

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum Wilayah Penelitian

2.1.1 Sejarah Singkat Perusahaan

PT. Karya Sumber Alam Perkasa bergerak di bidang pertambangan dengan komoditas batuan granit, telah memiliki Izin Usaha Pertambangan Operasi Produksi Batuan sesuai dengan Keputusan Gubernur Kalimantan Barat No: 682/DISTAMBEN/2015, yang berlokasi di Desa Pandan Sembuat, Kecamatan Tayan Hulu, Kabupaten Sanggau, Provinsi Kalimantan Barat dengan luas wilayah 11,40 hektar.

Metode penambangan yang diterapkan oleh PT. Karya Sumber Alam Perkasa adalah metode kuari. PT. Karya Sumber memiliki 3 *pit* penambangan dimana *pit* 1 telah selesai dilakukan penambangan, *pit* 2 sedang dilakukan aktifitas penambangan, dan *pit* 3 dalam rencana penambangan. Berikut adalah keadaan lokasi penelitian di *pit* 2 (**Gambar 2.1**).



Sumber: PT. Karya Sumber Alam Perkasa, 2021

Gambar 2.1 Lokasi penelitian

2.1.2 Batas Wilayah Administrasi

Berdasarkan Izin Usaha Pertambangan Operasi Produksi (IUP-OP) PT. KSAP (**Gambar 2.2**), wilayah penelitian terletak di Desa Pandan Sembuat, Kecamatan Tayan Hulu, Kabupaten Sanggau, Provinsi Kalimantan Barat, Indonesia. Lokasi penelitian berada pada 110° 20' 17,82" BT dan 0° 21' 16,37" LU. Secara geografis batas-batas dari Kecamatan Tayan Hulu sebagai berikut:

- Sebelah Utara berbatasan dengan Kecamatan Kembayan.
- Sebelah Selatan berbatasan dengan Kecamatan Tayan Hilir dan Balai.
- Sebelah Timur berbatasan dengan Kecamatan Parindu dan Bonti.
- Sebelah Barat berbatasan dengan Kecamatan Jelimpo.

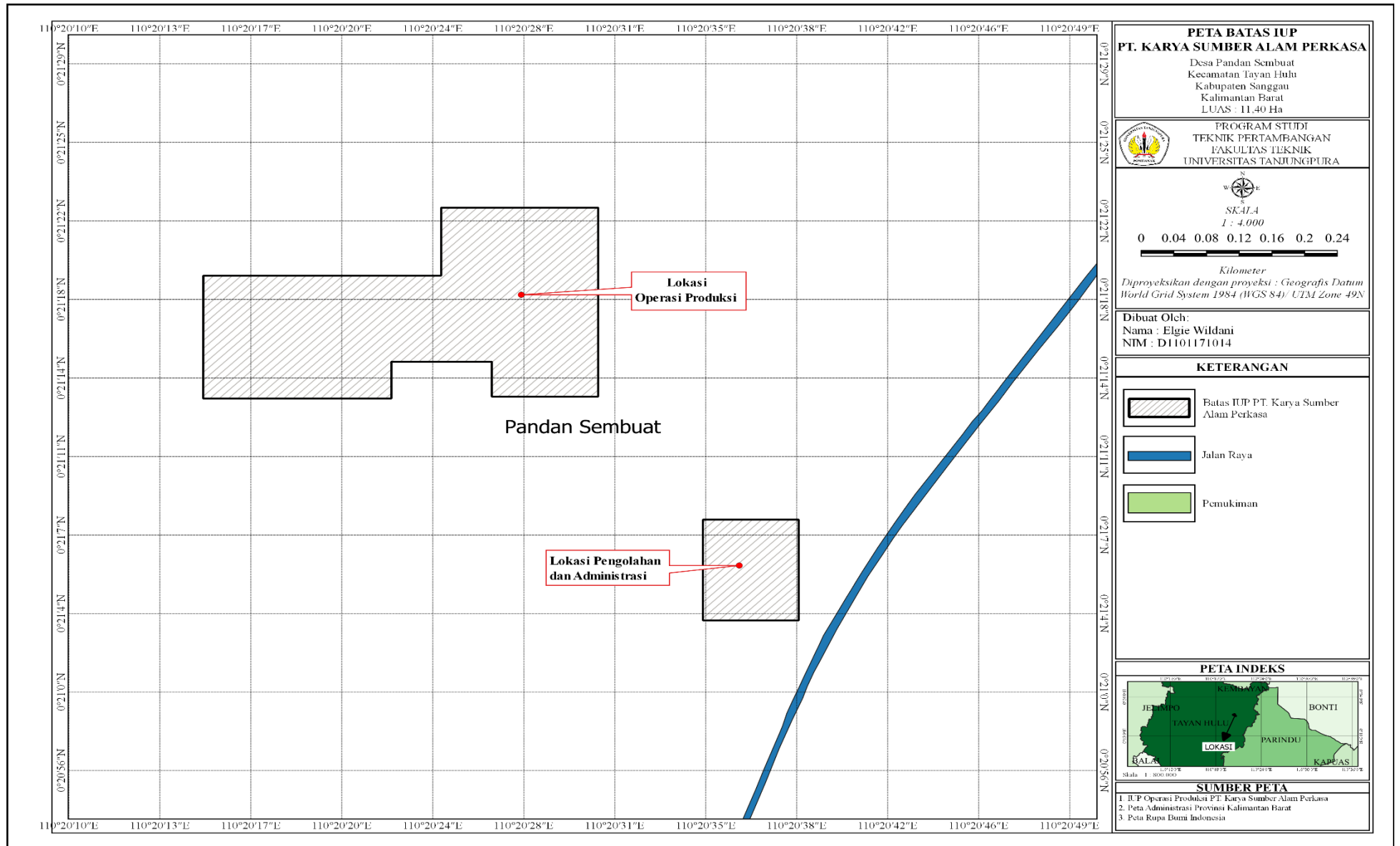
Tabel 2.1 Titik Koordinat IUP-OP PT. Karya Sumber Alam Perkasa

Titik IUP	Garis Bujur (Bujur Timur/BT)			Garis Lintang (Lintang Utara/LU)		
	Derajat	Menit	Detik	Derajat	Menit	Detik
1.	110	20	24,33	0	21	22,21
2.	110	20	30,54	0	21	22,21
3.	110	20	30,54	0	21	13,54
4.	110	20	26,33	0	21	13,54
5.	110	20	26,33	0	21	15,15
6.	110	20	22,37	0	21	15,15
7.	110	20	22,37	0	21	13,45
8.	110	20	14,92	0	21	13,45
9.	110	20	14,92	0	21	19,09
10.	110	20	24,33	0	21	19,09
11.	110	20	38,48	0	21	7,9
12.	110	20	38,44	0	21	3,28
13.	110	20	34,69	0	21	3,28
14.	110	20	34,69	0	21	7,9

Sumber: PT. Karya Sumber Alam Perkasa, 2015

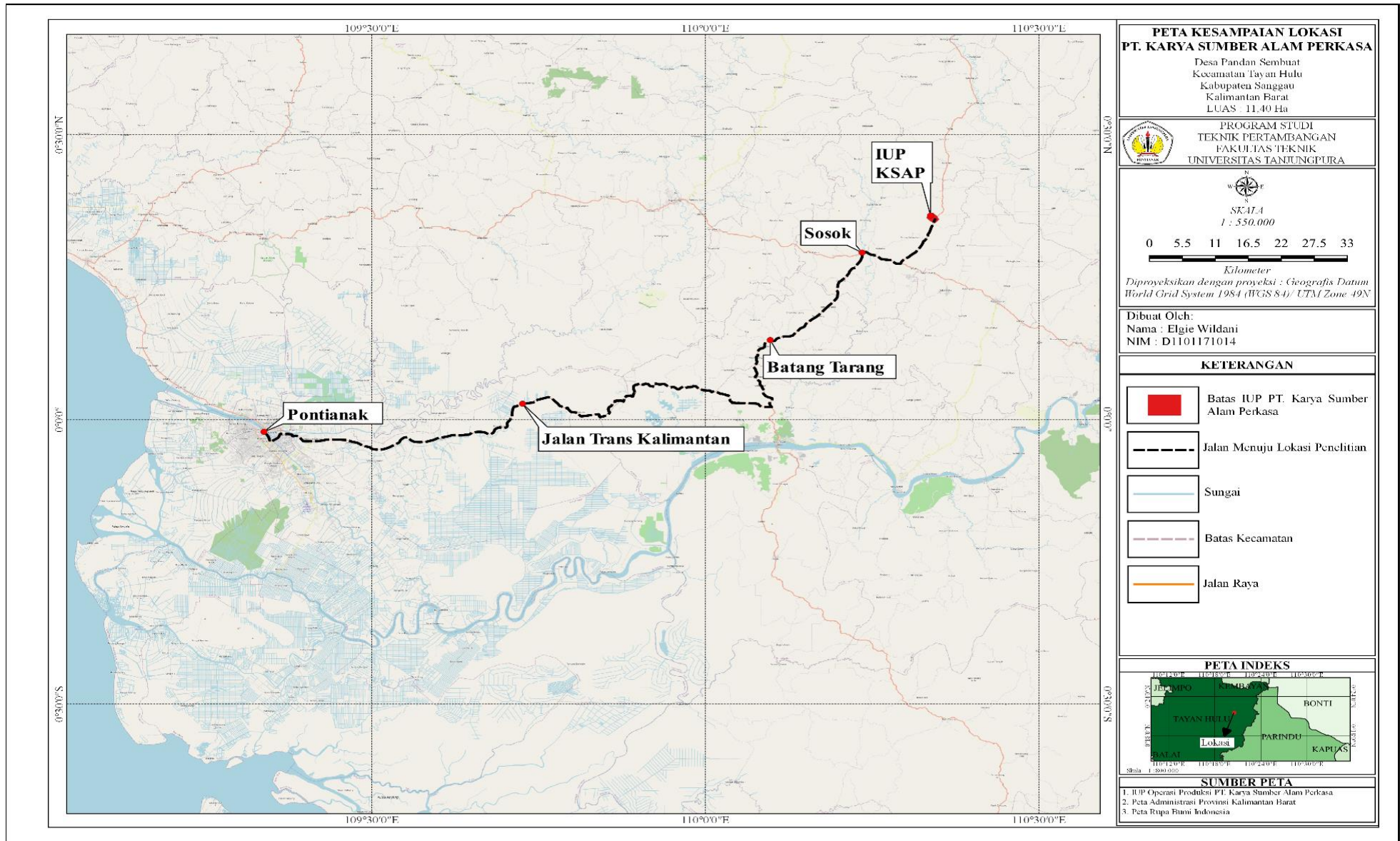
2.1.3 Kesampaian Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dapat ditempuh dari Kota Pontianak dengan jalur darat menggunakan kendaraan roda empat maupun roda dua dengan jarak tempuh ± 159 km dan waktu tempuh ± 4 jam. Jalur yang dilewati dari Kota Pontianak adalah Jalan Trans Kalimantan, Batang Tarang, dan Sosok, dapat dilihat pada **Gambar 2.3**. Kondisi jalan menuju lokasi penelitian ini merupakan jalan beraspal dan lokasi penelitian ini tidak jauh dari jalan raya.



Sumber: PT. Karya Sumber Alam Perkasa, 2015

Gambar 2.2 Peta IUP PT. Karya Sumber Alam Perkasa



Sumber: PT. Karya Sumber Alam Perkasa, 2015

Gambar 2.3 Peta kesampaian lokasi penelitian

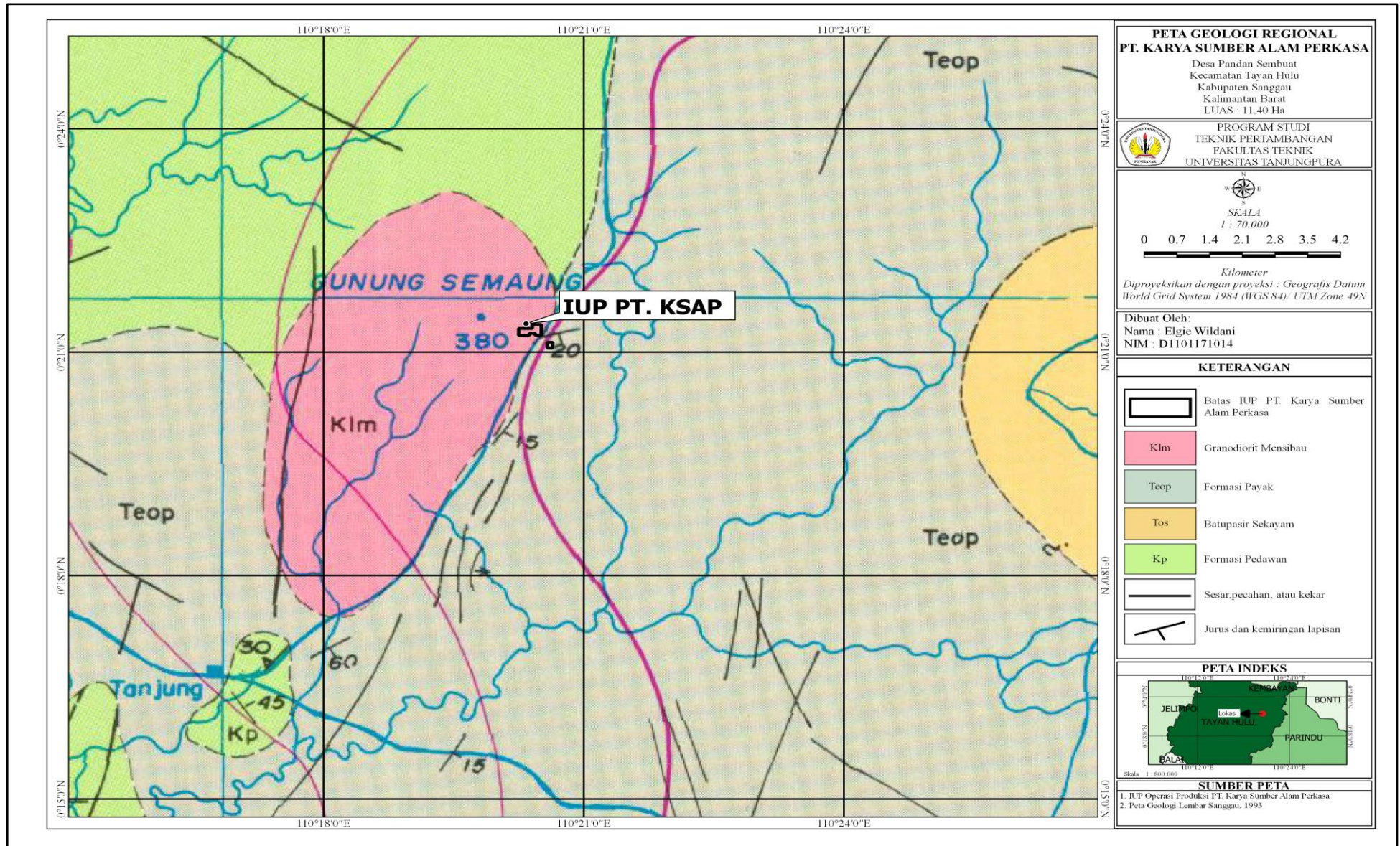
2.1.4 Kondisi Geologi

a) Geologi regional

1) Fisiografi

Karakteristik fisik wilayah Kabupaten Sanggau dicirikan dengan kelompok perbukitan dan pegunungan yang terpisah-pisah serta beberapa dataran rendah. Perbukitan dan pegunungan tersebut tersusun atas batupasir tersier yang relatif keras dan batuan granitan. Perbukitan yang lebih landai tersusun atas sedimen mesozoikum lempungan. Dataran rendah umumnya terbentuk dibagian sumbu cekungan tersier.

