Software Slide 6.0* sebagai berikut :



Gambar VI.3 Analisis Kestabilan Lereng 01 Kondisi Tanah Natural



Gambar VI.4 Analisis Kestabilan Lereng 01 Kondisi Tanah Jenuh

Berdasarkan analisis kestabilan lereng diatas maka diperoleh nilai Faktor Keamanan (FK) sebagai berikut :

Tabel VI.5 Nilai Faktor Keamanan (FK) pada Lereng 01

Lereng	Faktor Keamanan (FK)	
	Natural	Jenuh
Lereng 01	1,584	0,983

Keterangan :

$FK < 1,07^\circ$: Lereng Tidak Stabil
 $1,07^\circ \leq FK < 1,25^\circ$: Lereng Kritis
 $FK > 1,25^\circ$: Lereng Stabil

Faktor Keamanan menurut Bowles, 1991

VI.2.1.5 Rekomendasi Lereng

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng diatas, maka lereng dengan material jenuh diperlukan rekomendasi guna meningkatkan kestabilan lereng. Salah satu cara untuk mencegah kelongsoran yaitu dengan mengubah geometri lereng dengan melandaikan sudut lereng. Rekomendasi lereng dengan melandaikan sudut lereng menjadi 50° , 45° , dan 40° (Lampiran 8). Nilai Faktor Keamanan akan berubah ketika sudut *slope* berubah seperti sebagai berikut :

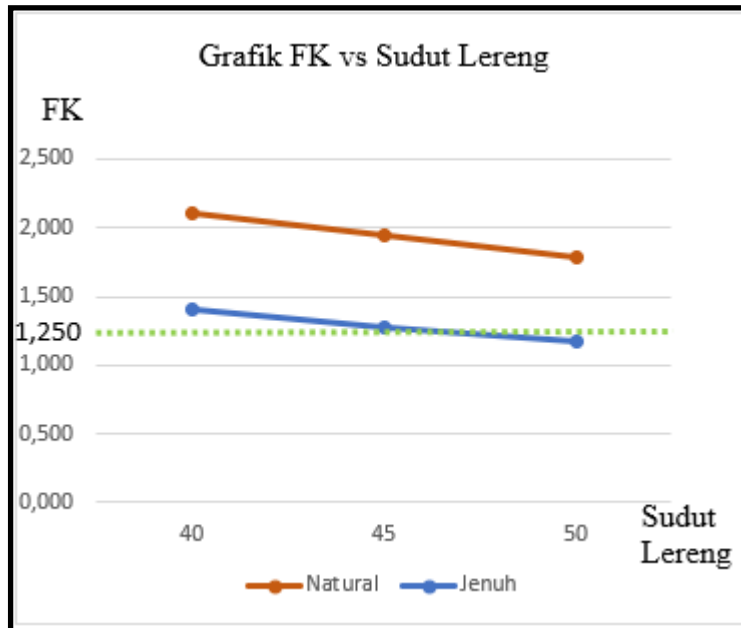
Tabel VI.6 Nilai Faktor Keamanan (FK) pada Rekomendasi Lereng 01

Lereng 01	Faktor Keamanan (FK)		
	50°	45°	40°
Natural	1,791	1,943	2,108
Jenuh	1,172	1,277	1,402

Keterangan :

$FK < 1,07^\circ$: Lereng Tidak Stabil
 $1,07^\circ \leq FK < 1,25^\circ$: Lereng Kritis
 $FK > 1,25^\circ$: Lereng Stabil

Faktor Keamanan menurut Bowles, 1991



Gambar VI.5 Grafik antara Faktor Keamanan (FK) dengan kondisi lereng natural dan jenuh

Jadi dengan adanya rekomendasi lereng dengan cara menurunkan sudut lereng, didapatkan lereng dengan kondisi jenuh dan memiliki faktor keamanan stabil dengan nilai 1,277 pada lereng dengan sudut 45°.

VI.2.2 Lereng 02

VI.2.2.1 Data Geometri Lereng



Gambar VI.6 Foto Singkapan Lereng 02 (Azimuth Foto : N 274° E)

Lokasi lereng 02 berada di tenggara daerah penelitian. Lereng 02 memiliki material berupa zona limonit. Pada lereng 02 dilakukan pengamatan dan pengambilan data geometri lereng, serta pengambilan sampel tanah. Data geometri lereng sebagai berikut :

Tabel VI.7 Data Geometri Lereng 02

Lokasi	Tinggi Lereng	Sudut Lereng
X : 314318	19 m	57°
Y : 9789854		

VI.2.2.2 Data Sifat Fisik Tanah

Pada lereng 02 dilakukan pengambilan sampel tanah secara *undisturbed* (tanah tak terganggu). Uji sifat fisik tanah pada sampel tanah di laboratorium untuk mendapatkan nilai kadar air, berat jenis dan bobot isi (Tabel VI.8). Berikut data sifat fisik tanah yang diperoleh :

Tabel VI.8 Data Sifat Fisik Tanah Lereng 02

Lokasi Pengambilan Sample	
Lokasi Pengambilan Sample	Sulawesi
Nama Cawan	Lereng 02
Berat Cawan (W1, gram)	5
Berat Cawan + Tanah Basah (W2, gram)	7,8
Berat Cawan + Tanah Kering (W3, gram)	6,5
Berat Air (W2-W3, gram)	1,3
Berat Tanah Kering (W3-W1, gram)	1,5
Kadar Air $\{(W2-W3)/(W3-W1) \times 100\}$	86,67%
Pengujian Berat Jenis	
Lokasi Pengambilan Sample	Sulawesi
Nomor Piknometer	Lereng 02
Berat Piknometer (W1, gram)	24,8
Berat Piknometer + Tanah (W2, gram)	39,8
Berat Piknometer + Air + Tanah (W3, gram)	53,8
Berat Piknometer + Air (W4, gram)	49,5
Berat Tanah (W2-W1, gram)	15
Isi Tanah $\{(W2-W1) + (W4-W3), \text{gram}\}$	10,7
Berat Jenis $\{(W2-W1)/((W2-W1) + (W4-W3))\}$	1,401869159

Tabel VI.8 (lanjutan) Data Sifat Fisik Tanah Lereng 02

Pengujian Bobot Isi	
Lokasi Pengambilan Sample	Sulawesi
Nomor Cincin	Lereng 02
Tinggi Cincin (t, cm)	2
Diameter Cincin (d, cm)	6,2
Berat Cincin (W1, gram)	60,5
Berat Cincin + Tanah Basah (W2, gram)	155,6
Berat Tanah Basah (W2-W1, gram)	95,1
Isi Tanah ($t \times 0,25 \times \pi \times d^2$, cm ³)	60,3508
Berat Isi (W2-W1)/($t \times 0,25 \times \pi \times d^2$, gr/cm ³)	1,575786899
Berat Isi (kN/m ³)	22,2129128

VI.2.2.3 Data Sifat Mekanika Tanah

Pada lereng 02 dilakukan pengambilan sampel tanah secara *undisturbed* (tanah tak terganggu). Uji geser langsung pada sampel tanah di laboratorium dilakukan untuk mendapatkan nilai tegangan normal dan nilai tegangan geser. Dari nilai tegangan normal dan nilai tegangan geser dapat diperoleh nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (phi) (Tabel VI.9).

Tabel VI.9 Data Mekanika Tanah Lereng 02

Lereng	Kohesi (c)	Phi
Lereng 02	29 KPa	27°

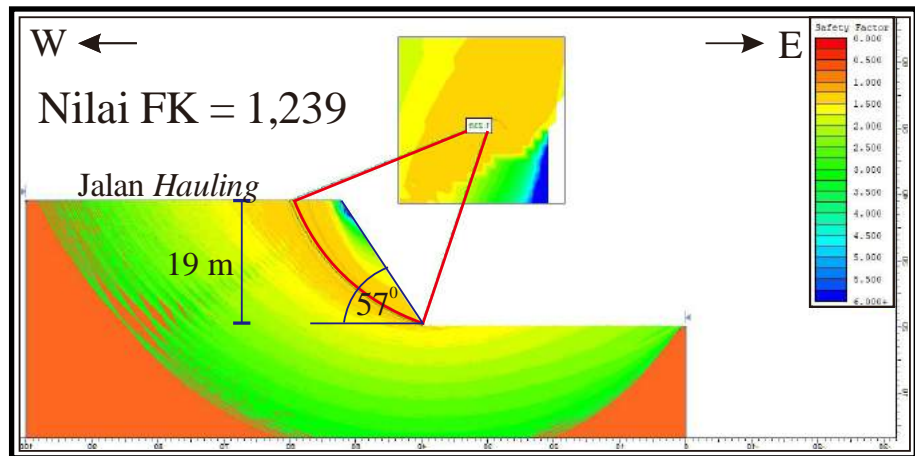
VI.2.2.4 Analisis Kestabilan Lereng

Data yang diperoleh dari uji sifat fisik tanah dan uji geser langsung diatas yaitu sebagai berikut :

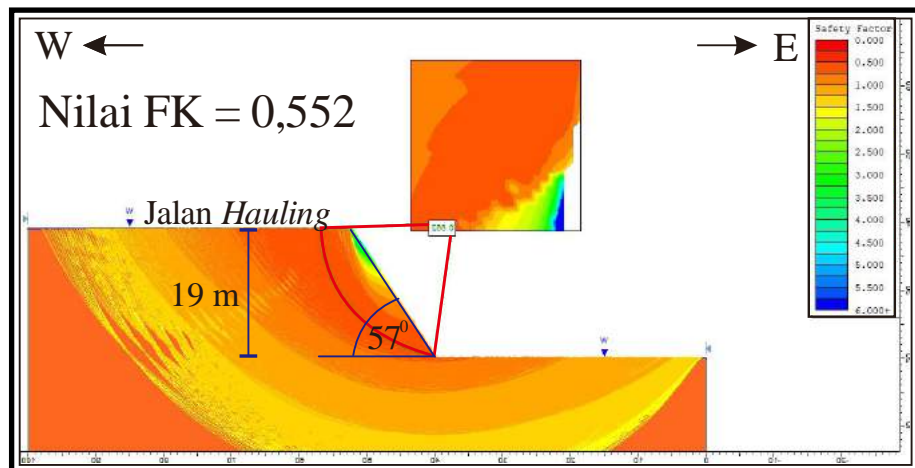
Tabel VI.10 Data Sifat Fisik Tanah dan Mekanika Tanah Lereng 02

Lereng	Litologi	Bobot Isi Tanah	Kohesi (c)	Phi
Lereng 02	Zona Limonit	22,2129 kN/m	29 KPa	27°

Berdasarkan data yang telah diperoleh diatas maka dapat dilakukan analisis kestabilan lereng pada lereng 02 dengan menggunakan *Software Slide 6.0* sebagai berikut :



Gambar VI.7 Analisis Kestabilan Lereng 02 Kondisi Tanah Natural



Gambar VI.8 Analisis Kestabilan Lereng 02 Kondisi Tanah Jenuh

Berdasarkan analisis kestabilan lereng diatas maka diperoleh nilai Faktor Keamanan (FK) sebagai berikut :

Tabel VI.11 Nilai Faktor Keamanan (FK) pada Lereng 02

Lereng	Faktor Keamanan	
	Natural	Jenuh
Lereng 02	1,239	0,552

Keterangan :

- FK < 1,07° : Lereng Tidak Stabil
- 1,07° ≤ FK > 1,25° : Lereng Kritis
- FK > 1,25° : Lereng Stabil

Faktor Keamanan menurut Bowles, 1991

VI.2.1.5 Rekomendasi Lereng

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng diatas, maka lereng dengan material jenuh diperlukan rekomendasi supaya lereng menjadi stabil. Salah satu cara untuk mencegah kelongsoran yaitu dengan mengubah geometri lereng dengan melandaikan sudut lereng dan dapat menambah *bench* lereng. Rekomendasi lereng dengan melandaikan sudut lereng menjadi 50° , 45° , 40° , 35° dan 30° dan dengan mengubah *bench* lereng menjadi dua *bench* lereng (Lampiran 8). Nilai faktor keamanan akan berubah ketika sudut lereng berubah, sebagai berikut :

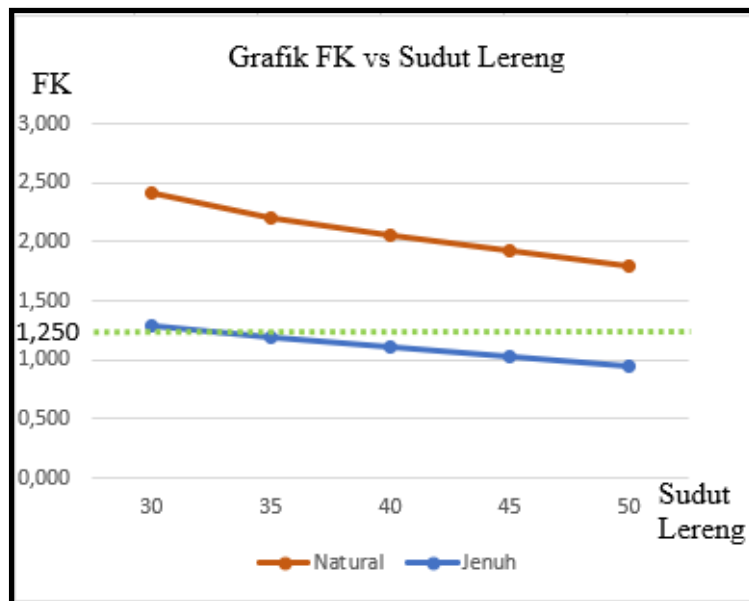
Tabel VI.12 Nilai Faktor Keamanan (FK) pada Rekomendasi Lereng 02

Lereng 02	Faktor Keamanan (FK)				
	50°	45°	40°	35°	30°
Natural	1,800	1,932	2,051	2,211	2,419
Jenuh	0,952	1,033	1,106	1,188	1,295

Keterangan :

FK < 1,07°	: Lereng Tidak Stabil
1,07° ≤ FK < 1,25°	: Lereng Kritis
FK > 1,25°	: Lereng Stabil

Faktor Keamanan menurut Bowles, 1991



Gambar VI.9 Grafik antara Faktor Keamanan (FK) dengan kondisi lereng natural dan jenuh

Jadi dengan adanya rekomendasi lereng dengan cara menurunkan sudut lereng dan menambah *bench* lereng menjadi dua *bench* lereng, didapatkan lereng dengan kondisi jenuh dan memiliki faktor keamanan stabil dengan nilai 1,295 pada lereng dengan sudut 30° .

VI.2.3 Lereng 03

VI.2.3.1 Data Geometri Lereng



Gambar VI.10 Foto Singkapan Lereng 03 dan Pengukuran Bidang Diskontinuitas Menggunakan Metode *Scanline*
(Azimuth Foto : $N 332^{\circ} E$)

Lereng 03 berdasarkan pembagian satuan batuan dalam peta geologi termasuk dalam satuan peridotit. Data geometri lereng sebagai berikut :

Tabel VI.13 Data Geometri Lereng 03

Lokasi	Tinggi Lereng	Sudut Lereng	Arah Kemiringan	Panjang <i>Scanline</i>	Arah <i>Scanline</i>
X : 313912 Y : 9789972	32,5 m	77°	N 152° E	5 m	N 238° E

VI.2.3.2 Klasifikasi Massa Batuan

Pada lereng 03 dilakukan pengukuran bidang diskontinuitas dengan metode *scanline* untuk mengetahui bobot massa batuan (Gambar VI.10). Pengukuran dilakukan dengan membentangkan lintasan *scanline* pada

zona batuan dasar dengan litologi peridotit yang tersingkap dengan azimuth N 204⁰ E. Terdapat bidang diskontinuitas berupa kekar yang dapat digolongkan menjadi tiga famili berdasarkan kedudukan bidang kekar. Kondisi kekar memiliki spasi rekahan < 60 mm. Data pengukuran bidang kekar dapat dilihat pada lampiran 9.

Pengukuran bidang diskontinuitas juga dapat menghitung nilai *Rock Quality Designation* (RQD). Menurut Bieniawski (1989), RQD dapat dihitung dari persentase perbandingan bor inti dengan panjang minimum 100 mm dengan panjang total potongan inti. RQD juga dapat dihitung dari pengukuran orientasi dan jarak antar bidang diskontinu dengan persamaan sebagai berikut :

$$RQD = -100.e^{-0,1\lambda} \cdot (0,1\lambda + 1) \dots\dots\dots(VI.1)$$

λ merupakan frekuensi kekar per meter dan e adalah nilai mutlak.

Didapatkan nilai λ dari pengukuran di lapangan sebesar 12,49 , jadi nilai RQD sebagai berikut :

$$RQD = -100.e^{-(0,1 \times 12,49)} \cdot (0,1 \times 12,49 + 1) \dots\dots\dots(VI.2)$$

$$= 64,46 \%$$

Berdasarkan perhitungan RQD diatas sebesar 64,46 % maka termasuk dalam kelas kualitas batuan sedang (Deere, 1988) pada Tabel VI.12.

Tabel VI.14 Hubungan Nilai RQD dengan Kualitas Batuan
(Deere, 1988)

RQD (%)	Kualitas Batuan
< 25	Sangat Jelek
25 - 50	Jelek
50 - 75	Sedang
75 - 90	Baik
90 - 100	Sangat Baik

Kemudian nilai RQD dapat dimasukkan ke dalam tabel Rock Mass Rating menurut Bieniawski (1989). RMR diperoleh dari pembobotan menurut Bieniawski (1989) pada tabel VI.15. Berikut pembobotan RMR :

Tabel VI.15 Pembobotan RMR (Bieniawski, 1989)

Parameter		Selang nilai				Untuk nilai yang			
kekuatan batuan	Indek kekuatan	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	kecil dipakai UCS			
1	Point Load(Mpa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25- 50	2	1	0	
	Kuat tekan Uniaksial(Mpa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25- 50				
Pembobotan		15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD (%)	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25			
	Pembobotan	20	17	13	8	3			
3	spasi rekahan	> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6	60 - 200 mm	< 60 mm			
	Pembobotan	20	15	10	8	5			
4	Kondisi rekahan	permukaan sangat kasar tidak menerus, tidak renggang, tidak lapuk	Agak kasar renggangan < 1 mm, Agak lapuk	Agak Kasar, renggangan < 1 mm, sangat kasar	Slickenside/gange < 5 mm, renggangan 1-5 mm, menerus	Gange lemah, tebal > 5 mm, menerus			
	Pembobotan	30	25	20	10	0			
5	Air tanah	aliran/ 10 m panjang terowongan(L/min)	tiadak ada	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		Tekanan pori	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Teg. Utama max	Kering	lembab	Basah	Menetes	Mengalir		
		Kedadaan umum	Kering	lembab	Basah	Menetes	Mengalir		
Pembobotan		15	10	7	4	0			







$$\begin{aligned}
 \text{RMR} &= \text{Bobot kekuatan utuh batuan} + \text{Bobot RQD} + \text{Bobot spasi} \\
 &\quad \text{rekahan} + \text{Bobot kondisi rekahan} + \text{Bobot air tanah} \\
 &\quad \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (VI.3) \\
 &= 7 + 13 + 5 + 10 + 15 \\
 &= 50
 \end{aligned}$$

Berdasarkan pembobotan diatas, didapatkan nilai pembobotan RMR 50 dan nilai klasifikasi sedang (Bieniawski, 1989).

Nilai GSI diperoleh dari nilai RMR - 5, persamaan ini merupakan hubungan GSI terhadap RMR menurut Bieniawski (1989).


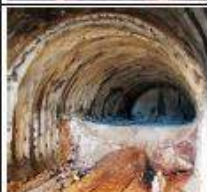
$$\begin{aligned}
 \text{GSI} &= \text{RMR}-5 \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (VI.4) \\
 &= 50-5 \\
 &= 45
 \end{aligned}$$

Tabel VI.16 Penentuan Nilai GSI (Hoek & Brown, 1980)




GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000) From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.		SURFACE CONDITIONS				
STRUCTURE		VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Slackensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	VERY POOR Slackensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
		DECREASING SURFACE QUALITY				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
	VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60	50		
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			40	30	
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				20	
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A			10

Nilai mi didapatkan dari jenis batuanya, pada lereng 03 diketahui batuanya berupa peridotit yang memiliki nilai mi sebesar 25. Nilai *disturbance factor D* diperoleh dari bagaimana terbentuknya lereng tersebut. Berikut penentuan nilai *disturbance factor D* :

Tabel VI.17 Penentuan Nilai *Disturbance Factor D* Lereng 03

Appearance of rock mass	Description of rock mass	Suggested value of <i>D</i>
	Excellent quality controlled blasting or excavation by Tunnel Boring Machine results in minimal disturbance to the confined rock mass surrounding a tunnel.	<i>D</i> = 0
	Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) results in minimal disturbance to the surrounding rock mass. Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.	<i>D</i> = 0 <i>D</i> = 0.5 No invert

Tabel VI.17 (lanjutan) Penentuan Nilai *Disturbance Factor D* Lereng 03

	Very poor quality blasting in a hard rock tunnel results in severe local damage, extending 2 or 3 m, in the surrounding rock mass.	$D = 0.8$
	Small scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance.	$D = 0.7$ Good blasting $D = 1.0$ Poor blasting
	Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and also due to stress relief from overburden removal. In some softer rocks excavation can be carried out by ripping and dozing and the degree of damage to the slopes is less.	$D = 1.0$ Production blasting $D = 0.7$ Mechanical excavation

Berdasarkan data yang telah didapatkan diatas, berikut merupakan tabel karakteristik massa batuan pada lereng 03 :

Tabel VI.18 Karakteristik Massa Batuan Lereng 03

Lereng	Jenis Batuan	RQD	RMR	GSI	mi	<i>Disturbance Factor D</i>
Lereng 03	Peridotit	64,46%	50	45	25	0,7

VI.2.3.3 Data Sifat Fisik Batuan

Sifat fisik batuan diperoleh dari pengujian sampel batuan di laboratorium. Berikut ini merupakan hasil dari pengujian sifat fisik batuan peridotit :

Tabel VI.19 Data Sifat Fisik Batuan Lereng 03

NO.	PARAMETER	KODE SAMPEL
		Lereng 03
1	Berat conto asli (W_n), gr	362.40
2	Berat conto kering (W_o), gr	360.10
3	Berat conto jenuh (W_w), gr	367.10
4	Berat conto jenuh tergantung (W_s), gr	228.40
5	Bobot isi asli (<i>natural density</i>), gr/cm^3	2.61
6	Bobot isi kering (<i>dry density</i>), gr/cm^3	2.60
7	Bobot isi jenuh (<i>saturated density</i>), gr/cm^3	2.65
8	<i>Apperent specific gravity</i>	2.60
9	<i>True specific gravity</i>	2.73
10	Kadar air asli (<i>natural water content</i>), %	0.64
11	Kadar air jenuh (<i>absorption</i>), %	1.94
12	Derajat kejenuhan, %	32.86
13	Porositas, %	5.05
14	<i>Void ratio</i>	0.05

