ANALISIS KESTABILAN TEROWONGAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA *(FINITE ELEMENT)* DI TEROWONGAN THC-01 DAN THC-02 TAMBANG BATUBARA CV. TAHITI COAL KOTA SAWAHLUNTO PROVINSI SUMATERA BARAT

SKRIPSI



Oleh:

MUHAMMAD HASBI
1410024427097

PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
YAYASAN MUHAMMAD YAMIN PADANG
SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI INDUSTRI
(STTIND) PADANG
2019

ANALISIS KESTABILAN TEROWONGAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA *(FINITE ELEMENT)* DI TEROWONGAN THC-01 DAN THC-02 TAMBANG BATUBARA CV. TAHITI COAL KOTA SAWAHLUNTO PROVINSI SUMATERA BARAT

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Pertambangan



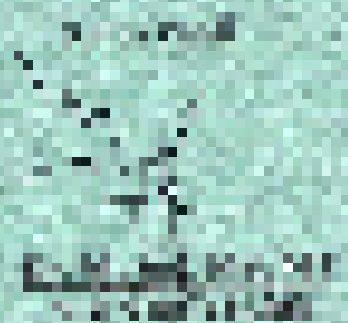
Oleh:

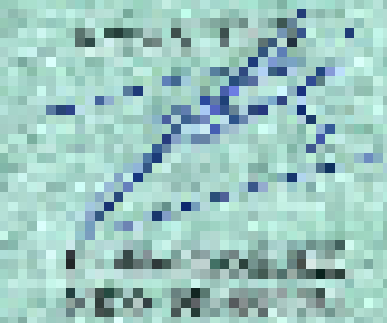
MUHAMMAD HASBI
1410024427097

PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
YAYASAN MUHAMMAD YAMIN PADANG
SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI INDUSTRI
(STTIND) PADANG
2019









ANALISIS KESTABILAN TEROWONGAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA *(FINITE ELEMENT)* DI *TUNNEL* THC-01 DAN THC-02 TAMBANG BATUBARA CV. TAHITI COAL KOTA SAWAHLUNTO PROVINSI SUMATERA BARAT

Nama : Muhammad Hasbi
NPM : 1410024427097
Pembimbing 1 : Dian Hadiyansyah, ST., MT
Pembimbing 2 : Refky Adi Nata, ST., MT

ABSTRAK

CV. Tahiti Coal merupakan perusahaan swasta tambang batubara bawah tanah yang berada di Kota Sawahlunto. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kestabilan terowongan dan *displacement*. Pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan observasi lapangan dan pengujian di laboratorium. Metode penyelesaian masalah dalam penelitian ini berdasarkan klasifikasi massa batuan dari Bieniawski (1989) yaitu *Rock Mass Rating System* (RMR) yang terdiri dari kuat tekan batuan utuh (UCS), *rock quality designation* (RQD), kondisi kekar, kondisi air tanah serta orientasi kekar dan metode *Finite Element* (elemen hingga) yang terdiri dari *displacement* horizontal, *displacement* vertikal, total *displacement*, dan *strength factor*. Hasil RMR berdasarkan parameter di atas menjelaskan, batupasir memiliki RMR 68, batulanau memiliki RMR 71, batubara THC-01 memiliki RMR 68 dan batubara THC-02 memiliki RMR 75. Analisis Faktor Keamanan THC-01 didapatkan nilai dari horizontal *displacement* maksimum sebesar 8,2 mm sedangkan untuk horizontal *displacement* minimum sebesar -8,1 mm, *vertical displacement* maksimum sebesar 7,3 mm sedangkan *vertical displacement* minimum sebesar -7,7 mm, FK sebesar 6.03 (setelah penyanggan) dan Analisis faktor keamanan THC-02 didapatkan nilai dari horizontal *displacement* maksimum sebesar 7,8 mm sedangkan untuk horizontal *displacement* minimum sebesar -7,3 mm, *vertical displacement* maksimum sebesar 6,7 mm sedangkan *vertical displacement* minimum sebesar -8,2 mm FK sebesar 6.96 (setelah penyanggaan). Hasil FK masuk dalam kategori stabil.