Perbukitan dan pegunungan tersebut diantaranya Dataran Tinggi Raya, Dataran Tinggi Kayan, Dataran Tinggi Embuoi, Dataran Tinggi Embuoi, Perbukitan Behe, Perbukitan Landak, Perbukitan Kembayan, Perbukitan Jambu, Perbukitan Sekayam, Punggungan Sosok, dan Punggungan Serian. Dataran rendah antara lain Dataran Rendah Kapuas di bagian Selatan dan Dataran Rendah Ketungau di bagian Timur laut. Di antara punggungan yang terpenting adalah Punggungan Sosok yang berarah Utara – Selatan di bagian tengah Kabupaten Sanggau. Punggungan ini memisahkan Kabupaten Sanggau menjadi dua bagian dan merupakan batas barat dari Cekungan Melawi yang berumur Tersier.



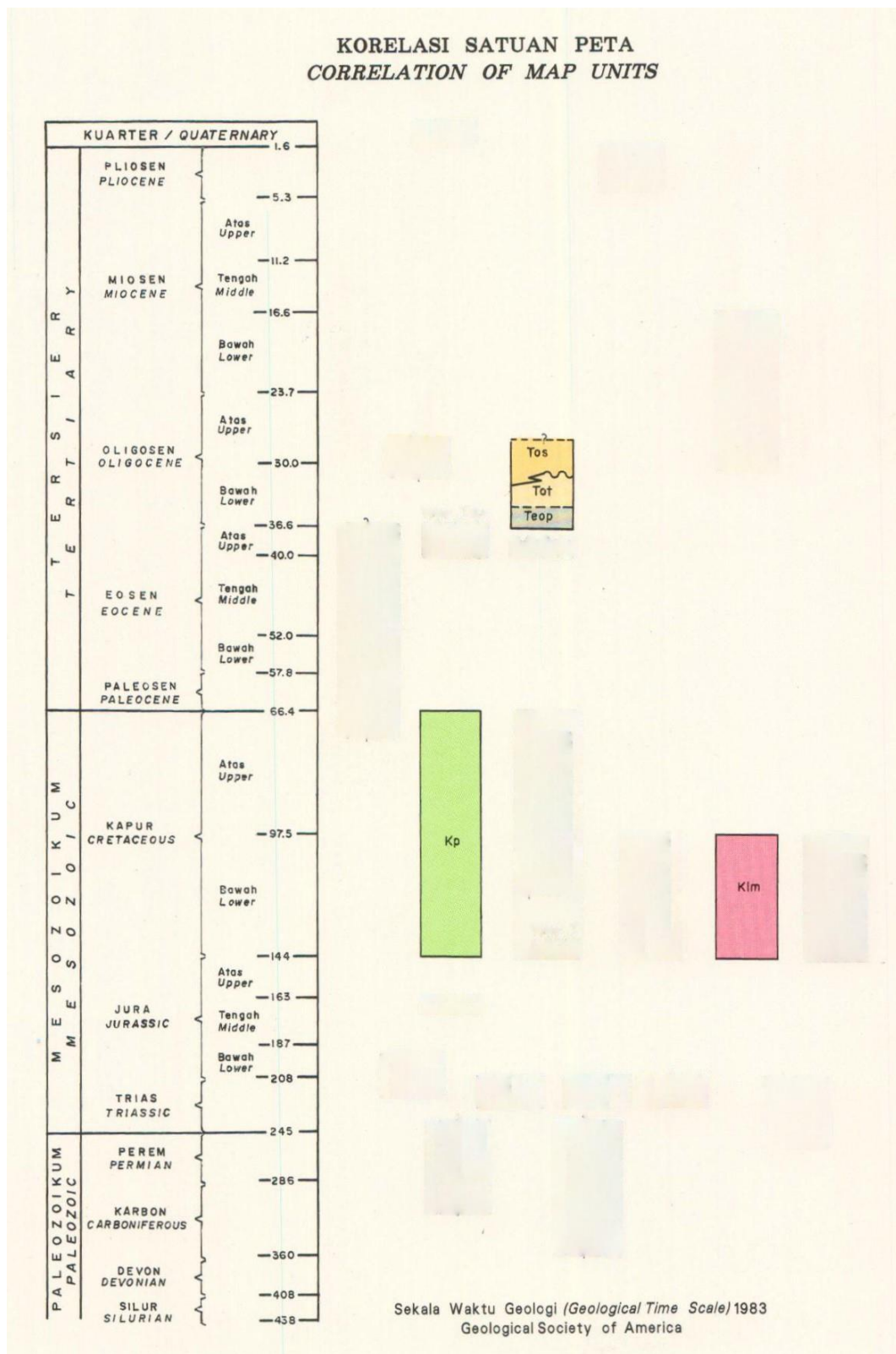
Sumber: Supriatna dkk, 1993

Gambar 2.4 Peta geologi regional sanggau

2) Stratigrafi

Batuan penyusun Kabupaten Sanggau terdiri atas batuan-batuan berumur paleozoikum, mesozoikum, dan tersier. Berdasarkan Peta Geologi Regional Sanggau dengan skala 1:70.000 (**Gambar 2.4**), stratigrafi regional wilayah penelitian berturut-turut dari tua ke muda adalah sebagai berikut (**Gambar 2.5**):

1. Formasi Pedawan (Kp)
Tersusun atas serpih, serpih sabakan, batulumpur karbonan, batulanau, batupasir, setempat gampingan, sedikit batugamping, dan tufa. Formasi ini mengandung fosil. Formasi Pedawan diperkirakan berumur Kapur.
2. Granodiorit Mensibau (Klm)
Tersusun atas granodiorit, diorit kuarsa, granit biotit-hornblenda, dan tonalit. Granodiorit Mensibau menerobos Batuan Gunungapi Raya dan diperkirakan berumur Kapur bawah.
3. Formasi Payak (Teop)
Tersusun atas litarenit tufaan berfelspar berlapis tebal berselingan dengan batulumpur dan batulanau. Formasi ini mengandung fosil. Formasi ini tak selaras dan tersesarkan di atas Formasi Ingar, Batupasir Dangan, Serpih Silat, dan Kelompok Selangkai. Formasi Payak diperkirakan berumur Eosen atas dan diendapkan di lingkungan darat, danau, laguna, dan laut dangkal.
4. Batupasir Sekayam (Tos)
Tersusun atas arenit litos pejal sampai berlapis tebal, dan berselingan dengan batulumpur. Formasi ini menindih selaras Formasi Tebidah dan tak selaras di atas Formasi Payak. Batupasir Sekayam diperkirakan berumur Oligosen dan diendapkan di lingkungan sungai.



Sumber: Supriatna dkk, 1993

Gambar 2.5 Skala waktu geologi

3) Struktur Geologi

Kondisi struktur geologi regional Kabupaten Sanggau terdapat adanya sesar dan kekar. Terbentuknya struktur geologi tersebut dikarenakan formasi batuan yang saling menerobos sehingga membentuk kontak sesar dan kekar. Formasi batuan yang saling menerobos yaitu Granodiorit Mensibau menerobos Batuan Gunungapi Raya dan Formasi Payak tak selaras serta tersesarkan di atas Formasi Ingar, Batupasir Dangan, Serpih Silat, dan Kelompok Selangkai.

b) Geologi lokal

1) Fisiografi

Karakteristik wilayah penelitian dicirikan oleh kelompok perbukitan dan pegunungan yang terpisah-pisah serta beberapa dataran rendah. Wilayah penelitian berada di Gunung Semaung dan sekitarnya adalah dataran rendah.

2) Stratigrafi

Berdasarkan Peta Geologi Lokal dengan skala 1:2.500 (**Gambar 2.6**), stratigrafi yang menempati Wilayah Izin Usaha Pertambangan (WIUP) penelitian (**Gambar 2.5**) berturut-turut dari tua ke muda adalah sebagai berikut:

1. Granodiorit Mensibau (Klm)

Tersusun atas granodiorit, diorit kuarsa, granit biotit-hornblenda, dan tonalit. Granodiorit Mensibau menerobos Batuan Gunungapi Raya dan diperkirakan berumur Kapur bawah.

2. Formasi Payak (Teop)

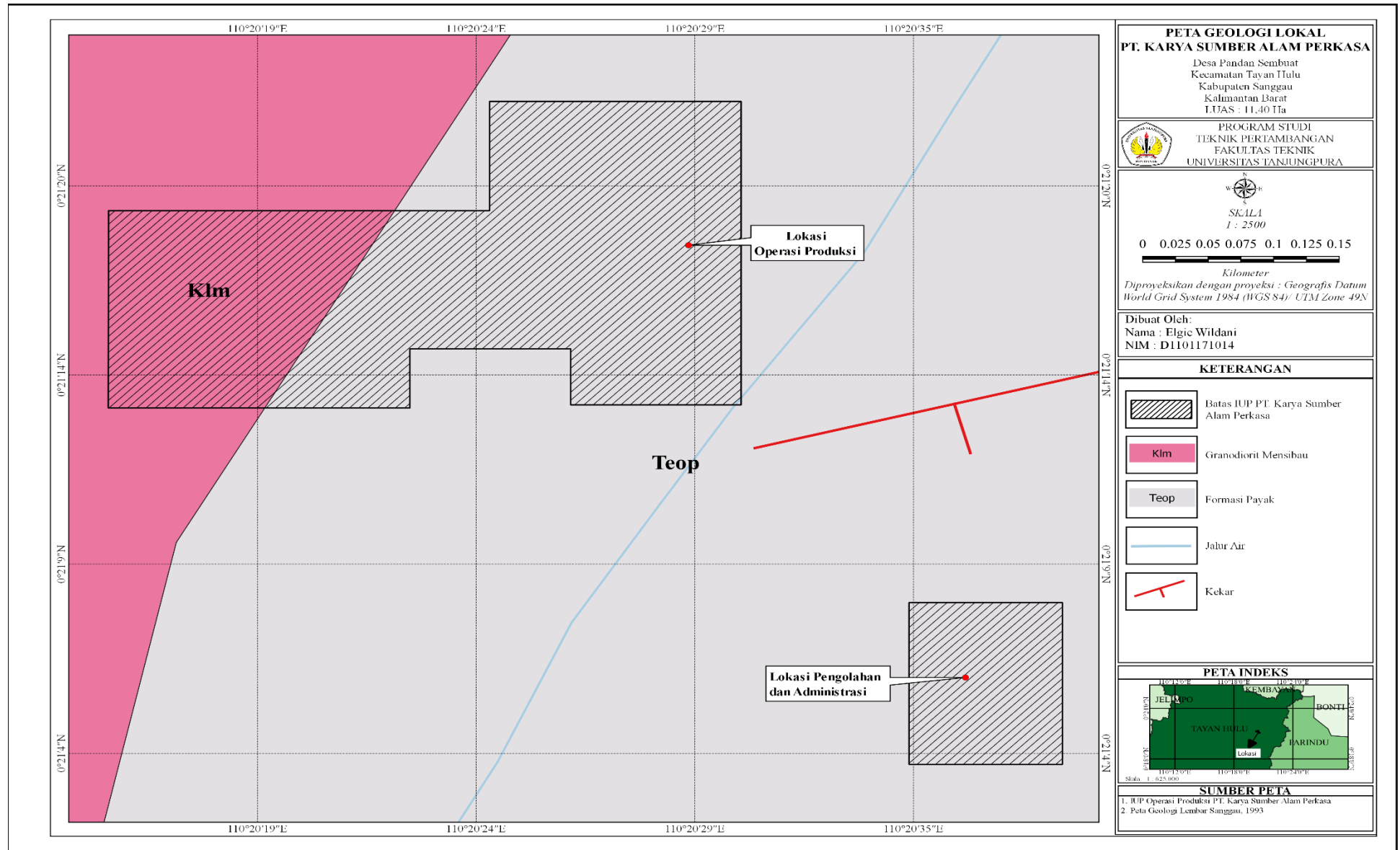
Tersusun atas litarenit tufaan berfelspar berlapis tebal berselingan dengan batulumpur dan batulanau. Formasi ini mengandung fosil. Formasi ini tak selaras dan tersesarkan di atas Formasi Ingar, Batupasir Dangan, Serpih Silat, dan Kelompok Selangkai. Formasi Payak diperkirakan berumur Eosen atas dan diendapkan di lingkungan darat, danau, laguna, dan laut dangkal.

3) Struktur Geologi

Wilayah Izin Usaha Pertambangan (WIUP) penelitian terletak di Gunung Semaung. Kondisi struktur geologi di wilayah penelitian tersebut diperkirakan adanya kekar (**Gambar 2.6**). Hal tersebut dikarenakan di wilayah penelitian terdapat Formasi Payak yang mana formasi ini tak selaras dan tersesarkan di atas Formasi Ingar, Batupasir Dangkan, Serpih Silat, dan Kelompok Selangkai.

