

**KAJIAN TEKNIS STABILITAS PENYANGGA *AUGER MINING*
DENGAN METODE EMPIRIS**

(Studi Kasus: PT. Kitadin, *Site* Embalut, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi
Kalimantan Timur)

SKRIPSI



JOIS SEPRIANTO PATABANG

D621 13 009

DEPARTEMEN TEKNIK PERTAMBANGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN



GOWA

2020

HALAMAN PENGESAHAN



JOIS SEPRIANTO PATABANG

NIM. D621 13 009

KAJIAN TEKNIS STABILITAS PENYANGGA *AUGER MINING* DENGAN METODE EMPIRIS

(Studi Kasus: PT. Kitadin, *Site* Embalut, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur)

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S-1)
pada Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin

Disetujui di Gowa, Juni 2020

Pembimbing I

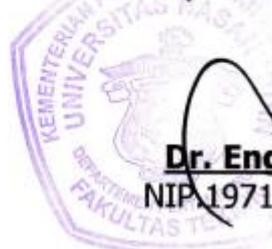
Dr. Eng. Purwanto, ST.
NIP.19711128 200501 1 002

Pembimbing II

Ir. H Djamaluddin, MT.
NIP. 19560412 198703 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Pertambangan



Dr. Eng. Purwanto, ST.
NIP.19711128 200501 1 002



LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Jois Seprianto Patabang
N I M : D621 13 009
Program Studi : Teknik Pertambangan
Judul Skripsi : KAJIAN TEKNIS STABILITAS PENYANGGA *AUGER MINING*
DENGAN METODE EMPIRIS

Dengan ini menyatakan bahwa hasil penulisan skripsi yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan Skripsi ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan tata tertib di Universitas Hasanuddin Makassar.

Demikian, pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan dalam keadaan sadar serta tidak dipaksakan.

Penulis,



Jois Seprianto Patabang



ABSTRAK

PT. Kitadin, *Site Embalut*, Kalimantan Timur merupakan perusahaan tambang yang menerapkan dua sistem penambangan, yakni tambang terbuka dan semi *underground* dengan menggunakan *auger mining*. *Auger mining* adalah metode yang sesuai untuk mengambil bahan galian pada dinding-dinding tebing batas dan dioperasikan tanpa melakukan pengupasan tanah penutup. Pada kasus ini, kestabilan pilar adalah aspek yang penting untuk dikaji. Pada studi ini dilakukan analisis kestabilan pilar yang terbentuk di antara lubang bukaan dengan metode empiris untuk mengetahui kondisi kestabilan pilar-pilar tersebut. Pada batubara *seam 17* lubang bor *auger mining* dibuat dengan variasi kedalaman 60 meter – 80 meter, kemiringan bor penambangan sebesar 4.8° sampai 6° , menggunakan kepala pemotong (*cutter head*) berdiameter 1.4 meter. Hasil analisis UCS batubara *seam 17* adalah 4.06 MPa dengan tegangan vertikal sebesar 2.3 MPa untuk kondisi kedalaman *pit* maksimum 100 meter. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan rekomendasi geometri penambangan *auger mining* dengan spasi antar panel sebesar 1 meter, *barrier pillar* 2 meter, dan jumlah panel 20. Hasil kajian menunjukkan bahwa metode ini aman dan baik untuk diterapkan dilihat dari hasil analisis faktor keamanan yang diperoleh yaitu $FK = 1.76$ yang berarti deformasi lubang auger yang terbentuk diantara pilar-pilar penyangga batubara menunjukkan nilai faktor keamanan yang stabil.

Kata Kunci: *auger mining*, pilar, *barrier pillar*, faktor keamanan, deformasi.



ABSTRACT

PT. Kitadin, Site Embalut, East Kalimantan is a mining company that implements two mining system, namely open pit and semi underground mining using auger mining. Auger mining is a suitable method for extracting coal reserves at the boundary walls and is operated without stripping the overburden. In this case, pillar stability is an important aspect to study. In this study an analysis of the pillars stability formed between the opening holes using the empirical method is used to determine the pillars stability. In seam coal 17 auger mining drill holes are made with variations in depth of 60 meters - 80 meters, the mining drill slope is 4.8° to 6° , using a cutter head with a diameter of 1.4 meters. The result of UCS analysis of seam coal 17 is 4.06 MPa with a vertical stress of 2.3 MPa for a maximum pit depth of 100 m. The results of the study, obtained the recommendation of auger mining geometry with space between panels of 1 meter, barrier pillar 2 meters, and the number of panels 20. The results of the study indicate that this method is safe and good to be applied. It is evident from the results of the analysis of safety factors obtained, $FK = 1.76$. which means the deformation of the auger hole formed between the pillars supporting the coal shows the value of a stable safety factor.

Keywords: auger mining, pillars, barrier pillars, safety factors, deformation.



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmatnya-Nya, sehingga penyusunan laporan Tugas Akhir dengan judul "Kajian Teknis Stabilitas Penyangga *Auger Mining* Dengan Metode Empiris" ini dapat diselesaikan dengan baik.

Besar harapan penulis semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat dan memberikan tambahan literatur bagi civitas akademika dalam memahami objek penelitian yang dibahas. Dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, banyak tantangan dan rintangan namun berkat dorongan dan bantuan dari berbagai pihak, semua tantangan tersebut bisa dilewati. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Irmanto Jaya, ST. selaku *Geotech Engineer* dan *Auger Machine Operator*, yang telah membimbing penulis selama melakukan kerja praktek di PT. Kitadin, *Site Embalut*, Kalimantan Timur,
2. Rusdi Koddeng, ST. selaku *Section Chief* departemen *Mine Plan* yang telah banyak membantu dan memberikan masukan kepada penulis selama di PT. Kitadin, *Site Embalut*, Kalimantan Timur,
3. Dr. Eng, Purwanto, ST., selaku pembimbing I sekaligus Kepala Laboratorium Geomekanika yang telah membimbing dan memberikan masukan selama proses penyusunan laporan,
4. Ir. H Djamaluddin, MT., selaku pembimbing II yang telah membimbing dan memberikan masukan selama proses penyusunan laporan,

orang tua dan teman-teman Explosive yang senantiasa mendukung penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir, baik secara moril maupun materil.



Penulis menyadari bahwa tulisan ini tidak luput dari kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kepada para pembaca, kiranya dapat memberikan sumbangan pemikiran demi perbaikan laporan kerja praktek ini. Akhir kata penulis berharap, semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Gowa, Juni 2020

Penulis



DAFTAR ISI

Halaman

SAMPUL

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
ABSTARK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Tahapan Penelitian	4
1.6. Lokasi Penelitian.....	6
BAB II SISTEM PENYANGGA AUGER MINING	8
2.1. Sistem Penyangga	8
Rancangan Terowongan.....	9
Karakteristik dan Massa Batuan.....	11
Tegangan Insitu dan Tegangan Terinduksi	14



2.4.1	Tegangan Insitu	14
2.4.2	Tegangan Terinduksi.....	21
2.5.	Metode Empiris	24
2.6.	Terminologi Penelitian.....	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		26
3.1.	Pengambilan Data	26
3.2.	Pengolahan dan Analisis Data	28
BAB IV KAJIAN TEKNIK PENYANGGA AUGER MINING.....		30
4.1.	Aspek-Aspek yang Perlu Dikaji	30
4.2.	Kestabilan Lubang <i>Auger</i>	33
4.2.1	Tegangan Vertikal.....	33
4.2.2	Tekanan Horisontal.....	34
4.2.3	Tekanan Terinduksi.....	34
4.3.	Perencanaan Pertambangan <i>Auger Mining</i>	40
4.4.	Kajian Kondisi Penambangan dengan Metode <i>Auger Mining</i>	43
4.4.1	Kemiringan Lapisan <i>Seam</i> Batubara.....	43
4.4.2	Ketebalan Lapisan Tanah Penutup.....	44
4.4.3	Ketebalan <i>Seam</i> Batubara.....	44
4.4.4	Kekuatan Massa Batuan	46
4.4.5	Air Tanah.....	48
4.4.6	Gas.....	48
4.5.	<i>Pit-Pit</i> Potensian untuk <i>Auger Mining</i>	52
4.5.1	<i>Pit</i> S22GN	52
	<i>Pit</i> S22GS-B1.....	54
	<i>Pit</i> S22GS-B2.....	56
	<i>Pit</i> S17GS	58



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	60
5.1. Kesimpulan	60
5.2. Saran	61
DAFTAR PUSTAKA.....	62
LAMPIRAN	63