Nilai berat isi pada hasil uji laboratorium menggunakan satuan gram/cm³, maka harus dikonversi ke dalam satuan MN/m³ dengan persamaan :

$$\text{Berat isi} \times 0,009808 \dots\dots\dots(\text{VI.5})$$

Keterangan : 1 MN/m³ = 0,009808 gram/cm³

Penulis menggunakan berat isi natural dan berat isi jenuh dikarenakan dengan menggunakan material dengan berat isi natural diharapkan dapat mengetahui nilai faktor keamanan secara aktual di lapangan, sedangkan menggunakan material dengan berat isi jenuh dapat mengetahui nilai faktor keamanan yang paling minimum sehingga dapat dilakukan rekomendasi jika terjadi lereng tersebut termasuk dalam lereng kritis atau lereng tidak stabil. Jadi nilai berat isi natural dan berat isi jenuh setelah dikonversi satuan dari gram/cm³ ke MN/m³ sebagai berikut :

Tabel VI.20 Berat Isi Natural dan Berat Isi Jenuh

Lereng	Berat Isi Natural	Berat Isi Jenuh
Lereng 03	0,0256 MN/m ³	0.02598 MN/m ³

VI.2.3.4 Data Sifat Mekanika Batuan

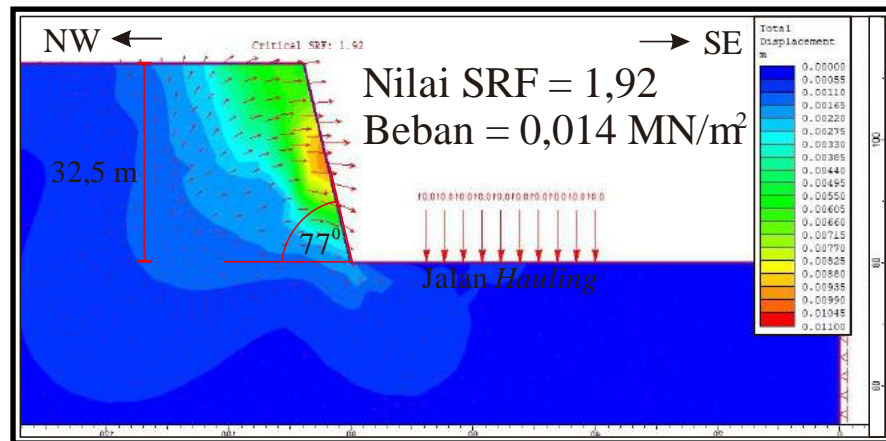
Data mekanika batuan diperoleh dari pengujian sampel di laboratorium. Pada mekanika batuan didapatkan data kuat tekan uniaksial, *poisson's ratio* dan modulus elastisitas sebagai berikut :

Tabel VI.21 Data Sifat Mekanika Batuan Lereng 03

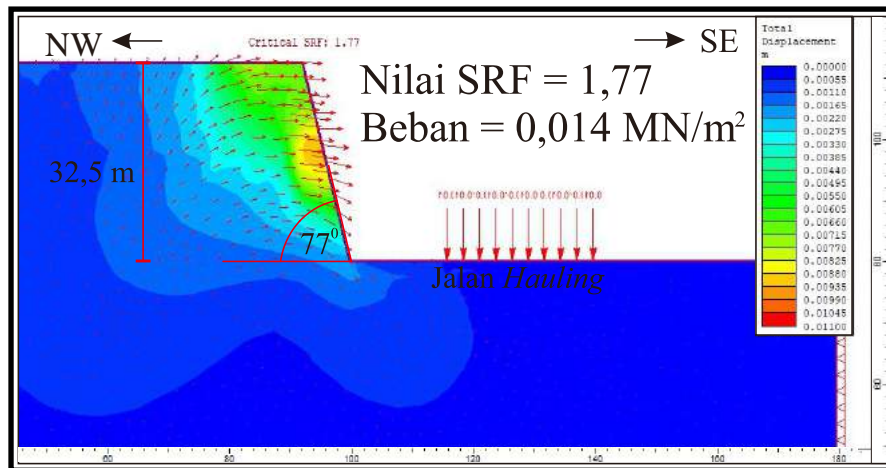
Lereng	Kuat Tekan Uniaksial	<i>Poisson's Ratio</i>	Modulus Elastisitas
Lereng 03	54,84 Mpa	0,09	195,86 Mpa

VI.2.3.5 Analisis Kestabilan Lereng

Berdasarkan data yang telah diperoleh diatas maka dapat dilakukan analisis kestabilan lereng pada lereng 03 dengan menggunakan *Software Phase2 V 8.0*. Ditambahkan beban *Dump Truck* 0,014 MN/m² pada jalan tambang. Analisis lereng 03 sebagai berikut :



Gambar VI.11 Analisis Kestabilan Lereng 03 Kondisi Natural



Gambar VI.12 Analisis Kestabilan Lereng 03 Kondisi Jenuh

Berdasarkan analisis kestabilan lereng diatas maka diperoleh nilai Faktor Keamanan (FK) sebagai berikut :

Tabel VI.22 Nilai Faktor Keamanan (FK) pada Lereng 03

Lereng	Faktor Keamanan	
	Natural	Jenuh
Lereng 03	1,92	1,77

Keterangan :

- FK < 1,07° : Lereng Tidak Stabil
- 1,07° ≤ FK < 1,25° : Lereng Kritis
- FK > 1,25° : Lereng Stabil

Faktor Keamanan menurut Bowles, 1991

VI.2.4 Lereng 04

VI.2.4.1 Data Geometri Lereng



Gambar VI.13 Foto Singkapan Lereng 04 dan Pengukuran Bidang Diskontinuitas Menggunakan Metode *Scanline* (Azimuth Foto : N 314⁰ E)

Lereng 04 berdasarkan pembagian satuan batuan dalam peta geologi termasuk dalam satuan peridotit. Satuan peridotit di lereng 04 memiliki kenampakan kekar-kekar.

Tabel VI.23 Data Geometri Lereng 04

Lokasi	Tinggi Lereng	Lebar Jenjang	Sudut Lereng	Arah Kemiringan Lereng	Panjang <i>Scanline</i>	Arah <i>Scanline</i>
X : 313766 Y : 9789913	9 m	5 m	45°	N 134 ⁰ E	5 m	N 206 ⁰ E
	7,5 m	5 m	55°			
	5,5 m	3 m	60°			
	4 m	3 m	60°			

VI.2.4.2 Klasifikasi Massa Batuan

Pada lereng 04 dilakukan pengukuran bidang diskontinuitas dengan metode *scanline* untuk mengetahui bobot massa batuan (Gambar VI.13). Pengukuran dilakukan dengan membentangkan lintasan *scanline* pada zona batuan dasar dengan litologi peridotit yang tersingkap dengan azimuth N 206⁰ E. Terdapat bidang diskontinuitas berupa kekar yang dapat digolongkan menjadi empat famili berdasarkan kedudukan bidang kekar.

Kondisi kekar memiliki spasi rekahan < 60 mm. Data pengukuran bidang kekar dapat dilihat pada lampiran 9.

Pengukuran bidang diskontinuitas juga dapat menghitung nilai *Rock Quality Designation* (RQD). Menurut Bieniawski (1989), RQD dapat dihitung dari persentase perbandingan bor inti dengan panjang minimum 100 mm dengan panjang total potongan inti. RQD juga dapat dihitung dari pengukuran orientasi dan jarak antar bidang diskontinu dengan persamaan sebagai berikut :

$$RQD = -100.e^{-0,1\lambda} \cdot (0,1\lambda + 1) \dots\dots\dots(VI.6)$$

λ merupakan frekuensi kekar per meter dan e adalah nilai mutlak.

Didapatkan nilai λ dari pengukuran di lapangan sebesar 15,68 , jadi nilai RQD sebagai berikut :

$$RQD = -100.e^{-(0,1 \times 15,68)} \cdot (0,1 \times 15,68 + 1) \dots\dots\dots(VI.7)$$

$$= 53,50 \%$$

Berdasarkan perhitungan RQD diatas sebesar 53,50 % maka termasuk dalam kelas kualitas batuan sedang (Deere, 1988) pada Tabel VI.22.

Tabel VI.24 Hubungan Nilai RQD dengan Kualitas Batuan
(Deere, 1988)

RQD (%)	Kualitas Batuan
< 25	Sangat Jelek
25 - 50	Jelek
50 - 75	Sedang
75 - 90	Baik
90 - 100	Sangat Baik

Kemudian nilai RQD dapat dimasukkan ke dalam tabel Rock Mass Rating menurut Bieniawski (1989). RMR diperoleh dari pembobotan menurut Bieniawski (1989) pada tabel VI.25. Berikut pembobotan RMR :

Tabel VI.25 Pembobotan RMR (Bieniawski, 1989)

Parameter		Selang nilai				Untuk nilai yang			
1	kekuatan batuan	Indek kekuatan	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	kecil dipakai UCS		
	Utuh	Kuat tekan Uniaksial(Mpa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50			< 1
	Pembobotan		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Pembobotan		20	17	13	8	3		
3	spasi rekahan		> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Pembobotan		20	15	10	8	5		
4	Kondisi rekahan		permukaan sangat kasar tidak menerus, tidak renggang, tidak lapuk	Agak kasar renggangan < 1 mm, Agak lapuk	Agak Kasar, renggangan < 1 mm, sangat kasar	Slickerside/gauge < 5 mm, renggangan 1-5 mm, menerus	Gauge lemah, tebal > 5 mm, menerus		
	Pembobotan		30	25	20	10	0		
5	Air tanah	aliran/ 10 m panjang terowongan(L/min)	tiadak ada	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		Tekanan pori	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Teg. Utama max							
		Kadaan umum	Kering	lembab	Basah	Menetes	Mengalir		
Pembobotan			15	10	7	4	0		

$$\begin{aligned}
 \text{RMR} &= \text{Bobot kekuatan utuh batuan} + \text{Bobot RQD} + \text{Bobot spasi rekahan} + \text{Bobot kondisi rekahan} + \text{Bobot air tanah} \\
 &\dots\dots\dots (VI.8) \\
 &= 7 + 20 + 5 + 10 + 15 \\
 &= 57
 \end{aligned}$$

Berdasarkan pembobotan diatas, didapatkan nilai pembobotan RMR 57 dan nilai klasifikasi sedang (Bieniawski, 1989). Dari kenampakan fisik singkapan, batuan peridotit memiliki kekar-kekar yang dapat menjadi jalur dari infiltrasi air.






Nilai GSI diperoleh dari nilai RMR-5, persamaan ini merupakan hubungan GSI terhadap RMR menurut Bieniawski (1989).

$$\begin{aligned}
 \text{GSI} &= \text{RMR}-5 \dots\dots\dots (VI.9) \\
 &= 57-5 \\
 &= 52
 \end{aligned}$$

Nilai mi didapatkan dari jenis batuanya, pada lereng 03 diketahui batuanya berupa peridotit yang memiliki nilai mi sebesar 25.

Nilai *disturbance factor D* diperoleh dari bagaimana terbentuknya lereng tersebut. Berikut penentuan nilai *disturbance factor D* :

Tabel VI.26 Penentuan Nilai *Disturbance Factor D* Lereng 04

Appearance of rock mass	Description of rock mass	Suggested value of <i>D</i>
	Excellent quality controlled blasting or excavation by Tunnel Boring Machine results in minimal disturbance to the confined rock mass surrounding a tunnel.	<i>D</i> = 0
	Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) results in minimal disturbance to the surrounding rock mass. Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.	<i>D</i> = 0 <i>D</i> = 0.5 No invert
	Very poor quality blasting in a hard rock tunnel results in severe local damage, extending 2 or 3 m, in the surrounding rock mass.	<i>D</i> = 0.8
	Small scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance.	<i>D</i> = 0.7 Good blasting <i>D</i> = 1.0 Poor blasting
	Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and also due to stress relief from overburden removal. In some softer rocks excavation can be carried out by ripping and dozing and the degree of damage to the slopes is less.	<i>D</i> = 1.0 Production blasting <i>D</i> = 0.7 Mechanical excavation

Berdasarkan data yang telah didapatkan diatas, berikut merupakan tabel karakteristik massa batuan lereng 04 :

Tabel VI.27 Karakteristik Massa Batuan Lereng 04

Lereng	Jenis Batuan	RQD	RMR	GSI	mi	<i>Disturbance Factor D</i>
Lereng 04	Peridotit	53,50%	57	52	25	0,7

VI.2.4.3 Data Sifat Fisik Batuan

Sifat fisik batuan diperoleh dari pengujian sampel batuan di laboratorium. Berikut ini merupakan hasil dari pengujian sifat fisik batuan peridotit :

Tabel VI.28 Data Sifat Fisik Batuan Lereng 04

NO.	PARAMETER	KODE SAMPEL
		Lereng 04
1	Berat conto asli (W_n), gr	366.6
2	Berat conto kering (W_o), gr	363.6
3	Berat conto jenuh (W_w), gr	379.50
4	Berat conto jenuh tergantung (W_s), gr	226.00
5	Bobot isi asli (<i>natural density</i>), gr/cm^3	2.39
6	Bobot isi kering (<i>dry density</i>), gr/cm^3	2.37
7	Bobot isi jenuh (<i>saturated density</i>), gr/cm^3	2.47
8	<i>Apperent specific gravity</i>	2.37
9	<i>True specific gravity</i>	2.64
10	Kadar air asli (<i>natural water content</i>), %	0.83
11	Kadar air jenuh (<i>absorption</i>), %	4.37
12	Derajat kejenuhan, %	18.87
13	Porositas, %	10.36
14	<i>Void ratio</i>	0.12

Nilai berat isi pada hasil uji laboratorium menggunakan satuan $gram/cm^3$, maka harus dikonversi ke dalam satuan MN/m^3 dengan persamaan :

$$\text{Berat isi} \times 0,009808 \dots\dots\dots (VI.10)$$

Keterangan : $1 MN/m^3 = 0,009808 gram/cm^3$

Penulis menggunakan berat isi natural dan berat isi jenuh dikarenakan dengan menggunakan material dengan berat isi natural diharapkan dapat mengetahui nilai faktor keamanan secara aktual di lapangan, sedangkan menggunakan material dengan berat isi jenuh dapat mengetahui nilai faktor keamanan yang paling minimum sehingga dapat dilakukan rekomendasi jika terjadi lereng tersebut termasuk dalam lereng kritis atau lereng tidak stabil. Jadi nilai berat isi natural dan berat isi jenuh setelah dikonversi satuan dari $gram/cm^3$ ke MN/m^3 sebagai berikut :

Tabel VI.29 Berat Isi Natural dan Berat Isi Jenuh

Lereng	Berat Isi Natural	Berat Isi Jenuh
Lereng 04	0,02344 MN/m^3	0,02422 MN/m^3

VI.2.4.4 Data Sifat Mekanika Batuan

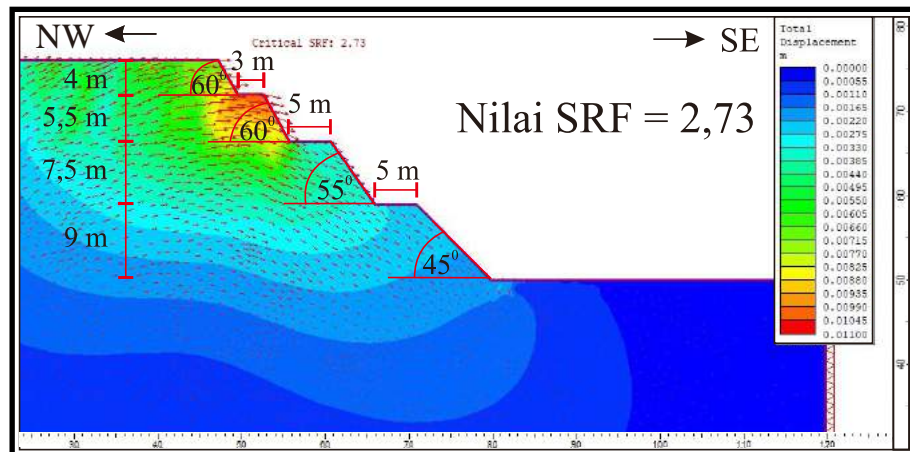
Data mekanika batuan diperoleh dari pengujian sampel di laboratorium. Pada mekanika batuan didapatkan data kuat tekan uniaksial, *poisson's ratio* dan modulus elastisitas sebagai berikut :

Tabel VI.30 Data Sifat Mekanika Batuan Lereng 04

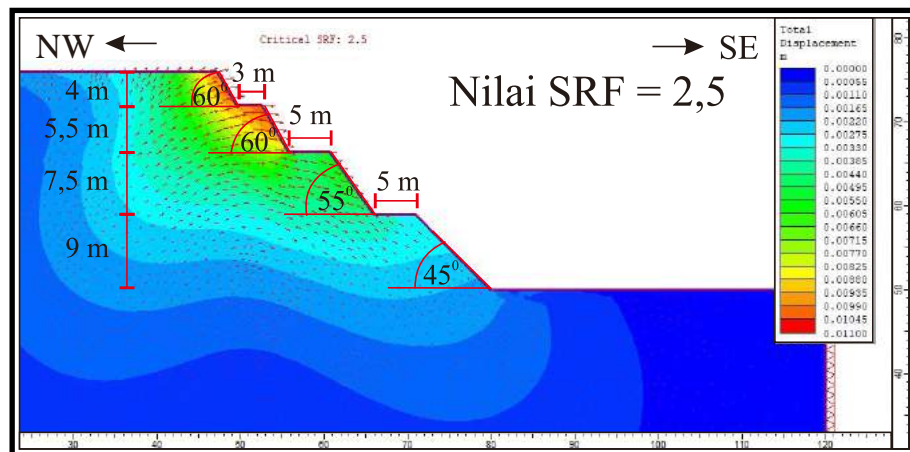
Lereng	Kuat Tekan Uniaksial	<i>Poisson's Ratio</i>	Modulus Elastisitas
Lereng 04	69,62 Mpa	0,12	154,70 Mpa

VI.2.4.5 Analisis Kestabilan Lereng

Berdasarkan data yang telah diperoleh diatas maka dapat dilakukan analisis kestabilan lereng pada lereng 04 dengan menggunakan *Software Phase2 V 8.0* sebagai berikut :



Gambar VI.14 Analisis Kestabilan Lereng 04 Kondisi Natural



Gambar VI.15 Analisis Kestabilan Lereng 04 Kondisi Jenuh

Berdasarkan analisis kestabilan lereng diatas maka diperoleh nilai Faktor Keamanan (FK) sebagai berikut :

Tabel VI.31 Nilai Faktor Keamanan (FK) pada Lereng 04

Lereng	Faktor Keamanan	
	Natural	Jenuh
Lereng 04	2,73	2,50

Keterangan :

FK < 1,07° : Lereng Tidak Stabil

1,07° ≤ FK < 1,25° : Lereng Kritis

FK > 1,25° : Lereng Stabil

Faktor Keamanan menurut Bowles, 1991

BAB VII

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di daerah Ganda Ganda, Kecamatan Petasia, Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Geomorfologi pada daerah penelitian dibagi menjadi dua bentuk asal yaitu bentuk asal antropogenik dan bentuk asal denudasional. Bentuk asal antropogenik dibagi menjadi lima bentuklahan yaitu pit (H1), disposal (H2), *stockpile* (H3), jalan *hauling* (H4), lahan bekas tambang (H5). Bentuk asal denudasional terdiri dari bentuklahan lereng denudasional (D1).
2. Stratigrafi daerah penelitian dibagi menjadi dua satuan litodem yaitu satuan litodem peridotit dan satuan litodem serpentinit yang memiliki hubungan kontak berangsur. Satuan litodem peridotit dan satuan litodem serpentinit berumur Kapur menurut Kadarusman (2004).
3. Struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian berupa kekar yang memiliki orientasi tenggara-barat laut. Sesar pada lokasi pengamatan 22 dengan arah $N 106^{\circ} E / 72^{\circ}$ berupa *Reverse Right Slip Fault* (Sesar Mendatar Kanan Naik) dan sesar pada lokasi pengamatan 24 dengan arah $N 258^{\circ} E / 62^{\circ}$ berupa *Right Reverse Slip Fault* (Sesar Kanan Naik).
4. Kondisi geometri lereng daerah penelitian :
 - a. Pada lereng 01 memiliki material zona limonit dengan kondisi agak basah yang memiliki dua *bench* lereng dengan tinggi lereng 4 meter dan 6,5 meter, memiliki sudut lereng 57° dan 62° serta memiliki lebar jenjang 2 meter.
 - b. Pada lereng 02 memiliki material zona limonit dengan kondisi agak basah dengan tinggi lereng 19 meter dan memiliki sudut lereng 57° .
 - c. Pada lereng 03 memiliki material zona *bedrock* yang berupa batuan peridotit yang memiliki bobot *Rock Mass Rating* (RMR) sebesar 50 yang termasuk dalam kelas sedang (Bieniawski, 1989) dengan nilai *Geological*

Strenght Index (GSI) sebesar 45. Lereng 03 memiliki tinggi lereng 32,5 meter dan sudut lereng sebesar 77° .

- d. Pada lereng 04 memiliki material zona *bedrock* yang berupa batuan peridotit yang memiliki bobot *Rock Mass Rating* (RMR) sebesar 57 yang termasuk dalam kelas sedang (Bieniawski, 1989) dengan nilai *Geological Strenght Index* (GSI) sebesar 52. Lereng 04 memiliki empat *bench* lereng dengan tinggi lereng berturut-turut dari dasar 9 meter, 7,5 meter, 5,5 meter, dan 4 meter serta lebar jenjang sebesar 5 meter, 5 meter, 3 meter, dan 3 meter. Sudut lereng sebesar 45° , 55° , 60° , dan 60° .

5. Nilai faktor keamanan lereng daerah penelitian :

- a. Pada lereng 01 didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1,584 dengan kondisi tanah natural, termasuk lereng stabil (Klasifikasi Bowles, 1991). Pada kondisi tanah jenuh diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 0,983 termasuk dalam lereng tidak stabil (Klasifikasi Bowles, 1991). Lereng 01 termasuk dalam longsoran busur. Faktor penyebab kelongsoran berupa kemiringan lereng terlalu curam.
- b. Pada lereng 02 didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1,239 dengan kondisi tanah natural, termasuk lereng kritis (Klasifikasi Bowles, 1991). Dan pada kondisi tanah jenuh diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 0,552 termasuk dalam lereng tidak stabil (Klasifikasi Bowles, 1991). Lereng 02 termasuk dalam longsoran busur. Faktor penyebab kelongsoran berupa kemiringan lereng terlalu curam dan lereng yang terlalu tinggi.
- c. Pada lereng 03 didapatkan nilai SRF sebesar 1,92 yang termasuk dalam lereng stabil (Klasifikasi Bowles, 1991) dalam kondisi lereng natural. Sedangkan dalam lereng kondisi jenuh didapatkan nilai SRF sebesar 1,77 yang termasuk dalam lereng stabil (Klasifikasi Bowles, 1991).
- d. Pada lereng 04 didapatkan nilai SRF sebesar 2,73 yang termasuk dalam lereng stabil (Klasifikasi Bowles, 1991) dalam kondisi lereng natural. Sedangkan dalam lereng kondisi jenuh didapatkan nilai SRF sebesar 2,5 yang termasuk dalam lereng stabil (Klasifikasi Bowles, 1991).