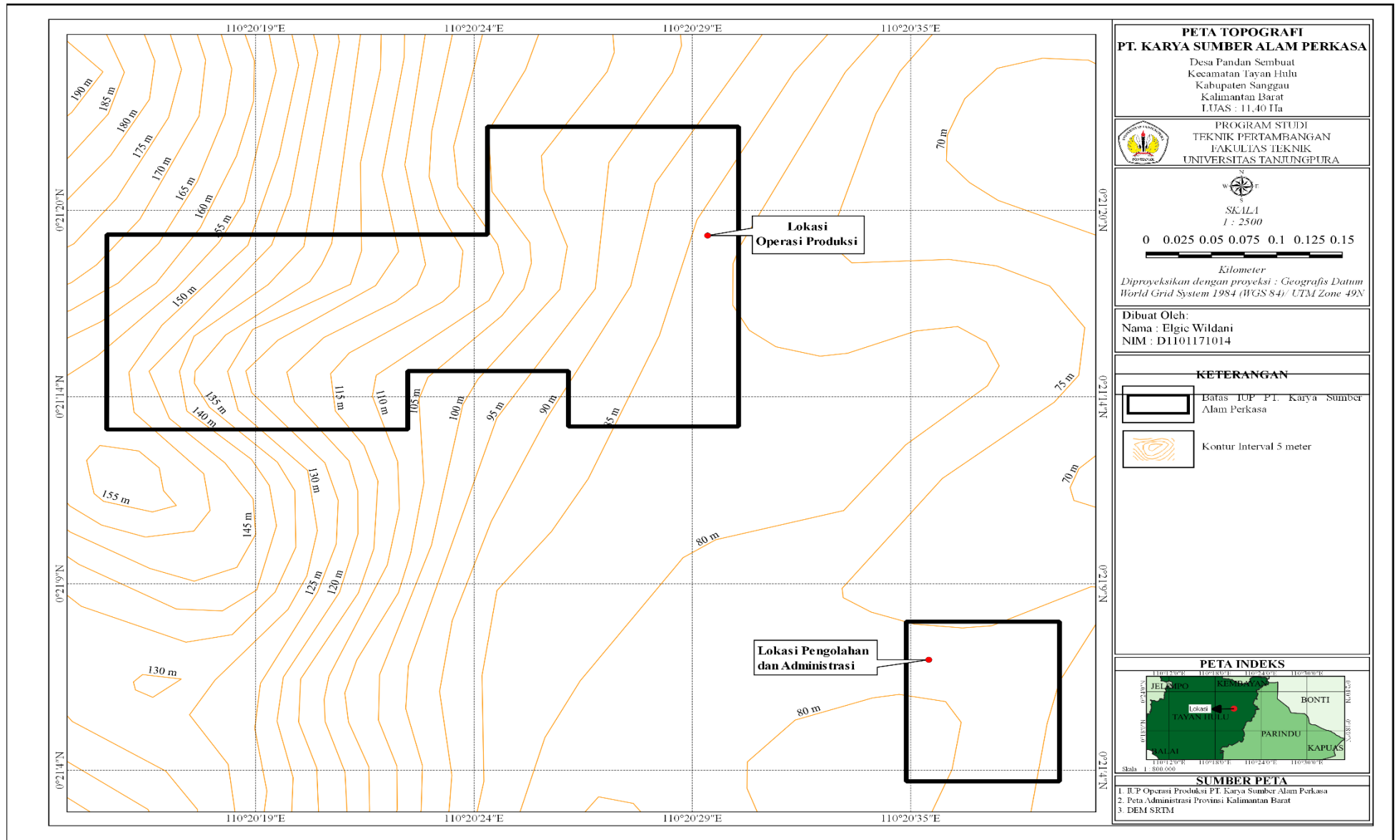
2.1.5 Topografi

Wilayah penelitian pada umumnya merupakan daerah dataran tinggi yang berbukit dan berawa-rawa yang dialiri oleh aliran sungai. Wilayah penelitian ini melakukan kegiatan penambangan batu granit di Gunung Semaung. Ketinggian wilayah penelitian antara 70-175 meter di atas permukaan laut, dapat dilihat pada **Gambar 2.7**.



Sumber: PT. Karya Sumber Alam Perkasa, 2015

Gambar 2.6 Peta geologi lokal



Sumber: PT. Karya Sumber Alam Perkasa, 2015

Gambar 2.7 Peta topografi

2.2 Kajian Teori

2.2.1 Batuan Granit

Granit merupakan batuan kristal masif dengan ukuran kristal lebih dari 1 milimeter. Batuan granit berasal dari pendinginan magma di dalam bumi disebut juga dengan batuan plutonik. Batuan granit berwarna putih sampai abu-abu yang mencerminkan komposisi kimianya, yaitu kaya silika dan sedikit besi. Pada prinsipnya komposisi mineral batuan granit terbuat dari kuarsa, alkali feldspar, plagioklas, dan terkadang mika putih (warna terang mineral), biotit, terkadang *amphibole*, *klinopyroxene*, atau *orthopyroxene* (warna gelap mineral) (Nedelec dan Bouchez, 2014).

Granit merupakan batuan beku yang bersifat asam dengan kandungan silika (SiO_2) > 65%, kandungan mineral mafik 0-30% dengan indeks warna leucocratic. Relasi dari batuan granit adalah termasuk dalam panidiomorfik granular. Panidiomorfik granular, yaitu sebagian besar mineral berukuran seragam dan euhedral. Bentuk butir euhedral merupakan penciri mineral-mineral yang terbentuk paling awal, hal ini dimungkinkan mengingat ruangan yang tersedia masih sangat luas sehingga mineral-mineral tersebut sampai membentuk kristal secara sempurna (Harjanto dkk, 2009).



Sumber: Bajili dkk, 2014

Gambar 2.8 Batuan granit

2.2.2 Kestabilan Lereng

Lereng merupakan permukaan yang membentuk sudut tertentu terhadap bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alami maupun buatan manusia (Arief, 2007).

1. Lereng alami

Lereng alami merupakan lereng yang terbentuk karena proses demodasi. Contoh dari lereng alami yaitu lereng pada suatu bukit atau gunung dan tebing sungai.

2. Lereng buatan

Lereng buatan adalah lereng yang terbentuk akibat aktivitas manusia misalnya pada penggalian suatu tambang atau konstruksi galian pada pekerjaan teknik sipil.

Menurut jenis material penyusunnya, terdapat dua macam lereng, yaitu lereng tanah dan lereng batuan, walaupun sering yang dijumpai pada lereng tambang selalu merupakan gabungan dari material tanah dan batuan. Dalam analisis dan penentuan jenis tindakan pengamanannya, lereng tanah tidak dapat disamakan dengan lereng batuan karena parameter material dan jenis penyebab longsor pada kedua material pembentuk lereng tersebut sangat jauh berbeda (Romana, 1993).

Tiga pendekatan utama untuk menganalisis kestabilan lereng adalah pendekatan mekanika batuan, mekanika tanah, dan pendekatan yang memakai kombinasi keduanya. Beberapa metode analisis kemantapan yang dapat digunakan antara lain metode analitik, metode grafik, metode stereonet, metode keseimbangan batas, metode numerik, metode probabilistik, teori blok maupun sistem pakar serta metode pemodelan fisik (laboratorium) (Arif, 2016).

Secara umum untuk menyatakan kestabilan suatu lereng batuan adalah dengan faktor keamanan. Faktor keamanan adalah perbandingan antara gaya penahan yang membuat lereng tetap stabil dengan gaya penggerak yang menyebabkan terjadinya longsor. Secara matematis faktor kestabilan lereng dinyatakan sebagai berikut:

$$F = R / F_p \dots\dots\dots (2.1)$$

Di mana:

F = Faktor kestabilan lereng

R = Gaya penahan, berupa resultan gaya-gaya yang membuat lereng tetap stabil

F_p = Gaya penggerak, berupa resultan gaya-gaya yang menyebabkan longsor

Menurut Bowles (1984) apabila harga FK suatu lereng >1,25, yang berarti gaya penahan lebih besar daripada gaya penggerak, maka lereng tersebut berada dalam keadaan stabil. Tetapi, jika nilai kestabilan lerengnya $1,07 < FK < 1,25$, maka lereng tersebut berada dalam keadaan kritis. Namun, bila nilai $FK < 1,07$, yang artinya gaya penahan lebih kecil daripada gaya penggerak, maka lereng tersebut berada dalam keadaan tidak stabil dan rawan terjadi longsor (**Tabel 2.2**).

Tabel 2.2 Klasifikasi Faktor Keamanan

FK	Kondisi
FK < 1,07	Labil (longsor biasa terjadi)
$1,07 < FK < 1,25$	Kritis (longsor pernah terjadi)
FK > 1,25	Stabil (longsor jarang terjadi)

Sumber: Bowles, 1984

2.2.3 Faktor-faktor Kestabilan Lereng

Kestabilan suatu lereng dipengaruhi oleh beberapa faktor, sebagai berikut (Moshab, 1997 dalam Arif, 2016):

1) Geometri lereng

Geometri lereng yang terdiri dari kemiringan dan ketinggian lereng sangat mempengaruhi kestabilan suatu lereng. Semakin besar kemiringan dan ketinggian lereng, maka semakin besar perubahan tegangan yang dapat menyebabkan konsentrasi tegangan pada kaki lereng. Semakin besarnya geometri, maka ketersingkapannya struktur pun akan semakin besar sehingga

menyebabkan terjadinya kelongsoran blok batuan. Selain itu, kegiatan penimbunan dan pemotongan lereng akan menyebabkan penambahan dan pengurangan beban sehingga kestabilan material berubah (Sujiman, 2016). Geometri lereng yang dapat mempengaruhi kestabilan lereng meliputi tinggi lereng dan kemiringan lereng, baik itu lereng tunggal (*single slope*) maupun lereng keseluruhan (*overall slope*).

Lereng yang terlalu tinggi akan cenderung lebih mudah longsor dibandingkan dengan lereng yang tidak terlalu tinggi dan dengan jenis batuan penyusun yang sama atau homogen. Demikian pula dengan sudut lereng, semakin besar sudut kemiringan lereng, maka lereng tersebut akan semakin tidak stabil (Bonaventura, 2013).

2) Sifat fisik dan mekanik batuan

Sifat fisik batuan yang mempengaruhi kestabilan lereng adalah bobot isi (*density*), porositas, dan kandungan air. Sifat fisik batuan untuk kepentingan penelitian geoteknik antara lain (Arif, 2016):

a) Bobot isi asli (*natural density*), merupakan perbandingan berat batuan asli dengan volume total batuan.

$$\text{Rumus: } \frac{W_n}{W_n - W_s} \dots\dots\dots (2.2)$$

b) Bobot isi kering (*dry density*), merupakan perbandingan berat batuan kering dengan volume total batuan.

$$\text{Rumus: } \frac{W_o}{W_w - W_s} \dots\dots\dots (2.3)$$

c) Bobot isi jenuh (*saturated density*), merupakan perbandingan berat batuan jenuh dengan volume batuan.

$$\text{Rumus: } \frac{W_w}{W_w - W_s} \dots\dots\dots (2.4)$$

d) Berat jenis semu (*apparent specific*), merupakan perbandingan bobot isi kering dengan bobot isi air.

$$\text{Rumus: } \frac{\frac{W_o}{W_w - W_s}}{\text{Bobot isi air}} \dots\dots\dots (2.5)$$

- e) Berat jenis asli (*true specific gravity*), merupakan perbandingan bobot isi jenuh batuan dengan bobot air.

$$\text{Rumus: } \frac{\frac{W_o}{W_o - W_s}}{\text{Bobot isi air}} \dots\dots\dots (2.6)$$

- f) Kadar air asli (*natural water content*), merupakan perbandingan antara berat air dalam batuan asli dengan berat butiran batuan dan dinyatakan dalam persen (%).

$$\text{Rumus: } \frac{W_n - W_o}{W_o} \times 100\% \dots\dots\dots (2.7)$$

- g) Kadar air jenuh (*saturated water content*), merupakan perbandingan antara berat air dalam batuan jenuh dengan berat butiran batuan dan dinyatakan dalam persen (%).

$$\text{Rumus: } \frac{W_w - W_o}{W_o} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

- h) Derajat kejenuhan (*degree of saturation*), merupakan perbandingan kadar air asli dan kadar air jenuh dinyatakan dalam persen (%).

$$\text{Rumus: } \frac{W_n - W_o}{W_w - W_o} \times 100\% \dots\dots\dots (2.9)$$

- i) Porositas (*n*), merupakan perbandingan volume rongga dalam batuan dengan volume total batuan.

$$\text{Rumus: } \frac{W_w - W_o}{W_w - W_s} \times 100\% \dots\dots\dots (2.10)$$

- j) *Void ratio* (*e*), merupakan perbandingan volume rongga dalam batuan dengan volume butiran batuan.

$$e = \frac{n}{1-n} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan :

W_n : Berat perconto asli (*natural*)

W_o : Berat perconto kering

W_w : Berat perconto jenuh

W_s : Berat perconto jenuh tergantung dalam air

$(W_o - W_s)$: Volume perconto tanpa pori-pori

$(W_w - W_s)$: Volume perconto total

Sifat mekanik batuan yang mempengaruhi kestabilan lereng, yaitu kuat tekan, kuat tarik, kohesi, dan sudut geser dalam. Penentuan sifat mekanik dapat dilakukan pada batuan in situ maupun di laboratorium. Dalam **Tabel 2.3** dan **Tabel 2.4** diberikan ringkasan mengenai jenis uji laboratorium dan uji pada batuan in-situ untuk mendapatkan parameter mekanik batuan dan penggunaan parameter tersebut.