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Petas Lokasi dan Kesampaian Daerah	7
Gambar 2.1 Tiga Fungsi Utama Penyangga	9
Gambar 2.2 Bagan Alir Rancangan Penggalian Bawah Tanah	10
Gambar 2.3 GSI untuk Batuan <i>Blocky</i>	13
Gambar 2.4 <i>Geological Strength Index for Heterogeneous Rock Such us Flysch...</i>	14
Gambar 2.5 Pengaruh Topografi Terhadap Distribusi Tegangan	16
Gambar 2.6 Ilustrasi Tegangan Sisa & Hubungan Nisbah Tegangan dengan Sesar	18
Gambar 2.7 Distribusi Tegangan di Sekitar Terowongan.....	21
Gambar 2.8 Prinsip Tegangan Terinduksi Pada Batuan	22
Gambar 2.9 Arah Tegangan Utama di Sekitar Lubang Bukaannya.....	23
Gambar 2.10 Prinsip Tegangan Terinduksi Pada Kontur.....	23
Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian	29
Gambar 4.1 Prinsip Tekanan Terinduksi pada Batuan.....	35
Gambar 4.2 Istilah dalam Metode Auger	36
Gambar 4.3 Tekanan Vertikal dan Kuat Tekan Batubara pada Lubang Auger	37
Gambar 4.4 Dimensi Lubang <i>Auger Mining</i>	38
Gambar 4.5 Dimensi Pilar Batubara pada Lubang Auger	39
Gambar 4.6 Lubang Auger Ganda (<i>Multi Pass</i>) pada Lapisan Batubara yang Tebal	40
Gambar 4.7 Disain Lereng Tambang Berdasarkan Kekuatan Massa Batuan.....	41
Gambar 4.8 Analisis Kestabilan Lereng Pit L4	42
Gambar 4.9 Analisis Kestabilan Lereng Pit L3	43
Gambar 4.10 Penampang melintang dari Pit L04 (Pit S22)	44
Gambar 4.11 <i>Fully Saturated</i> Kondisi <i>Endwall</i> Berdasarkan Data <i>Piezometer</i>	48



Gambar 4.12 Pipa Gas Inert Dipasang di Depan lubang Auger	49
Gambar 4.13 Auger Mining Index untuk Kitadin pada Zona 1	52
Gambar 4.14 <i>Pit</i> S22GN dan Distribusi Titik Bor	53
Gambar 4.15 <i>Pit</i> S22GN dan Target <i>Seam</i> untuk <i>Auger Mining</i>	53
Gambar 4.16 Penampang Melintang <i>Pit</i> S22GN.....	54
Gambar 4.17 <i>Pit</i> S22GS-B1 dan Distribusi Titik Bor	54
Gambar 4.18 <i>Pit</i> S22GS-B1 dan Target <i>Seam</i> untuk <i>Auger Mining</i>	55
Gambar 4.19 Penampang Melintang <i>Pit</i> S22GS-B1	55
Gambar 4.20 <i>Pit</i> S22GS-B2 dan Distribusi Titik Bor	56
Gambar 4.21 <i>Pit</i> S22GS-B2 dan Target <i>Seam</i> untuk <i>Auger Mining</i>	57
Gambar 4.22 Penampang Melintang <i>Pit</i> S22GS-B2	57
Gambar 4.23 <i>Pit</i> S17GS dan Distribusi Titik Bor	58
Gambar 4.24 <i>Pit</i> S17GS dan Target <i>Seam</i> untuk <i>Auger Mining</i>	58
Gambar 4.25 Penampang Melintang <i>Pit</i> S17GS.....	59



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Faktor Gangguan D di Konstruksi Bawah Tanah	12
Tabel 4.1 Perkiraan Kekuatan Pilar Batubara	36
Tabel 4.2 Parameter Disain Tambang Berdasarkan Kedalaman Penggalian	42
Tabel 4.3 Statistik Ketebalan Batubara	45
Tabel 4.4 Lubang Bor Geoteknik	46
Tabel 4.5 Hasil Analisis Geoteknik	47
Tabel 4.6 <i>Auger Mining Index</i> untuk PT. Kitadin	51



DAFTAR LAMPIRAN

	Lampiran
Profil Geometri <i>Auger Mining</i>	64
Hasil analisis UCS <i>Seam 17</i>	65
Penilaian Resiko (<i>Risk Assessment</i>) <i>Auger Mining</i>	66
Komponen <i>Auger Mining</i>	71
Aktifitas Operasi Penambangan <i>Auger Mining</i>	72
Waktu edar alat <i>auger mining</i>	74
Produktivitas <i>auger mining</i>	75
Peta Lokasi Penelitian	76



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batubara adalah sumber energi yang memiliki cadangan berlimpah. Berdasarkan data Laporan Akuntabilitas Kinerja Instansi Pemerintah Kementerian Energi Sumber Daya Mineral (Lakip KESDM) Republik Indonesia tahun 2016, cadangan batubara di Indonesia mencapai 28.457,29 juta ton (Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara, 2017). Sehubungan dengan hal ini, industri pertambangan harus memilih metode yang kreatif dalam upaya pengusahaannya. Metode tambang terbuka sampai saat ini masih dianggap sebagai metode yang lebih menguntungkan dibandingkan dengan metode tambang bawah tanah. Namun, metode tambang terbuka tentu akan mencapai batas akhir penggalan yang ekonomis atau *pit limit*, seiring dengan kedalaman penggalan. Kondisi yang memburuk pada tambang terbuka setiap tahunnya disebabkan oleh terlalu tingginya *stripping ratio*, mendekati rasio ekonomi, peraturan perlindungan lingkungan, dan infrastruktur lahan yang buruk untuk penambangan batubara (Lin, 2014). Hal ini yang menjadi sebab banyak perusahaan tambang terbuka berhenti beroperasi sehingga batubara yang berada pada *final highwall* dianggap sebagai batubara sisa (*marginal resource*) yang tidak dapat diambil dengan metode tambang terbuka.

Auger mining dapat memperpanjang usia tambang produktif secara keseluruhan karena memungkinkan tambahan perolehan batubara pada *pit* yang telah

di masa akhir tambang, sebelum *pit* tersebut dilakukan penimbunan kembali (*filling*). *Auger mining* merupakan salah satu upaya mendukung konservasi sumber daya batubara, selain itu menjadi strategi untuk menghadapi harga batubara



yang fluktuatif disebabkan biaya operasional *auger mining* yang rendah. Kondisi batubara seperti ini juga dialami oleh PT. Kitadin *Site Embalut*, Kalimantan Timur. Batubara telah mencapai batas akhir penambangan dengan *open pit*, sedangkan cadangan yang tersisa masih cukup banyak. Berdasarkan Keputusan Menteri ESDM No. 1827, tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Penambangan yang baik, menyebutkan bahwa setiap perusahaan tambang wajib melaporkan rencana pengelolaan sisa cadangan yang ada di wilayahnya sebagai bagian dari konservasi. Permasalahan tersebut menjadi latar belakang penulis dalam mengkaji metode alternatif penambangan menggunakan metode *auger mining* untuk cadangan batubara *marginal* yang berada pada lereng tebing batas (*final highwall*).

Operasi penambangan menggunakan *auger mining* akan membentuk lubang bor pada batubara sesuai dengan diameter *cutter head* yang digunakan. Untuk menopang dan menjaga kestabilan lereng pada daerah penambangan tersebut maka akan disisakan sebagian batubara sebagai pilar-pilar penyangga di antara lubang bor yang satu dengan lubang bor yang lainnya. Terdapat dua jenis penyangga yang akan dibentuk pada operasi penambangan *auger mining*, yaitu *web pillar* dan *barrier pillar*. *Web pillar* merupakan pilar penyangga yang memisahkan antara lubang bor yang satu dengan lubang bor lainnya sedangkan *barrier pillar* merupakan pilar penyangga yang akan dibentuk setelah beberapa lubang bukaan dengan tujuan untuk memperkuat penyanggaan lereng pada titik-titik tertentu. Penentuan geometri penambangan *auger mining* ini ditentukan berdasarkan kajian teknis dari data batuan yang berada pada lereng di *front* penambangan batubara.