6. Pada lereng 01 kondisi jenuh diperlukan rekomendasi untuk memperkuat stabilitas lereng dengan cara melandaikan sudut lereng sehingga didapatkan lereng dengan nilai faktor keamanan sebesar 1,277 pada sudut 45^0 dengan kondisi stabil (Klasifikasi Bowles, 1991). Pada lereng 02 dilakukan rekomendasi dengan cara membuat dua *bench* lereng serta melandaikan sudut lereng dan didapatkan nilai faktor keamanan 1,80 pada sudut 50^0 pada kondisi tanah natural dan didapatkan nilai faktor keamanan 1,295 pada sudut 30^0 pada kondisi tanah jenuh sehingga lereng tersebut menjadi stabil (Klasifikasi Bowles, 1991). Rekomendasi yang disarankan oleh penulis, penulis berharap dapat membantu dalam penanganan lereng yang kritis dan tidak stabil sehingga lereng tersebut menjadi stabil dan dapat memperlancar aktivitas penambangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, W. (2008). *Fundamental of Chemistry, Mineralogy, Weathering Processes, Formation, and Exploration*. Sorowako.
- Arief, S. (2007). *Konsep Dasar & Metode-metode dalam Analisis Kestabilan Lereng*. Buku kompilasi tidak diterbitkan.
- Bergman, S. C., Coffield, D. Q., Talbot, J. P., & Garrard, R. A. (1996). Tertiary tectonic and magmatic evolution of western Sulawesi and the Makassar Strait, Indonesia: evidence for a Miocene continent-continent collision. *Geological Society, London, Special Publications*, 106(1), 391-429.
- Bieniawski, Z. T. (1973). Engineering classification of jointed rock masses. *Civil Engineer in South Africa*, 15(12).
- _____, Z. T. (1976). Rock mass classification of jointed rock masses. *Exploration for Rock Engineering. Johannesburg: Balkema*, 97, 106.
- _____, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. John Wiley & Sons.
- Bowles, J. E. (1991). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Jakarta : Erlangga.
- Cheng, Y. M., & Lau, C. K. (2014). *Slope stability analysis and stabilization: new methods and insight*. CRC Press.
- Cornwall, H. R. (1966). *Nickel Deposits of North America* (Vol. 1223). US Government Printing Office.
- Craig, R. F. S, Budi Susilo. (1989). *Mekanika Tanah*. Edisi 4. Jakarta : Erlangga.
- Deere, D. U. dan Deere D.W. (1988). *The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice. Rock Classification Systems for Engineering Purposes*, Kirkaldie, L. (Ed.). American Society for Testing and Material : Philadelphia. Hal. 91-101.
- Evans, A.M., (1993). *Ore Geology and Industrial Minerals*. Oxford : Blackwell Scientific Publications, 390pp

- Golightly, J.P., (1981). Nickeliferous laterite deposits. *Economic Geology*, 75th Anniversary Volume: pp. 710-735.
- Hall, R., & Wilson, M. E. J. (2000). Neogene sutures in eastern Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(6), 781-808.
- Hoek, E., & Brown, E. T. (1980). Empirical Strength Criterion for Rock Masses. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 106.
- _____, & Bray, J. W. (1981). *Rock Slope Engineering*, The Institutional Of Mining And Metallurgy.
- _____, Carranza-Torres, C., & Corkum, B. (2002). Hoek-Brown Failure Criterion-2002 Edition. *Proceedings of NARMS-Tac*, 1(1), 267-273.
- Holtz, R. D., Kovacs, W. D., & Sheahan, T. C. (1981). *An introduction to geotechnical engineering* (Vol. 733). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- SNI (Standar Nasional Indonesia) 13-6606-2001. *Tata cara umum penyusunan laporan eksplorasi bahan galian*. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- Kadarusman, A., Miyashita, S., Maruyama, S., Parkinson, C. D., & Ishikawa, A. (2004). Petrology, geochemistry and paleogeographic reconstruction of the East Sulawesi Ophiolite, Indonesia. *Tectonophysics*, 392(1-4), 55-83.
- Le Maitre, R. W. (2002). *Igneous rocks: a classification and glossary of terms: recommendations of the IUGS, Subcommission on the Systematics of Igneous rocks*. University Press.
- Li, Z. X. A., & Lee, C. T. A. (2006). Geochemical investigation of serpentized oceanic lithospheric mantle in the Feather River Ophiolite, California: implications for the recycling rate of water by subduction. *Chemical Geology*, 235(1-2), 161-185.
- Parkinson, C. D., Miyazaki, K., Wakita, K., Barber, A. J., & Carswell, D. A. (1998). An overview and tectonic synthesis of the pre-Tertiary very-high-pressure metamorphic and associated rocks of Java, Sulawesi and Kalimantan, Indonesia. *Island Arc*, 7(1-2), 184-200.

- Rickard, M. J. (1972). Fault classification: discussion. *Geological Society of America Bulletin*, 83(8), 2545-2546.
- Simandjuntak, T. O., & Surono, S. (1997). *Peta Geologi Lembar Poso, Sulawesi; Edisi ke-2*. Bandung : Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Smith, M. J., & Madyayanti, E. (1984). *Mekanika tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Sompotan, A. F. (2012). *Struktur Geologi Sulawesi*. Bandung : Perpustakaan Sains Kebumian.
- Spencer, E. (1967). A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel inter-slice forces. *Geotechnique*, 17(1), 11-26.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics In Engineering Practice*. John Wiley & Sons.
- Valeton, I., Biermann, M., Reche, R., & Rosenberg, F. (1987). Genesis of nickel laterites and bauxites in Greece during the Jurassic and Cretaceous, and their relation to ultrabasic parent rocks. *Ore Geology Reviews*, 2(4), 359-404.
- Van Zuidam, R. A. (1985). *Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*, Smith Publisher, The Hague, ITC.
- William, H., Turner, F. J., & Gilbert, C. M. (1954). *Petrography, An Introduction to the Study of Rocks in Thin Section*. University of California, Berkeley, WH Freeman and Company.
- Winkler, H.G.F. (1979). *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. New York : Springer.
- Zakaria, Z., & Sidarto, S. (2015). Aktifitas Tektonik di Sulawesi dan Sekitarnya Sejak Mesozoikum Hingga Kini Sebagai Akibat Interaksi Aktifitas Tektonik Lempeng Tektonik Utama di Sekitarnya. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 16(3), 115-127.

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

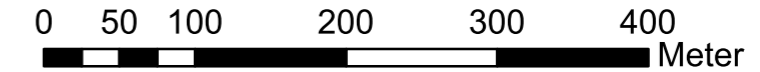
2021



PETA LINTASAN DAN LOKASI PENGAMATAN
 DAERAH GANDA GANDA DAN SEKITARNYA
 KECAMATAN PETASIA, KABUPATEN MOROWALI UTARA
 PROVINSI SULAWESI TENGAH



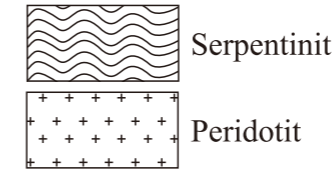
SKALA 1:5.000



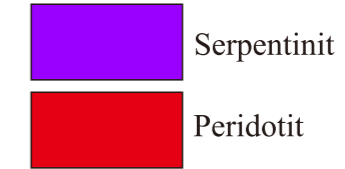
OLEH :
 MOHAMMAD HAIKAL AL MUBAROK
 111.160.145

Keterangan :

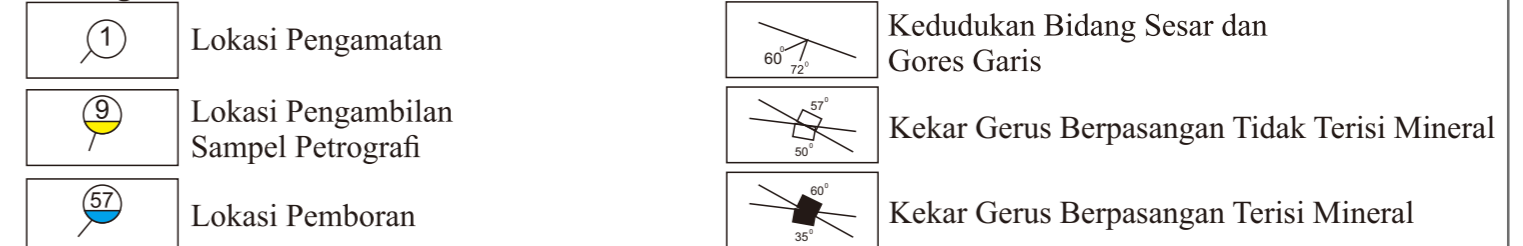
Simbol litologi :



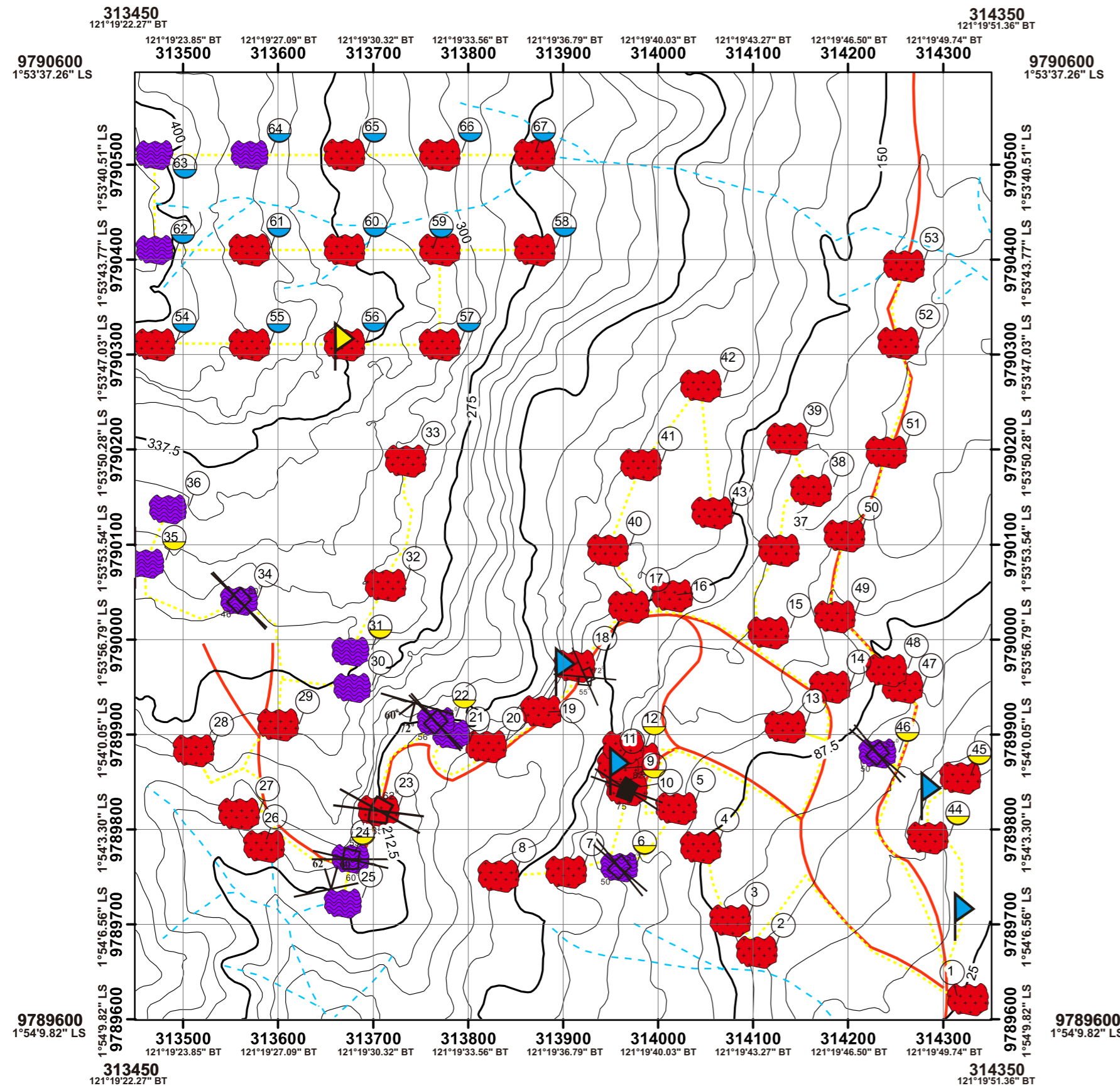
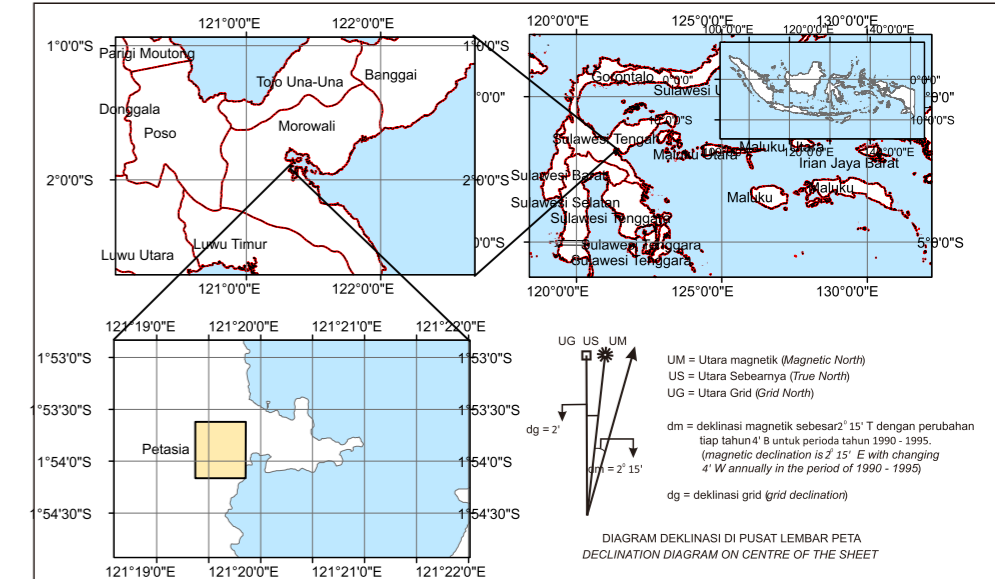
Warna Satuan :



Keterangan :

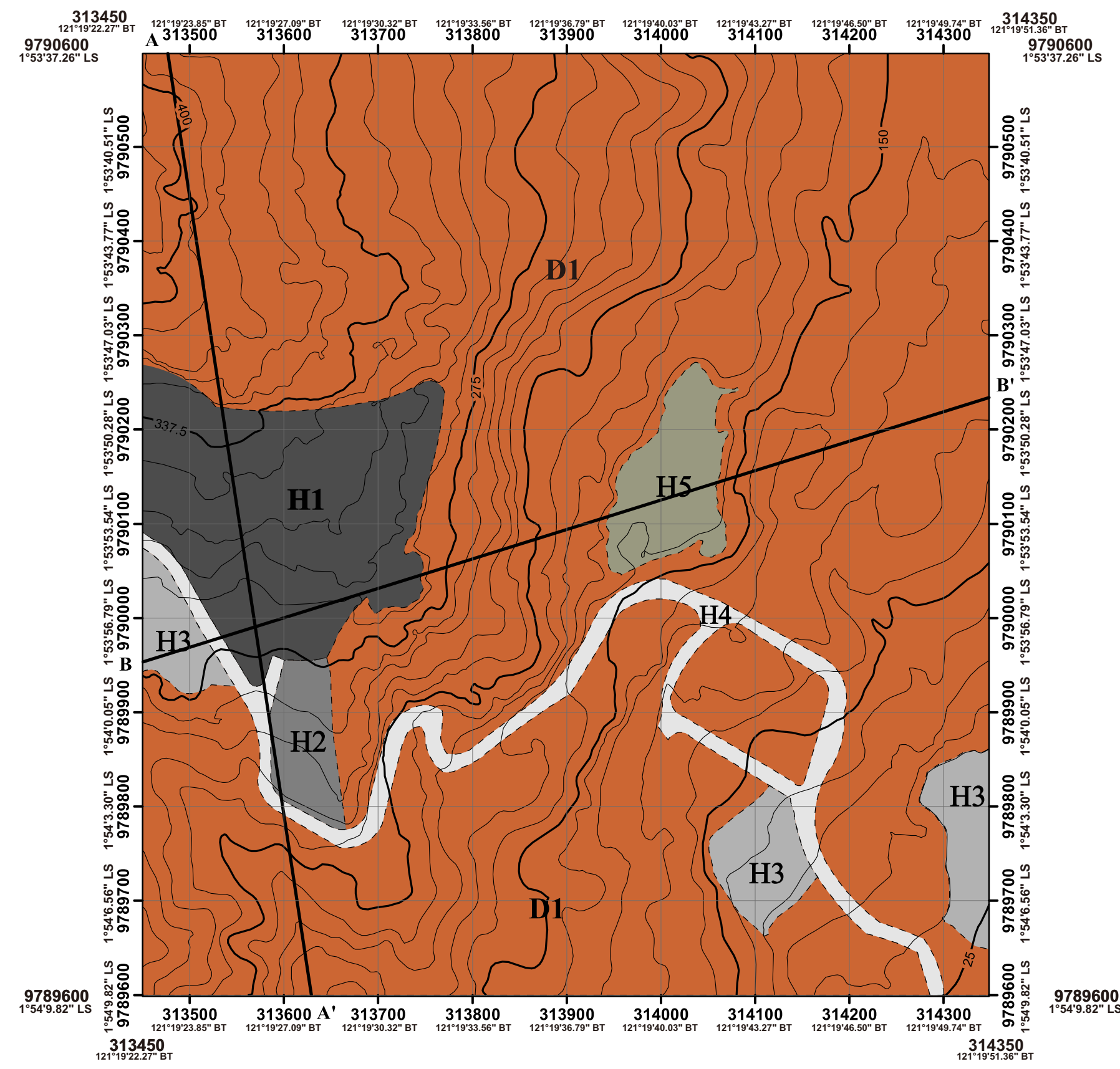


PETA INDEKS

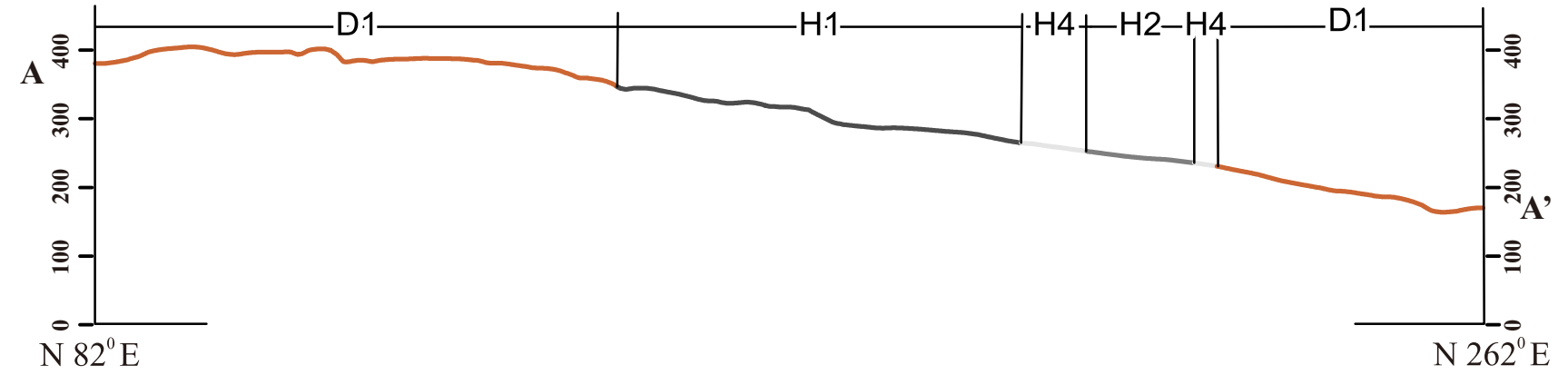


a. Interval Kontur
 b. Indeks Kontur

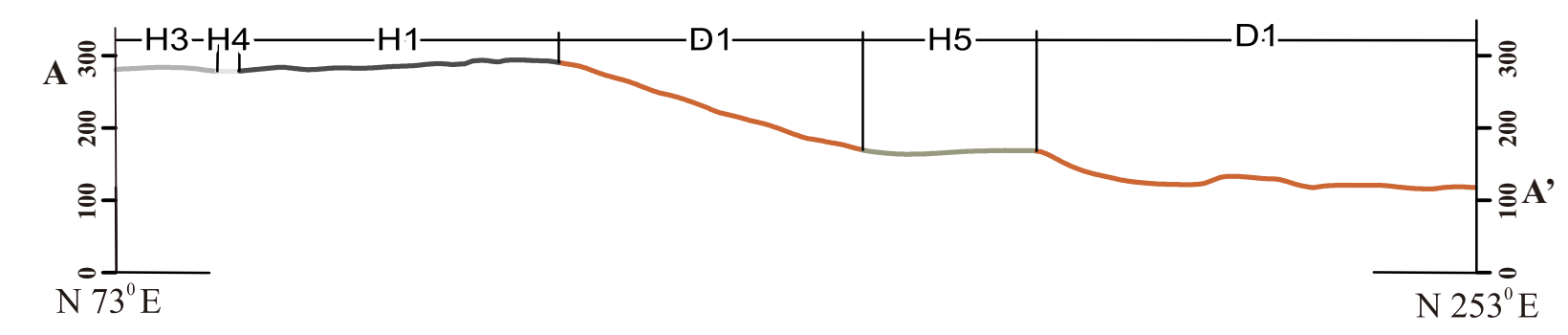
UM = Utara magnetik (Magnetic North)
 US = Utara Seabanya (True North)
 UG = Utara Grid (Grid North)
 dg = deklinasi magnetik sebesar 2° 15' T dengan perubahan tiap tahun 4" E untuk periode tahun 1990 - 1995.
 (magnetic declination is 2° 15' E with changing 4" W annually in the period of 1990 - 1995)
 dg = deklinasi grid (grid declination)
 DIAGRAM DEKLINASI DI PUSAT LEMBAR PETA
 DECLINATION DIAGRAM ON CENTRE OF THE SHEET



PENAMPANG GEOMORFOLOGI DAERAH GANDA GANDA DAN SEKITARNYA
SAYATAN A - A'
SKALA 1 : 5000
H : V = 1 : 2



PENAMPANG GEOMORFOLOGI DAERAH GANDA GANDA DAN SEKITARNYA
SAYATAN B - B'
SKALA 1 : 5000
H : V = 1 : 2



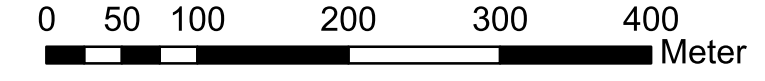
PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
JURUSAN TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
YOGYAKARTA
2021