Tabel 2.3 Jenis Uji Sifat Mekanik In-Situ

Jenis Uji	Parameter yang diperoleh	Penggunaan
Uji beban batuan	- Parameter deformasi - Parameter kekuatan	- Kemantapan lubang bukaan - Kemantapan lereng
Uji geser blok	- Selubung kekuatan batuan - Kohesi (c) - Sudut geser dalam (ϕ)	- Kemantapan lubang bukaan - Kemantapan lereng
Uji triaksial in-situ	- Modulus young (E)	- Kemantapan lubang bukaan - Kemantapan lereng

Sumber: Rai dkk, 2011

Tabel 2.4 Jenis Uji Sifat Mekanik di Laboratorium

Jenis Uji	Parameter yang diperoleh	Penggunaan
Uji kuat tekan	- Kuat tekan (σ_c) - Batas elastic (σ_E) - Modulus young (E) - Nisbah poison (ν)	- Rancangan pilar - Kemantapan lubang bukaan - Kemantapan fondasi - Kemantapan lereng
Uji kuat tarik tak langsung	- Kuat tarik (σ_t)	- Rancangan penguatan atap terowongan
Uji <i>point load</i>	- Indeks <i>point load</i> (Is) - Kuat tekan (σ_c)	- Mengetahui kekuatan batuan secara cepat
Uji triaksial	- Selubung kekuatan batuan - Kohesi (c) - Sudut geser dalam (ϕ)	- Kemantapan lereng - Kemantapan fondasi - Kemantapan lubang bukaan
Uji <i>punch shear</i>	- Kuat geser	- Kemantapan lereng - Kemantapan bendungan
Uji geser langsung	- Garis kuat geser Coulomb - Kohesi (c)	- Kemantapan lereng - Kemantapan fondas

Jenis Uji	Parameter yang diperoleh	Penggunaan
	- Sudut geser dalam (ϕ)	- Kemantapan lubang bukaan
Uji kecepatan rambat gelombang ultra sonic	- Kecepatan rambat gelombang tekan (V_p) - Kecepatan rambat gelombang geser (V_s) - Modulus elastisitas dinamik (E) - Nisbah poisson dinamik (ν)	- Rancangan penggalian

Sumber: Rai dkk, 2011

3) Struktur geologi dan karakteristiknya

Struktur geologi yang mempengaruhi kestabilan lereng, sebagai berikut:

a) Sesar (*fault*)

Sesar merupakan suatu rekahan yang memperlihatkan pergeseran cukup besar dan sejajar terhadap bidang rekahan yang terbentuk. Pergeseran pada sesar dapat terjadi sepanjang garis lurus (translasi). Kenampakan sesar di lapangan dapat diidentifikasi dengan petunjuk sebagai berikut:

- Adanya struktur yang tidak menerus.
- Adanya perulangan lapisan atau hilangnya lapisan batuan.
- Kenampakan khas pada zona sesar, seperti seretan (*drag*), breksi sesar, *horses*, milonit, atau *lices*.
- Kenampakan khas pada bidang sesar, seperti cermin sesar atau gores garis.
- Silifikasi dan mineralisasi sepanjang zona sesar.
- Petunjuk fisiografi, seperti gawir (*scarp*), *triangular facet*, *scarplets*, dan terpotongnya bagian depan rangkaian pegunungan struktural.
- Adanya lapisan batuan yang terpotong-potong akibat sesar (*boundins*).
- Perbedaan fasies sedimen.



Sumber: Noor, 2012

Gambar 2.9 Sesar

b) Kekar (*joint*)

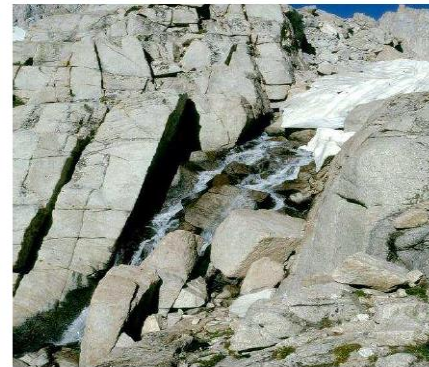
Kekar adalah struktur retakan/rekahan terbentuk pada batuan akibat suatu gaya yang bekerja pada batuan tersebut dan belum mengalami pergeseran. Secara umum kekar dicirikan oleh (Noor, 2012):

- Pemotongan bidang perlapisan batuan
- Biasanya terisi mineral lain (mineralisasi) seperti kalsit, kuarsa, dsb.
- Kenampakan breksiasi



Sumber: Noor, 2012

(a)



(b)

Gambar 2.10 Kekar jenis (a) kekar gerus dan (b) kekar tensional

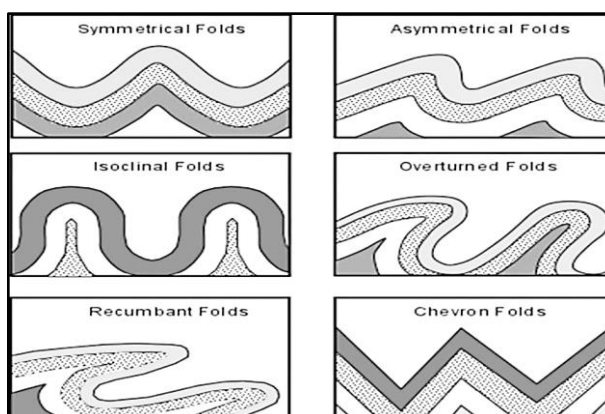
c) Lipatan (*fold*)

Lipatan adalah deformasi lapisan batuan yang terjadi akibat dari gaya tegasan yang membentuk lengkungan. Mekanisme gaya yang menyebabkan lipatan ada dua, sebagai berikut (Prastistho, 2016):

- *Beding* (pelengkungan), disebabkan oleh gaya tekan yang arahnya tegak lurus permukaan lempeng.
- *Buckling* (melipat), disebabkan oleh gaya tekan yang arahnya sejajar dengan permukaan lempeng.

Klasifikasi lipatan berdasarkan bentuk penampangnya (Billings, 1972):

- Symmetrical Fold*, merupakan lipatan di mana bidang aksialnya vertikal.
- Asymmetrical Fold*, merupakan lipatan di mana bidang aksialnya berbentuk condong.
- Isoclinal Fold*, merupakan lipatan di mana kedudukan bidang sumbunya dan kedua sayapnya relatif sejajar.
- Overtured Fold*, merupakan lipatan di mana bidang aksialnya condong dan kedua sayapnya miring ke arah yang sama pada sudut yang berbeda.
- Recumbant Fold*, merupakan lipatan di mana bidang aksialnya horizontal.
- Chevron Fold*, merupakan lipatan menyudut atau sendinya tajam, dan sayap lipatannya merupakan bidang planar.



Sumber: Billings, 1972

Gambar 2.11 Macam-macam lipatan

4) Keadaan hidrologi dan hidrogeologi pada lereng

Keberadaan air, terutama air tanah (*groundwater*) sangat mempengaruhi kestabilan suatu lereng. Kandungan air tanah memberikan tambahan beban pada lereng. Pengaruh air tanah terhadap kestabilan lereng yaitu adanya tekanan ke atas dari air pada bidang-bidang lemah yang secara efektif mengurangi kuat tarik dan mempercepat proses pelapukan dari batuan (Sujiman, 2016).

5) Gaya-gaya luar (faktor eksternal)

Gaya-gaya dari luar dapat mempengaruhi kestabilan lereng yaitu, getaran yang diakibatkan oleh gempa, peledakan, pembebanan, dan lain-lain (Sujiman, 2016).

6) Iklim

Iklim berpengaruh terhadap kestabilan lereng karena mempengaruhi perubahan temperatur. Temperatur yang sangat cepat berubah dalam waktu yang singkat akan mempercepat proses pelapukan batuan (Sujiman, 2016).

2.2.4 Konsep Massa Batuan dan Bidang Diskontinu

a) Massa batuan

Massa batuan merupakan volume batuan yang terdiri dari material batuan berupa mineral, tekstur, dan komposisi dan juga terdiri dari bidang-bidang diskontinu, membentuk suatu material dan saling berhubungan dengan semua elemen sebagai satu kesatuan. Kekuatan massa batuan sangat dipengaruhi oleh frekuensi bidang-bidang diskontinu yang terbentuk. Oleh sebab itu, massa batuan akan mempunyai kekuatan yang lebih kecil bila dibandingkan dengan batuan utuh. Massa batuan adalah batuan insitu yang dijadikan diskontinu oleh sistem struktur seperti kekar, sesar dan bidang perlapisan (Hoek dan Bray, 1981).

Sistem klasifikasi massa batuan sering menggunakan lebih dari dua parameter, tetapi tergantung juga kepada kepentingannya. Menurut beberapa

pihak termasuk Bieniawski, bahwa klasifikasi massa batuan dibuat untuk memenuhi kepentingan berikut (Bieniawski, 1989):

1. Mengidentifikasi parameter terpenting yang mempengaruhi perilaku massa batuan.
2. Membagi formasi massa batuan ke dalam grup yang mempunyai perilaku sama menjadi kelas massa batuan.
3. Memberikan dasar untuk pengertian karakteristik dari setiap kelas massa batuan.
4. Menghubungkan pengalaman atas pengamatan suatu kondisi massa batuan di satu lokasi dengan lokasi lainnya.
5. Mengambil data kuantitatif dan pedoman untuk rancangan rekayasa (*engineering design*).

Parameter yang dapat menunjukkan kualitas massa batuan sebelum penggalan dilakukan adalah *Rock Quality Designation* (RQD) yang dikembangkan pertama kali tahun 1967 (Deere dan Deere, 1967) yang mana datanya diperoleh dari pengeboran eksplorasi dalam bentuk inti bor yang merupakan wakil massa batuan yang berbentuk silinder.

RQD dihitung dari persentasi bor inti yang diperoleh dengan panjang minimum 10 cm dan jumlah potongan inti bor tersebut, adapun perhitungannya sebagai berikut:

$$\text{RQD} = \frac{\text{Panjang total bor inti} \geq 0.10 \text{ m}}{\text{Panjang total bor (m)}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.12)$$

Bila bor inti tidak tersedia, RQD dapat dihitung secara tidak langsung dengan cara melakukan pengukuran orientasi dan jarak antar diskontinuitas pada singkapan batuan. Persamaan untuk menentukan RQD dari data garis bentang (*scanline*) sebagai berikut (Priest, 1993):

$$\text{RQD} = 100 e^{-0,1\lambda} (0,1 \lambda + 1) \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan,

$$\lambda = \frac{1}{\text{jarak spasi kekar rata-rata sebenarnya}}$$

Keterangan:

e = Nilai distribusi eksponensial negatif (2,7182818284)

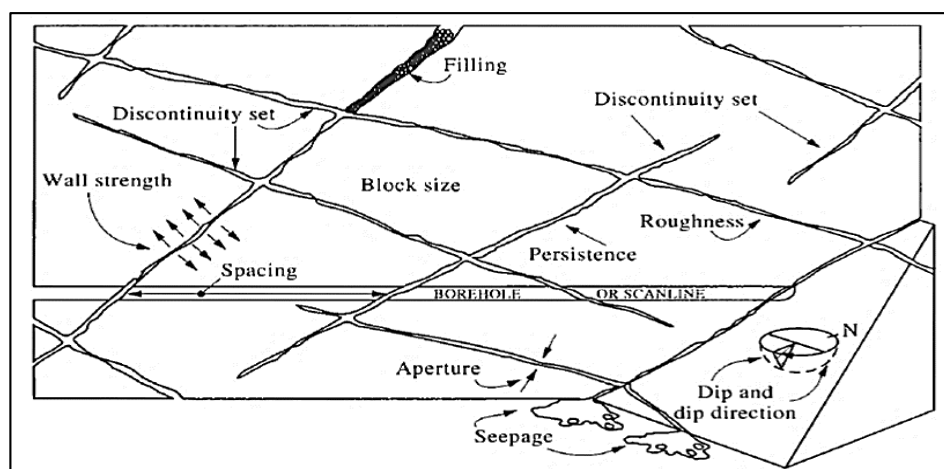
λ = Frekuensi bidang diskontinu yang terdapat pada sebuah lereng batuan

Perhitungan λ dilakukan dengan cara membagi jumlah kekar yang terdapat pada lereng terhadap panjang *scanline* pengukuran.

b) Bidang diskontinu

Bidang diskontinu adalah setiap bidang lemah yang terjadi pada bagian yang memiliki kuat tarik paling lemah dalam batuan (Priest, 1993). Bidang diskontinu terjadi karena perubahan tegangan (*stress*), temperatur, regangan (*strain*), mineralisasi dan rekristalisasi yang terjadi pada massa batuan dalam waktu yang panjang (Gabrielsen, 1990).

Terdapat dua tipe diskontinuitas yang dapat dibedakan, antara lain *integral discontinuities*, yakni diskontinuitas yang belum memiliki bukaan sebagai akibat dari gaya luar atau pelapukan. Diskontinuitas ini memiliki nilai *tensile strength* yang kecil. Bidang perlapisan, bidang foliasi dan kekar yang tersementasi kuat termasuk dalam *integral discontinuities*. Diskontinuitas tipe kedua adalah *mechanical discontinuities*, yakni diskontinuitas yang memiliki bukaan sebagai akibat respon terhadap gaya dari luar atau pelapukan. Diskontinuitas tipe ini tidak memiliki *tensile strength* tapi menghasilkan *shear strength*. Bidang perlapisan, bidang foliasi, *schistosity*, kekar, *fractures*, *shears* dan sesar termasuk dalam *mechanical discontinuities* (Price, 2007). Komponen yang ada pada bidang diskontinu dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Sumber: Hudson dan Harrison, 1997

Gambar 2.12 Parameter-parameter utama dalam survei diskontinuitas

Parameter-parameter yang menentukan karakteristik diskontinuitas adapun sebagai berikut:

1. Kekasaran (*roughness*) bidang diskontinu

Kekasaran berfungsi sebagai pengunci permukaan bidang kekar, yang mana semakin kasar bidang batuan maka semakin kecil kuat geser bidang pada massa batuan, sehingga pergerakan bidang batuan akan berkurang.

2. Bukaannya (*aperture*) bidang diskontinu

Bukaan dari bidang diskontinu diartikan sebagai lebar bidang diskontinu yang dilakukan pengukuran di lapangan. Semakin besar bukaan, maka semakin buruk kualitas massa batuan.