Penyangga adalah alat yang bertujuan untuk membantu dinding lereng/lubang bukaan menyangga beban massa batuan dari atas dan samping lereng, sehingga terowongan tetap stabil (Ghozali, 2013). Fungsi utama penyangga adalah sebagai penguat, pengikat, dan penahan. Sistem penyangga dapat



ditentukan dengan mengklasifikasikan massa batuan sesuai dengan kondisi batuan yang ada. Salah satu sistem klasifikasi massa batuan yang digunakan untuk terowongan adalah *rock tunneling quality index* atau yang biasa dikenal dengan metode *Q-System*. Metode *Q-System* merupakan klasifikasi massa batuan yang diperkenalkan oleh Barton pada tahun 1974. *Q-System* didasarkan pada penilaian numerik dan kualitas massa batuan yang menggunakan enam parameter antara lain, *Rock Quality Designation (RQD)*, jumlah set kekar (*joint set number*), kekasaran kekar (*joint roughness*), kondisi alterasi kekar (*joint alteration*), kondisi aliran air pada kekar (*joint water*), dan kondisi tegangan (*stress reduction factor*) (Barton *et al*, 2015).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan deskripsi latar belakang di atas, maka faktor keamanan dari stabilitas pilar penyangga batubara menjadi pokok permasalahan. Bagaimana analisis kestabilan pilar penyangga batubara dikatakan stabil dengan melihat nilai faktor keamanannya.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Mengetahui aspek-aspek yang perlu dikaji sebelum menerapkan penambangan *auger mining*, khususnya aspek geoteknik.
2. Mengetahui nilai faktor keamanan pilar penyangga batubara pada penambangan *auger mining*.
3. Memberikan rekomendasi geometri penambangan *auger mining* yang sesuai dan dianggap aman untuk diterapkan.



1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi PT. Kitadin, *Site* Embalut, Kalimantan Timur sebagai pertimbangan dan acuan pada kegiatan penambangan batubara menggunakan *auger mining*. Selain itu, metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini untuk mengevaluasi kestabilan pilar penyangga batubara dapat menjadi salah satu referensi dalam merancang geometri penambangan *auger mining*.

1.5 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu

1. Persiapan

Persiapan merupakan tahapan awal sebelum kegiatan lapangan meliputi studi pustaka, perumusan masalah, serta penetapan tujuan penelitian yang akan dilakukan. Studi pustaka dilakukan sebelum dan selama penelitian berlangsung hingga penyusunan tugas akhir. Studi pustaka dibutuhkan untuk mempelajari masalah yang akan diteliti tentang evaluasi teknis sistem penyangga pilar batubara pada *auger mining*. Studi pustaka dilakukan melalui buku-buku teks, jurnal penelitian terkait, laporan-laporan sebelumnya yang mendukung penelitian, serta informasi dari media berupa internet.

2. Pengambilan Data

Tahapan pengumpulan data-data dalam penelitian yang terdiri dari data primer dan data sekunder yang didapatkan secara langsung dari PT. Kitadin, *Site* Embalut, Kalimantan Timur, pada bulan November 2016 hingga Januari

2017. Data-data yang dikumpulkan ialah sebagai berikut:

Sifat fisik dan mekanis batuan



Sifat fisik dan mekanis batuan didapatkan dari perusahaan melalui Departemen Geologi PT. Kitadin, *Site* Embalut, Kalimantan Timur.

b. Kondisi geologi batuan di lokasi penelitian

Kondisi geologi batuan merupakan data sekunder yang diberikan oleh perusahaan. Namun peneliti ikut serta secara langsung dalam inspeksi lapangan untuk mendapatkan hasil kondisi geologi batuan di lokasi penelitian dengan bantuan kru lapangan.

c. Data nilai UCS batubara

Nilai UCS batubara ini berdasarkan hasil analisis UCS studi kelayakan *auger mining* PT. Kitadin, *Site* Embalut, Kalimantan Timur yang dilakukan di laboratorium geomekanik Institut Teknologi Bandung (ITB).

d. Geometri penambangan *auger mining*

Geometri penambangan *auger mining* didapatkan dari pengukuran langsung di lapangan.

3. Pengolahan Data

Pengolahan data ialah tahapan dimana data yang dikumpulkan akan diolah untuk menganalisis nilai faktor keamanan pilar penyangga batubara pada *auger mining*.

4. Pemodelan

Tahapan selanjutnya ialah pemodelan geometri penambangan *auger mining*, sebagai rekomendasi sistem penyangga pilar dan *web pillar* pada batubara.

5. Penyusunan laporan

Tahapan ini merupakan tahapan akhir dalam rangkaian kegiatan penelitian. Keseluruhan data yang telah diperoleh dan diolah, diakumulasikan, dan kemudian dituangkan dalam bentuk draf laporan hasil penelitian (skripsi) sesuai



dengan format dan kaidah penulisan tugas akhir yang telah ditetapkan Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin. Hasil akhir dari penelitian ini dipresentasikan dalam Ujian Sidang Sarjana dan selanjutnya laporan akhir diserahkan kepada Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin.

1.6 Lokasi Penelitian

PT. Kitadin, *Site* Embalut, Kalimantan Timur merupakan salah satu perusahaan pertambangan batubara yang tergabung dalam ITM *group* (PT. Indo Tambangraya Megah Tbk) dengan luas wilayah Kontrak Karya sebesar 2.973,6 hektar. Secara administratif, lokasi daerah kuasa pertambangan IUP PT. Kitadin dengan kode wilayah KTN 2013 006 OP, terletak pada empat desa yaitu Desa Bungo Rejo, Desa Embalut, Desa Kerta Buana dan Desa Separi, di Kecamatan Tenggarong seberang, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Secara Geografis wilayah usaha PT. Kitadin, *Site* Embalut, Kalimantan Timur terletak diantara $0^{\circ} 18' 00.0''$ Lintang Selatan – $0^{\circ} 22' 30.0''$ Lintang selatan dan $117^{\circ} 5' 00.0''$ Bujur Timur - $117^{\circ} 7' 49.9''$ Bujur Timur.

Kota terdekat dari lokasi penambangan PT. Kitadin, *Site* Embalut, Kalimantan Timur adalah kota Tenggarong dengan jarak ke lokasi *mine site* kurang lebih 35 km, yaitu dari Tenggarong ke arah timur menuju lokasi proyek 10 km dan dilanjutkan ke arah barat melalui jalan angkut tambang. Tetapi akses yang paling mudah adalah melalui kota Samarinda selama kurang lebih perjalanan 1 jam. Lokasi blok-blok tersebut dapat di capai dengan rute perjalanan sebagai berikut: Dari Makassar ke

... menggunakan kendaraan jalur udara dengan menggunakan pesawat yang ditempuh selama 2 jam hingga sampai di Bandara Sepinggang Balikpapan, dari ... ke Samarinda ditempuh selama 3 jam perjalanan dengan menggunakan



kendaraan roda 4 melalui jalur darat, dari Samarinda menuju ke lokasi PT.Kitadin *Site* Embalut ditempuh selama kurang lebih 1 jam perjalanan. Peta lokasi kesampaian daerah dapat dilihat pada di bawah ini.



Gambar 1.1 Petas Lokasi dan Kesampaian Daerah

Adapun lokasi penelitian operasi penambangan *auger mining* secara spesifik, yaitu berada pada *pit* S22GN yang merupakan bekas penambangan terbuka. Pada *pit* S22GN terdapat 3 *seam* batubara yang telah ditambang secara *open pit* yaitu *seam* 17, *seam* 20, dan *seam* 22. *Seam* 17 merupakan objek penelitian pada studi kasus kali ini.



BAB II

SISTEM PENYANGGA AUGER MINING

2.1 Sistem Penyangga

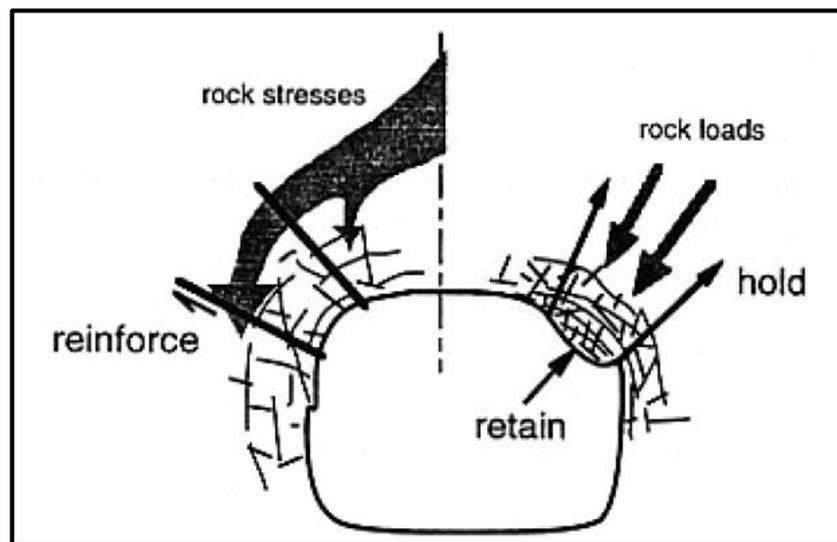
Sistem penyangga adalah salah satu aspek yang tidak bias dipisahkan dalam sebuah perencanaan penambangan dengan metode tambang bawah tanah maupun semi bawah tanah seperti *auger mining*. Kesuksesan dan kegagalan dalam menentukan sistem penyanggaan menjadi hal yang sangat kritikal dan penting karena kegagalan dalam hal ini dapat menyebabkan resiko terhadap keselamatan bagi para pekerja serta terganggunya aktivitas produksi. Penentuan sistem penyangga yang akan dibentuk sebagai pilar-pilar pada *auger mining* harus memperhatikan beberapa kondisi seperti detail lubang bukaan, estimasi tegangan, data geologi, estimasi perilaku batuan, dan desain penyangga batuan itu sendiri (Ginting dkk, 2017).