PETA GEOMORFOLOGI
DAERAH GANDA GANDA DAN SEKITARNYA
KECAMATAN PETASIA, KABUPATEN MOROWALI UTARA
PROVINSI SULAWESI TENGAH



SKALA 1:5.000



OLEH :
MOHAMMAD HAIKAL AL MUBAROK
111.160.145

PEMERIAN

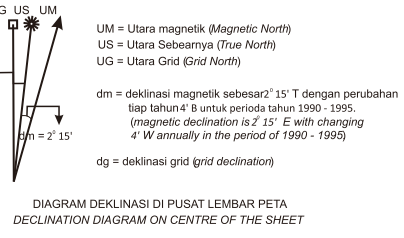
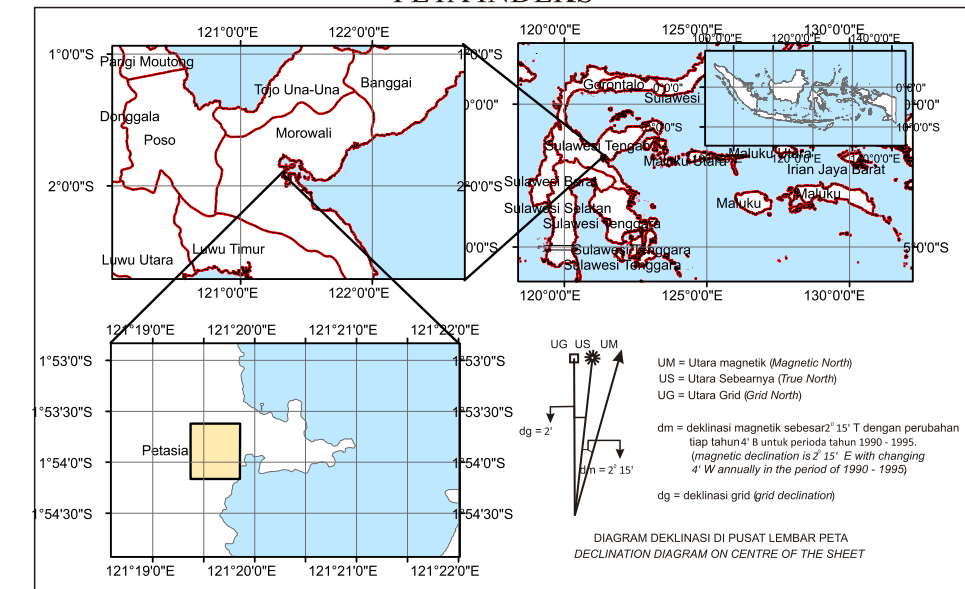
Aspek Geomorfologi Simbol & Bentuk Lahan	Morfologi		Morfogenesis			Bentuk Asal
	Morfografi	Morfometri	Morfostruktur Aktif	Morfostruktur Pasif	Morfodinamik	
D1 Lereng Denudasional	Lereng	Lereng agak curam - curam (15-70%), beda tinggi 75-500m, menempati luasan ±55% pada peta	Pengangkatan	Litologi berupa peridotit dan serpentinit yang memiliki resistensi sedang - tinggi	Pelapukan & erosi yang disebabkan oleh air dan angin	Denudasional
H1 Pit	Lereng dan cekungan	Lereng landai - agak curam (7-30%), beda tinggi 25-200m, menempati luasan ±15% pada peta	Pengangkatan	Litologi berupa peridotit dan serpentinit yang memiliki resistensi sedang - tinggi	Pelapukan dan erosi oleh air, angin dan aktivitas penambangan	Antropogenik
H2 Disposal	Bukit	Lereng landai (7 - 15%), beda tinggi 25-75 m,menempati luasan ±7% pada peta	Pengangkatan	Litologi berupa batuan beku peridotit yang memiliki resistensi sedang - tinggi	Pelapukan dan erosi oleh air, angin dan aktivitas penambangan	Antropogenik
H3 Stockpile	Bukit	Lereng agak landai-landai (2-15%), beda tinggi 5-75 m, menempati luasan ±12% pada peta	—	Litologi berupa batuan beku peridotit yang memiliki resistensi sedang - tinggi	Pelapukan dan erosi oleh air, angin dan aktivitas penambangan	Antropogenik
H4 Jalan Hauling	Dataran	Lereng agak landai-agak curam (2-20%), beda tinggi 5-200 m, menempati luasan ±3% pada peta	Pengangkatan	Litologi berupa peridotit dan serpentinit yang memiliki resistensi sedang - tinggi	Pelapukan dan erosi oleh air, angin	Antropogenik
H5 Lahan Bekas Tambang	Dataran	Lereng landai (7-15%), beda tinggi 25-75 m, menempati luasan ±8% pada peta	—	Litologi berupa batuan beku peridotit yang memiliki resistensi sedang - tinggi	Pelapukan dan erosi oleh air, angin	Antropogenik

Berdasarkan Klasifikasi van Zuidam, 1985

Keterangan :

- a. Interval Kontur
- b. Indeks Kontur
- Sayatan A - A'
- Sayatan B - B'
- Batas Bentuklahan

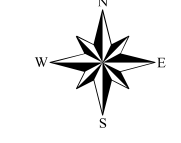
PETA INDEKS



PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
 JURUSAN TEKNIK GEOLOGI
 FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
 UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
 YOGYAKARTA
 2021



PETA GEOLOGI
 DAERAH GANDA GANDA DAN SEKITARNYA
 KECAMATAN PETASIA, KABUPATEN MOROWALI UTARA
 PROVINSI SULAWESI TENGAH



SKALA 1:5.000
 0 50 100 200 300 400 Meter

OLEH :
MOHAMMAD HAIKAL AL MUBAROK
 111.160.145

LEGENDA

UMUR GEOLOGI MASA	ZAMAN	WARNA SATUAN	SATUAN LITODEM	KETERANGAN
MESOZOIKUM	KAPUR		Serpentinit	Satuan Serpentinit disusun oleh batuan serpentinit
			Peridotit	Satuan Peridotit disusun oleh batuan peridotit

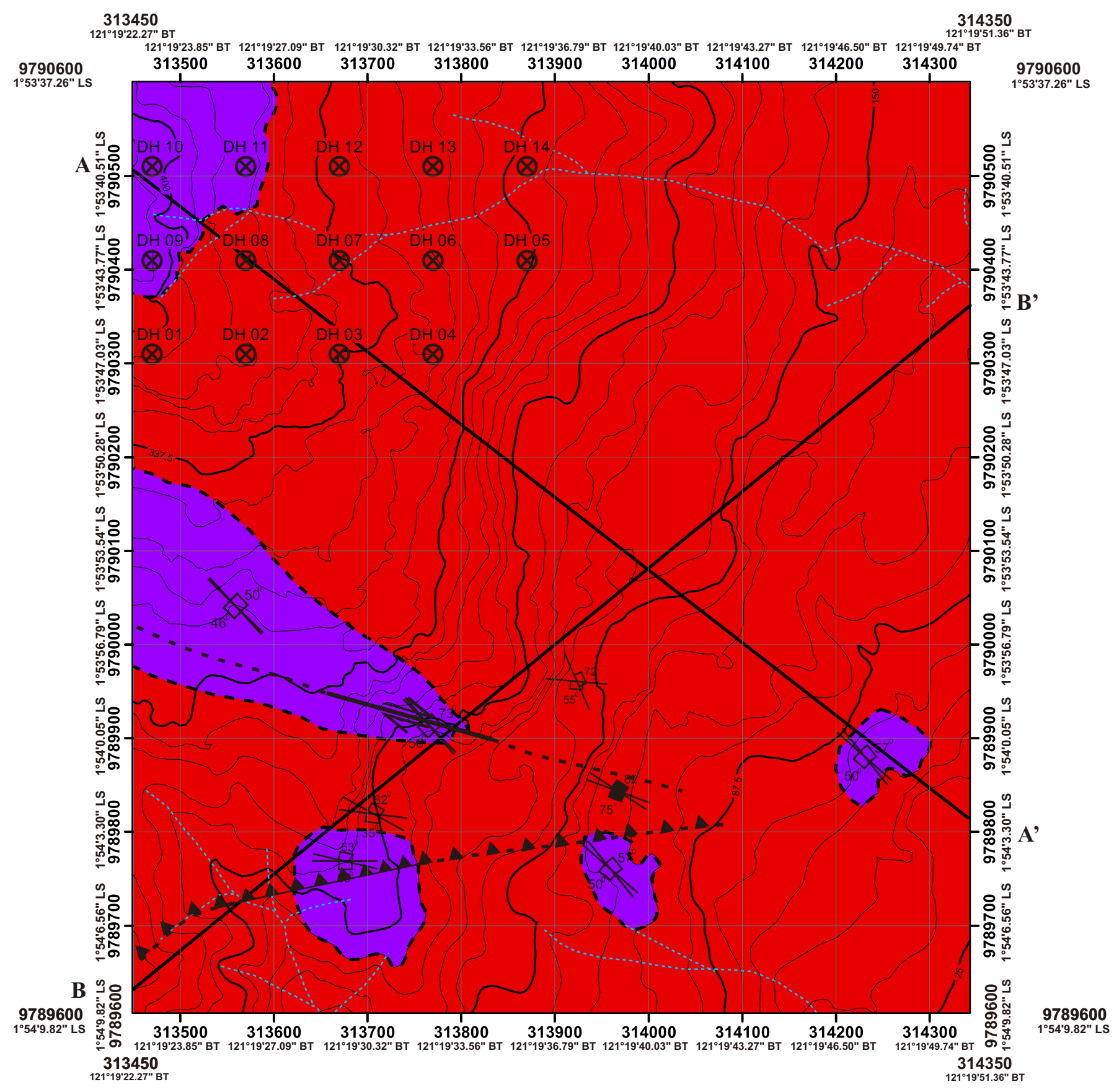
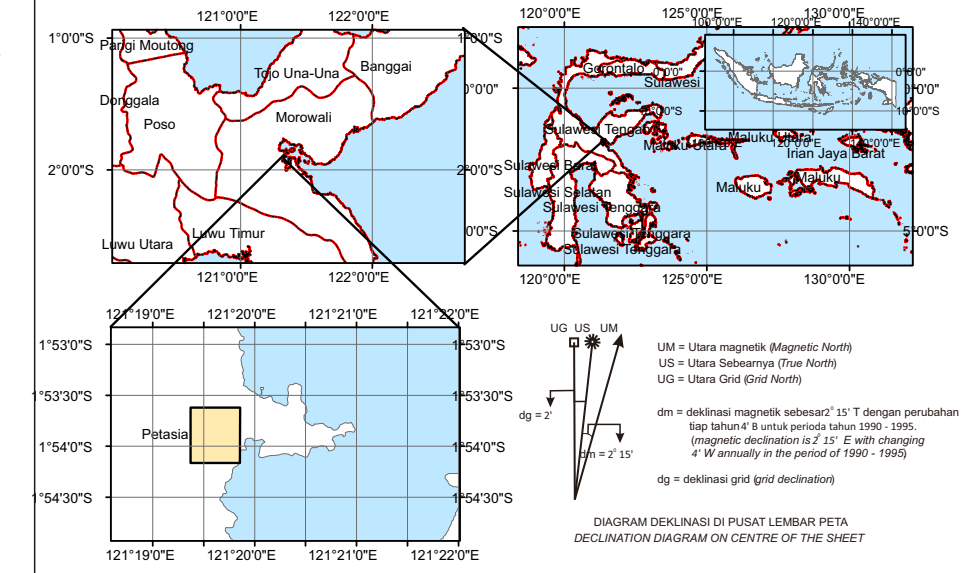
Umur menurut Kadarusman, 2004

Keterangan

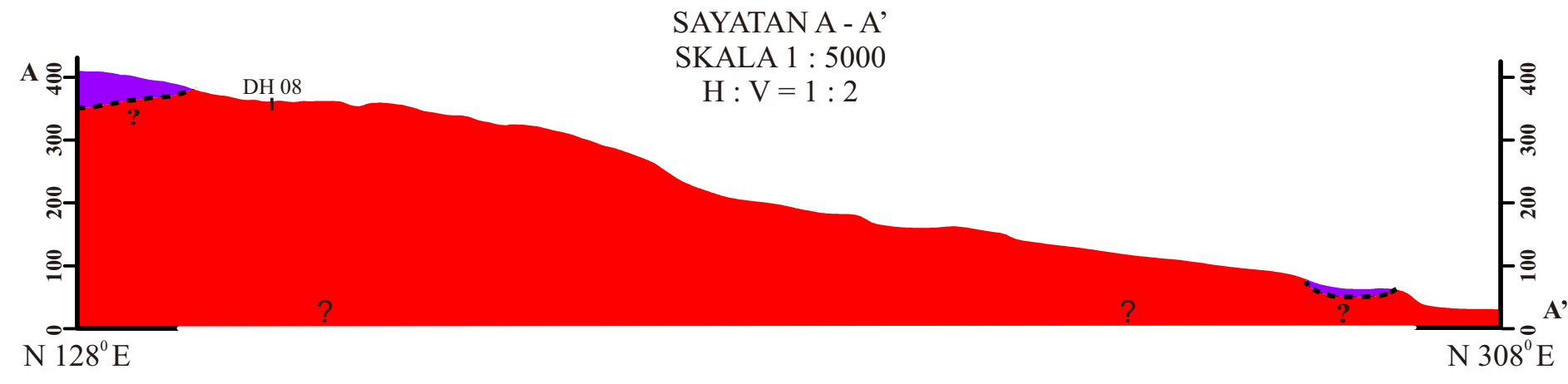
- Pemerian :
- Serpentinit** tersusun atas serpentinit yang memiliki penampakan warna lapuk hijau pucat dan warna segar hijau kehitaman dengan serat-serat serpentinit yang terlihat jelas, memiliki struktur non foliasi, tekstur nematoblastik, dengan komposisi mineral lizardit dan antigorit. Satuan serpentinit terbentuk akibat proses hidrasi olivin yang membentuk lizardit dan antigorit. Telah mengalami pelapukan yang intensif (tinggi) hingga terbentuk soil berwarna coklat tua. Tidak ditemukan garnierit dan memiliki sedikit vein silika. Menempati 30% dari luas daerah penelitian.
 - Peridotit** memiliki penampakan warna lapuk hitam kecoklatan dan warna segar abu-abu kehitaman dengan sedikit warna hijau, holokristalin, granularitas, fanerik halus (< 1 mm) - sedang (1 - 5 mm), dengan kemas : bentuk kristal anhedral - subhedral serta relasi equigranular hipidiomorfik granular, dan komposisi mineral didominasi piroksen dan olivin dengan mineral aksesori serpentinit. Telah mengalami pelapukan yang intensif (tinggi) serta ditemukan garnierit. Menempati 70% dari luasan daerah penelitian.

- a. Interval Kontur
- b. Indeks Kontur
- Kekar Gerus Berpasangan Tidak Terisi Mineral
- Kekar Gerus Berpasangan Terisi Mineral
- Sesar Mendatar Kanan Ganda Ganda
- Sesar Naik Kanan Ganda Ganda
- Sesar yang Diperkirakan
- Sesar Naik yang Diperkirakan
- Alur Liar
- Batas Satuan
- Sayatan A - A'
- Sayatan B - B'
- Titik Pemboran

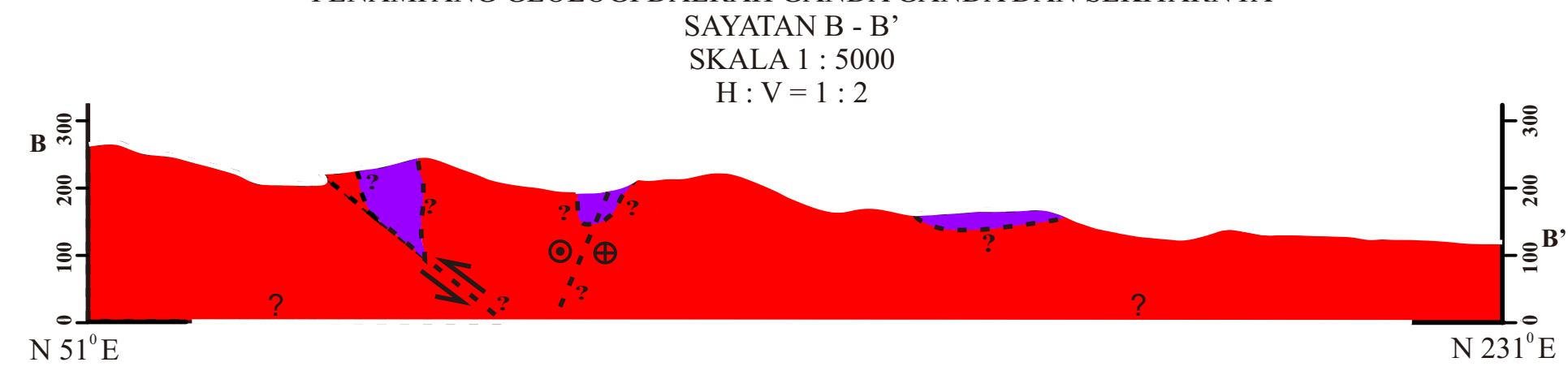
PETA INDEKS



PENAMPANG GEOLOGI DAERAH GANDA GANDA DAN SEKITARNYA



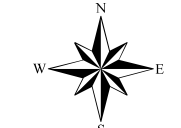
PENAMPANG GEOLOGI DAERAH GANDA GANDA DAN SEKITARNYA



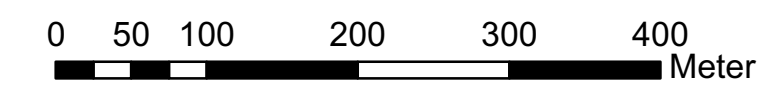
2021



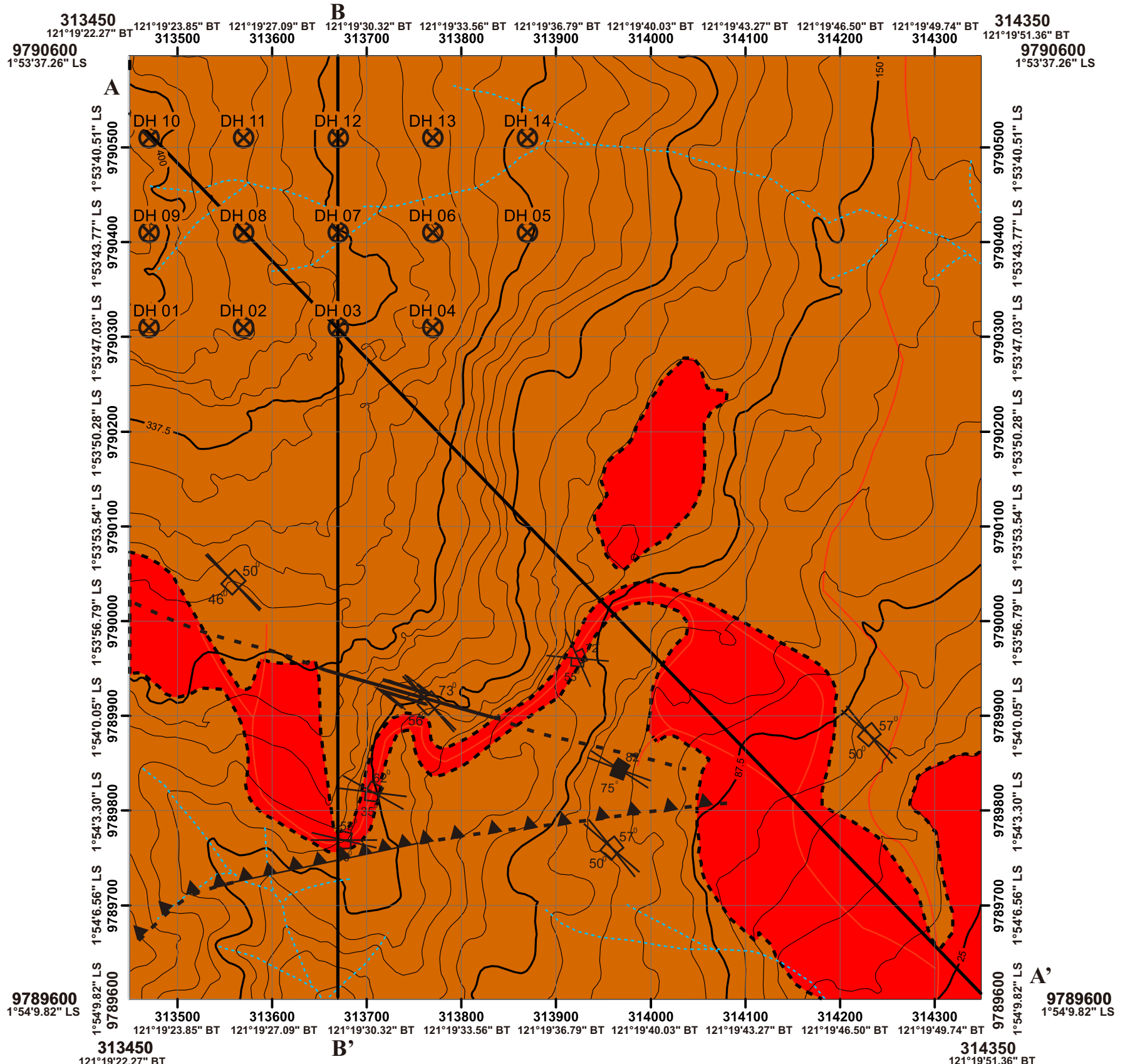
PETA PERSEBARAN LATERIT
 DAERAH GANDA GANDA DAN SEKITARNYA
 KECAMATAN PETASIA, KABUPATEN MOROWALI UTARA
 PROVINSI SULAWESI TENGAH



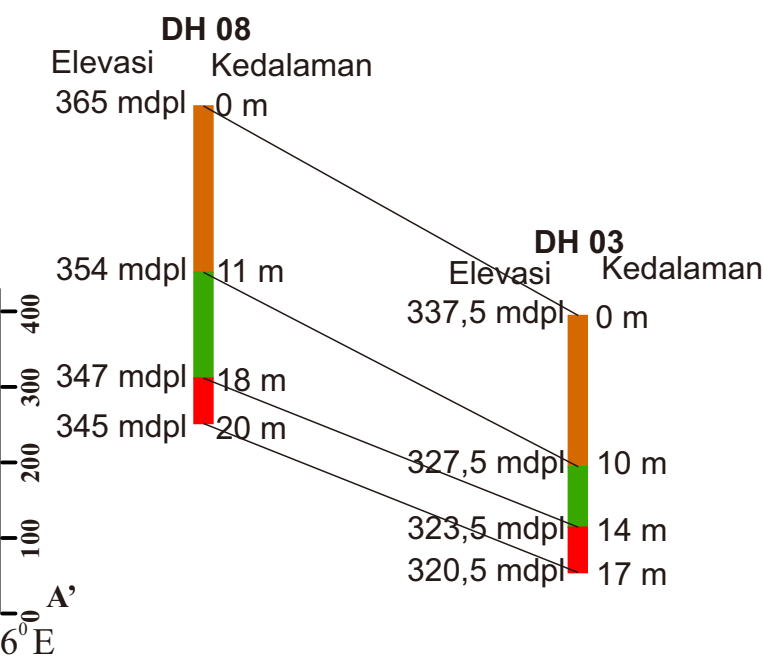
SKALA 1:5.000



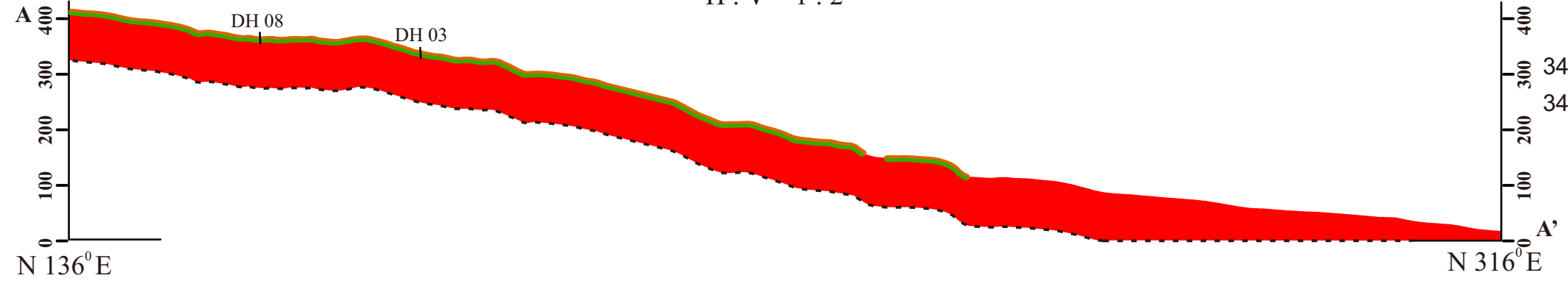
OLEH :
MOHAMMAD HAIKAL AL MUBAROK
 111.160.145