3. Isian (*filling*) bidang diskontinu

Isian bidang diskontinu merupakan isian celah antar permukaan bidang diskontinu, isian tersebut dapat berupa material pelapukan ataupun material yang tertransport. Material pengisi akan mempengaruhi kuat geser bidang diskontinu, yang mana tergantung ketebalannya. Isian menghambat penguncian yang diakibatkan kekerasan rekahan. Contoh pendeskripsian kondisi isian adalah sebagai berikut:

Tabel 2.5 Pendeskripsian Isian Bidang Diskontinu

<i>Seepage rating</i>	<i>Open discontinuities</i>	<i>Filled discontinuities</i>
(1)	<i>The discontinuity is very tight and dry; water flow along it does not appear possible.</i>	<i>The filling material is heavily consolidated and dry; significant flow appears unlikely due to very low permeability.</i>
(2)	<i>The discontinuity is dry with no evidence of water flow</i>	<i>The filling materials are damp, but no free water is present.</i>
(3)	<i>The discontinuity is dry but shows evidence of water flow. i.e. rust staining, etc.</i>	<i>The filling materials are wet; occasional drops of water.</i>
(4)	<i>The discontinuity is damp but no free water is present.</i>	<i>The filling materials show signs of outwash, continuous flow of water (estimate 1 min⁻¹).</i>
(6)	<i>The discontinuity shows a continuous flow of water (estimate 1 min⁻¹ and describe pressure, i.e. low, medium, high).</i>	<i>The filling materials are washed out completely; very high water pressures are experienced, especially on first exposure (estimate 1 min⁻¹ and describe pressure).</i>

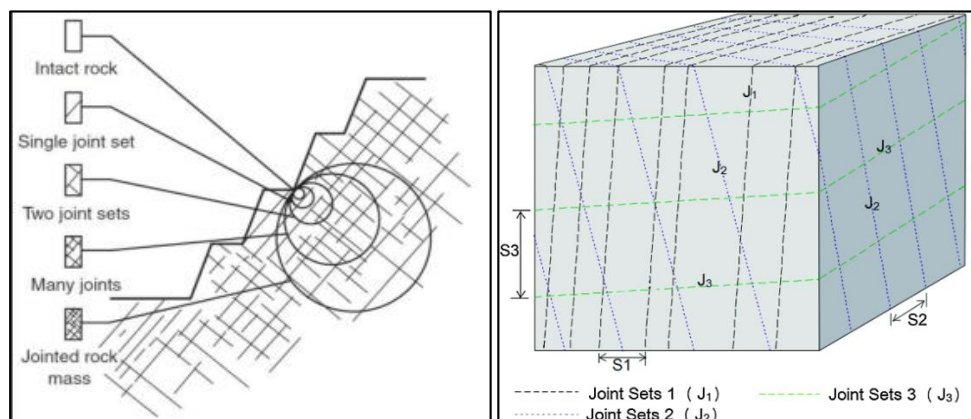
Sumber: Barton dkk, 1974

4. Kemenerusan (*persistence*) bidang diskontinu

Kemenerusan adalah dimensi panjang dari suatu bidang diskontinu. Pengukuran kemenerusan ini biasanya dilakukan dalam 1 dimensi. Kuat geser pada bidang diskontinu dipengaruhi oleh kemenerusan (Price, 2007). Semakin pendek kemenerusan kekar, maka semakin baik kualitas massa batuan.

5. Orientasi dari diskontinuitas

Orientasi dari setiap bidang diskontinu biasa dinyatakan dalam *strike* dan *dip*. Namun, dalam pekerjaan rekayasa, seringkali pengukuran orientasi dari bidang diskontinu dinyatakan dalam *dip direction* dan *dip*. Semakin detail luas wilayah survei diskontinuitas, maka data pengukuran orientasi harus semakin detail pula, termasuk bidang diskontinu yang berada di tempat yang sulit dijangkau (Price, 2007). Konsep *discontinuity sets* memiliki kaitan erat dengan orientasi. Apabila frekuensi bidang diskontinu diketahui bersamaan dengan orientasi dari bidang diskontinu pada suatu massa batuan, maka volume distribusi blok massa batuan secara 3D dan asosiasinya yakni distribusi 2D dari blok massa batuan pada segala bidang (Hudson dan Harrison, 1997), dapat dilihat pada **Gambar 2.13**.



Sumber: Hoek dan Bray, 1981

(a)

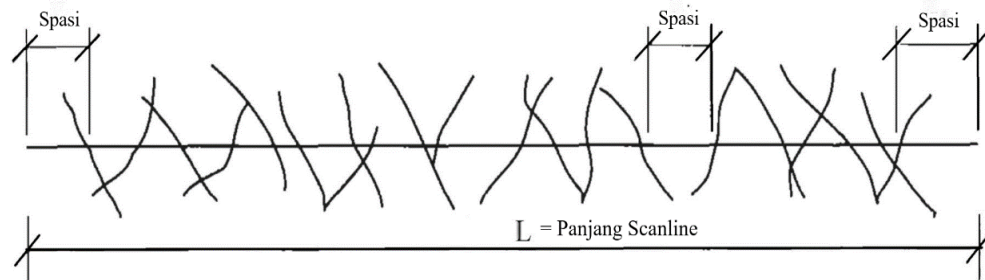
(b)

Gambar 2.13 Penggambaran *joint set* (a) 2 dimensi (b) 3 dimensi

6. Spasi (*spacing*) bidang diskontinu

Jarak pisah antar bidang diskontinu adalah jarak tegak lurus antara dua bidang diskontinu yang berurutan sepanjang sebuah garis pengamatan

yang disebut *scanline* (**Gambar 2.14**). Panjang *scanline* minimum untuk pengukuran jarak diskontinuitas adalah sekitar 50 kali jarak rata-rata diskontinu yang hendak diukur. Namun, menurut *International Society For Rock Mechanics* (ISRM, 1981) panjang ini cukup sekitar 10 kali, tergantung tujuan pengukuran *scanline*-nya.



Sumber: Kramadibrata, 1996

Gambar 2.14 Spasi bidang diskontinu

7. *Block size* bidang diskontinu

Block size adalah bagian dari massa batuan yang dibatasi oleh *discontinuity sets* seperti yang terlihat pada **Gambar 2.12**. *Block size* mengindikasikan perilaku dari massa batuan, karena *block size* dan *interblock shear strength* menentukan sifat mekanik dari massa batuan apabila terkena tegangan (Bell, 2007).

Tabel 2.6 Hubungan *Block Size* dengan *Spacing* dan *Jv*

<i>Term</i>	<i>Block size</i>	<i>Equivalent discontinuity spacings in blocky rock</i>	<i>Volumetric joint count (Jv)* (Joints/m³)</i>
<i>Very large</i>	<i>Over 8 m³</i>	<i>Extremely wide</i>	<i>Less than 1</i>
<i>Large</i>	<i>0.2-8 m³</i>	<i>Very wide</i>	<i>1-3</i>
<i>Medium</i>	<i>0.008-0.2 m³</i>	<i>Wide</i>	<i>3-10</i>
<i>Small</i>	<i>0.0002-0.008 m³</i>	<i>Moderately wide</i>	<i>10-30</i>
<i>Very small</i>	<i>Less than 0.0002 m³</i>	<i>Less than moderately wide</i>	<i>Over 30</i>

Sumber: Barton dkk, 1974

8. Pelapukan (*weathering*) bidang diskontinu

Proses pelapukan merupakan proses gradual yang dimulai dari bagian luar massa batuan. Semakin intensif proses pelapukan pada bidang diskontinu, maka semakin besar kuat geser pada bidang batuan.

Tabel 2.7 Klasifikasi Kondisi Pelapukan

Kondisi	Kode	Definisi
Terdekomposisi / Sangat terlapukan sekali	D	Batuan berubah warna dan terdekomposisi dalam kondisi gembur dengan bagian terluar berupa tanah
Sangat terlapukan	HW	Perubahan warna mulai meluas pada batuan dan batuan tersebut mulai gembur
Terlapukan menengah	MW	Terjadi sedikit perubahan warna untuk lebih dari 20% pada bagian diskontinuitas. Area diskontinuitas terisi oleh material alterasi yang pada bagian terbuka dapat diamati batas butirnya
Mulai terlapukan	SW	Terjadi perubahan warna untuk sejauh 20% pada diskontinuitas batuan
Tidak terlapukan	UW	Tidak ada tanda-tanda batuan terlapukan, <i>rock fresh, crystal bright</i>

Sumber: ISRM, 1981

2.2.5 Klasifikasi Longsoran

Material batuan mempunyai sifat heterogen dan diskontinu, maka jenis longsorannya pun akan beragam. Ada beberapa jenis longsoran yang umum dijumpai di tambang terbuka (*surface mining*), sebagai berikut:

1) Longsoran bidang (*plane failure*)

Longsoran bidang merupakan potensi longsoran yang terjadi pada lereng ketika blok batuan berada pada bidang gelincir tunggal dengan kemiringan lebih rendah daripada muka lereng (Hoek dan Bray, 1981). Syarat-syarat terjadinya longsoran bidang (Wyllie dan Mah, 2004):

- Bidang gelincir mempunyai *strike* sejajar atau hampir sejajar (maksimal 20°) dengan *strike* lereng;
- Jejak bagian bawah bidang lemah yang menjadi bidang gelincir harus muncul di muka lereng. Dengan kata lain, kemiringan bidang gelincir lebih kecil daripada kemiringan lereng ($\psi_p < \psi_f$);
- Kemiringan bidang gelincir lebih besar daripada sudut geser dalamnya ($\psi_p > \phi$);

- Harus ada bidang *release* yang menjadi pembatas di kanan dan kiri blok yang menggelincir;
- Bidang gelincir berpotongan dengan permukaan atas lereng atau dianggap sebagai retakan tarik (*tension crack*).

Dari kondisi di atas dapat disusun dalam suatu hubungan, yaitu:

$$(\psi_f > \psi_p > \phi)$$

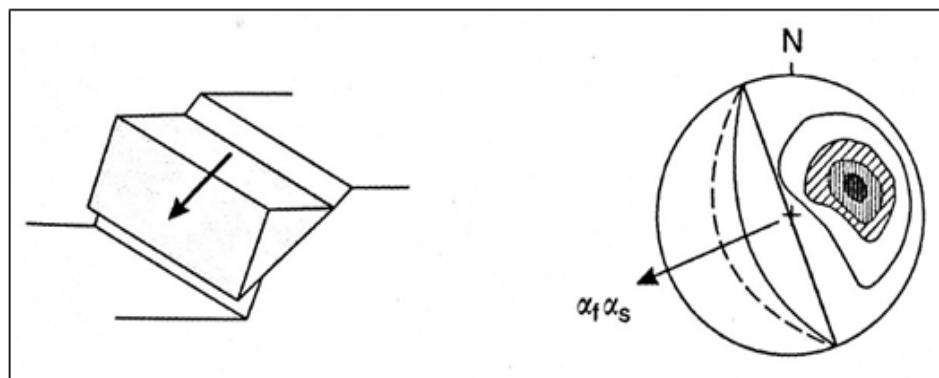
Keterangan:

ψ_f = Kemiringan muka lereng ($^{\circ}$)

ψ_p = Kemiringan bidang gelincir ($^{\circ}$)

ϕ = Sudut geser dalam ($^{\circ}$)

Analisis dua dimensi mempertimbangkan unit ketebalan dan arah tegak lurus dengan garis muka lereng. Oleh karena itu, bidang gelincir dapat direpresentasikan sebagai garis kemiringan tertentu dan blok yang menggelincir dapat direpresentasikan sebagai suatu luasan pada penampang vertikal tegak lurus dengan *strike* lereng. Kondisi umum longsoran bidang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



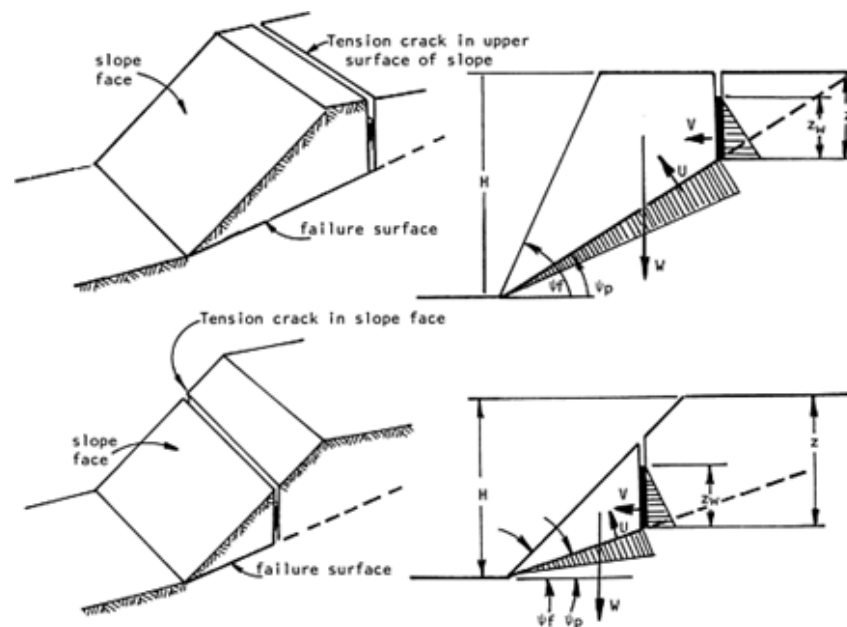
Sumber: Hoek dan Bray, 1981

Gambar 2.15 Kondisi umum longsoran bidang

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam analisis longsoran bidang yaitu sebagai berikut:

- Bidang gelincir dan rekahan tarik memiliki *strike* yang sejajar dengan *strike* lereng.
- Posisi rekahan pada bidang adalah vertikal dan terisi air sedalam Z_w .

- Air membasahi bidang gelincir lewat bagian bawah bidang rekahan tarik dan merembes sampai dikejutnya di permukaan lereng.
- Gaya W (berat blok yang menggelincir), U (gaya angkat oleh air), dan V (gaya tekan air di dalam rekahan tarik) bekerja di titik pusat blok sehingga diasumsikan tidak ada momen akibat rotasi.
- Kuat geser (τ) dari bidang gelincir adalah $\tau = c + \sigma \tan \phi$; dengan c = kohesi, σ = tekanan normal, dan ϕ = sudut gesek dalam.
- Terdapat bidang *release* di sisi kanan dan sisi kiri blok sehingga tidak ada hambatan di bagian kanan dan kiri blok yang tergelincir.