Kata Kunci: *Finite Element,* Faktor Keamanan, *Displacement, Rock Mass Rating System* (RMR)

ANALISYS 0F TUNNEL STABILITY USING FINITE ELEMENT METHOD IN TUNNEL THC-01 AND THC-02 COAL MINE OF CV. TAHITI COAL SAWAHLUNTO CITY WEST SUMATERA PROVINCE

Name	**: Muhammad Hasbi**
NPM	**: 1410024427097**
Advisor 1	**: Dian Hadiyansyah, ST., MT**
Advisor 2	**: Refky Adi Nata, ST., MT**

ABSTRACT

CV. Tahiti Coal is a private coal mining company located in the city of Sawahlunto. The purpose of this study in to analisys the stability of tunnels and displacement. Data collection in this study used field obsevation and problem solving method in this study based of rock mass classification from Bieniawski (1989). Namely the rock mass rating system (RMR) consisting of solid rock compressive strength (UCS), rock quality designation (RQD), discontinuity condition, groundwater condition, and discontinuity orientation and finite element method consisting of horizontal displacement, vertical dispalcement, total displacement and strength factor. The result of RMR analysis based on the above parameters explain, sandstone have RMR 68, siltstone has RMR 71, coal THC-01 has RMR 68 and coal THC-02 has RMR 75. Safety factor analisys THC-01 shows that the value of horizontal displacement maximum equel to 8,2 mm while for horizontal displacement minimum equel to -8,1 mm, vertical displacement maximum equel to 7,3 mm while for vertical displacement minimum equel to -7,7 mm, FK equel to 6.03 (after supported) and Safety factor analisys THC-02 shows that the value of horizontal displacement maximum equel to 7,8 mm while for horizontal displacement minimum equel to -7,3 mm, vertical displacement maximum equel to 6,7 mm while for vertical displacement minimum equel to -8,2 mm FK equel to 6.96 (after supported). FK result are in the stable category.

Kata Kunci: Finite Element, Safety Factor, Displacement, Rock Mass Rating System (RMR)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT karena atas berkat, rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini sesuai waktu yang ditentukan dengan baik. Shalawat beriring salam penulis kirimkan kepada Nabi Muhammad SAW., semoga kita mendapatkan safaat-Nya di akhirat kelak. Tugas Akhir ini berjudul Analisis Kestabilan Terowongan Dengan Metode Elemen Hingga *(Finite Element)* di Terowongan THC-01 dan THC-02 Tambang Batubara CV. Tahiti Coal Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini penulis dibantu oleh berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua beserta keluarga yang telah mendoakan, memotivasi dan mendukung penulisan Tugas Akhir.
2. Bapak H. Riko Ervil MT. sebagai ketua Sekolah Tinggi Teknologi Industri (STTIND) Padang.
3. Bapak Dr. Murad MS, MT., selaku ketua Program Studi Teknik Pertambangan Sekolah Tinggi Teknologi Industri (STTIND) Padang.
4. Ibuk Riam Marlina, MT., selaku sekretaris Program Studi Teknik Pertambangan Sekolah Tinggi Teknologi Industri (STTIND) Padang.
5. Bapak Dian Hadiyansyah, MT., selaku pembimbing 1 dalam penulisan Tugas Akhir.

6. Bapak Refky Adi Nata ST, MT., selaku pembimbing 2 dalam penulisan Tugas Akhir.
7. Seluruh dosen dan karyawan/karyawati Sekolah Tinggi Teknologi Industri (STTIND) Padang.
8. Sahabat seperjuangan Hendriono, Danu, Heru, Leo, Ikhwan, Rendi, Eca, Tari, Vera dan yang lainnya untuk mengejar gelar Sarjana yang tidak bisa dituliskan namanya satu persatu serta Putri Selayan yang selalu gigih menyemangati.
9. Teman-teman sepermainan (GC) Iqbal, Rifki, Rio, Angga, David, Daren, Debi, Harry dan Irsan. Serta teman-teman (Bolang), Hadid, Willy, Ise, Maulana, Rangga, Dio, Dimas, Findo dan Imam.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kekurangan baik dalam segi materi maupun penyusunan kata-kata untuk ini penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari seluruh pihak demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan terutama bagi penulis.