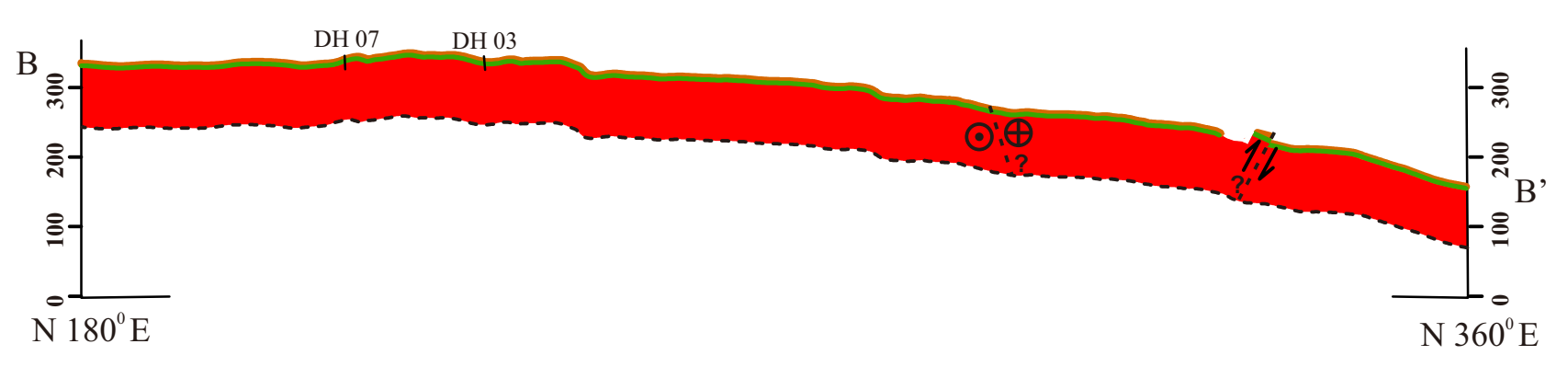
PROFIL PENAMPANG SAYATAN LATERIT
 SAYATAN A - A'
 SKALA 1 : 500



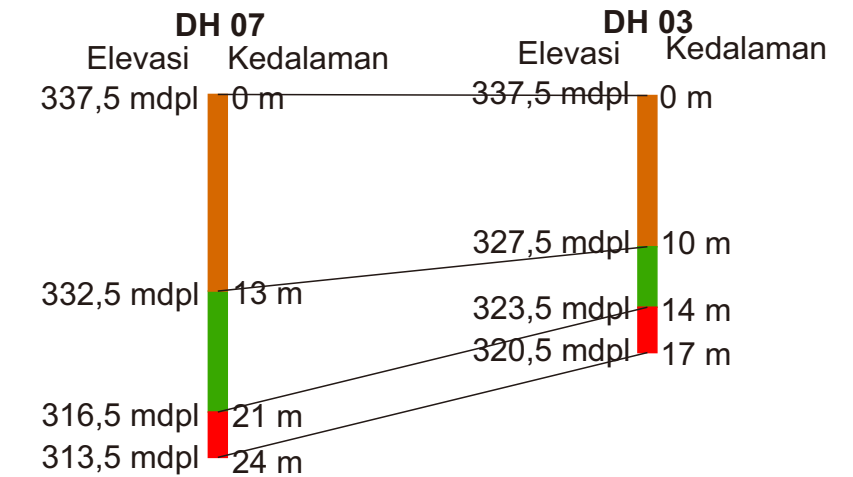
PENAMPANG PERSEBARAN LATERIT DAERAH GANDA GANDA DAN SEKITARNYA
 SAYATAN A - A'
 SKALA 1 : 5000
 H : V = 1 : 2



PENAMPANG PERSEBARAN LATERIT DAERAH GANDA GANDA DAN SEKITARNYA
 SAYATAN B - B'
 SKALA 1 : 5000
 H : V = 1 : 2



PROFIL PENAMPANG SAYATAN LATERIT
 SAYATAN B - B'
 SKALA 1 : 500

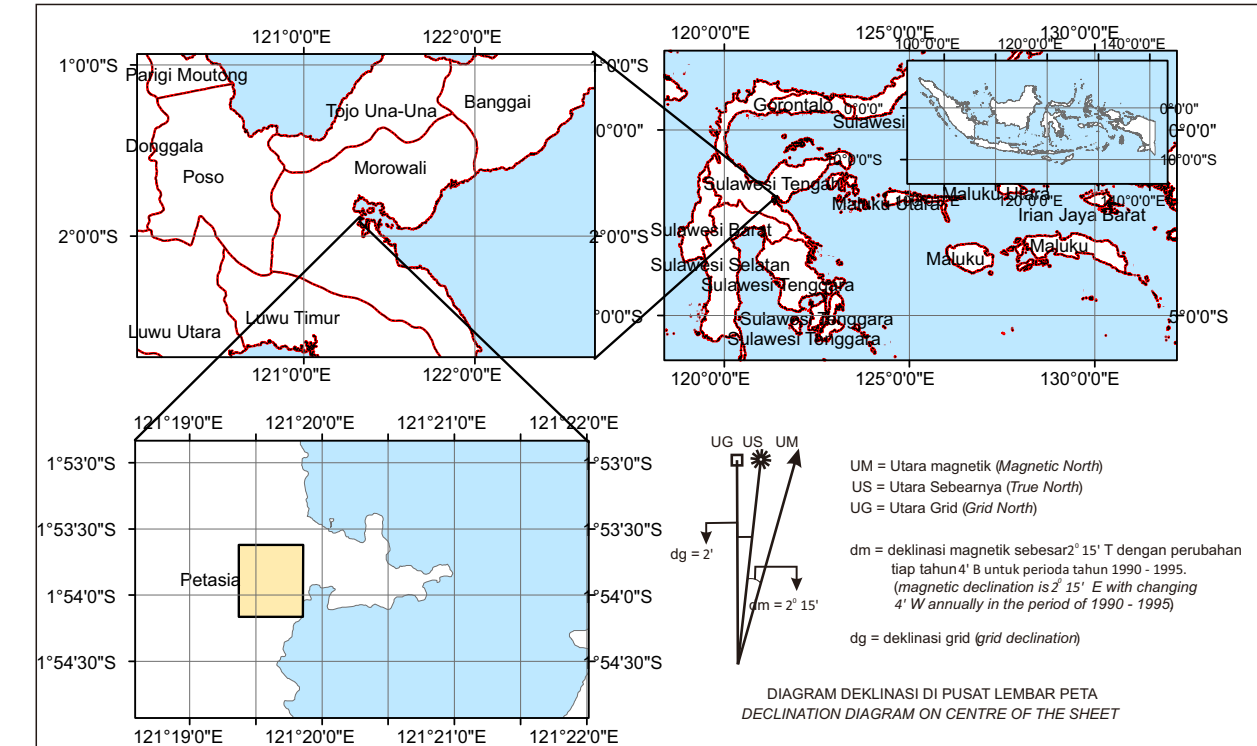


Keterangan :

- Zona Limonit**, zona limonit berwarna coklat sampai coklat kemerahan, tersusun atas endapan laterit yang terbentuk dari batuan ultramafik yang mengalami pelapukan, pada umumnya memiliki kandungan unsur Fe yang tinggi karna mengalami proses oksidasi yang tinggi, menempati luasan ± 70% dari luasan peta.
- Zona Saprolit**, zona saprolit berwarna coklat muda sampai coklat kekuningan, tersusun atas endapan laterit yang terbentuk dari batuan ultramafik yang mengalami pelapukan, pada umumnya memiliki kandungan unsur Ni tinggi dan unsur Fe yang lebih rendah dari zona limonit, zona saprolit tidak tersingkap di permukaan.
- Zona Batuan Dasar**, zona batuan dasar memiliki warna abu-abu hingga abu-abu kehijauan, tersusun oleh peridotit dan serpentin. Pada zona batuan dasar ini memiliki kandungan Fe dan Ni yang sangat rendah karena batuan masih *fresh* dan belum mengalami proses laterisasi dan oksidasi. Menempati luasan ± 30% dari luasan peta.

- a. Interval Kontur
- b. Indeks Kontur
- Kekar Gerus Berpasangan Tidak Terisi Mineral
- Kekar Gerus Berpasangan Terisi Mineral
- Sesar Mendatar Kanan Ganda Ganda
- Sesar Naik Kanan Ganda Ganda
- Sesar yang Diperkirakan
- Sesar Naik yang Diperkirakan
- Sayatan A - A'
- Sayatan B - B'
- Alur Liar
- Jalan
- Batas Satuan
- Titik Pemoran

PETA INDEKS



PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
 JURUSAN TEKNIK GEOLOGI
 FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
 UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
 YOGYAKARTA
 2021



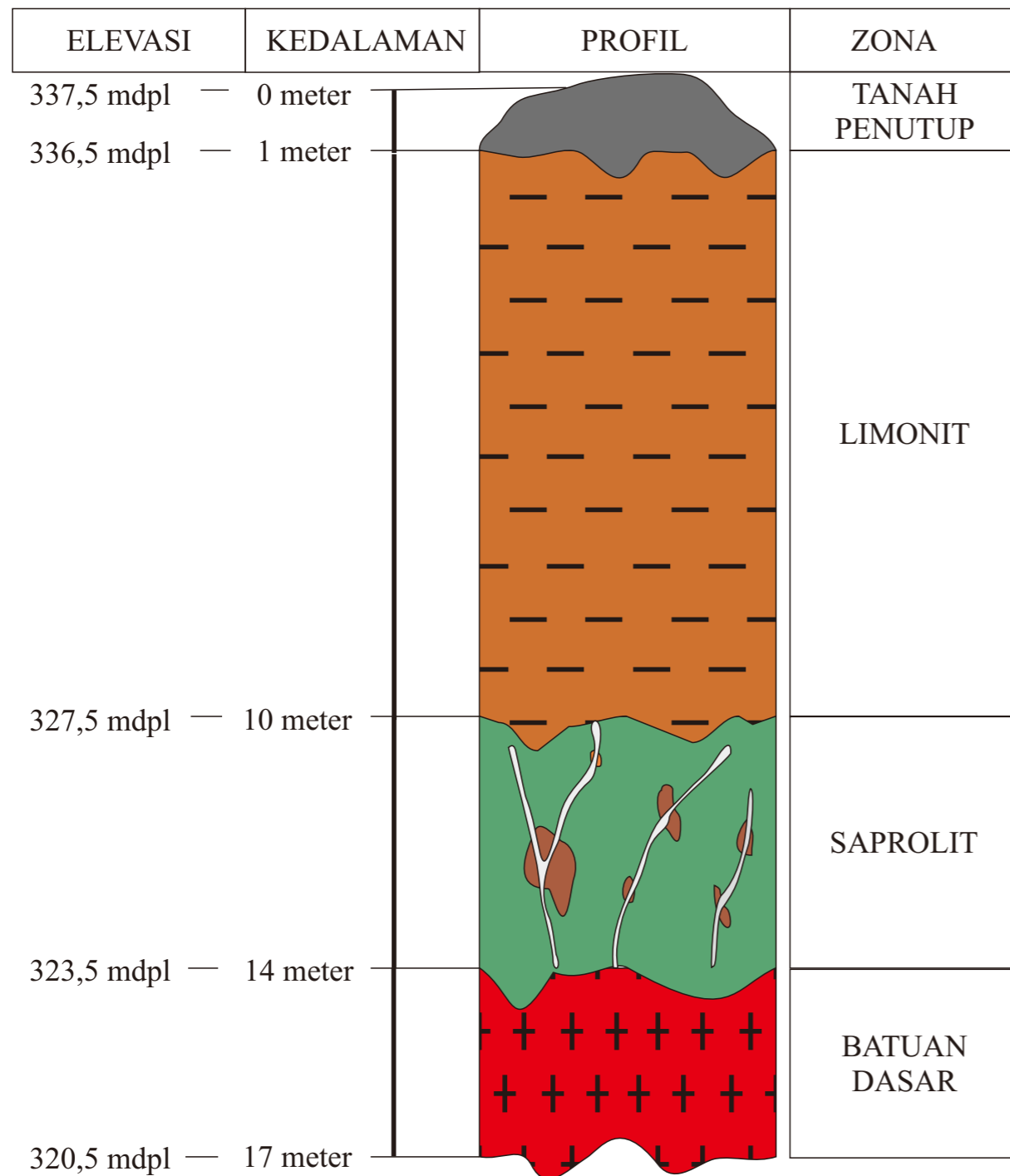
PROFIL LATERIT SATUAN PERIDOTIT PADA TITIK BOR DH 03
 DAERAH GANDA GANDA DAN SEKITARNYA
 KECAMATAN PETASIA, KABUPATEN MOROWALI UTARA
 PROVINSI SULAWESI TENGAH



SKALA 1:100



OLEH :
MOHAMMAD HAIKAL AL MUBAROK
111.160.145



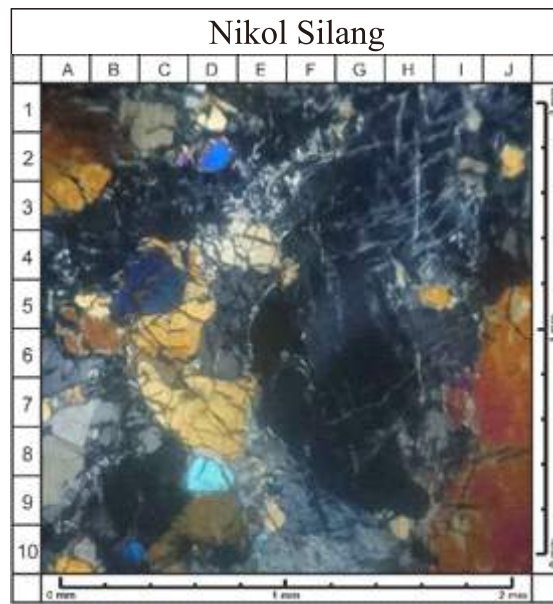
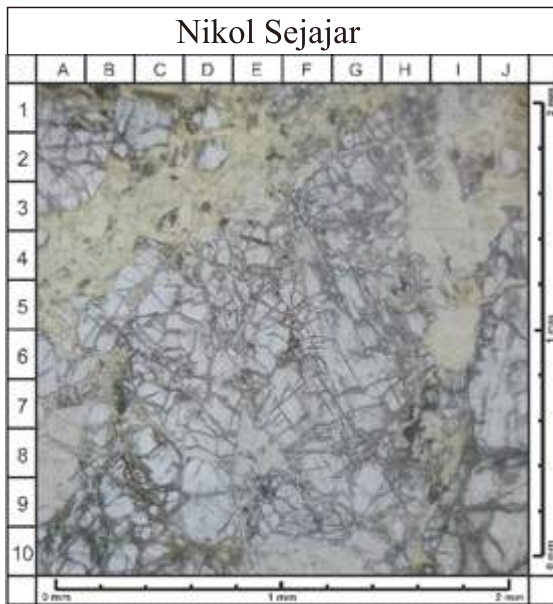
Keterangan

- Tanah Penutup**, memiliki warna coklat, ukuran butir lempung (<0,004 mm)-pasir kasar (0,5 - 1 mm), terdapat vegetasi berupa akar, ketebalan 1 m.
- Limonit**, memiliki warna coklat kemerahan, ukuran butir lempung (<0,004 mm) - pasir kasar (0,5 - 1 mm), komposisi mineral berupa limonit dan geotit, ketebalan 9 m.
- Saprolit**, memiliki warna coklat kekuningan, ukuran pasir kasar (0,5 - 1 mm) - pasir sangat kasar (1 - 2 mm), terdiri dari fragmen peridotit dengan komposisi mineral piroksen, olivin, silika, serpentin dan terdapat garnierit, ketebalan 4 m.
- Batuan Dasar**, berupa batuan peridotit dengan warna lapuk coklat tua dan warna segar abu-abu gelap, struktur masif, holokristalin, granular, subhedral, terdiri atas mineral olivin serta piroksen yang mengalami pelapukan, ketebalan 3 m.
- Vein silika**, terdiri atas silika berwarna putih, sebagian mengalami oksidasi, memiliki orientasi yang tidak beraturan



Nomor Sampel : LP 44
 Penamaan Lapangan : Peridotit

Nama : M. Haikal Al Mubarak
 NIM : 111.160.145



Pemerian Petrografis

Sayatan tipis batuan beku ultrabasa, warna abu-kecoklatan, indeks warna 80%, derajat kristalisasi holokristalin, granularitas fanerik halus – sedang, bentuk kristal subhedral – anhedral, ukuran kristal < 1 – 2 mm, relasi equigranular hipidiomorfik, memiliki tekstur khusus *mesh structure* pada olivin, disusun olivin (D8), ortho piroksen (J7), klino piroksen (D2), lizardit (H3), mineral oksida (H8).

Komposisi Mineral

1. Olivin (D8)

(±15%) berwarna absorpsi netral, warna interferensi biru – hijau-ungu, relief rendah, belahan tidak ada, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal 1 – 2 mm, indeks bias $N_m > N_{kb}$, pleokroisme kuat, hadir setempat dalam sayatan.

2. Ortho piroksen (J7)

(±25%) berwarna absorpsi netral, warna interferensi kuning kecoklatan, relief rendah, belahan 2 arah, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal 1 – 2 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, pleokroisme lemah, hadir setempat dalam sayatan.

3. Klino piroksen (D2)

(±15%) berwarna absorpsi netral, warna interferensi biru – ungu – merah muda – kecoklatan - orange, relief rendah, belahan 1 arah, bentuk kristal subhedral – anhedral, ukuran kristal 1 – 2 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, pleokroisme lemah, hadir setempat dalam sayatan.

4. Lizardit (H3)

(±25%) berwarna absorpsi netral, warna interferensi abu - abu, relief sedang, tidak memiliki belahan, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal < 1 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, non pleokroisme, hadir menyebar dalam sayatan, terdapat di dalam rekahan olivin.

5. Mineral Oksida (H8)

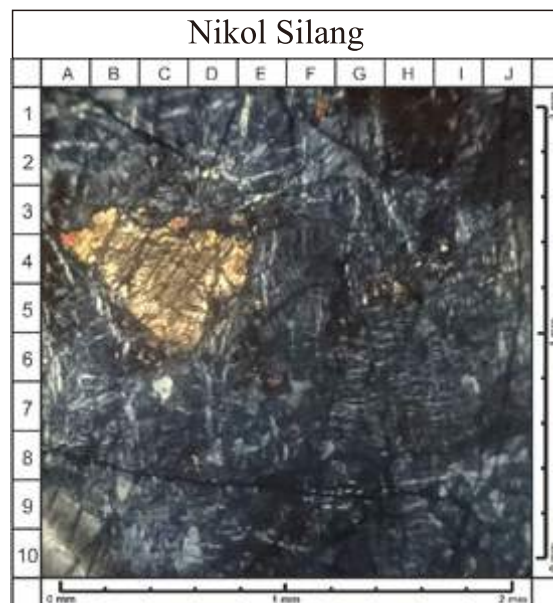
(±20%) berwarna absorpsi coklat kehitaman, warna interferensi hitam, relief lemah, tidak memiliki belahan, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal 1-2 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, non pleokroisme, hadir setempat dalam sayatan.

Nama Batuan : Olivin websterit terserpentinisasi (Klasifikasi oleh Streckeisen, 1973)



Nomor Sampel : LP 24
Penamaan Lapangan : Serpentinit

Nama : M. Haikal Al Mubarak
NIM : 111.160.145



Pemerian Petrografis

Sayatan tipis batuan metamorf non foliasi, warna abu kehijauan, struktur non foliasi, tekstur nematoblastik, disusun oleh mineral lizardit (D2), antigorit (H2), ortho piroksen (C4), mineral oksida (H1)

Komposisi Mineral

1. Lizardit (D2)

($\pm 25\%$) berwarna absorpsi netral, warna interferensi abu-abu orde 1, relief sedang, tidak memiliki belahan, bentuk kristal subhedral, ukuran kristal < 1 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, non pleokroisme, hadir menyebar dalam sayatan

2. Antigorit (H2)

($\pm 40\%$) warna absorpsi netral-kecoklatan, warna interferensi abu-abu kehitaman orde 1, relief sedang, tidak menunjukkan belahan, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal 0.1 mm - 1 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, tidak menunjukkan pleokroisme, hadir menyebar dalam sayatan.

3. Ortho piroksen (C4)

($\pm 10\%$) berwarna absorpsi netral, warna interferensi kuning kecoklatan, relief rendah, belahan 2 arah, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal 1 - 2 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, pleokroisme lemah, hadir setempat dalam sayatan.

4. Mineral Oksida (H1)

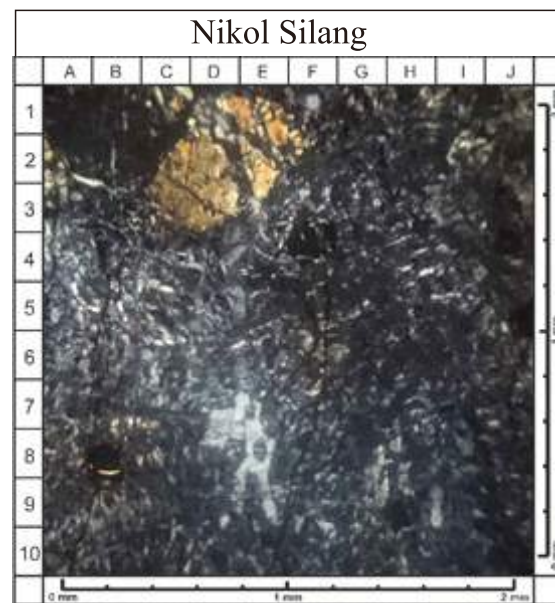
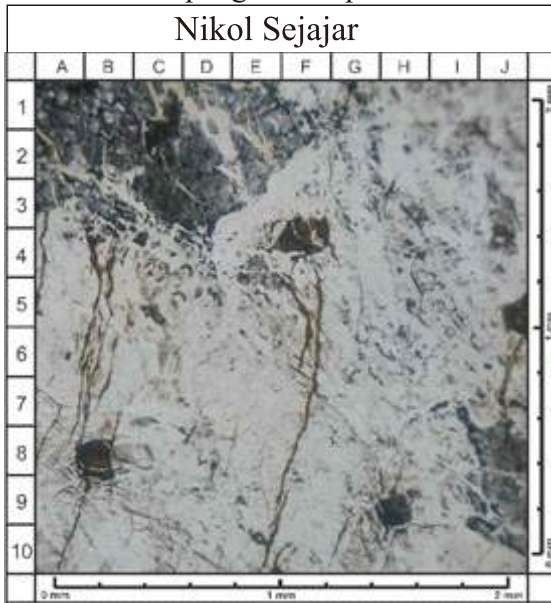
($\pm 25\%$); warna absorpsi coklat kehitaman, warna interferensi coklat kehitaman, bentuk kristal membutir, non pleokroisme, tidak memiliki belahan, ukuran kristal 0,1 - 0,3 mm, hadir menyebar dalam sayatan.