Sumber: Hoek dan Bray, 1981

Gambar 2.16 Posisi rekahan tarik pada lereng batuan

Persamaan yang digunakan untuk menentukan faktor keamanan sebagai berikut:

$$FK = \frac{cA + W(\cos \theta - U - V \sin \theta) \tan \phi}{W \sin \theta + V \cos \theta} \dots \dots \dots (2.14)$$

Dengan,

$$W = \gamma_r \left[(1 - \cot \psi_f \cdot \tan \psi_p) (bH + \frac{1}{2} H^2 \cot \psi_f) + \frac{1}{2} b^2 (\tan \psi_s - \tan \psi_p) \right]$$

(untuk rekahan tarik di belakang *crest*)

$$W = \frac{1}{2} \gamma_r \cdot H^2 \left[\left(1 - \frac{z}{H} \right)^2 \cdot \cot \psi_p (\cot \psi_p \cdot \tan \psi_f - 1) \right]$$

(untuk rekahan tarik di muka lereng)

$$A = (H + b \cdot \tan \psi_s - z) \operatorname{cosec} \psi_p$$

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot z_w (H + b \cdot \tan \psi_s - z) \operatorname{cosec} \psi_p$$

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w z_w^2$$

Jika lereng batuan tersebut berada di daerah rawan gempa dan percepatan yang ditimbulkan gempa dapat dimodelkan menjadi statis, perhitungan faktor keamanan dapat dilakukan dengan memasukkan pengaruh gempa dengan cara memodifikasikan persamaan menjadi berikut:

$$FK = \frac{cA + \{W (\cos \psi_p - \alpha \sin \psi_p) - U - V \sin \psi_p\} \tan \phi}{W (\sin \psi_p + \alpha \cos \psi_p) + V \cos \psi_p} \dots\dots\dots(2.15)$$

Ketengan:

- FK = Faktor keamanan
- c = Kohesi (Mpa atau ton/m²)
- A = Panjang bidang luncur (m)
- W = Berat blok yang tergelincir (ton/m)
- H = Tinggi lereng (m)
- U = Gaya angkat yang ditimbulkan oleh tekanan air (ton/m)
- V = Gaya tekanan air dalam rekahan (ton/m)
- ψ_p = Sudut kemiringan bidang lemah (°)
- ψ_f = Sudut kemiringan lereng (°)
- ψ_s = Sudut kemiringan lereng yang berada di atas kepala lereng (°)
- ϕ = Sudut geser dalam batuan (°)
- z = Kedalaman rekahan tarik (m)
- z_w = Kedalaman rekahan tarik yang terisi air (m)
- b = Jarak antara kepala lereng (*crest*) dan rekahan tarik
- γ_r = Berat jenis batuan (ton/m³)
- γ_w = Berat jenis air (ton/m³)
- α = Faktor gempa

2) Longsoran baji (*wedge failure*)

Longsoran baji dapat terjadi pada suatu batuan jika lebih dari satu bidang lemah yang bebas dan saling berpotongan. Sudut perpotongan antara bidang lemah tersebut lebih besar dari sudut geser dalam batuan. Bidang lemah ini dapat berupa bidang sesar, kekar (*joint*) maupun bidang perlapisan. Longsoran baji dapat terjadi apabila memenuhi syarat sebagai berikut (Arif, 2016):

- Adanya dua bidang lemah atau lebih yang saling berpotongan sedemikian rupa sehingga membentuk baji terhadap lereng.
- Sudut yang dibentuk garis potong kedua bidang lemah tersebut dengan bidang horizontal lebih kecil dari sudut lerengnya ($\psi_i < \psi_f$) dan sudut garis potong kedua bidang lemah tersebut lebih besar daripada sudut geser dalamnya ($\psi_i > \phi$).

Dari kondisi di atas dapat disusun dalam suatu hubungan, yaitu:

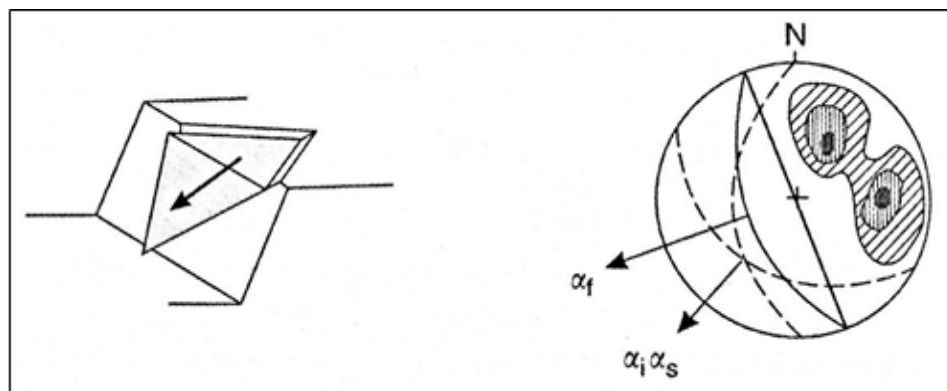
$$\psi_f > \psi_i > \phi$$

Keterangan:

ψ_f = Kemiringan muka lereng (°)

ψ_i = Kemiringan dari perpotongan 2 bidang diskontinu (°)

ϕ = Sudut geser dalam (°)



Sumber: Hoek dan Bray, 1981

Gambar 2.17 Longsoran baji (*wedge failure*)

Faktor keamanan longsoran baji dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$FK = \frac{3}{\gamma H} (cA \cdot X + cB \cdot Y) + \left(A - \frac{\gamma w}{2\gamma} \right) \tan \phi A + \left(B - \frac{\gamma w}{2\gamma} Y \right) \tan \phi B$$

.....(2.16)

Keterangan:

FK	=	Faktor keamanan
cA, cB	=	Kohesi (Mpa atau ton/m ²)
γ	=	Bobot isi batuan (ton/m ³)
γ_w	=	Bobot isi air (ton/m ³)
H	=	Tinggi keseluruhan dari baji yang terbentuk
$\phi A, \phi B$	=	Sudut geser dalam (°)
X	=	$\sin \theta_{24} / (\sin \theta_{45} \sin \theta_{z.na})$
Y	=	$\sin \theta_{13} / (\sin \theta_{35} \sin \theta_{1.nb})$
A	=	$(\cos \psi_a - \cos \psi_b \cos \theta_{na.nb}) / (\sin \psi_5 \cos^2 \theta_{na.nb})$
B	=	$(\cos \psi_b - \cos \psi_a \cos \theta_{na.nb}) / (\sin \psi_5 \cos^2 \theta_{na.nb})$
ψ_a, ψ_b	=	Dip bidang lemah A dan B
ψ_5	=	Plunge dari garis potong kedua bidang lemah
θ_{24}, dll	=	Sudut-sudut yang diperoleh dengan menggunakan stereonet

Jika pada bidang I dan II tidak terdapat kohesi, serta kondisi lereng kering, maka persamaan di atas menjadi:

$$F = A \tan \phi A + B \tan \phi A$$

Dimana A dan B adalah suatu faktor tanpa satuan yang besarnya tergantung pada jurus (*strike*) dan kemiringan (*dip*) kedua bidang lemahnya. Bidang lemah yang mempunyai kemiringan lebih kecil selalu dinamakan bidang lemah I, sedangkan bidang lemah yang satunya lagi dinamakan bidang lemah II.

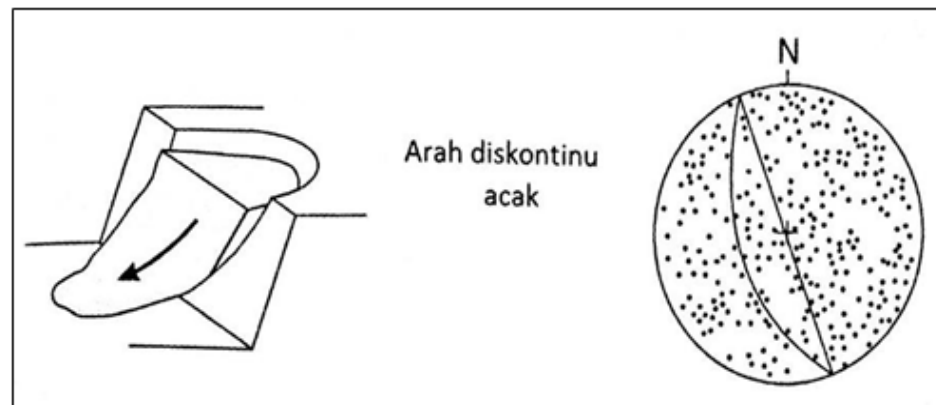
3) Longsoran busur (*circular failure*)

Longsoran busur terjadi pada batuan yang lunak (tanah). Pada batuan yang keras, longsoran busur hanya terjadi jika batuan tersebut sudah mengalami pelapukan dan mempunyai bidang-bidang lemah yang sangat

rapat dan tidak dapat dikenali kedudukannya.

Syarat-syarat terjadinya longsor busur yaitu sebagai berikut (Arif, 2016):

- Memiliki bidang lemah yang banyak dan arah longsorannya bergerak sepanjang bidang lemah yang berbentuk busur.
- Kemiringan lereng lebih besar dari kemiringan bidang lemah dan kemiringan bidang lemah lebih besar dari sudut geser dalam batuan.
- Material pembentuk lereng diasumsikan homogen.
- Kelongsoran diasumsikan terjadi pada bidang busur yang melewati lantai lereng.
- Rekahan tarik vertikal diasumsikan terjadi atas lereng atau muka lereng.
- Kondisi air tanah bervariasi dari kering sampai jenuh total.
- Posisi dari rekahan tarik dan permukaan busur adalah sama.



Sumber: Hoek dan Bray, 1981

Gambar 2.18 Longsor busur (*circular failure*)

Faktor keamanan longsor busur dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$FK = \frac{\sum (c \cdot b + (W - ub) \tan \phi) \frac{\sec \alpha^2}{1 + \tan \alpha \tan \phi}}{\sum W \tan \alpha} \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana:

- FK = Faktor keamanan
 c = Kohesi (Mpa atau ton/m²)
 b = Lebar irisan (m)

W	= Berat isian tanah/batuan (kN)
u	= Tekanan air pori (ton/m)
α	= Sudut ($^{\circ}$)
ϕ	= Sudut geser dalam ($^{\circ}$)

4) Longsoran guling (*toppling failure*)

Longsoran guling terjadi apabila bidang-bidang lemah berlawanan dengan kemiringan lereng, umumnya terjadi pada lereng yang terjal pada batuan keras di mana struktur bidang lemahnya berbentuk kolom. Analisis longsoran guling lebih rumit bila dibandingkan dengan bentuk longsoran bidang dan baji, karena interaksi antar kolom-kolom yang mengguling secara simultan serta gaya-gaya geser yang terjadi antar kolom harus diperhatikan.

Beberapa kondisi yang dapat menyebabkan kelongsoran tipe guling adalah (Goodman, 1989):

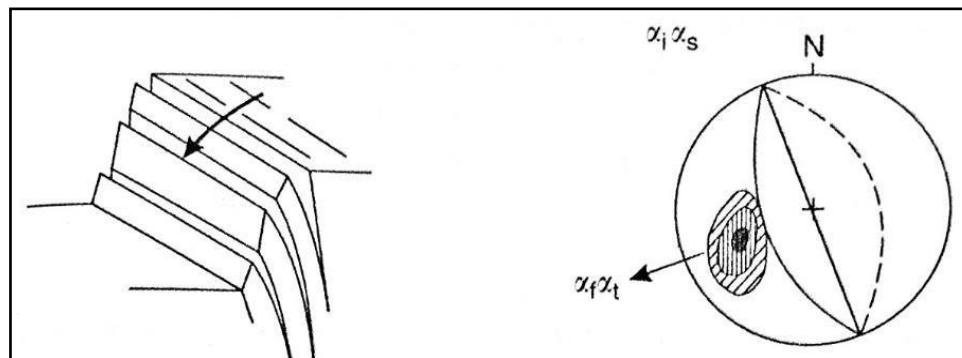
1. Jurus/*strike* dari bidang diskontinu harus paralel atau mendekati paralel dengan jurus/*strike* permukaan lereng (perbedaan arah maksimal 20°).
2. Sudut kemiringan bidang diskontinu harus sama besar dengan kemiringan permukaan lereng ($\psi_p = \psi_f$)
3. *Plunge* dari bidang gelincir harus lebih kecil dari kemiringan permukaan lereng dikurangi sudut geser dalam dari bidang gelincir tersebut.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa longsoran guling akan terjadi bila:

$$\psi_p > 90^{\circ} + \phi - \psi_f$$

Keterangan:

ψ_f	= Kemiringan muka lereng ($^{\circ}$)
ψ_p	= Kemiringan bidang diskontinu ($^{\circ}$)
ϕ	= Sudut geser dalam ($^{\circ}$)



Sumber: Hoek dan Bray, 1981

Gambar 2.19 Longsoran guling (*toppling failure*)

Kondisi untuk menggelincir atau meluncur ditentukan oleh sudut geser dalam (ϕ), kemiringan bidang luncur (ψ), tinggi balok (h) dan lebar balok (b). Kondisi geometri yang menyebabkan terjadinya longsoran guling antara lain (Arif, 2016) :

- Balok akan tetap mantap bila $\psi < \phi$ dan $b/h > \tan \phi$.
- balok akan meluncur bila $\psi > \phi$ dan $b/h > \tan \phi$.
- Balok akan tergelincir, kemudian mengguling bila $\psi > \phi$ dan $b/h < \tan \phi$.
- Balok akan langsung mengguling bila $\psi < \phi$ dan $b/h < \tan \phi$.

Berdasarkan bentuk dan proses menggulingnya, maka longsoran guling dibedakan menjadi tiga, yaitu:

- Longsoran guling setelah mengalami lenturan (*flexural toppling*).
- Longsoran guling yang berupa blok (balok-balok), dinamakan “*block toppling*”.
- Longsoran guling yang berupa kolom/balok yang mengalami lenturan, dinamakan “*block-flexure toppling*”.