Perancangan sistem penyanggaan diperlukan untuk membantu massa batuan menyangga dirinya sendiri di mana sistem perkuatan (*reinforcement*) pada batuan diaplikasikan (Stillborg, 1994). Penyangga merupakan alat yang bertujuan untuk membantu dinding terowongan menyangga beban massa batuan dari atas dan samping terowongan, sehingga terowongan tetap stabil (Ghozali, 2013). Adapun fungsi dari penyangga ialah sebagai penguat (*reinforcement*) dan penahan (*support*) pada batuan. Fungsi penyangga tersebut tidak bias dipisahkan dalam sebuah perencanaan pemasangan penyangga pada tambang bawah tanah maupun semi bawah tanah. Beberapa fungsi utama penyangga, yaitu (Ginting dkk, 2017):

penguat (*reinforcement*), yaitu penyangga mempersatukan batuan secara tidak langsung memperbesar ketebalan dan menaikkan ketahanan terhadap beban massa batuan di atasnya.



2. Penahan (*retain*), yaitu penyangga batuan berfungsi sebagai penahan pada bagian yang tidak terkover (lubang bor) dan memaksimalkan dari masing-masing fungsi penyangga sehingga kerjanya maksimal untuk menahan beban dari batuan itu sendiri.
3. Pengikat (*hold*), yaitu penyangga batuan harus diikatkan pada suatu daerah yang kuat dan stabil. Penyangga dibebani secara prinsip oleh berat batuan yang disanggah.



Gambar 2.1 Tiga Fungsi Utama Penyangga (Ginting dkk, 2017)

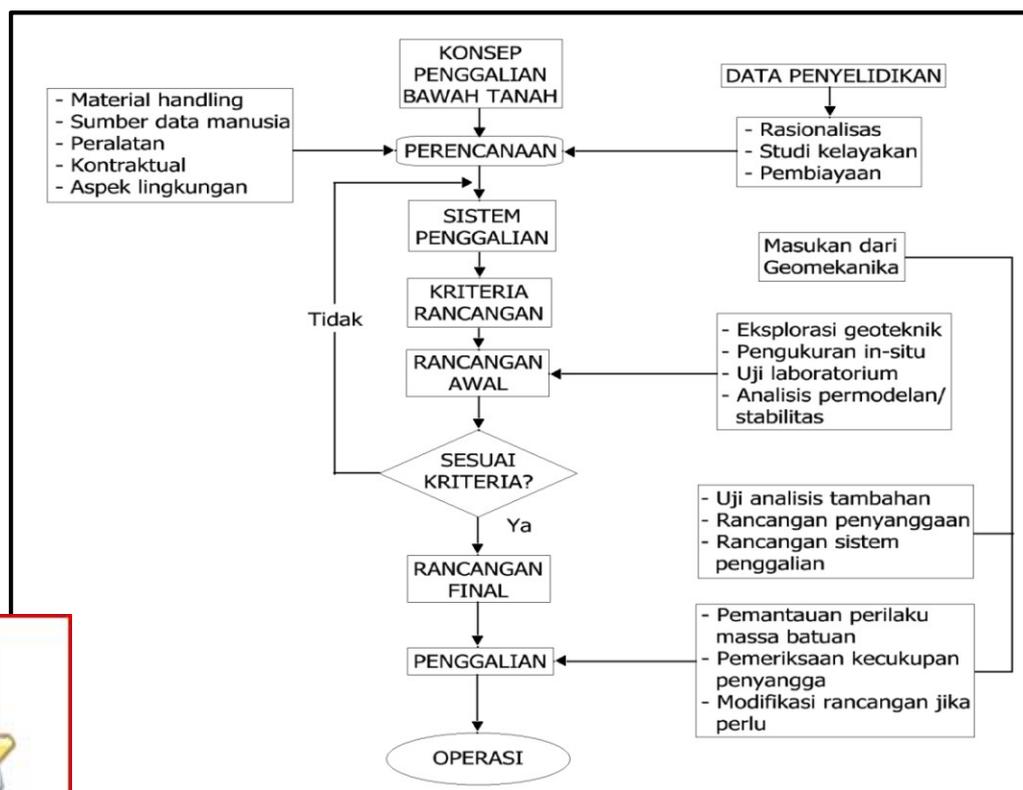
2.2 Rancangan Terowongan

Terowongan ialah struktur bawah tanah yang memiliki panjang lebih dari lebar penampang galiannya dan memiliki gradient memanjang kurang dari 15%. Terowongan umumnya tertutup di seluruh sisi kecuali di kedua ujungnya yang terbuka pada lingkaran luar. Konsep rancangan sebuah lubang bukaan pada *auger mining* (*semi underground*) relatif suatu hal yang baru. Hal ini dikarenakan masalah

n terowongan berbeda dengan rancangan struktur/bangunan. Penyusunan n penggalian bawah tanah bertitik tolak dari faktor-faktor ketidakmampuan struktur geologi, tegangan batuan yang yang berlebihan, pelapukan dan



swelling, serta faktor tekanan air tanah yang berlebihan (Hoek *and* Brown, 1980). Setiap rancangan penggalian bawah tanah harus menggunakan batuan itu sendiri sebagai material struktur yang utama. Begitu pula dengan rancangan penyangga pada lubang bukaan *auger mining*, pilar-pilar penyangga dibentuk dari batubara itu sendiri. Rancangan penyangga yang baik ialah rancangan yang seimbang dalam semua faktor yang saling berkaitan, meskipun itu tidak selalu dapat dikuantifikasikan dalam perhitungan. Berdasarkan sudut pandang insinyur geoteknik, kebanyakan klasifikasi penggalian bawah tanah digunakan untuk melihat tingkat stabilitas atau keamanan yang diperlukan dari batuan di sekitar penggalian tergantung pada tujuan penggalian. Adapun kategori penggalian bawah tanah, yaitu bukaan tambang sementara atau permanen, *vertical shaft*, ruang penyimpanan, instalasi pengolahan air, terowongan kereta api, portal, *chamber*, fasilitas penunjang, pabrik listrik bawah tanah, pabrik bawah tanah, dan lain sebagainya. Proses rancangan penggalian bawah tanah dapat dilihat pada gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 Bagan Alir Rancangan Penggalian Bawah Tanah (Hoek *and* Brown, 1980)

2.3 Karakteristik dan Massa Batuan

Karakteristik batuan dan massa batuan dapat diketahui dengan melakukan analisis mekanika batuan berupa data geologi yang secara umum terdiri dari jenis batuan, struktur geologi, dan karakteristik batuan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik batuan ialah pengujian di laboratorium. Pada studi kasus kali ini, data yang digunakan berasal dari analisis laboratorium Institut Teknologi Bandung (ITB) yang bersumber dari studi kelayakan *auger mining* PT. Kitadin, *Site* Embalut, Kalimantan Timur. Uji laboratorium dilakukan untuk mendapatkan sifat fisik dan mekanis batuan melalui beberapa jenis pengujian. Hasil dari pengujian sifat fisik akan menghasilkan karakteristik fisik batuan berupa densitas, berat jenis, kadar air, derajat kejenuhan, porositas, serta nisbah pori. Uji sifat mekanis dilakukan untuk mendapatkan karakteristik mekanik contoh batuan seperti kekuatan batuan terhadap tekanan, tarikan, dan geseran yang merupakan bentuk beban yang sering dialami massa batuan pada konstruksi bawah tanah. Selain itu, uji sifat fisik mekanik dapat memberikan gambaran mengenai deformabilitas contoh batuan (Wattimena, 2017).