Padang, Juni 2019

Muhammad Hasbi

DAFTAR ISI

Halaman

COVER

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK

ABSTACT

KATA PENGANTAR ..... **i**

DAFTAR ISI ..... **iii**

DAFTAR GAMBAR ..... **vii**

DAFTAR TABEL ..... **x**

DAFTAR LAMPIRAN ..... **xv**

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah 1

1.2 Identifikasi Masalah 4

1.3 Batasan Masalah 4

1.4 Rumusan Masalah 4

1.5 Tujuan Penelitian 5

1.6 Manfaat Penelitian 5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori 7

2.1.1. Deskripsi Perusahaan 7

2.1.1.1. Sejarah Perusahaan 7

2.1.1.2. Metode Penambangan 8

2.1.1.3. Kondisi Umum Geologi 8

2.1.1.4. Stratigrafi Regional 10

2.1.1.5. Lokasi dan Kesampaian Daerah 12

2.1.2. Metode Elemen Hingga *(Finite Element)* 13

2.1.2.1. Parameter-Parameter yang Digunakan 15

2.1.2.2. Klasifikasi Massa Batuan 28

2.1.2.3. Penggunaan *Rock Mass Rating* (RMR) 36

2.1.2.4. Perhitugan Faktor Keamanan 37

2.1.2.5. *Displacement Horizontal* dan *Displacement Vertical* 40

2.1.2.6. Sistem Penyangga 41

2.1.2.7. Geometri Lubang Bukaan 44

2.1.2.8. *Software Phase 2 Version 8.0* 45

2.2.Kerangka Konseptual 45

2.2.1. *Input* 47

2.2.2. Proses 47

2.2.3. *Output* 47

BABIII METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian 48

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian 48
3.2.1. Lokasi Penelitian 48
3.2.2. Waktu Penelitian 48
3.3 Data dan Sumber Data 49
3.3.1. Data 49
3.3.2. Sumber Data 49
3.4 Teknik Pengumpulan Data 49
3.4.1 Data Primer 50
3.4.2 Data Sekunder 50
3.5 Teknik Pengolahan dan Analisis Data 51
3.6 Kerangka Metodologi 53

BAB IV DATA DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data Primer 56
4.1.1 Data Lapangan 56
4.1.2 Data Laboratorium 59
4.2 Pengumpulan Data Sekunder 63
4.3 Pengolahan Data 63
4.3.1 *Rock Mass Rating System (RMR)* 63
4.3.1.1 Uji Kuat Tekan *point load index* (PLI) 63
4.3.1.2 *Rock Quality Destination* (RQD) 65
4.3.1.3 Jarak Antar Kekar *(Spacing Of Discontinuitas)* 67

4.3.1.4 Kondisi Diskontinuitas 70
4.3.1.5 Kondisi Air Tanah 75
4.3.1.6 Orientasi Kekar 75
4.3.2 Elemen Hingga 83
4.3.3 Faktor Keamanan Sebelum dan Sesudah

BAB V HASIL PENGOLAHAN DATA

5.1 *Rock Mass Rating System (RMR)* 91
5.1.1 Nilai Kuat Tekan Batuan (UCS) 91
5.1.2 Nilai RQD 91
5.1.3 Jarak Antar Kekar 92
5.1.4 Kondisi Diskontinuitas 92
5.1.5 Kondisi Air Tanah 94
5.1.6 Orientasi Diskontinuitas 94
5.2 Elemen Hingga 95
5.2.1 Faktor Keamanan 95
5.2.2 *Displacement Horizontal* dan *Verctical* 96

BAB VI PENUTUP

5.1 Saran 97
5.2 Kesimpulan 98

DAFTAR KEPUSATAKAAN

LEMBAR KONSULTASI

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1.	Mesin Tekan Hungta 2000 KN *(Compression Mechine)* Laboratorium Geomekanika dan Peralatan Tambang ITB	18
Gambar 2.2.	Tipe dan Syarat Contoh Batuan Uji *Point Load Index* (Irwandi Arif, 2016)	20
Gambar 2.3.	Alat Pengujian *Point Load Index* Laboratorium Geomekanika dan Peralatan Tambang ITB	22
Gambar 2.4.	Alat *Indirect Tensile Strenght Test* Untuk Laboratorium (Laboratorium Mekanika Batuan MINTEC 2015)	23
Gambar 2.5.	Perhitungan Nilai RQD Berdasarkan Log Bor	29
Gambar 2.6.	Pengukuran Jarak Antar Kekar Menggunakan Metode *Scanline* (Irwandi Arif, 2016)	31
Gambar 2.7.	Lingkaran Mohr-Coulumb (Kramadibrata, 2015)	38
Gambar 2.8.	Penyangga Kayu *Three Pieces Set*	42
Gambar 2.9.	Kerangka Konseptual	46