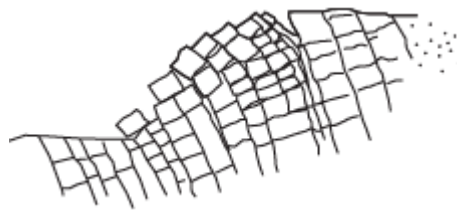
Sumber: Goodman dan Bray, 1976

Gambar 2.20 *Block toppling*



Sumber: Goodman dan Bray, 1976

Gambar 2.21 *Flexural toppling*



Sumber: Goodman dan Bray, 1976

Gambar 2.22 *Block-flexure toppling*

Asumsi untuk menganalisis longsoran guling yang terjadi yakni mempunyai n buah blok yang berbentuk teratur dengan lebar Δx dan tinggi y_n (**Gambar 2.23**). Untuk keperluan analisis, penomoran blok dimulai dari bawah (*toe*) ke atas. Sudut kemiringan lereng adalah ψ_f , sudut kemiringan bidang lemah ψ_p , sudut kemiringan di atas puncak lereng ψ_s , kemiringan bidang dasar ψ_b dimana penjumlahan ψ_p dan ψ_s , sedangkan dip dari bidang-bidang lemah adalah $90-\alpha$. Undak-undakan yang terjadi (akibat longsoran) berbentuk teratur dan mempunyai kemiringan β . Konstanta α_1 , α_2 , dan b (**Gambar 2.23**) selanjutnya dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\alpha_1 = \Delta x \cdot \tan (\psi_f - \psi_p)$$

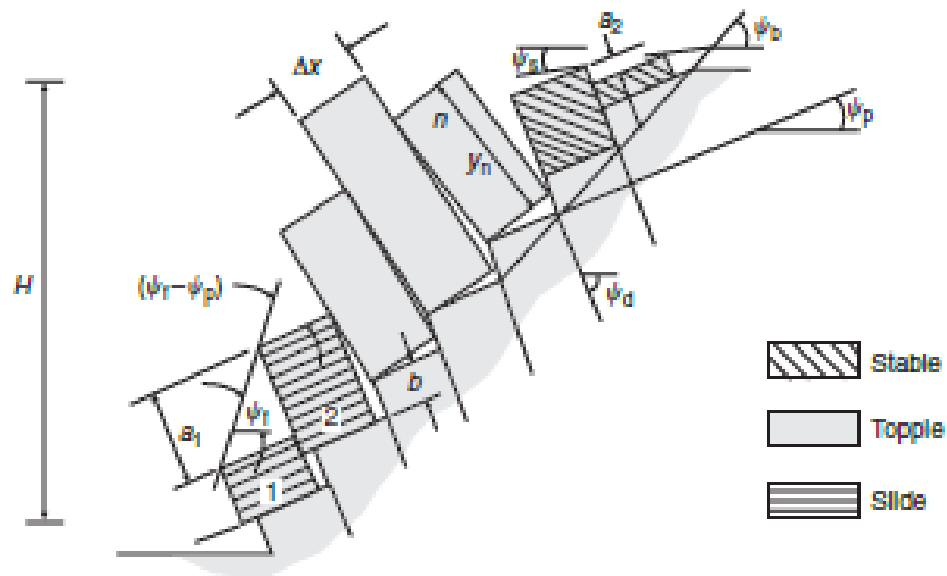
$$\alpha_2 = \Delta x \cdot \tan (\psi_p - \psi_s)$$

$$b = \Delta x \cdot \tan (\psi_b - \psi_p)$$

Tinggi blok ke- n (y_n) dihitung dengan persamaan berikut:

$$y_n = n (\alpha_1 - b) \text{ (untuk blok dari } crest \text{ ke bawah)}$$

$$y_n = y_{n-1} - \alpha_2 - b \text{ (untuk blok di atas } crest)$$

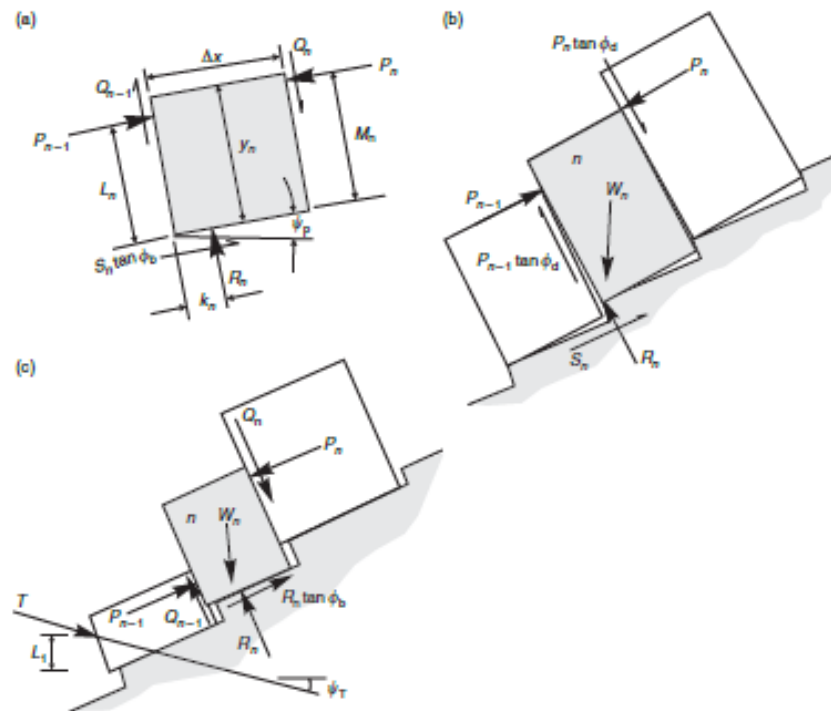


Sumber: Hoek dan Bray, 1981

Gambar 2.23 Model longsor guling untuk model kesetimbangan batas

Berdasarkan model pada **Gambar 2.23**, terdapat tiga grup blok yang mempunyai tingkat kemantapan yang berbeda-beda, yaitu:

- Satu set blok yang stabil (di bagian atas), ketika sudut gesek dalam material lebih besar dari *dip* bidang ($\phi_p > \psi_p$);
- Satu set blok yang akan terguling (di bagian tengah); dan
- Satu set blok di daerah *toe*, yang terdorong oleh blok *toppling* di atasnya. Blok ini mungkin stabil, terguling atau tergelincir (*slide*), tergantung dari kemiringan dan geometri blok. Dengan geometri yang berbeda mungkin saja set blok yang mantap dan yang akan tergelincir berubah menjadi terguling semua.



Sumber: Goodman dan Bray, 1976

Gambar 2.24 Kondisi kesetimbangan batas blok ke-n yang akan terguling dan tergelincir

Selanjutnya, kesetimbangan gaya-gaya yang bekerja di setiap blok ditunjukkan pada **Gambar 2.24**. Dari gambar tersebut terlihat bahwa gaya-gaya yang bekerja di dasar blok ke-n adalah R_n dan S_n , sedangkan gaya-gaya yang bekerja di *interface* (dengan blok terdekat) adalah P_n , Q_n , P_{n-1} , Q_{n-1} . Konstanta M_n , L_n , dan K_n yang terdapat pada gambar tersebut dihitung sebagai berikut:

- Untuk blok di bawah *crest* lereng: $M_n = y_n$; $L_n = y_n - a_1$; $K_n = 0$
- Untuk blok tepat di *crest* lereng: $M_n = y_n - a_2$; $L_n = y_n - a_1$, $K_n = 0$
- Untuk blok di atas *crest* lereng: $M_n = y_n - a_2$; $L_n = y_n$; $K_n = 0$

Sementara untuk gaya-gaya Q_n , Q_{n-1} , R_n , S_n dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$Q_n = P_n \tan \phi_d$$

$$Q_{n-1} = P_{n-1} \tan \phi_d$$

$$R_n = W_n \cos \psi_p + (P_n - P_{n-1}) \tan \phi_d$$

$$S_n = W_n \sin \psi_p + (P_n - P_{n-1})$$

dengan:

$$W_n = y_n \Delta x$$

Sedangkan untuk gaya-gaya P_n dan P_{n-1} , perhitungannya dibedakan untuk blok yang terguling dan blok yang tergelincir.

- Blok ke-n yang terguling dicirikan dengan $y_n/\Delta x > \cot(\psi_p)$, bila $\phi > \psi_p$, maka:

$$P_{n-1,t} = \frac{[P_n (M_n - \Delta x \tan \phi d) + \left(\frac{W_n}{2}\right)(y_n \sin \psi_p - \Delta x \cos \psi_p)]}{L_n}$$

$$P_n = 0 \text{ (untuk blok teratas dari set yang terguling)}$$

$$P_n = P_{n-1} \text{ (untuk blok terguling di bawahnya)}$$

Untuk kontrol lebih lanjut dapat dilihat bahwa pada blok ini harga $R_n > 0$ dan $|S_n| < R_n \tan \phi_p$

- Untuk blok ke-n yang tergelincir, dicirikan dengan $S_n = R_n \tan \phi_p$ maka:

$$P_{n-1,s} = P_n - \frac{[W_n (\tan \phi \cos \alpha - \sin \alpha)]}{1 - \tan^2 \phi}$$

$$P_n = P_{n-1,t} \text{ (untuk blok teratas dari set blok yang tergelincir)}$$

$$P_n = P_{n-1,s} \text{ (untuk blok terguling di bawahnya, di sini akan terlihat } P_{n,t} > P_{n,s})$$

Perhitungan di atas dilakukan dengan mengambil $\phi > \psi_p$, namun dengan memperhatikan blok no.1 (*toe*):

- Jika $P_o > 0$, lereng berada pada kondisi tidak mantap untuk nilai ϕ yang diasumsikan. Oleh karena itu, disarankan untuk mengulang perhitungan dengan meningkatkan nilai ϕ ;
- Jika $P_o < 0$ disarankan untuk mengulang perhitungan dengan menurunkan nilai ϕ ; dan
- Jika $P_o > 0$ tapi cukup kecil, lereng dalam kondisi setimbang untuk nilai ϕ yang diasumsikan.

Gaya-gaya yang bekerja pada setiap blok dihitung dengan nilai (angka) sudut geser dalam (ϕ) tertentu, sampai diperoleh nilai P_o positif terkecil.

Nilai P tersebut merupakan gaya yang menahan balok 1 (**Gambar 2.23**). Nilai sudut geser dalam (ϕ) yang menghasilkan P_0 positif terkecil kemudian dipakai berbagai sudut geser dalam pada keadaan kestabilan lereng. Faktor kemantapan lereng terhadap longsoran guling kemudian dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$F = \frac{\tan \phi_1}{\tan \phi_2}$$

Dimana = Faktor kemantapan

ϕ_1 = Sudut geser dalam yang sebenarnya di lapangan ($^\circ$)

ϕ_2 = Sudut geser dalam pada kritis (kemantapan batas), ($^\circ$)

Persamaan faktor keamanan longsoran guling, ialah sebagai berikut:

$$FK = \frac{cA + W \cos \psi_p \cdot \tan \phi_p}{W \sin \psi_p} \dots\dots\dots (2.18)$$

FK = Faktor keamanan

c = Kohesi (Mpa atau ton/m²)

W = Berat isian tanah/batuan (kN)

ϕ_p = Sudut geser dalam ($^\circ$)

ψ_p = Sudut kemiringan bidang lemah ($^\circ$)

2.2.6 Metode Klasifikasi Massa Batuan

a) RMR (*Rock Mass Rating*)

Sistem *Rock Mass Rating* (RMR) atau sering dikenal sebagai *Geomechanics Classification* telah dikembangkan oleh Bieniawski pada tahun 1973, 1976, dan 1989. *Rock Mass Rating* (RMR) terdiri dari lima parameter utama dan satu parameter pengontrol untuk membagi massa batuan, antara lain: uji kuat tekan batuan (UCS), *Rock Quality Designation* (RQD), spasi diskontinuitas, kondisi diskontinuitas, kondisi air tanah, dan koreksi dapat dilakukan bila diperlukan untuk orientasi diskontinuitas/kekar.

Tabel 2.8 Klasifikasi Parameter dan Pembobotan *Rock Mass Rating* (RMR)

No	Parameter	Pembobotan								
1	Kekuatan Massa Batuan	<i>Pointload Strength Index</i>	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa				
		<i>Uniaxial Compressive Strength</i>	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa	
	Bobot	15	12	7	4	2	1	0		
2	RQD	90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%				
	Bobot	20	17	13	8	3				
3	Spasi Diskontinuitas	>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm				
	Bobot	20	15	10	8	5				
4a	Kondisi Diskontinuitas (detail)									
	Kemenerusan kekar		<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m			
	Bobot		6	4	2	1	0			
	Bukaan kekar		Tidak ada	<0.1 mm	0.1-10 mm	1-5 mm	>5 mm			
	Bobot		6	5	4	1	0			
	Kekasaran kekar		Sangat kasar	Kasar	Sedikit kasar	Halus	<i>Slickensided</i>			
	Bobot		6	5	3	1	0			
	Material pengisi		Tidak ada	Keras <5 mm	Keras >5 mm	Lunak <5 mm	Lunak >5 mm			
	Bobot		6	4	2	2	0			
	Pelapukan		Tidak lapuk	Sedikit lapuk	Lapuk	Sangat lapuk	Hancur			
	Bobot		6	5	3	1	0			
	4b	Kondisi diskontinuitas (kondisi eksklusif)								
		Kondisi	Sangat kasar, tidak menerus, tidak ada bukaan, tidak lapuk	Sedikit kasar, bukaan <1 mm, sedikit lapuk	Sedikit kasar, bukaan <1 mm, sangat lapuk	<i>Slickensided</i> atau isian <5 mm, atau bukaan 1-5 mm, menerus	Material pengisi lunak >5 mm, atau bukaan >5 mm, menerus			
		Bobot	30	25	20	10	0			
5	Kondisi air tanah	Kering	Lembab	Basah	Menetes	Mengalir				
	Debit air tiap 10 m panjang terowongan (liter/menit)	Tidak ada	<10	10-25	25-125	>125				
	Tekanan air pada kekar / tegangan prinsipal mayor	0	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5				
	Bobot	15	10	7	4	0				

Sumber: Bieniawski, 1989

Tabel 2.9 Parameter Desain dan Sifat Keteknikan Massa Batuan

No	Parameter/ properties of rock mass	RMR (Rock Class)				
		100-81 (I)	80-61 (II)	60-41 (III)	40-21 (IV)	<20 (V)
1	Classification of rock mass	Very good	Good	Fair	Poor	Very poor
2	Average stand-up time	20 years for 15 m span	1 year for 10 m span	1 week for 5 m span	10 hours for 2,5 span	30 minutes for 1 m span
3	Cohesion of rock mass (MPa)*	>0.4	0.3-0.4	0.2-0.3	0.1-0.2	<0.1
4	Angle of internal friction of rock mass	>45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	<15°
5	Allowable bearing pressure (T/m ²)	600-440	440-280	280-135	135-45	45-30
6	Safe cut slope (°) (Waltham, 2002)	>70	65	55	45	<40