Penentuan karakteristik massa batuan dapat dilakukan melalui metode pendekatan yang bertujuan untuk mengestimasi karakteristik massa batuan. Salah satu metode pendekatan yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan kriteria *Generalized* Hoek-Brown. Kriteria Hoek-Brown berasal dari penelitian tentang keruntuhan batuan utuh oleh Hoek pada tahun 1965 dan studi model perilaku massa batuan yang memiliki kekar oleh Brown pada tahun 1970. Kriteria *Generalized* Hoek-Brown dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut (Hoek and Brown,

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_1} s \right)^a \quad (2.1)$$



dengan,

σ_{ci} = Nilai UCS (MPa)

m_b = Konstanta Hoek-Brown untuk massa batuan

s, a = Konstanta ($s=1$ dan $a=0,5$ untuk batuan utuh)

Persamaan 2.1 menunjukkan bahwa diperlukan estimasi untuk σ_{ci} , m_b , s , dan a agar kriteria keruntuhan untuk massa batuan dapat diperoleh, Konstanta m_b , s , dan a dapat ditentukan dengan menggunakan beberapa persamaan sebagai berikut:

$$m_b = m_i \exp \left[\frac{GSI-100}{28-14D} \right] \quad (2.2)$$

$$s = \exp \left[\frac{GSI-100}{9-3D} \right] \quad (2.3)$$

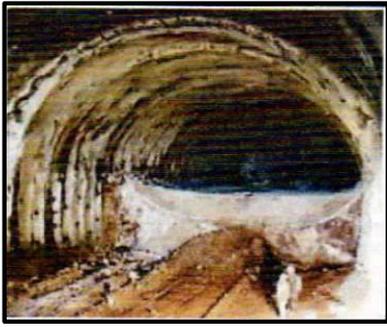
$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} (e^{-GSI/15} - e^{-20/3}) \quad (2.4)$$

dengan m_i ialah konstanta Hoek-Brown untuk batuan utuh dan D merupakan sebuah faktor yang bergantung pada derajat kerusakan akibat peledakan dan relaksasi tegangan. Nilai D bervariasi mulai dari 0 untuk massa batuan tak terganggu sampai dengan 1 untuk massa batuan sangat terganggu. Petunjuk untuk pemilihan nilai D dapat dilihat pada table 2.1

Tabel 2.1 Faktor Gangguan D di Konstruksi Bawah Tanah (Hoek *and* Brown, 2018)

Kenampakan massa batuan	Deskripsi massa batuan	Nilai D
	Peledakan terkendali sangat baik atau penggalian dengan <i>tunnel boring machine</i> yang menghasilkan gangguan minimum kepada massa batuan termampatkan di sekitar terowongan	$D=0$



	Penggalian mekanis atau manual pada massa batuan buruk (tanpa peledakan) menghasilkan gangguan minimum pada massa batuan. Jika masalah <i>squeezing</i> menghasilkan pengangkatan lantai, gangguan dapat merusak jika penyangga sementara tidak dipasang	$D=0$ $D=0,5$ (tanpa <i>invert</i>)
	Peledakan berkualitas sangat buruk pada batuan keras menghasilkan kerusakan local 2-3 meter dalam massa batuan	$D=0,8$

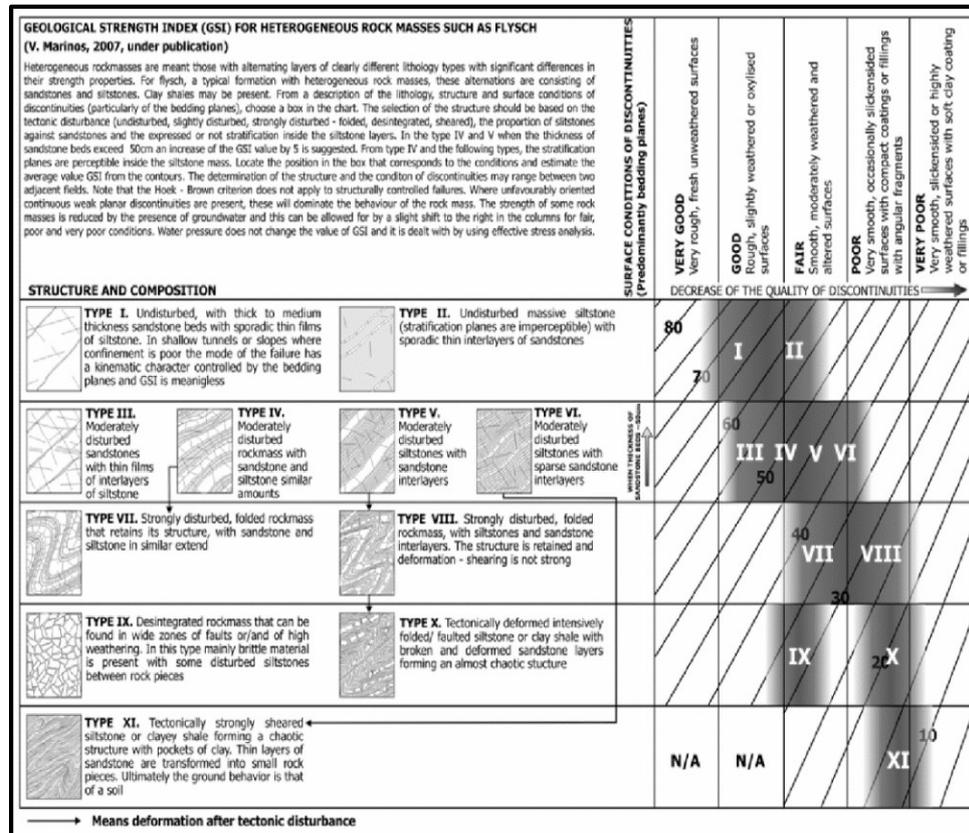
Geological Strength Index (GSI) merupakan system karakteristik massa batuan yang dikembangkan oleh Hoek pada tahun 1994 dan Hoek *et al* tahun 1995 yang bertujuan untuk menghubungkan kriteria keruntuhan dengan pengamatan geologi di lapangan.

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS		SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE—intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90				
	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			40		
	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					10



Gambar 2.3 GSI untuk Batuan *Blocky* (Hoek *et al*, 2017)

GSI memberikan angka-angka yang dapat dikombinasikan dengan karakteristik batuan utuh untuk memprediksi pengurangan dalam kekuatan massa batuan pada berbagai kondisi geologi. Penggunaan GSI dapat dilihat pada Gambar 2.3 untuk massa batuan *blocky* dan pada Gambar 2.4 untuk massa batuan heterogen (Hoek and Brown, 2018).



Gambar 2.4 *Geological Strength Index for Heterogeneous Rock Such us Flysch* (Marinos, 2014)

2.4 Tegangan Insitu dan Tegangan Terinduksi

2.4.1 Tegangan Insitu

Tegangan alamiah atau tegangan insitu merupakan tegangan dalam massa batuan sebelum penggalian dilakukan. Tegangan alamiah dapat terdiri dari beberapa jenis seperti tegangan gravitasi, tegangan tektonik, tegangan sisa dan tegangan termal. Menurut asal mulanya tegangan dalam batuan dibagi dua, yaitu tegangan



alamiah (*natural stresses*) dan tegangan terinduksi (*induced stresses*). Pemahaman mengenai besar dan arah tegangan insitu dan tegangan terinduksi ini merupakan bagian penting dalam perancangan lubang bukaan bawah tanah. Dalam banyak kasus, tegangan terinduksi ini akan melampaui kekuatan massa batuan dan menyebabkan ketidakmampuan lubang bukaan bawah tanah.

Jenis-jenis tegangan alamiah atau tegangan insitu yang bekerja pada batuan, antara lain:

1. Tegangan gravitasi

Tegangan gravitasi terjadi karena beban batuan yang ada di atasnya dan komponen vertikal dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan. Sedangkan komponen horisontal, jika material diasumsikan elastik dan tidak ada pergerakan secara horisontal, maka komponen ini dapat juga dihitung dengan persamaan.

2. Tegangan tektonik

Tegangan tektonik terjadi akibat geseran-geseran pada kulit bumi yang terjadi pada waktu yang lampau maupun saat ini, seperti saat terjadi sesar dan lain-lain. Pergerakan dalam kerak bumi terjadi secara kontinyu, seperti peristiwa seismic, pergerakan lempeng, dan pergerakan karena perbedaan panas antara inti bumi dan kerak. Tegangan tektonik sangat sulit diperkirakan baik besar maupun arahnya, hanya pada umumnya lebih besar daripada tegangan vertikalnya.