Gambar 3.1.	Kerangka Metodologi	53
Gambar 4.1.	Kondisi Batubara di Dalam Lubang Tambang	59
Gambar 4.2.	Alat Uji *Point Load Index*	61
Gambar 4.3.	Sampel Batuan	61
Gambar 4.4.	Pengujian Sifat Fisik Batuan	62
Gambar 4.5.	Hasil Pengujian Kuat Tekan Batuan	62
Gambar 4.6.	Hasil Diagram Rosette Untuk Batupasir	76
Gambar 4.7.	Hasil Diagram Rosette Untuk Batulanau	78
Gambar 4.8.	Hasil Diagram Rosette Untuk Batubara THC-01	80
Gambar 4.9.	Hasil Diagram Rosette Untuk Batubara THC-01	82
Gambar 4.10.	Bentuk Lubang THC-01 *Front* 04	84
Gambar 4.11.	*Horizontal Displacement* THC-01 *Front* 04	85
Gambar 4.12.	*Vertical Displacement* THC-01 *Front* 04	85
Gambar 4.13.	Total *Displacement* THC 01 *Front* 04	85

Gambar 4.14. *Strength Factor* THC-01 *Front* 04 86

Gambar 4.15. Bentuk Lubang THC-02 *Front* 04 86

Gambar 4.16. *Horizontal Displacement* THC-02 *Front* 04 86

Gambar 4.17. *Vertical Displacement* THC-02 *Front* 04 87

Gambar 4.18. Total *Displacement* THC-02 *Front* 04 87

Gambar 4.19. *Strength Factor* THC-02 *Front* 04 87

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1.	Parameter *Uniaxial Compressive Strenght* (Bieniawski 1998)	19
Tabel 2.2.	Hubungan Kualitas Massa Batuan Terhadap Nilai RQD (Deere, 1968)	30
Tabel 2.3.	Hubungan Spasi Kekar Terhadap Bobot (Bieniawski, 1989)	31
Tabel 2.4.	Penentuan Rating Kondisi Kekar Pada Pembobotan RMR (Bieniawski, 1989)	33
Tabel 2.5.	Kondisi Air Tanah (Bieniawski, 1989)	34
Tabel 2.6.	Penyesuaian Orientasi Kekar (Bieniawski, 1989)	35
Tabel 2.7.	Kelas Massa Batuan, Kohesi dan Sudut Geser Dalam Berdasarkan Nilai RMR (Jurnal Heri Syaeful, Dkk. 2015)	36
Tabel 2.8.	Kelas Massa Batuan, Kohesi dan Sudut Geser Dalam Berdasarkan Nilai RMR (Revandy Iskandar. 2005)	39
Tabel 3.1	Jadwal Rencana Penelitian	48
Tabel 4.1	Kondisi Kekar	56

Tabel 4.2	Data Dimensi *Tunnel* THC-01 *Front* Cabang 04 .	57
Tabel 4.3	Data Dimensi *Tunnel* THC-02 *Front* Cabang 04	58
Tabel 4.4	Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Batuan	60
Tabel 4.5	Nilai UCS Sampel Batuan	64
Tabel 4.6	Kekuatan Material Batuan Utuh .	65
Tabel 4.7	Kualitas dan Bobot Batuan Berdasarkan Nilai RQD	66
Tabel 4.8	Kualitas dan Bobot Batubara Berdasarkan Nilai RQD	66
Tabel 4.9	Jarak Kekar Untuk Batupasir	67
Tabel 4.10	Bobot Jarak Antar Kekar	67
Tabel 4.11	Jarak Kekar Untuk Batulanau	68
Tabel 4.12	Bobot Jarak Antar Kekar	68
Tabel 4.13	Jarak Kekar Untuk Batubara THC-01	68
Tabel 4.14	Bobot Jarak Antar Kekar	69
Tabel 4.15	Bobot Kekar Untuk Batubara THC-02	69