During earthquake loading, the above values of allowable bearing pressure may be increase by 50% in view of rheological behavior of rock masses.
**These values are applicable to slope only in saturated and weathered rock mass*

Sumber: Bieniawski, 1993

b) SMR (Slope Mass Rating)

Slope Mass Rating (SMR) adalah sistem klasifikasi massa batuan yang dirancang khusus untuk lereng. Metode ini dikemukakan oleh Romana (1985) yang memungkinkan sistem RMR diaplikasikan untuk menganalisis kestabilan lereng, SMR menyertakan bobot parameter pengaruh orientasi kekar terhadap metode penggalian lereng yang diterapkan. Hubungan antara *Slope Mass Rating* (SMR) dengan *Rock Mass Rating* (RMR) ditunjukkan pada persamaan di bawah ini.

$$SMR = RMR_b + (F1 \times F2 \times F3) + F4 \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan:

RMR_b = Indeks RMR dasar yang dihasilkan dari klasifikasi massa batuan
(Bieniawski,1989)

F1 = Kesejajaran antara arah kemiringan diskontinuitas (α_j) dan arah kemiringan lereng (α_s)

F2 = Kemiringan kekar pada model keruntuhan bidang

F3 = Hubungan antara kemiringan diskontinuitas atau muka lereng (β_j)

dan kemiringan lereng (β_s)

F4 = Faktor koreksi berdasarkan pada metode penggalian lereng

Tabel 2.10 Parameter Koreksi SMR

Type of Failure		Very Favourable	Favourable	Normal	Unfavourable	Very Unfavourable
P	$ \alpha_j - \alpha_s $	$>30^\circ$	$30^\circ-20^\circ$	$20^\circ-10^\circ$	$10^\circ-5^\circ$	$<5^\circ$
T	$ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $					
W	$ \alpha_j - \alpha_s $					
P/T	F1	0.15	0.4	0.7	0.85	1
P	$ \beta_j $	$<20^\circ$	$20^\circ-30^\circ$	$30^\circ-35^\circ$	$35^\circ-45^\circ$	$>45^\circ$
W	$ \beta_j $					
P	F2	0.15	0.4	0.7	0.85	1
T	F2	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	$>10^\circ$	$10^\circ-0^\circ$	0°	$0^\circ-(-10^\circ)$	$<-10^\circ$
W	$\beta_j - \beta_s$					
T	$\beta_j + \beta_s$	$<110^\circ$	$110^\circ-120^\circ$	$>120^\circ$	-	-
P/T	F3	0	-6	-25	-50	-60
P: planar failure T: toppling failure W: wedge failure		α_j : joint dip direction α_s : slope dip direction	β_j : joint dip β_s : slope dip			

Sumber: Romana, 1985

Tabel 2.11 Faktor Koreksi (F4)

Excavation Method	Presplitting	Smooth Blasting	Natural Slope	Blasting or Mechanical	Deficient Blasting
F4 Value	+10	+8	+15	0	-8

Sumber: Romana, 1985

Tabel 2.12 Deskripsi Kelas dari SMR

Nomor kelas	V	IV	III	II	I
Bobot SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Kelas massa batuan	Sangat buruk	Buruk	Normal	Baik	Sangat baik
Kestabilan	Sangat tidak stabil	Tidak stabil	Stabil sebagian	Stabil	Sangat stabil
Longsor	Bidang besar atau seperti tanah	Bidang atau baji besar	Bidang sepanjang kekar dan banyak baji	Beberapa blok	Tidak ada
Probabilitas longsor	0.9	0.6	0.4	0.2	0

Sumber: Romana, 1985

Tabel 2.13 Rekomendasi Perkuatan Massa Batuan Berdasarkan Nilai SMR

<i>SMR Classes</i>	<i>SMR Values</i>	<i>Suggested Support</i>
Ia	91-100	<i>None</i>
Ib	81-90	<i>None, scalling is required</i>
IIa	71-80	<i>(None, toe ditch, or fence), spot bolting</i>
IIb	61-70	<i>(Toe ditch or fence nets), spot or systematic bolting</i>
IIIa	51-60	<i>(Toe ditch and/or nets), spot or systematic bolting, spot shotcrete</i>
IIIb	41-50	<i>(Toe ditch and/or nets), systematic bolting/anchors, systematic shotcere, toe wall and/or dental concrete</i>
IVa	31-40	<i>Anchors, systematic shotcere, toe wall and/or concrete (or re-excavation), drainage</i>
IVb	21-30	<i>Systematic reinforce, toe wall and/or concrete, re-excavation, deep drainage</i>
Va	11-20	<i>Gravity or anchored wall, re-excavation</i>

Sumber: Romana, 1985

2.3 Penelitian Terdahulu

Dalam penyusunan penelitian ini, peneliti melakukan riset dengan membaca beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan kestabilan lereng. Tinjauan terhadap penelitian terdahulu dilakukan untuk memberikan perbandingan sekaligus referensi bagi peneliti. Beberapa penelitian terdahulu yang menjadi pembanding dan acuan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

No	Nama Peneliti (Tahun)	Judul	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Marlinus Matius Lollong, Tommy Trides, dan Windhu Nugroho (2019)	Analisis Kestabilan Lereng dengan Menggunakan Metode <i>Rock Mass Rating</i> (RMR) dan Metode <i>Slope Mass Rating</i> (SMR) pada Penambangan Batupasir Daerah Bukit Pinang Kecamatan Samarinda Ulu Kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur	Metode <i>Rock Mass Rating</i> , dan Metode <i>Slope Mass Rating</i>	<ol style="list-style-type: none"> a. Rata-rata nilai kuat tekan batuan pada lokasi penelitian adalah 81,37 MPa. b. Nilai klasifikasi massa batuan berdasarkan metode <i>Rock Mass Rating</i> (RMR) yaitu 67 masuk ke dalam kelas massa batuan nomor II. c. Nilai klasifikasi massa batuan berdasarkan metode <i>Slope Mass Rating</i> terbagi menjadi 3 dikarenakan pada lokasi penelitian terdapat 3 jenis longsoran yang kemungkinan terjadi, yaitu: <ul style="list-style-type: none"> • Longsoran bidang terjadi pada <i>joint set</i> 1 terhadap lereng. Nilai <i>Slope Mass Rating</i> pada longsoran bidang ini adalah 50,2 termasuk ke dalam kelas massa batuan nomor III. • Longsoran baji terjadi pada <i>joint set</i> 2 dan 3 terhadap lereng. Nilai <i>Slope Mass Rating</i> pada longsoran baji ini adalah 43 termasuk ke dalam kelas massa batuan nomor III. • Longsoran guling terjadi pada <i>beding plane</i> terhadap lereng. Nilai <i>Slope Mass Rating</i> pada longsoran guling ini

No	Nama Peneliti (Tahun)	Judul	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
				adalah 49,5 termasuk ke dalam kelas massa batuan nomor III.
2.	Aditya Sukur dan Adi Candra (2019)	Kestabilan Lereng Tambang Berdasarkan RMR, SMR, dan Kinematika Keruntuhan di Daerah Soreang dan Sekitarnya, Kabupaten Bandung, Jawa Barat	Metode <i>Rock Mass Rating</i> (RMR), metode <i>Slope Mass Rating</i> (SMR), dan metode kinematika	<p>a. Hasil perhitungan RMR di daerah penelitian didapatkan bahwa kualitas batuan pada lokasi AS-1 76,4 (baik), lokasi AS-2 75,7 (baik), lokasi AS-3 72,1 (baik), dan lokasi AS-4 72,4 (baik).</p> <p>b. Hasil perhitungan SMR di daerah penelitian didapatkan bahwa klasifikasi massa batuan di lokasi AS-1 68,9 (stabil), lokasi AS-2 66,7 (stabil), lokasi AS-3 47,1 (normal), dan lokasi AS-4 47,4 (normal).</p> <p>c. Hasil kinematika keruntuhan pada plot stereonet dips-6 didapatkan bahwa pada lokasi AS-1 dan AS-2 kemungkinan berpotensi longsor baji, untuk lokasi AS-3 dan lokasi AS-4 berpotensi longsoran jungkiran langsung.</p>
3.	Raynanda Zulfikar, Nurhakim, dan Romla Noor Hakim (2019)	Penerapan Metode Klasifikasi Massa Batuan (RMR) dan Kriteria Runtuh Hoek & Brown dalam Menentukan Faktor Keamanan pada Analisa Kestabilan Lereng	Metode Rock Mass rating (RMR), metode GSI, dan Metode Hoek & Brown	<p>a. Nilai pembobotan massa batuan pada <i>low wall</i> blok 3 PT. BMB adalah $RMR_{LW-011} : 42$ (Batulempung), $RMR_{LW-012} : 32$ (Batulempung), $RMR_{LW-013} : 38$ (Batupasir), dan $RMR_{LW-02} : 58$ (Batubara).</p> <p>b. Nilai faktor keamanan lereng tunggal</p> <ul style="list-style-type: none"> • LW-011 kondisi asli 1,013 (aktual) & 1,506 (desain), dan kondisi jenuh 0,97 (aktual) & 1,433 (desain) • LW-012 kondisi asli 0,767 (aktual) & 1,141 (desain), dan kondisi jenuh 0,725 (aktual) & 1,07 (desain) • LW-013 kondisi asli 2,565 (aktual) & 3,78 (desain), dan kondisi jenuh 2,521 (aktual) & 3,709 (desain)

No	Nama Peneliti (Tahun)	Judul	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
				<p>c. Nilai faktor keamanan lereng keseluruhan kondisi asli 1,001 (aktual) & 1,064 (desain), dan pada kondisi jenuh 2,096 (aktual) & 2,674 (desain).</p> <p>d. Geometri yang sesuai dengan FK menurut SRK (2010) yaitu 1,2 untuk lereng keseluruhan yaitu:</p> <ul style="list-style-type: none"> • H = 10 & 8 meter, $\alpha = 40^\circ-45^\circ$ • H = 5,6 & 7 meter $\alpha = 40^\circ-55^\circ$ • H = 16,8 & 6 meter $\alpha = 40^\circ-50^\circ$ • H = 16,8 & 5 meter $\alpha = 40^\circ-55^\circ$
4.	Ririn Tri Murniati (2020)	Analisis Kestabilan Lereng pada Tambang <i>Quarry</i> di PT. Total Optima Prakarsa (TOP), Desa Peniraman, Kalimantan Barat	Metode Analisis Stereografik	<p>a. Faktor keamanan lereng adalah 1,248 dengan kemiringan lereng 88° dapat dinyatakan bahwa keamanan lereng rendah.</p> <p>b. Jenis longsor yang mungkin terjadi adalah longsor baji.</p> <p>c. Rekomendasi nilai faktor keamanan menjadi 1,604 dengan sudut kemiringan lereng 84°.</p>
5.	Novita Tria Putri dan Bambang Heriyadi (2020)	Analisis Kestabilan Lereng pada Penambangan Batu Andesit PT. Ansar Terang Crushindo 1, Kecamatan Pangkalan Koto Baru, Sumatera Barat	Metode <i>Rock Mass Rating</i> (RMR), dan GSI	<p>a. Hasil pengujian laboratorium menunjukkan bahwa nilai bobot isi asli sebesar 2,683 gr/cm³, bobot isi jenuh sebesar 2,694 gr/cm³ dan bobot isi kering sebesar 2,626 gr/cm³, sedangkan hasil pengujian kuat tekan batuan <i>point load</i> sebesar 13,12 MPa.</p> <p>b. Nilai RQD massa batuan sebesar 59,45%.</p> <p>c. Hasil analisis massa batuan secara RMR adalah 59 tergolong ke kelas III (sedang) dan secara GSI nilai batuan sebesar 54.</p> <p>d. Potensi longsor yang terjadi adalah jenis longsor baji dengan potensi kelongsoran 10,93% dan untuk jenis</p>

No	Nama Peneliti (Tahun)	Judul	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
				<p>longsoran bidang dengan potensi kelongsoran sebesar 6,94%.</p> <p>e. Hasil analisis faktor keamanan lereng menunjukkan bahwa lereng penambangan di <i>site</i> PT. Ansar Terang Crushindo 1 berada dalam kondisi kritis dengan nilai FK sebesar 1,001.</p>
6.	Ully Ikrima (2021)	Analisa Kestabilan Lereng Pada Bukit Peniraman Dengan Menggunakan Metode Stereografis	Metode stereografis	<p>a. Pengukuran geometri lereng di lapangan didapatkan panjang kemiringan lereng 1 adalah sebesar 14,7 meter, lereng 2 sebesar 33,23 meter, dan lereng 3 sebesar 30 meter. Nilai <i>strike/dip</i> lereng 1 sebesar N 343° E/42°, lereng 2 sebesar N 298° E/40°, dan lereng 3 sebesar 336° E/49°. Tinggi lereng 1 sebesar 16,84 meter, lereng 2 sebesar 27,22 meter, dan lereng 3 sebesar 30 meter.</p> <p>b. Nilai kuat tekan lereng 1 sebesar 11,99 mPa, dan nilai kuat tekan lereng 3 sebesar 30,56 mPa. Nilai kuat tarik lereng 1 sebesar 1,414 mPa dan nilai kuat tarik lereng 3 sebesar 1,634 mPa. Nilai kohesi batuan lereng 1 sebesar 2 dan nilai kohesi batuan lereng 3 sebesar 3. Nilai sudut geser dalam batuan lereng 1 sebesar 50° dan nilai sudut geser dalam batuan lereng 3 sebesar 63°.</p> <p>c. Hasil analisa proyeksi stereografis menggunakan <i>software rocscience dips 6.0</i> menunjukkan ketiga lereng yang diteliti tidak memenuhi syarat kelongsoran baji yaitu $\psi_f > \psi_i > \phi$ sehingga tidak dilakukan perhitungan faktor keamanan dan ketiga lereng yang diteliti tidak berpotensi longsor.</p>