3. Tegangan termal

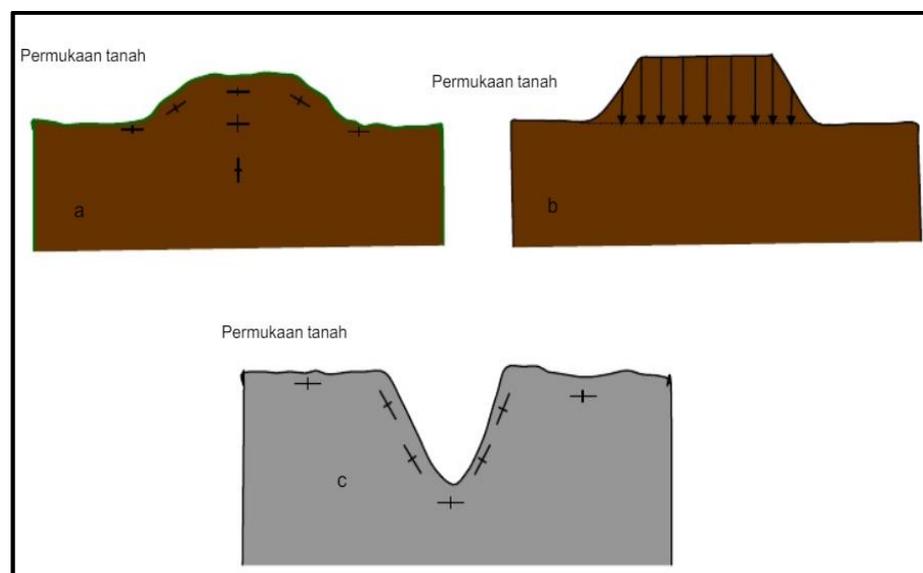
Tegangan termal terjadi karena pemanasan atau pendinginan batuan dan terjadi di dekat permukaan yang terkena panas matahari atau sebagai hasil pemanasan bagian dalam bumi karena bahan-bahan radioaktif atau proses geologi lainnya.



Tegangan insitu suatu titik ditentukan oleh kondisi pembebanan material yang ada di atasnya dan perubahan akibat proses geologi sebelumnya. Perubahan kondisi tegangan insitu dapat diakibatkan oleh beberapa hal yang antara lain berhubungan dengan perubahan suhu, serta proses kimia seperti *leaching*, penguapan, dan rekristalisasi mineral. Proses mekanik seperti terbentuknya rekahan, geseran antara bidang rekahan dan aliran viskoplastik dalam material akan menghasilkan kondisi tegangan yang kompleks dan heterogen. Beberapa faktor yang mempengaruhi kondisi tegangan insitu, yaitu topografi permukaan, erosi, tegangan sisa, inklusi, aktivitas tektonik, dan bidang (Brady and Brown, 1985).

1. Topografi Permukaan

Semakin jauh dari permukaan, semakin besar pengaruh beban material di atasnya. Untuk kondisi permukaan yang datar, tegangan vertikal rata-rata mendekati nilai tegangan akibat beban material di atasnya. Untuk topografi permukaan yang tidak rata, penentuan kondisi tegangan pada suatu titik menjadi lebih kompleks. Berikut ini gambaran pengaruh topografi terhadap distribusi tegangan (Brady and Brown, 1985).



Gambar 2.5 Pengaruh Topografi Terhadap Distribusi Tegangan (Brady and Brown, 1985)



Beberapa kondisi topografi dapat menyebabkan tegangan horizontal yang lebih besar dibandingkan dengan tegangan vertikalnya. Hal ini dapat menjadi salah satu sebab beberapa pengukuran tegangan insitu oleh Hoek *and* Brown (1978) menunjukkan tegangan horizontal yang pada umumnya lebih besar daripada tegangan vertikalnya. Jadi dapat dikatakan bahwa pengaruh topografi permukaan akan semakin kecil jika jarak dari permukaan semakin besar.

2. Erosi

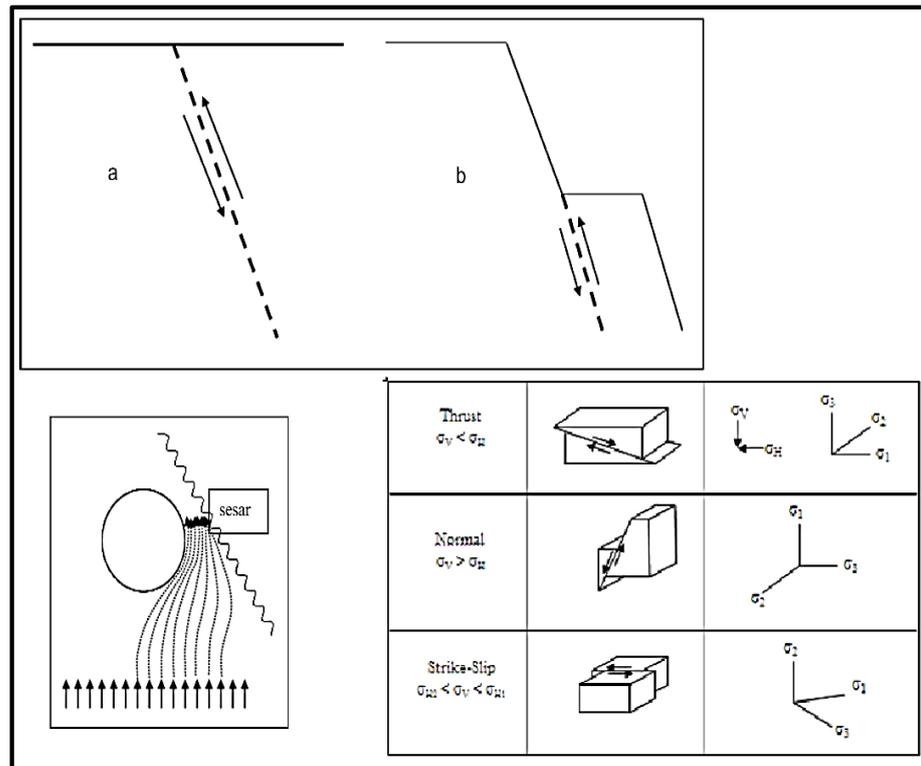
Erosi pada permukaan tanah baik oleh air, angin, maupun es akan mengalami kedalaman batuan pada suatu titik di bawah tanah, sehingga tegangan vertikalnya menjadi lebih kecil. Proses ini akan membawa pada suatu kondisi tegangan dengan nisbah tegangan horisontal dan vertikal yang tinggi, khususnya di tempat- tempat yang dangkal.

Analisis dari permasalahan ini juga menunjukkan bahwa rasio tegangan horisontal dan vertikal akan semakin kecil jika kedalaman meningkat, mendekati nilai sebelum proses erosi terjadi dimana kedalamannya lebih besar daripada kedalaman lapisan tanah penutup yang tererosi. Pengukuran tegangan insitu di beberapa daerah oleh Hoek *and* Brown (1978) juga membuktikan hal ini, bahwa di tempat-tempat yang relative dangkal, nisbah tegangan horisontal dan vertikal cenderung besar.

3. Tegangan Sisa

Tegangan sisa adalah tegangan yang masih tersisa, walaupun penyebab tegangan tersebut sudah hilang yang berupa panas atau pembengkakan di kulit bumi. Sebagai contoh, pada ilustrasi berikut yang menggambarkan kondisi tegangan pada saat bidang lemah belum bergerak (a) dan juga ilustrasi yang menyatakan kondisi tegangan sisa setelah terjadi proses pergerakan pada bidang lemah tersebut (b) (Herget, 1988).





Gambar 2.6 Ilustrasi Tegangan Sisa & Hubungan Antara Nisbah Tegangan dengan Sesar (Hegret, 1988)

Tegangan yang masih ada di dalam batuan walaupun penyebabnya sudah tidak ada lagi. Fenomena ini disebabkan oleh beberapa hal. Proses pendinginan yang tidak merata dalam suatu material dapat menyisakan tegangan dalam material tersebut. Pada umumnya tegangan sisa dapat ditimbulkan karena proses fisika dan kimia yang terjadi secara tidak merata di dalam material (Timoshenko dan Goodier, 1970). Sebagai contoh, pendinginan yang tidak merata dalam massa batuan dengan litologi yang berdekatan dan mempunyai koefisien ekspansi termal yang berbeda akan menyebabkan tegangan yang terkunci (*locked-in stress*). Selain pendinginan, perubahan mineralogi lokal dalam batuan seperti rekristalisasi lokal, perubahan kandungan air dalam matriks mineral karena proses absorbsi. Masalah tegangan sisa masih menjadi hambatan dalam memperkirakan kondisi tegangan yang bekerja dalam massa batuan juga dalam penyelidikan geologi detail ataupun mekanismenya.