Nama batuan: Serpentinit (Klasifikasi oleh Winkler, 1979)



Nomor Sampel : LP 35
Penamaan Lapangan : Serpentininit

Nama : M. Haikal Al Mubarak
NIM : 111.160.145



Pemerian Petrografis

Sayatan tipis batuan metamorf non foliasi, warna abu kehijauan, struktur non foliasi, tekstur nematoblastik, disusun oleh mineral lizardit (F6), antigorit (I5), ortho piroksen (E1), mineral oksida (H9)

Komposisi Mineral

1. Lizardit (F6)

($\pm 25\%$) berwarna absorpsi netral, warna interferensi abu-abu kekuningan orde 1, relief sedang, tidak memiliki belahan, bentuk kristal subhedral, ukuran kristal < 1 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, non pleokroisme, hadir menyebar dalam sayatan

2. Antigorit (I5)

($\pm 40\%$) warna absorpsi netral-kecoklat, warna interferensi abu-abu kehitaman orde 1, relief sedang, tidak menunjukkan belahan, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal 0.1 mm - 1 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, tidak menunjukkan pleokroisme, hadir menyebar dalam sayatan.

3. Ortho piroksen (E1)

($\pm 10\%$) berwarna absorpsi netral, warna interferensi kuning kecoklatan, relief rendah, belahan 2 arah, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal 1 – 2 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, pleokroisme lemah, hadir setempat dalam sayatan.

4. Mineral Oksida (H9)

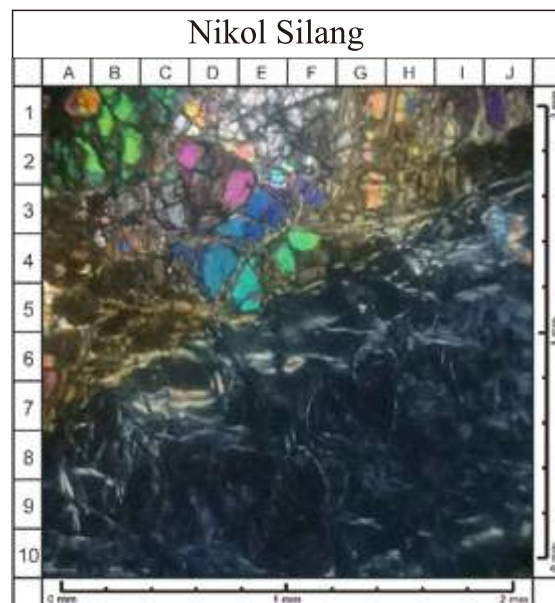
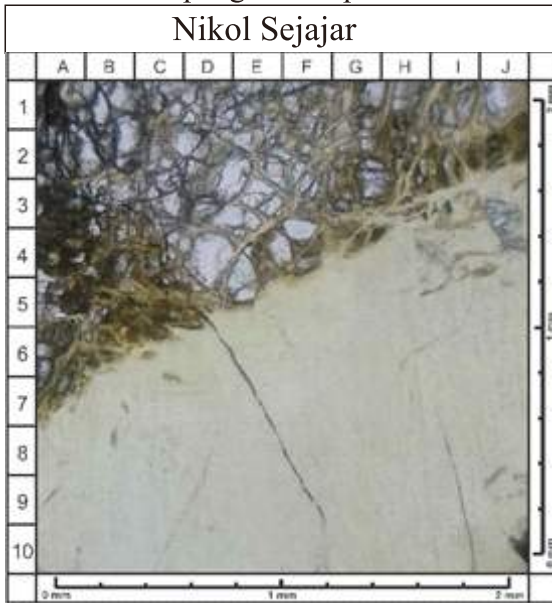
($\pm 25\%$); warna absorpsi coklat kehitaman, warna interferensi coklat kehitaman, bentuk kristal membutir, non pleokroisme, tidak memiliki belahan, ukuran kristal 0,1 - 0,3 mm, hadir menyebar dalam sayatan.

Nama batuan: Serpentininit (Klasifikasi oleh Winkler, 1979)



Nomor Sampel : LP 22
Penamaan Lapangan : Serpentininit

Nama : M. Haikal Al Mubarak
NIM : 111.160.145



Pemerian Petrografis

Sayatan tipis batuan metamorf non foliasi, warna abu kehijauan, struktur non foliasi, tekstur nematoblastik, disusun oleh mineral lizardit (B6), antigorit (B8), olivin (D3), klino piroksen (J4), mineral oksida (J10).

Komposisi Mineral

1. Lizardit (B6)

($\pm 20\%$) berwarna absorpsi netral, warna interferensi abu-abu kekuningan orde 1, relief sedang, tidak memiliki belahan, bentuk kristal subhedral, ukuran kristal < 1 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, non pleokroisme, hadir menyebar dalam sayatan

2. Antigorit (B8)

($\pm 60\%$) warna absorpsi netral-kecoklat, warna interferensi abu-abu kehitaman orde 1, relief sedang, tidak menunjukkan belahan, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal 0.1 mm - 1 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, tidak menunjukkan pleokroisme, hadir menyebar dalam sayatan.

3. Olivin (D3)

($\pm 14\%$) berwarna absorpsi netral, warna interferensi biru – hijau-ungu, relief rendah, belahan tidak ada, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal 1 – 2 mm, indeks bias $N_m > N_{kb}$, pleokroisme kuat, hadir setempat dalam sayatan.

4. Klino piroksen (J4)

($\pm 3\%$) berwarna absorpsi netral, warna interferensi biru – ungu – merah muda – kecoklatan - orange, relief rendah, belahan 1 arah, bentuk kristal subhedral – anhedral, ukuran kristal 0,1 – 0,2 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, pleokroisme lemah, hadir setempat dalam sayatan.

5. Mineral Oksida (J10)

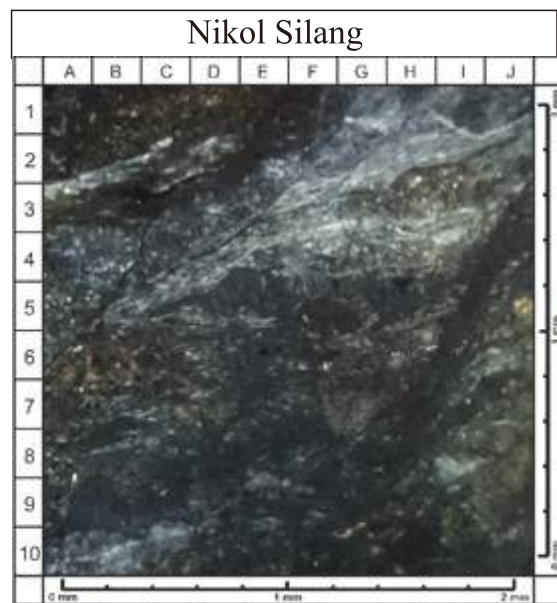
($\pm 3\%$); warna absorpsi coklat kehitaman, warna interferensi coklat kehitaman, bentuk kristal membutir, non pleokroisme, tidak memiliki belahan, ukuran kristal 0,1 - 0,3 mm, hadir menyebar dalam sayatan.

Nama batuan: Serpentininit (Klasifikasi oleh Winkler, 1979)



Nomor Sampel : LP 06
Penamaan Lapangan : Serpentinit

Nama : M. Haikal Al Mubarak
NIM : 111.160.145



Pemerian Petrografis

Sayatan tipis batuan metamorf non foliasi, warna abu kehijauan, struktur non foliasi, tekstur nematoblastik, disusun oleh mineral lizardit (H3), antigorit (C5), mineral oksida (B2)

Komposisi Mineral

1. Lizardit (H3)

($\pm 30\%$) berwarna absorpsi netral, warna interferensi abu-abu kekuningan orde 1, relief sedang, tidak memiliki belahan, bentuk kristal subhedral, ukuran kristal < 1 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, non pleokroisme, hadir menyebar dalam sayatan

2. Antigorit (C5)

($\pm 60\%$) warna absorpsi netral-kecoklat, warna interferensi abu-abu kehitaman orde 1, relief sedang, tidak menunjukkan belahan, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal 0.1 mm - 1 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, tidak menunjukkan pleokroisme, hadir menyebar dalam sayatan.

3. Mineral Oksida (B2)

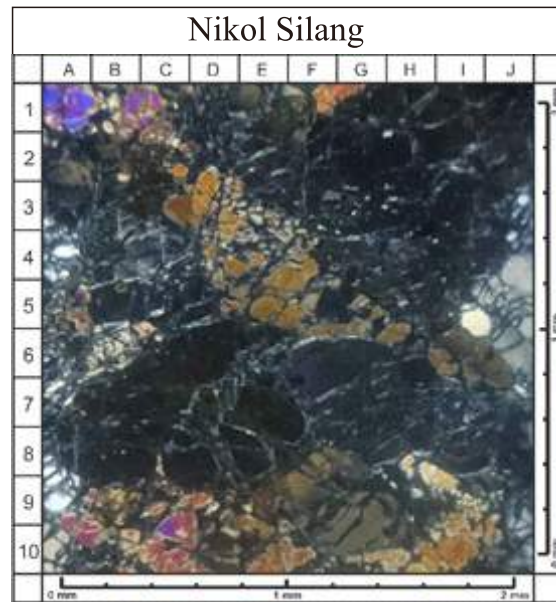
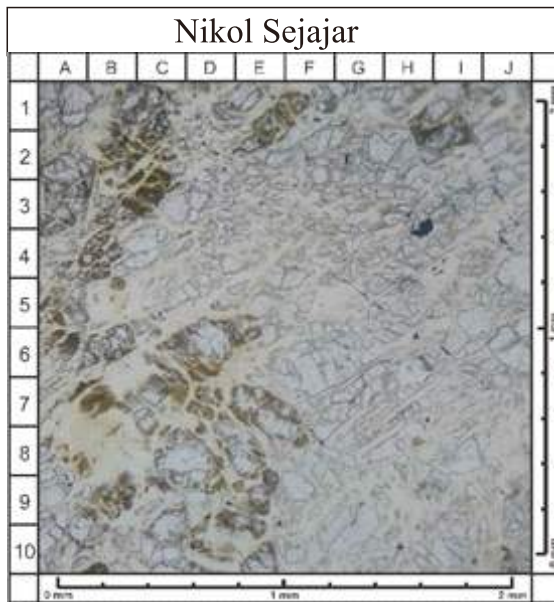
($\pm 10\%$); warna absorpsi coklat kehitaman, warna interferensi coklat kehitaman, bentuk kristal membutir, non pleokroisme, tidak memiliki belahan, ukuran kristal 0,1 - 0,3 mm, hadir menyebar dalam sayatan.

Nama batuan: Serpentinit (Klasifikasi oleh Winkler, 1979)



Nomor Sampel : LP 09
Penamaan Lapangan : Peridotit

Nama : M. Haikal Al Mubarak
NIM : 111.160.145



Pemerian Petrografis

Sayatan tipis batuan beku ultrabasa, warna abu-abu, indeks warna 60%, derajat kristalinitas holokristalin, granularitas fanerik halus - sedang, bentuk kristal subhedral - anhedral, ukuran kristal < 0,2 - 1 mm, relasi equigranular hipidiomorfik, memiliki tekstur khusus *mesh structure* pada olivin, disusun oleh olivin (C10), ortho piroksen (F5), klino piroksen (J5), lizardit (B6), antigorit (D7), mineral oksida (H4).

Komposisi Mineral

1. Olivin (C10)

(±20%) berwarna absorpsi netral, warna interferensi ungu dan biru orde 2, relief kuat, tidak menunjukkan adanya belahan, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal 0,2 - 0,8mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, non pleokroisme, hadir menyebar dalam sayatan, terdapat banyak rekahan yang terisi lizardit.

2. Ortho piroksen (F5)

(±35%) berwarna absorpsi netral, warna interferensi coklat kekuningan orde 2, relief kuat, menunjukkan adanya belahan dua arah, bentuk kristal subhedral, ukuran kristal 2 - 3 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, pleokroisme rendah, hadir menyebar dalam sayatan.

3. Klino Piroksen (J5)

(±15%) berwarna absorpsi netral, warna interferensi abu-abu orde 1 relief rendah, menunjukkan adanya belahan satu arah, bentuk kristal subhedral, ukuran kristal 0,2 - 1 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, pleokroisme rendah, hadir menyebar dalam sayatan.

4. Lizardit (B6)

(±10%) berwarna absorpsi netral, warna interferensi abu-abu orde 1, relief sedang, tidak memiliki belahan, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal < 0,3 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, non pleokroisme, hadir menyebar dalam sayatan, di dalam rekahan mineral olivin.

5. Antigorit (D7)

(±15%) warna absorpsi netral-kecoklat, warna interferensi abu-abu kehitaman orde 1, relief sedang, tidak menunjukkan belahan, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal 0.1 mm - 1 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, tidak menunjukkan pleokroisme, hadir menyebar dalam sayatan.

6. Mineral Oksida (H4)

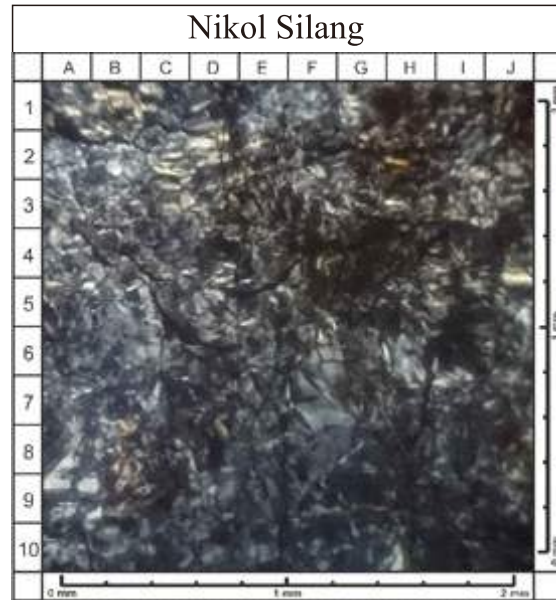
(±5%) berwarna absorpsi coklat kehitaman, warna interferensi hitam, relief lemah, tidak memiliki belahan, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal 1-2 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, non pleokroisme, hadir setempat dalam sayatan.

Nama Batuan : Olivin websterit terserpentinisasi (Klasifikasi oleh Streckeisen, 1973)



Nomor Sampel : LP 31
Penamaan Lapangan : Serpentinit

Nama : M. Haikal Al Mubarak
NIM : 111.160.145



Pemerian Petrografis

Sayatan tipis batuan metamorf non foliasi, warna abu kehijauan, struktur non foliasi, tekstur nematoblastik, disusun oleh mineral lizardit (D2), antigorit (I3), dan mineral oksida (H1)

Komposisi Mineral

1. Lizardit (D2)

($\pm 30\%$) berwarna absorpsi netral, warna interferensi abu-abu kekuningan orde 1, relief sedang, tidak memiliki belahan, bentuk kristal subhedral, ukuran kristal < 1 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, non pleokroisme, hadir menyebar dalam sayatan

2. Antigorit (I3)

($\pm 63\%$) warna absorpsi netral-kecoklatan, warna interferensi abu-abu kehitaman orde 1, relief sedang, tidak menunjukkan belahan, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal 0.1 mm - 1 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, tidak menunjukkan pleokroisme; hadir menyebar dalam sayatan.

3. Mineral Oksida (H1)

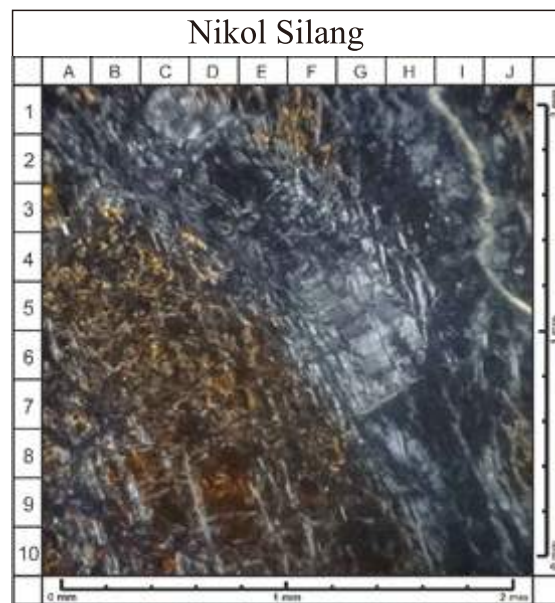
($\pm 7\%$); warna absorpsi coklat kehitaman, warna interferensi coklat kehitaman, bentuk kristal membutir, non pleokroisme, tidak memiliki belahan, ukuran kristal 0,1 - 0,3 mm, hadir menyebar dalam sayatan.

Nama batuan: Serpentinit (Klasifikasi oleh Winkler, 1979)



Nomor Sampel : LP 46
Penamaan Lapangan : Serpentin

Nama : M. Haikal Al Mubarak
NIM : 111.160.145



Pemerian Petrografis

Sayatan tipis batuan metamorf non foliasi, warna abu kehijauan, struktur non foliasi, tekstur nematoblastik, disusun oleh mineral lizardit (B5), antigorit (G4), ortho piroksen (D9) dan mineral oksida (D1)

Komposisi Mineral

1. Lizardit (B5)

($\pm 30\%$) berwarna absorpsi netral, warna interferensi abu-abu kekuningan orde 1, relief sedang, tidak memiliki belahan, bentuk kristal subhedral, ukuran kristal < 1 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, non pleokroisme, hadir menyebar dalam sayatan

2. Antigorit (G4)

($\pm 35\%$) warna absorpsi netral-kecoklatan, warna interferensi abu-abu kehitaman orde 1, relief sedang, tidak menunjukkan belahan, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal 0.1 mm - 1 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, tidak menunjukkan pleokroisme; hadir menyebar dalam sayatan.

3. Ortho piroksen (D9)

($\pm 25\%$) berwarna absorpsi netral, warna interferensi kuning kecoklatan, relief rendah, belahan 2 arah, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal 1 – 2 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, pleokroisme lemah, hadir setempat dalam sayatan.

4. Mineral Oksida (D1)

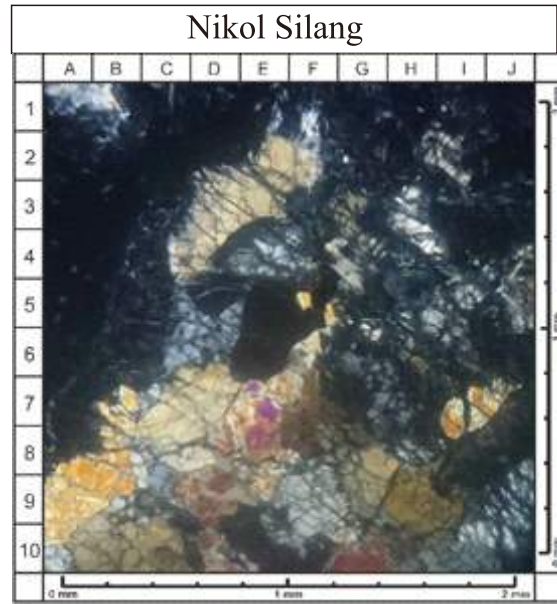
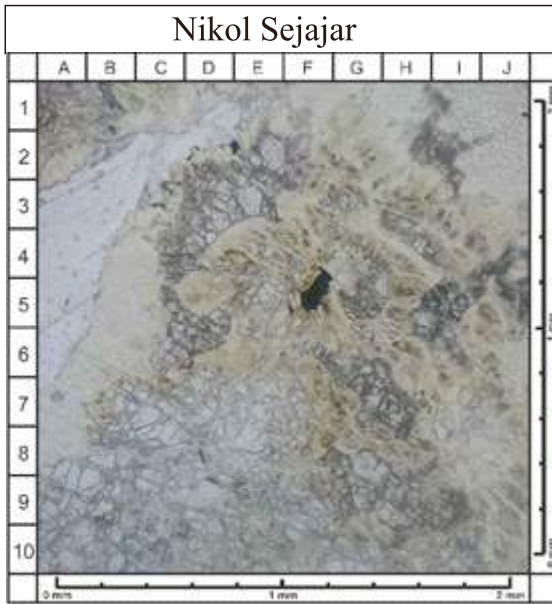
($\pm 10\%$); warna absorpsi coklat kehitaman, warna interferensi coklat kehitaman, bentuk kristal membutir, non pleokroisme, tidak memiliki belahan, ukuran kristal 0,1 - 0,3 mm, hadir menyebar dalam sayatan.

Nama batuan: Serpentin (Klasifikasi oleh Winkler, 1979)



Nomor Sampel : LP 12
Penamaan Lapangan : Peridotit

Nama : M. Haikal Al Mubarak
NIM : 111.160.145



Pemerian Petrografis

Sayatan tipis batuan beku ultrabasa, warna abu-abu, indeks warna 70%, derajat kristalinitas holokristalin, granularitas fanerik halus - sedang, bentuk kristal subhedral - anhedral, ukuran kristal < 0,2 - 1 mm, relasi equigranular hipidiomorfik, memiliki tekstur khusus *mesh structure* pada olivin, disusun oleh olivin (F7), ortho piroksen (A9), klino piroksen (F9), lizardit (A7) dan mineral oksida (F5).

Komposisi Mineral

1. Olivin (F7)

(±25%) berwarna absorpsi netral, warna interferensi ungu dan biru orde 2, relief kuat, tidak menunjukkan adanya belahan, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal 0,2 - 0,8mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, non pleokroisme, hadir menyebar dalam sayatan, terdapat banyak rekahan yang terisi lizardit.

2. Ortho piroksen (A9)

(±30%) berwarna absorpsi netral, warna interferensi coklat kekuningan orde 2, relief kuat, menunjukkan adanya belahan dua arah, bentuk kristal subhedral, ukuran kristal 2 - 3 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, pleokroisme rendah, hadir menyebar dalam sayatan.

3. Klino Piroksen (F9)

(±15%) berwarna absorpsi netral, warna interferensi abu-abu orde 1 relief rendah, menunjukkan adanya belahan satu arah, bentuk kristal subhedral, ukuran kristal 0,2 - 1 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, pleokroisme rendah, hadir menyebar dalam sayatan.

4. Lizardit (A7)

(±20%) berwarna absorpsi netral, warna interferensi abu-abu orde 1, relief sedang, tidak memiliki belahan, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal < 0,3 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, non pleokroisme, hadir menyebar dalam sayatan, di dalam rekahan mineral olivin.