Tabel 4.16	Bobot Jarak Antar Kekar	69
Tabel 4.17	Kondisi Kekar di Lapangan Untuk Batupasir	70
Tabel 4.18	Total Bobot Kekar Batupasir	70
Tabel 4.19	Kondisi Kekar Di Lapangan Untuk Batulanau	71
Tabel 4.20	Total Bobot Kekar Batulanau	71
Tabel 4.21	Kondisi Kekar di Lapangan Untuk Batubara THC-01	72
Tabel 4.22	Total Bobot Kekar Batubara THC-01	73
Tabel 4.23	Kondisi Kekar Di Lapangan Untuk Batubara THC-02	73
Tabel 4.24	Total Bobot Kekar Batubara THC-02 .	74
Tabel 4.25	Total Bobot Kondisi Umum Air Tanah (Bieniawski 1989)	75
Tabel 4.26	Nilai *Strike* dan *Dip* Batupasir	75
Tabel 4.27	Pengaruh Orientasi Kekar Dalam Pembuatan Terowongan Dan Penggalian	76
Tabel 4.28	Peubah Bobot Orientasi Kekar	77
Tabel 4.29	Total Bobot Dari 6 Parameter RMR Untuk Batupasir	77

Tabel 4.30	Nilai *Strike* dan *Dip* Untuk Batulanau	77
Tabel 4.31	Pengaruh Orientasi Kekar Dalam Pembuatan Terowongan dan Penggalian	78
Tabel 4.32	Peubah Bobot Orientasi Kekar	79
Tabel 4.33	Total Bobot Dari 6 Parameter RMR Untuk Batulanau	79
Tabel 4.34	Nilai *Strike* dan *Dip* Untuk Batubara THC-01	79
Tabel 4.35	Pengaruh Orientasi Kekar Dalam Pembuatan Terowongan dan Penggalian	80
Tabel 4.36	Peubah Bobot Orientasi Kekar.	81
Tabel 4.37	Total Bobot Dari 6 Parameter RMR Untuk Batubara THC-01	81
Tabel 4.38	Nilai *Strike* dan *Dip* Untuk Batubara THC-02	81
Tabel 4.39	Pengaruh Orientasi Kekar Dalam Pembuatan Terowongan dan Penggalian	82
Tabel 4.40	Peubah Bobot Orientasi Kekar	82
Tabel 4.41	Total Bobot Dari 6 Parameter RMR Untuk Batubara THC-02	83

Tabel 4.42	Data Dimensi Terowongan THC-01 *Front* Cabang 04 dan THC-02 *front* cabang 04	83
Tabel 4.43	Kelas Massa Batuan Menurut Bobot Total Untuk Tiga Jenis Batuan	83
Tabel 4.44	Pengaruh Orientasi Kekar Dalam Pembuatan Terowongan dan Penggalian	80
Tabel 4.36	Peubah Bobot Orientasi Kekar	81

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	I	Pengumpulan Data Di Lapangan
Lampiran	II	Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Batuan
Lampiran	III	Struktur Organisasi
Lampiran	IV	Peta Kesampaian Daerah
Lampiran	V	Stratigrafi Daerah Penelitian
Lampiran	VI	Peta Geologi
Lampiran	VII	Peta IUP
Lampiran	VIII	Peta Situasi
Lampiran	IX	Data Koordinat
Lampiran	X	Peta Layout Tanpa Skala THC-01
Lampiran	XI	Peta Layout Tanpa Skala THC-02
Lampiran	XII	*Strength Factor* THC-01
Lampiran	XI II	*Strength Factor* THC-02
Lampiran	XIV	Dokumentasi
Lampiran	XV	Surat Keterangan Penelitian



BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pertambangan adalah sebagian atau seluruh tahapan kegiatan dalam rangka penelitian, pengelolaan dan pengusahaan mineral atau batubara yang rneliputi penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan dan pemurnian, pengangkutan dan penjualan, serta kegiatan pascatambang (UU No. 4 Tahun 2009). Pada umumnya penambangan dibagi dua macam yaitu tambang terbuka dan tambang bawah tanah, pada tambang bawah tanah sangat spesifik karena tidak berhubungan langsung dengan permukaan dan bekerja pada ruang yang terbatas. Geoteknik merupakan ilmu yang lebih tergantung kepada "seni" atau pertimbangan pribadi jika dibandingkan dengan disiplin-disiplin teknik tradisional yang lebih berorientasi ilmiah, (Joseph E. Bowles, 1984). Adapun permasalahan geoteknik yang sering terjadi yaitu keruntuhan pada terowongan tambang bawah tanah, hal ini disebabkan adanya bidang diskontinuitas disuatu bidang pada lubang tambang dan kurangnya perhatian terhadap lubang tambang, jika hal ini dibiarkan begitu saja tanpa penanganan khusus terhadap keadaan tambang maka akan menyebabkan longsor/runtuhan pada terowongan sehingga akan mengakibatkan kerugian pada perusahaan tersebut. Tambang Batubara CV. Tahiti Coal merupakan salah satu perusahaan penambangan batubara dengan sistem