4. Inklusi

Inklusi dalam massa batuan adalah bagian yang secara litologi membuat umur batuan lebih muda dari formasi batuan induknya. Biasanya inklusi merupakan intrusi seperti *dykes* dan *sill*, serta *veins* seperti mineral kuarsa dan *flour*. Keberadaan inklusi secara vertikal mempengaruhi kondisi tegangan dengan dua cara. Kemungkinan pertama jika inklusi berada di bawah kondisi tekanan yang berlawanan dengan kondisi horisontal batuan di sekitarnya, maka komponen tegangan yang tinggi akan menjadi tegak lurus bidang inklusinya. Kemungkinan kedua dihubungkan dengan perbedaan nilai modulus deformasi inklusi dan batuan di sekitarnya yang dapat diakibatkan oleh adanya aktifitas pembebanan. Sebagai contoh, adanya perubahan tegangan efektif dalam batuan induk atau adanya perpindahan karena adanya aktifitas tektonik dapat menyebabkan perubahan tegangan dalam inklusi menjadi relative lebih rendah atau lebih tinggi dibandingkan batuan induknya. Inklusi yang relatif kaku (*stiff*) akan menyebabkan tegangan dalam inklusi menjadi lebih tinggi, begitu pula sebaliknya.

Perbedaan modulus deformasi antara inklusi dan batuan induk akan membuat gradien tegangan dalam batuan induk di sekitar inklusi menjadi lebih tinggi. Sebaliknya, jika modulus deformasi inklusi relatif rendah, maka gradien tegangan dalam batuan induk di sekitar inklusi menjadi lebih kecil sehingga kondisi tegangannya relatif homogen (Savin, 1961).

5. Aktivitas Tektonik

Tegangan insitu mungkin juga berasal dari aktivitas tektonik yang bekerja pada skala regional dan bias dihubungkan dengan kondisi struktur geologi daerah tersebut seperti sesar dan lipatan. Elemen batuan bereaksi secara skoplastik terhadap tegangan yang bekerja. Semakin kuat aktivitas tektonik



cenderung menyebabkan komponen tegangan subhorizontal lebih besar daripada tegangan vertikal dan tegangan horizontal lainnya. Hal ini mungkin karena aktivitasnya terjadi jauh di bawah permukaan.

6. Bidang

Keberadaan bidang di dalam massa batuan bias mengganggu kesetimbangan tegangan dan dapat menyebabkan tegangan tersebut terdistribusi kembali untuk mencari kesetimbangan barunya. Adanya bidang vertikal seperti punggung bukit dapat diasosiasikan dengan rendahnya tegangan horizontal yang bekerja di daerah tersebut. Satu kelompok bidang dalam massa batuan yang mempunyai orientasi, formasi, dan perilaku yang sesuai dengan *compressive failure* erat kaitannya dengan sifat-sifat tegangan yang dapat menyebabkan perkembangan bidang. Kondisi tegangan yang heterogen merupakan akibat alami dari adanya proses pelipatan, pergeseran atau lucuran yang terjadi pada bidang-bidang perlapisan batuan.

Penentuan lokasi pembuatan sebuah terowongan ataupun sebuah bendungan berdasarkan pada arah tegangan utama (*principal stress*) regional. Pemecahan klasik yang biasa dilakukan untuk mengetahui keadaan tegangan di dalam massa batuan tanpa dilakukannya pengukuran in situ adalah dengan menganggap bahwa tegangan vertikal (σ_v) pada massa batuan yang berada pada kedalaman tertentu adalah sama dengan berat per satuan luas dari batuan yang berada di atasnya atau:

$$\sigma = \rho g h \quad (2.5)$$

dengan,

bobot isi batuan (ton/m^3)

percepatan gravitasi (m/det^2)

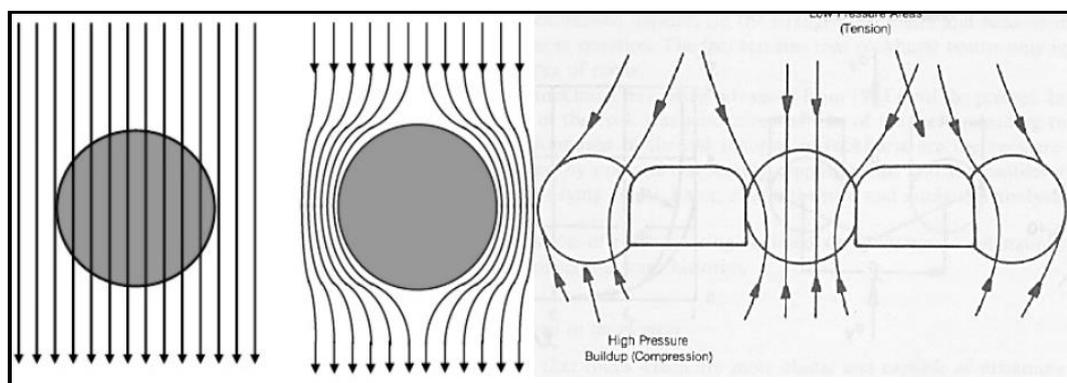
kedalaman



2.4.2 Tegangan Terinduksi

Jika sebuah lubang bukaan bawah tanah dibuat pada massa batuan, maka batuan yang tidak ter gali akan menerima beban lebih besar daripada saat sebelum digali karena bagian yang harus menerima beban tersebut telah hilang kondisi sehingga tegangan awal secara lokal akan berubah menjadi tegangan terinduksi. Hal ini juga menyebabkan terjadinya distribusi tegangan di dinding terowongan berbeda dari tegangan sebelum batuan digali.

Sebelum penggalian dilakukan, massa batuan berada dalam kondisi setimbang, dan setelah penggalian dilakukan, kesetimbangan tersebut menjadi terganggu dan dapat mengubah distribusi tegangan awal. Untuk mengetahui distribusi tegangan di sekitar terowongan dapat digunakan persamaan (Kirsch, 1898).



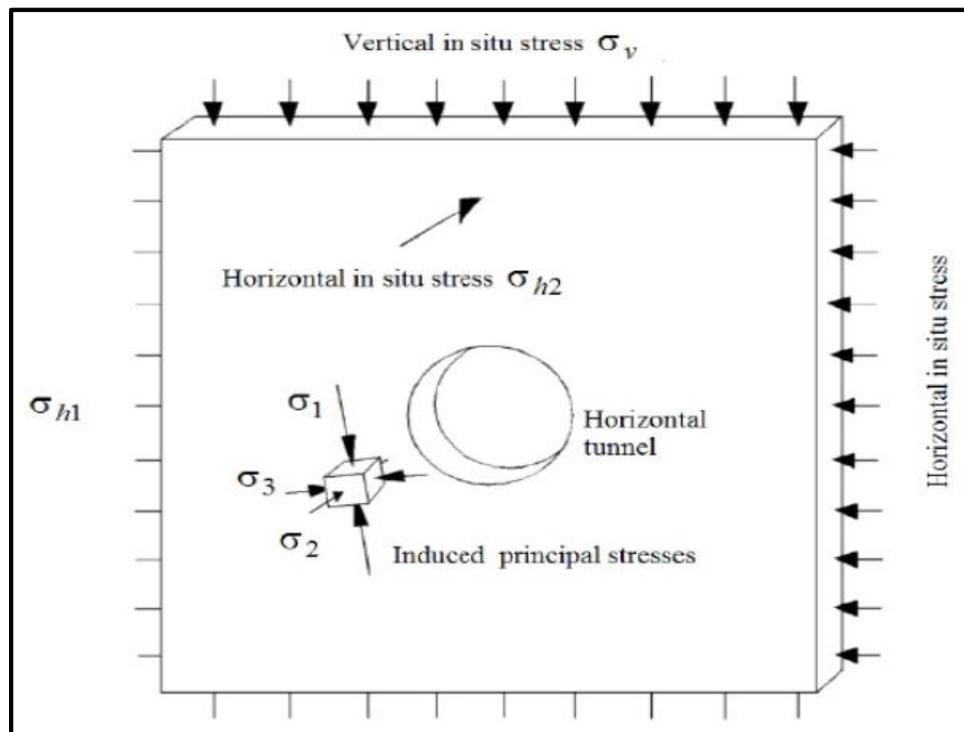
Gambar 2.7 Distribusi Tegangan di Sekitar Terowongan (Kirsch, 1898)