5. Mineral Oksida (F5)

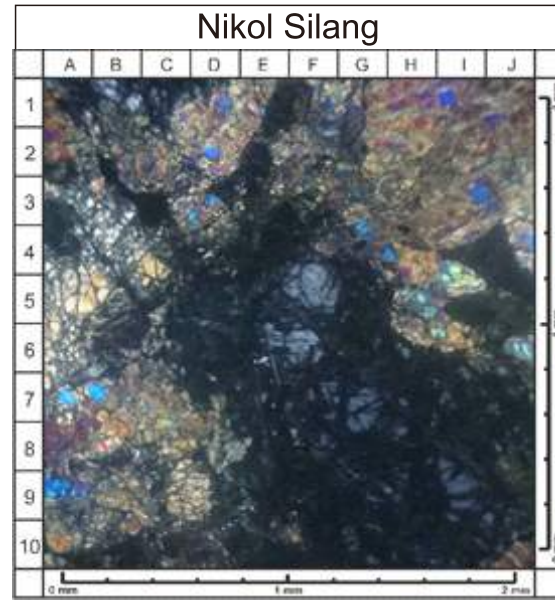
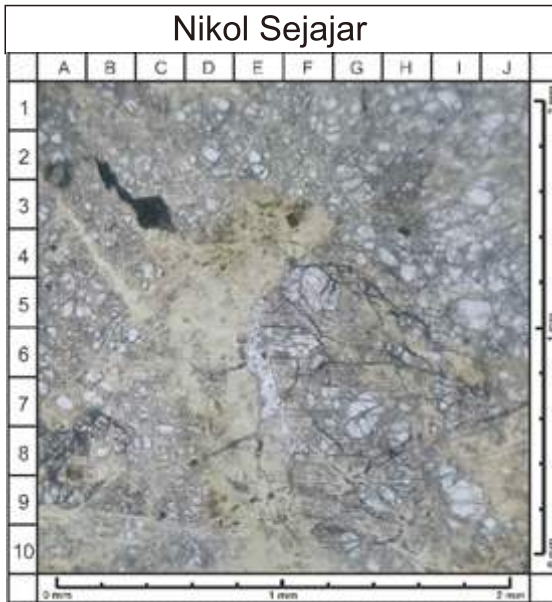
(±10%) berwarna absorpsi coklat kehitaman, warna interferensi hitam, relief lemah, tidak memiliki belahan, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal 1-2 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, non pleokroisme, hadir setempat dalam sayatan.

Nama Batuan : Olivin websterit terserpentinisasi (Klasifikasi oleh Streckeisen, 1973)



Nomor Sampel : LP 45
Penamaan Lapangan : Peridotit

Nama : M. Haikal Al Mubarak
NIM : 111.160.145



Pemerian Petrografis

Sayatan tipis batuan beku ultrabasa, warna abu-abu, indeks warna 75%, derajat kristalinitas holokristalin, granularitas fanerik halus - sedang, bentuk kristal subhedral - anhedral, ukuran kristal < 0,2 - 1 mm, relasi equigranular hipidiomorfik, memiliki tekstur khusus *mesh structure* pada olivin, disusun oleh olivin (A7), ortho piroksen (A5), klino piroksen (F5) dan lizardit (F6).

Komposisi Mineral

1. Olivin (A7)

(±40%) berwarna absorpsi netral, warna interferensi ungu dan biru orde 2, relief kuat, tidak menunjukkan adanya belahan, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal 0,2 - 0,8mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, non pleokroisme, hadir menyebar dalam sayatan, terdapat banyak rekahan yang terisi lizardit.

2. Ortho piroksen (A5)

(±25%) berwarna absorpsi netral, warna interferensi coklat kekuningan orde 2, relief kuat, menunjukkan adanya belahan dua arah, bentuk kristal subhedral, ukuran kristal 2 - 3 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, pleokroisme rendah, hadir menyebar dalam sayatan.

3. Klino Piroksen (F5)

(±15%) berwarna absorpsi netral, warna interferensi abu-abu orde 1 relief rendah, menunjukkan adanya belahan satu arah, bentuk kristal subhedral, ukuran kristal 0,2 - 1 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, pleokroisme rendah, hadir menyebar dalam sayatan.

4. Lizardit (F6)

(±15%) berwarna absorpsi netral, warna interferensi abu-abu orde 1, relief sedang, tidak memiliki belahan, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal < 0,3 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, non pleokroisme, hadir menyebar dalam sayatan, di dalam rekahan mineral olivin.

5. Mineral Oksida (C3)

(±5%) berwarna absorpsi coklat kehitaman, warna interferensi hitam, relief lemah, tidak memiliki belahan, bentuk kristal anhedral, ukuran kristal 1-2 mm, indeks bias mineral $N_m > N_{kb}$, non pleokroisme, hadir setempat dalam sayatan.

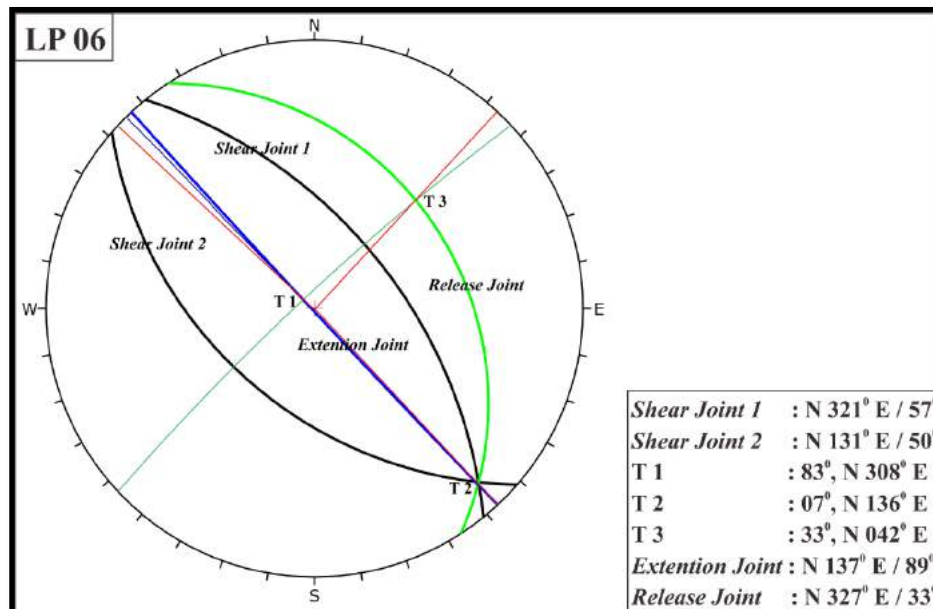
Nama Batuan : Lherzolit terserpentinisasi (Klasifikasi oleh Streckeisen, 1973)

Data Analisis Struktur Geologi

1. Kekar LP 06

Data yang didapatkan dilapangan yaitu data *shear joint* berpasangan, sebagai berikut :

Shear Joint 1	Shear Joint 2
N 332 ⁰ E / 57 ⁰	N 129 ⁰ E / 55 ⁰
N 319 ⁰ E / 61 ⁰	N 125 ⁰ E / 62 ⁰
N 323 ⁰ E / 55 ⁰	N 132 ⁰ E / 60 ⁰
N 329 ⁰ E / 69 ⁰	N 125 ⁰ E / 70 ⁰
N 325 ⁰ E / 72 ⁰	N 120 ⁰ E / 72 ⁰
N 315 ⁰ E / 60 ⁰	N 136 ⁰ E / 68 ⁰
N 322 ⁰ E / 59 ⁰	N 133 ⁰ E / 55 ⁰
N 318 ⁰ E / 54 ⁰	N 127 ⁰ E / 64 ⁰
N 330 ⁰ E / 62 ⁰	N 126 ⁰ E / 75 ⁰
N 323 ⁰ E / 60 ⁰	N 119 ⁰ E / 58 ⁰

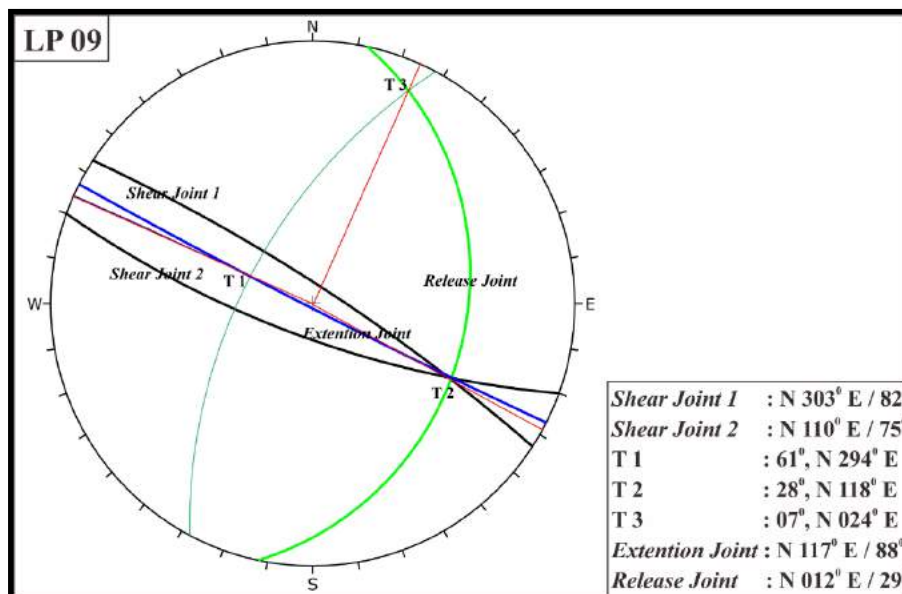


Analisis Stereografis Kekar LP 06

2. Kekar LP 09

Data yang didapatkan dilapangan yaitu data *shear joint* berpasangan, sebagai berikut :

Shear Joint 1	Shear Joint 2
N 277 ⁰ E / 85 ⁰	N 129 ⁰ E / 74 ⁰
N 285 ⁰ E / 75 ⁰	N 140 ⁰ E / 65 ⁰
N 270 ⁰ E / 78 ⁰	N 140 ⁰ E / 78 ⁰
N 255 ⁰ E / 65 ⁰	N 135 ⁰ E / 55 ⁰
N 300 ⁰ E / 84 ⁰	N 145 ⁰ E / 63 ⁰
N 288 ⁰ E / 74 ⁰	N 130 ⁰ E / 71 ⁰
N 298 ⁰ E / 83 ⁰	N 105 ⁰ E / 75 ⁰
N 305 ⁰ E / 87 ⁰	N 140 ⁰ E / 86 ⁰
N 276 ⁰ E / 70 ⁰	N 120 ⁰ E / 60 ⁰
N 300 ⁰ E / 81 ⁰	N 105 ⁰ E / 60 ⁰

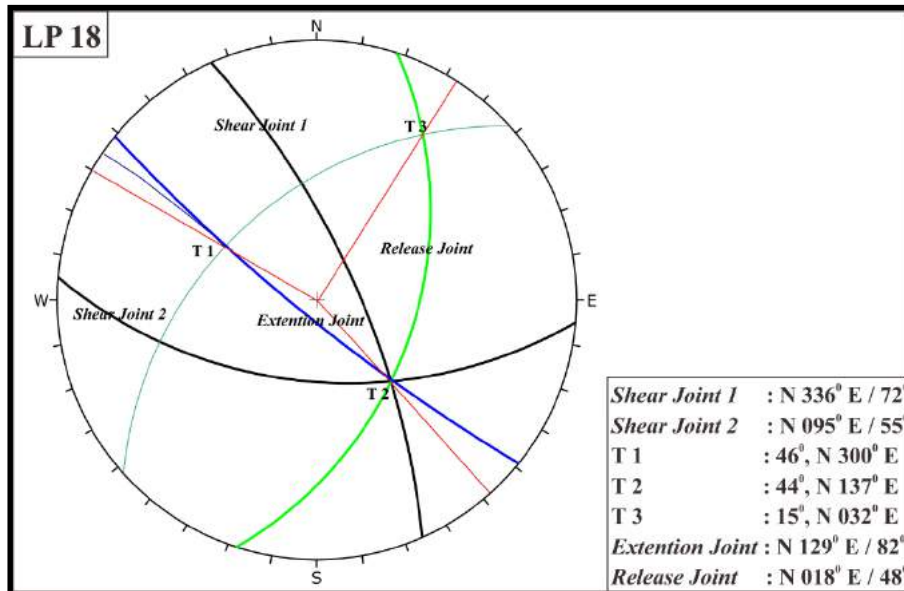


Analisis Stereografis Kekar LP 09

3. Kekar LP 18

Data yang didapatkan dilapangan yaitu data *shear joint* berpasangan, sebagai berikut :

Shear Joint 1	Shear Joint 2
N 337 ⁰ E / 68 ⁰	N 95 ⁰ E / 74 ⁰
N 331 ⁰ E / 72 ⁰	N 82 ⁰ E / 55 ⁰
N 339 ⁰ E / 74 ⁰	N 67 ⁰ E / 74 ⁰
N 323 ⁰ E / 83 ⁰	N 70 ⁰ E / 78 ⁰
N 324 ⁰ E / 78 ⁰	N 91 ⁰ E / 61 ⁰
N 326 ⁰ E / 76 ⁰	N 87 ⁰ E / 57 ⁰
N 325 ⁰ E / 77 ⁰	N 98 ⁰ E / 56 ⁰
N 331 ⁰ E / 80 ⁰	N 94 ⁰ E / 68 ⁰
N 335 ⁰ E / 75 ⁰	N 102 ⁰ E / 59 ⁰
N 328 ⁰ E / 77 ⁰	N 105 ⁰ E / 72 ⁰

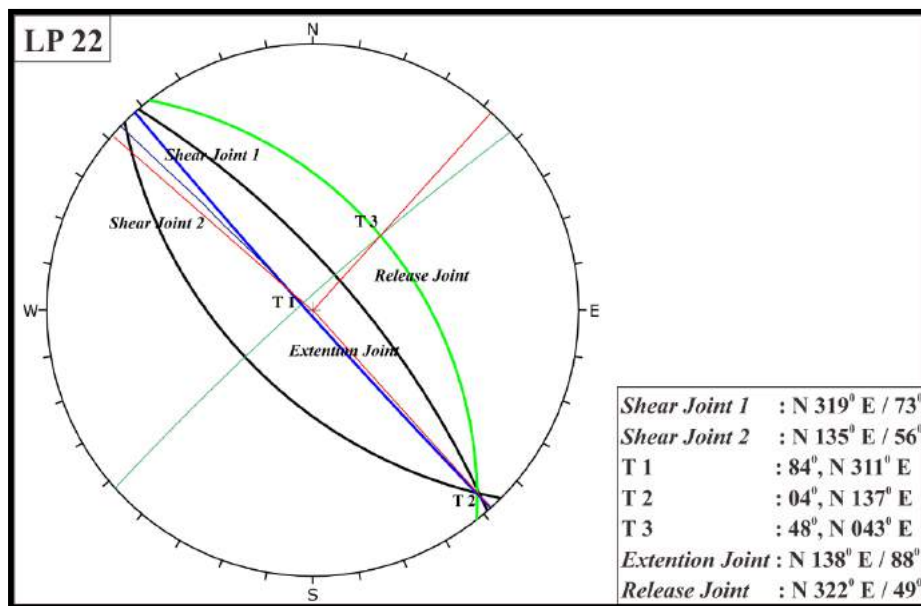


Analisis Stereografis Kekar LP 18

4. Kekar LP 22

Data yang didapatkan dilapangan yaitu data *shear joint* berpasangan, sebagai berikut :

Shear Joint 1	Shear Joint 2
N 330 ⁰ E / 78 ⁰	N 137 ⁰ E / 62 ⁰
N 336 ⁰ E / 73 ⁰	N 133 ⁰ E / 71 ⁰
N 319 ⁰ E / 77 ⁰	N 119 ⁰ E / 70 ⁰
N 312 ⁰ E / 74 ⁰	N 150 ⁰ E / 71 ⁰
N 313 ⁰ E / 73 ⁰	N 136 ⁰ E / 54 ⁰
N 320 ⁰ E / 49 ⁰	N 156 ⁰ E / 76 ⁰
N 335 ⁰ E / 65 ⁰	N 132 ⁰ E / 82 ⁰
N 329 ⁰ E / 85 ⁰	N 140 ⁰ E / 45 ⁰
N 320 ⁰ E / 75 ⁰	N 143 ⁰ E / 56 ⁰
N 318 ⁰ E / 72 ⁰	N 132 ⁰ E / 64 ⁰

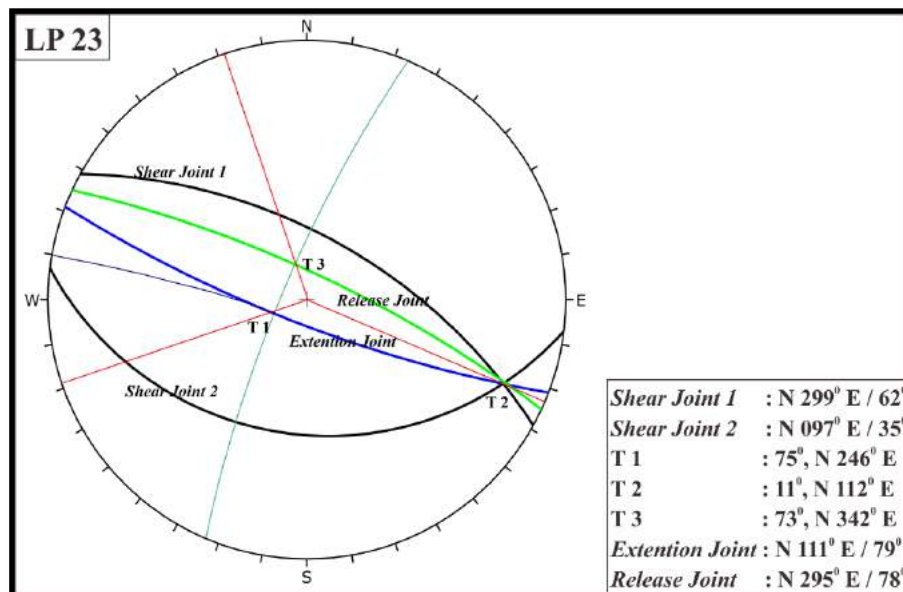


Analisis Stereografis Kekar LP 22

5. Kekar LP 23

Data yang didapatkan dilapangan yaitu data *shear joint* berpasangan, sebagai berikut :

Shear Joint 1	Shear Joint 2
N 292 ⁰ E / 44 ⁰	N 100 ⁰ E / 58 ⁰
N 305 ⁰ E / 62 ⁰	N 87 ⁰ E / 42 ⁰
N 285 ⁰ E / 46 ⁰	N 92 ⁰ E / 30 ⁰
N 265 ⁰ E / 72 ⁰	N 85 ⁰ E / 35 ⁰
N 200 ⁰ E / 54 ⁰	N 103 ⁰ E / 45 ⁰
N 168 ⁰ E / 46 ⁰	N 65 ⁰ E / 36 ⁰
N 294 ⁰ E / 59 ⁰	N 76 ⁰ E / 40 ⁰
N 280 ⁰ E / 68 ⁰	N 100 ⁰ E / 50 ⁰
N 273 ⁰ E / 70 ⁰	N 94 ⁰ E / 40 ⁰
N 273 ⁰ E / 68 ⁰	N 105 ⁰ E / 36 ⁰

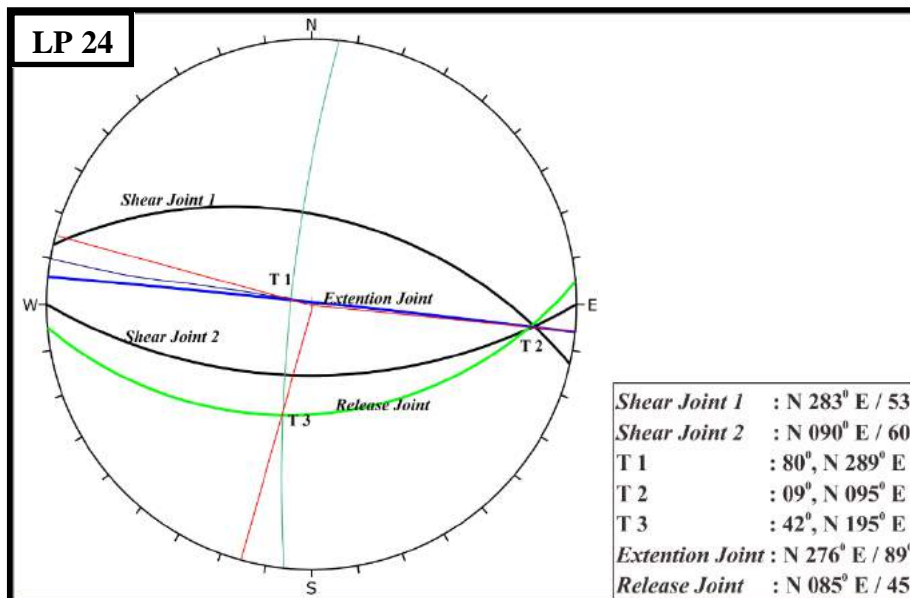


Analisis Stereografis Kekar LP 23

6. Kekar LP 24

Data yang didapatkan dilapangan yaitu data *shear joint* berpasangan, sebagai berikut :

Shear Joint 1	Shear Joint 2
N 289 ⁰ E / 47 ⁰	N 98 ⁰ E / 30 ⁰
N 294 ⁰ E / 45 ⁰	N 78 ⁰ E / 35 ⁰
N 280 ⁰ E / 54 ⁰	N 96 ⁰ E / 50 ⁰
N 282 ⁰ E / 57 ⁰	N 88 ⁰ E / 65 ⁰
N 276 ⁰ E / 58 ⁰	N 90 ⁰ E / 58 ⁰
N 266 ⁰ E / 47 ⁰	N 91 ⁰ E / 47 ⁰
N 271 ⁰ E / 52 ⁰	N 84 ⁰ E / 41 ⁰
N 278 ⁰ E / 51 ⁰	N 89 ⁰ E / 51 ⁰
N 280 ⁰ E / 49 ⁰	N 94 ⁰ E / 49 ⁰
N 282 ⁰ E / 48 ⁰	N 88 ⁰ E / 50 ⁰