Tegangan di sekitar lubang bukaan dapat dihitung dengan menggunakan metode analitik. Metode analitik pada perancangan lubang bukaan bawah tanah mencakup beberapa teknik seperti solusi-solusi pendekatan bentuk, metode numerik, dan analisis structural. Metode ini cukup efektif untuk perancangan lubang bukaan bawah tanah karena dengan metode ini dimungkinkan untuk melakukan analisis

engan kemandapan lubang bukaan bahwa tanah untuk parameter masukan variasi. Hal penting yang harus diperhatikan ialah metode analitik dan kriteria an yang dipilih harus mampu mengantisipasi atau mengidentifikasi



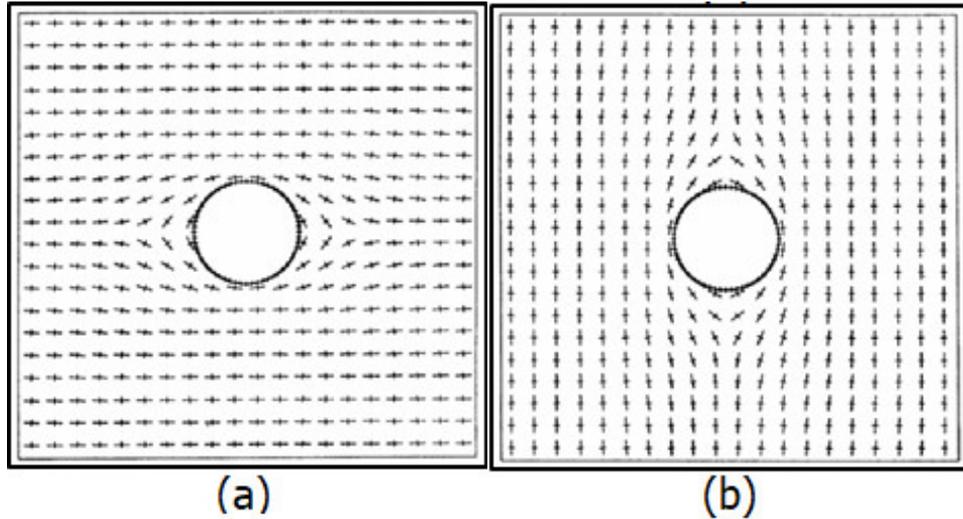
mekanisme dan bentuk keruntuhan secara akurat. Oleh karena itu, lebih dari satu pendekatan perancangan analitik sebaiknya digunakan, sehingga pemahaman mengenai zona keruntuhan dan perluasannya dapat menjadi lebih baik (Wattimena, 2017). Ilustrasi tegangan utama ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – perhatikan *eigen vectors*) menginduksi pada sebuah elemen batuan dekat dengan lubang bukaan horizontal yang dikenai tegangan insitu vertikal σ_v , tegangan insitu horizontal σ_{h1} dalam sebuah bidang normal terhadap sumbu lubang bukaan dan tegangan insitu horizontal σ_{h2} dalam sebuah bidang paralel dengan sumbu lubang bukaan.



Gambar 2.8 Prinsip Tegangan Terinduksi Pada Batuan

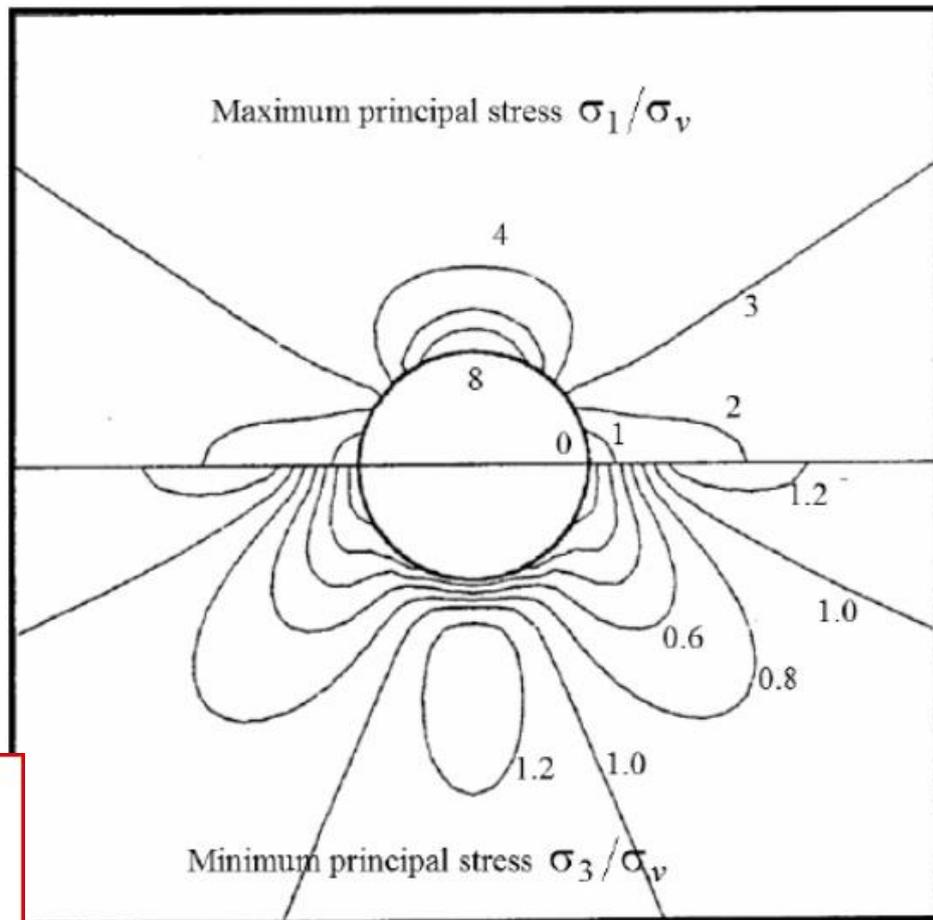
Arah tegangan utama di dalam wilayah sekitar lubang bukaan horizontal yang dikenai tegangan insitu σ_{h1} sama dengan $3\sigma_v$, σ_v tegangan insitu vertikal. Arah tegangan utama di dalam wilayah sekitar lubang bukaan horizontal yang dikenai tegangan insitu σ_{h1} sama dengan $(1/3)\sigma_v$, σ_v , tegangan insitu vertikal.





Gambar 2.9 Arah Tegangan Utama di Sekitar Lubang Bukaan

Prinsip tegangan terinduksi pada kontur besaran maksimum dan minimum tegangan utama dalam batuan di sekitar lubang bukaan horisontal, dikenai tegangan vertikal σ_v dan horisontal $\sigma_h = 3\sigma_v$



Gambar 2.10 Prinsip Tegangan Terinduksi Pada Kontur

2.5 Metode Empiris

Metode penelitian empiris adalah penelitian yang berfokus meneliti suatu fenomena atau keadaan dari objek penelitian secara detail dengan menghimpun kenyataan yang terjadi serta mengembangkan konsep yang ada. Dasar dari metode empiris ialah pendefinisian berdasarkan data-data eksperimental hasil pengamatan, pengalaman, *trial and error* (uji coba), juga menggunakan ke 5 panca indera manusia (penglihatan, perasa, penciuman, pendengaran, sentuhan) dan bukan secara teoritis & spekulasi, lebih untuk ilmu pengetahuan dan penelitian (Sugiyono, 2017). Studi empiris yang dilakukan pada penelitian ini ialah berdasarkan perbandingan data hasil peneliti terdahulu pada studi kelayakan *auger mining* PT. Kitadin, *Site Embalut*, Kalimantan Timur dengan hasil pengamatan dan pengambilan data secara aktual dilapangan.

2.6 Terminologi Penelitian

Beberapa arti dari istilah yang digunakan pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. *Auger mining* adalah metode penambangan alternatif yang tepat untuk mengambil batubara marginal pada lereng tebing batas dan sudah mencapai batas optimum penambangan dengan cara *open pit*.
2. *Coal panel* ialah pola lubang bor atau lubang bukaan yang dibentuk secara konstan di antara pilar-pilar penyangga sesuai dengan desain geometri penambangan *auger mining*
3. *Auger hole* ialah lubang bor atau lubang bukaan yang terbentuk dari hasil operasi penambangan menggunakan *auger mining* sesuai dengan diameter *utter head* yang digunakan.



4. *Web pillar* ialah pilar batubara yang berada diantara lubang bor dan sengaja tidak ekstrak dari lapisan batubara tersebut karena berfungsi sebagai penyangga untuk menjaga kestabilan lereng area kerja.
5. *Barrier pillar* ialah pilar batubara yang sengaja di bentuk lebih lebar daripada *web pillar* pada titik-titik tertentu yang dianggap kurang stabil.
6. *Auger Mining Index (AMI)* ialah parameter yang dapat memberikan indikasi layak atau tidak suatu area dilakukan *auger mining*.