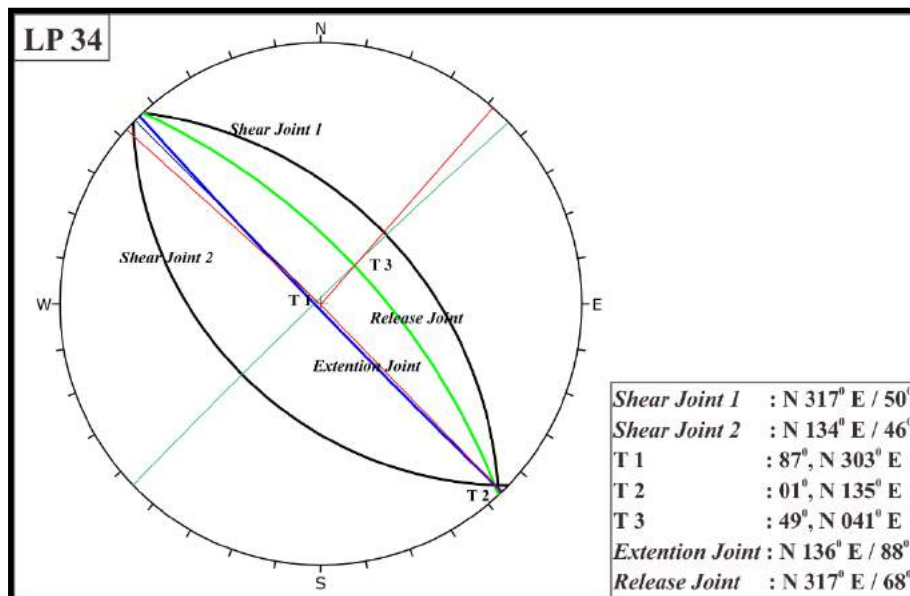


Analisis Stereografis Kekar LP 24

7. Kekar LP 34

Data yang didapatkan dilapangan yaitu data *shear joint* berpasangan, sebagai berikut :

Shear Joint 1	Shear Joint 2
N 300 ⁰ E / 66 ⁰	N 145 ⁰ E / 75 ⁰
N 315 ⁰ E / 35 ⁰	N 153 ⁰ E / 59 ⁰
N 310 ⁰ E / 66 ⁰	N 135 ⁰ E / 50 ⁰
N 320 ⁰ E / 51 ⁰	N 125 ⁰ E / 64 ⁰
N 305 ⁰ E / 29 ⁰	N 130 ⁰ E / 43 ⁰
N 323 ⁰ E / 46 ⁰	N 149 ⁰ E / 66 ⁰
N 305 ⁰ E / 47 ⁰	N 110 ⁰ E / 55 ⁰
N 309 ⁰ E / 49 ⁰	N 140 ⁰ E / 41 ⁰
N 310 ⁰ E / 61 ⁰	N 130 ⁰ E / 50 ⁰
N 325 ⁰ E / 54 ⁰	N 115 ⁰ E / 52 ⁰

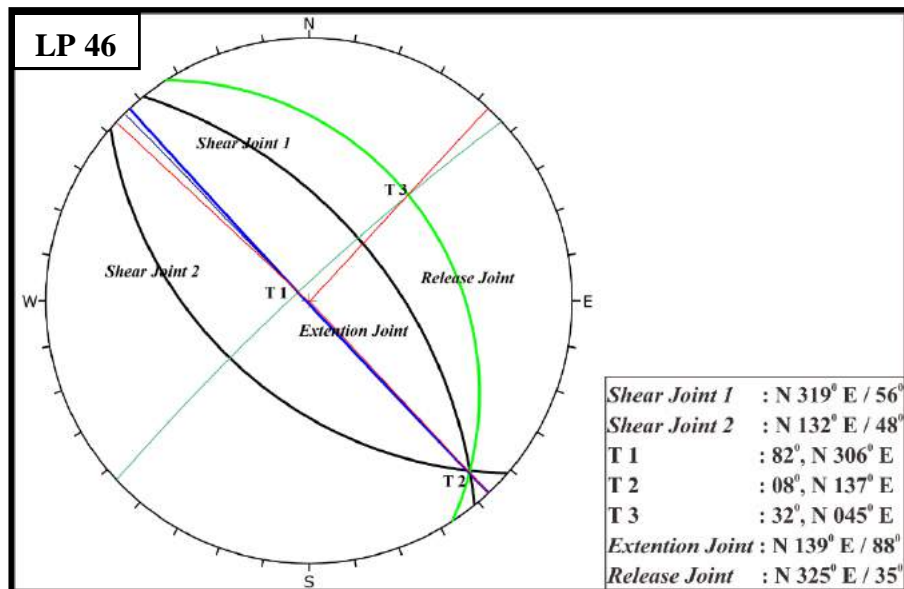


Analisis Stereografis Kekar LP 34

8. Kekar LP 46

Data yang didapatkan dilapangan yaitu data *shear joint* berpasangan, sebagai berikut :

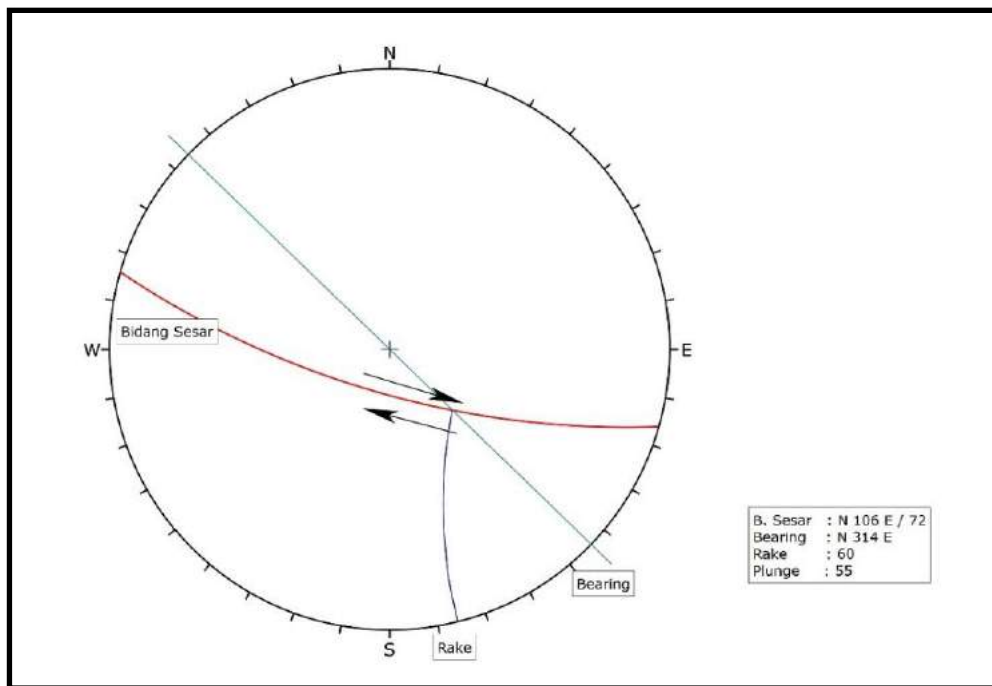
Shear Joint 1	Shear Joint 2
N 329 ⁰ E / 57 ⁰	N 125 ⁰ E / 45 ⁰
N 322 ⁰ E / 61 ⁰	N 134 ⁰ E / 47 ⁰
N 319 ⁰ E / 62 ⁰	N 140 ⁰ E / 56 ⁰
N 328 ⁰ E / 55 ⁰	N 94 ⁰ E / 30 ⁰
N 325 ⁰ E / 49 ⁰	N 130 ⁰ E / 65 ⁰
N 316 ⁰ E / 61 ⁰	N 125 ⁰ E / 75 ⁰
N 309 ⁰ E / 66 ⁰	N 127 ⁰ E / 55 ⁰
N 323 ⁰ E / 51 ⁰	N 105 ⁰ E / 55 ⁰
N 314 ⁰ E / 61 ⁰	N 95 ⁰ E / 74 ⁰
N 304 ⁰ E / 69 ⁰	N 98 ⁰ E / 35 ⁰



Analisis Stereografis Kekar LP 46

9. Sesar LP 22

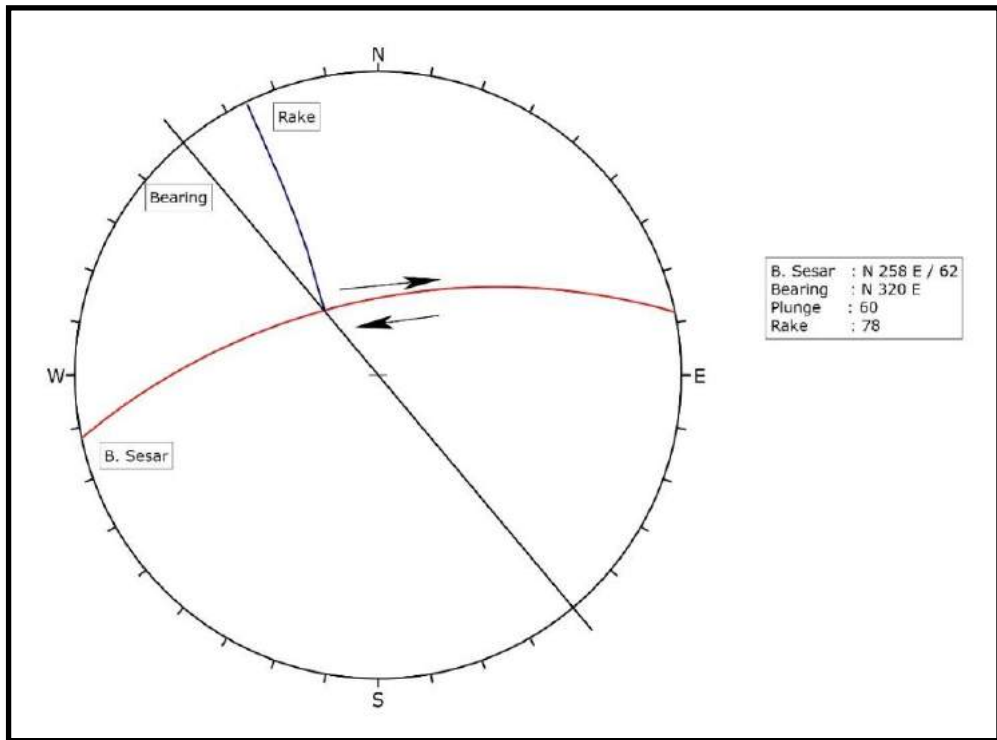
Data yang didapatkan dilapangan yaitu bidang sesar dengan arah $N 106^{\circ} E / 72^{\circ}$. Serta terdapat bearing dengan besaran $N 314^{\circ} E$ dan didapatkan rake melalui analisis stereografis dengan besaran 60° . Berdasarkan klasifikasi sesar menurut Rickard (1972), maka sesar ini disebut *Reverse Right Slip Fault* (Sesar Mendatar Kanan Naik).



Analisis Stereografis Sesar LP 22

10. Sesar LP 24

Data yang didapatkan dilapangan yaitu bidang sesar dengan arah $N 258^{\circ} E / 62^{\circ}$. Serta terdapat bearing dengan besaran $N 320^{\circ} E$ dan didapatkan rake melalui analisis stereografis dengan besaran 78° . Berdasarkan klasifikasi sesar menurut Rickard (1972), maka sesar ini disebut *Right Reverse Slip Fault* (Sesar Kanan Naik).



Analisis Stereografis Sesar LP 24

PERHITUNGAN RQD LERENG 03

NO	STRIKE	DIP	Famili	DD	Spasi (cm)	Spasi (cm)	Azimuth Lintasan
1	95	74	2	185	0,3	0,30	204,00
2	82	55	2	172	0,45	0,75	
3	337	68	3	67	0,05	0,80	
4	331	72	3	61	0,1	0,90	
5	67	74	1	157	0,07	0,97	
6	70	78	1	160	0,06	1,03	
7	339	74	3	69	0,08	1,11	
8	91	61	2	181	0,59	1,70	
9	87	57	2	177	0,04	1,74	
10	98	56	2	188	0,06	1,80	
11	94	68	2	184	0,06	1,86	
12	102	59	2	192	0,18	2,04	
13	105	72	2	195	0,16	2,20	
14	91	54	2	181	0,2	2,40	
15	93	60	2	183	0,04	2,44	
16	94	52	2	184	0,05	2,49	
17	97	48	2	187	0,03	2,52	
18	95	49	2	185	0,05	2,57	
19	99	51	2	189	0,06	2,63	
20	323	83	3	53	0,17	2,80	
21	324	78	3	54	0,26	3,06	

Family	Range
1	65-85
2	86-105
3	320-340

Famili Kekar	No Kekar	Jarak	DD	D	An	Bn	As	Bs	Q	J	D		
1	5	0	157	74	337	16	204	0	0,65558	J5	0,06	J5	0,06000
1	6	0,06	160	78	340	12	204	0	0,70362			RATA	0,06000

Famili Kekar	No Kekar	Jarak	DD	D	An	Bn	As	Bs	Q	J	D		
2	1	0,00	185	74	5	16	204	0	0,90889	J1-2	0,45	J1-2	0,44996
2	2	0,45	172	55	352	35	204	0	0,69468	J2-8	0,50	J2-8	0,49996
2	8	0,95	181	61	1	29	204	0	0,80509	J8-9	-0,91	J8-9	-0,90992
2	9	0,04	177	57	357	33	204	0	0,74726	J9-10	0,02	J9-10	0,02000
2	10	0,06	188	56	8	34	204	0	0,79692	J10-11	0,00	J10-11	0,00000
2	11	0,06	184	68	4	22	204	0	0,87127	J11-12	0,12	J11-12	0,11999
2	12	0,18	192	59	12	31	204	0	0,83844	J12-13	-0,02	J12-13	-0,02000
2	13	0,16	195	72	15	18	204	0	0,93935	J13-14	0,04	J13-14	0,04000
2	14	0,20	181	54	1	36	204	0	0,74470	J14-15	-0,16	J14-15	-0,15999
2	15	0,04	183	60	3	30	204	0	0,80850	J15-16	0,01	J15-16	0,01000
2	16	0,05	184	52	4	38	204	0	0,74049	J16-17	-0,02	J16-17	-0,02000
2	17	0,03	187	48	7	42	204	0	0,71067	J17-18	0,02	J17-18	0,02000
2	18	0,05	185	49	5	41	204	0	0,71359	J18-19	0,01	J18-19	0,01000
2	19	0,06	189	51	9	39	204	0	0,75067			RATA	0,03000

Famili Kekar	No Kekar	Jarak	DD	D	An	Bn	As	Bs	Q	J	D		
3	3	0,00	67	68	247	22	204	0	0,67810	J3-4	0,10	J3-4	0,09999
3	4	0,10	61	72	241	18	204	0	0,75955	J4-7	0,11	J4-7	0,10999
3	7	0,21	69	74	249	16	204	0	0,67971	J7-20	1,48	J7-20	1,47986
3	20	1,69	53	83	233	7	204	0	0,86810	J20-21	-1,43	J20-21	-1,42984
3	21	0,26	54	78	234	12	204	0	0,84710			RATA	0,13000

Keterangan :

- DD = Dip Direction
- D = Dip Kekar
- An = $<180^{\circ}$: An- 180°
 $>180^{\circ}$: An+ 180°
- Bn = 90° - D
- As = Azimuth lintasan
- Bs = Dip Scanline
- Q = Sudut Tajam

Rata-Rata λ 12,49995

RQD 64,46375 %

PERHITUNGAN RQD LERENG 04

NO	STRIKE	DIP	Family	DD	Spasi (cm)	Spasi (cm)	Azimuth Lintasan
1	277	85	3	7	0,10	0,10	206
2	285	75	3	15	0,10	0,20	
3	270	78	3	360	0,13	0,33	
4	129	74	2	219	0,02	0,35	
5	140	65	2	230	0,05	0,40	
6	255	65		345	0,08	0,48	
7	140	78	2	230	0,05	0,53	
8	135	55	2	225	0,19	0,72	
9	300	84	4	30	0,29	1,01	
10	288	74	3	18	0,16	1,17	
11	298	83	4	28	0,04	1,21	
12	305	87	4	35	0,04	1,25	
13	276	70	3	6	0,13	1,38	
14	145	63	2	235	0,13	1,51	
15	130	71	2	220	0,06	1,57	
16	300	81	4	30	0,10	1,67	
17	305	80	4	35	0,05	1,72	
18	312	79		42	0,05	1,77	
19	278	75	3	8	0,04	1,81	
20	105	75	1	195	0,08	1,89	
21	140	86	2	230	0,07	1,96	
22	125	70	1	215	0,02	1,98	
23	120	60	1	210	0,06	2,04	
24	105	60	1	195	0,07	2,11	
25	280	69	3	10	0,19	2,30	
26	290	84	3	20	0,09	2,39	
27	285	55	3	15	0,69	3,08	
28	271	73	3	1	0,02	3,10	
29	94	79		184	0,06	3,16	
30	96	81		186	0,02	3,18	
31	114	75	1	204	0,05	3,23	
32	106	72	1	196	0,05	3,28	
33	113	76	1	203	0,03	3,31	
34	108	76	1	198	0,05	3,36	
35	112	81	1	202	0,05	3,41	
Family	Range						
1	105-125						
2	126-145						
3	270-290						
4	290-310						

Famili Kekar	No Kekar	Jarak	DD	D	An	Bn	As	Bs	Q	J	D		
1	20	0,00	195	75	15	15	206	0	0,94818	J20-22	0,09	J20-22	0,08999
1	22	0,09	215	70	35	20	206	0	0,92812	J22-23	-0,03	J22-23	-0,03000
1	23	0,06	210	60	30	30	206	0	0,86392	J23-24	0,01	J23-24	0,01000
1	24	0,07	195	60	15	30	206	0	0,85011	J24-31	1,05	J24-31	1,04987
1	31	1,12	204	75	24	15	206	0	0,96534	J31-32	-1,07	J31-32	-1,06985
1	32	0,05	196	72	16	18	206	0	0,93661	J32-33	-0,02	J32-33	-0,02000
1	33	0,03	203	76	23	14	206	0	0,96897	J33-34	0,02	J33-34	0,02000
1	34	0,05	198	76	18	14	206	0	0,96085	J34-35	0,00	J34-35	0,00000
1	35	0,05	202	81	22	9	206	0	0,98528			RATA	0,02500

Famili Kekar	No Kekar	Jarak	DD	D	An	Bn	As	Bs	Q	J	D		
2	4	0,00	195	75	15	15	206	0	0,94818	J4-5	0,05	J4-5	0,04999
2	5	0,05	215	70	35	20	206	0	0,92812	J5-7	0,08	J5-7	0,07999
2	7	0,13	210	60	30	30	206	0	0,86392	J7-8	0,06	J7-8	0,05999
2	8	0,19	195	60	15	30	206	0	0,85011	J8-14	0,60	J8-14	0,59992
2	14	0,79	204	75	24	15	206	0	0,96534	J14-15	-0,73	J14-15	-0,72990
2	15	0,06	196	72	16	18	206	0	0,93661	J15-21	0,33	J15-21	0,32995
2	21	0,39	203	76	23	14	206	0	0,96897		-0,39	RATA	0,19498

Famili Kekar	No Kekar	Jarak	DD	D	An	Bn	As	Bs	Q	J	D		
3	1	0,00	7	85	187	5	206	0	0,94192	J1-2	0,10	J1-2	0,09999
3	2	0,10	15	75	195	15	206	0	0,94818	J2-3	0,03	J2-3	0,03000
3	3	0,13	360	78	180	12	206	0	0,87915	J3-10	0,71	J3-10	0,70991
3	10	0,84	18	74	198	16	206	0	0,95191	J10-13	-0,65	J10-13	-0,64992
3	13	0,19	6	70	186	20	206	0	0,88302	J13-19	0,24	J13-19	0,23997
3	19	0,43	8	75	188	15	206	0	0,91865	J19-25	0,06	J19-25	0,05999
3	25	0,49	10	69	190	21	206	0	0,89742	J25-26	-0,40	J25-26	-0,39995
3	26	0,09	20	84	200	6	206	0	0,98907	J26-27	0,10	J26-27	0,09999
3	27	0,19	15	55	195	35	206	0	0,80410	J27-28	-0,17	J27-28	-0,16998
3	28	0,02	1	73	181	17	206	0	0,86671			RATA	0,01000

Famili Kekar	No Kekar	Jarak	DD	D	An	Bn	As	Bs	Q	J	D		
4	9	0,00	30	84	210	6	206	0	0,99210	J9-11	0,20	J9-11	0,19997
4	11	0,20	28	83	208	7	206	0	0,99194	J11-12	-0,16	J11-12	-0,15998
4	12	0,04	35	87	215	3	206	0	0,98633	J12-16	0,38	J12-16	0,37994
4	16	0,42	30	81	210	9	206	0	0,98528	J16-17	-0,37	J16-17	-0,36995
4	17	0,05	35	80	215	10	206	0	0,97268			RATA	0,02500

Rata-Rata	λ 15,68775
RQD	53,50765 %

Keterangan :

- DD = Dip Direction
- D = Dip Kekar
- An = $<180^\circ$: An-180⁰
 $>180^\circ$: An+180⁰
- Bn = 90⁰- D
- As = Azimuth lintasan
- Bs = Dip Scanline
- Q = Sudut Tajam

DATA PEMBORAN

Keterangan :

TP : Tanah Penutup SAP : Saprolit

LM : Limonit BD : Batuan Dasar

Nama	Koordinat		Elevasi	Dari	Ke	Zona
	x	y				
DH 03	313670	9790310	337,5	0,00	1,00	TP
			336,5	1,00	2,00	LM
			335,5	2,00	3,00	LM
			334,5	3,00	4,00	LM
			333,5	4,00	5,00	LM
			332,5	5,00	6,00	LM
			331,5	6,00	7,00	LM
			330,5	7,00	8,00	LM
			329,5	8,00	9,00	LM
			328,5	9,00	10,00	LM
			327,5	10,00	11,00	SAP
			326,5	11,00	12,00	SAP
			325,5	12,00	13,00	SAP
			324,5	13,00	14,00	SAP
			323,5	14,00	15,00	BD
322,5	15,00	16,00	BD			
321,5	16,00	17,00	BD			

Nama	Koordinat		Elevasi	Dari	Ke	Zona
	x	y				
DH 07	313670	9790410	337,5	0,00	1,00	TP
			336,5	1,00	2,00	LM
			335,5	2,00	3,00	LM
			334,5	3,00	4,00	LM
			333,5	4,00	5,00	LM
			332,5	5,00	6,00	LM
			331,5	6,00	7,00	LM
			330,5	7,00	8,00	LM
			329,5	8,00	9,00	LM
			328,5	9,00	10,00	LM
			327,5	10,00	11,00	LM
			326,5	11,00	12,00	LM
			325,5	12,00	13,00	LM
			324,5	13,00	14,00	SAP
			323,5	14,00	15,00	SAP
			322,5	15,00	16,00	SAP
			321,5	16,00	17,00	SAP
			320,5	17,00	18,00	SAP
			319,5	18,00	19,00	SAP
			318,5	19,00	20,00	SAP
317,5	20,00	21,00	SAP			
316,5	21,00	22,00	BD			
315,5	22,00	23,00	BD			
314,5	23,00	24,00	BD			

Nama	Koordinat		Elevasi	Dari	Ke	Zona
	x	y				
DH 08	313570	9790410	365	0,00	1,00	TP
			364	1,00	2,00	LM
			363	2,00	3,00	LM
			362	3,00	4,00	LM
			361	4,00	5,00	LM
			360	5,00	6,00	LM
			359	6,00	7,00	LM
			358	7,00	8,00	LM
			357	8,00	9,00	LM
			356	9,00	10,00	LM
			355	10,00	11,00	LM
			354	11,00	12,00	SAP
			353	12,00	13,00	SAP
			352	13,00	14,00	SAP
			351	14,00	15,00	SAP
			350	15,00	16,00	SAP
			349	16,00	17,00	SAP
			348	17,00	18,00	SAP
347	18,00	19,00	BD			
346	19,00	20,00	BD			