penambangan bawah tanah yang didasari dengan kondisi geologi dan keterdapatan bahan galian yang kurang ekonomis apabila dilakukan dengan sistem tambang terbuka, CV. Tahiti Coal melakukan kegiatan penambangan di desa Sikalang, kecamatan Talawi, kabupaten Sawahlunto, provinsi Sumatera Barat. Metode penambangan yang diterapkan oleh CV. Tahiti Coal ialah metode *Room and Pillar*, dengan tiga lubang bukaan yaitu THC-01, THC-02 dan THC-03, yang telah melakukan kegiatan penambangan batubara sejak tahun 2005 dengan luas Izin Usaha Pertambangan (IUP) 53,80 hektar.

Kegiatan produksi material pada *front* penambangan akan menyebabkan berbagai perubahan distribusi tegangan pada massa batuan sehingga timbulnya potensi ketidakstabilan di sekitar terowongan seperti terjadinya runtuhan atau longsoran kecil pada bagian atap terowongan THC-01 dan adanya struktur geologi berupa kekar pada bagian dinding *front* penambangan cabang 04 terowongan THC-01, akibat deformasi yang berlebihan. Potensi ketidakstabilan juga terjadi pada batuan di sekitar lereng yang berada di atas terowongan THC-01 dan THC-02 dengan adanya struktur geologi berupa kekar, pada batupasir dan batulanau yang menjadi perhatian yang sangat penting karena berkaitan erat dengan keselamatan pekerja dan keselamatan peralatan yang berada di dalam lubang bukaan. Kekar adalah bagian permukaan atau bidang yang memisahkan batuan dan sepanjang bidang tersebut belum terjadi pergeseran.

Pada penambangan bawah tanah, terowongan merupakan akses jalan utama ke *front* penambangan yang ada di dalam lubang. Dalam mengatasi kegagalan

geoteknik, perlu adanya penelitian-penelitian terdahulu tentang kestabilan terowongan dengan membahas FK (Faktor Keamanan) dan *displacement* horizontal maupun vertikal. Untuk itu perlu dilakukannya pengkajian ulang geoteknik dengan menerapkan metode Elemen Hingga *(Finite Element)* yaitu metode solusi numerik, yang didalam geomekanika dipakai untuk menentukan medan tegangan dan perpindahan jika diketahui modulus elastisitas/deformasi berdasarkan perilaku masa batuan yang diterapkan, juga bisa menghitung terhadap distribusi tegangan, regangan dan perpindahan akibat pembuatan terowongan, dalam metode ini media dianggap sebagai gabungan dari elemen-elemen, berdasarkan prinsip keseimbangan (M. Rais Fathoni 2012). Metode ini digunakan pada kestabilan terowongan di THC-01 dan THC-02 CV. Tahiti Coal dengan menghitung dan menganalisa nilai dari Faktor Keamanan (FK) pada terowongan, dimana (FK>1,0) menjelaskan keadaan terowongan dalam keadaan stabil (E. Hoek, dkk. 1980). Nilai FK (Faktor Keamanan) dimana FK>1 menjelaskan keadaan terowongan dalam keadaan stabil menurut (Bieniewski 1983), sedangkan pada *front* penambangan nilai FK>1,3 (Obert and Duvall) menjelaskan keadaan terowongan dalam keadaan stabil menurut (obert and duvall 1967). Nilai *displacement* adalah perpindahan yang terjadi akibat deformasi dan aktivitas penambangan. nilai FK dan *displacement* tersebut digunakan untuk sebagai acuan dalam mengoptimalkan penyanggan yang digunakan berdasarkan analisis jenis dan besarnya deformasi yang terjadi.

Berdasarkan uraian di atas penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul **"**Analisis Kestabilan Terowongan Dengan Metode Elemen Hingga *(Finite*

Element) di Terowongan THC-01 dan THC-02 Tambang Batubara CV. Tahiti Coal Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat**"**

1.2 Identifikasi Masalah

Adapun identifikasi masalah pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Terdapat struktur geologi berupa kekar dan reruntuhan kecil pada bagian atap yang mempengaruhi kestabilan terowongan THC-01 dan THC-02 tambang batubara CV. Tahiti Coal
2. Adanya potensi terjadinya deformasi dan *displacement* pada terowongan THC-01 dan THC-02 tambang batubara CV. Tahiti Coal

1.3 Batasan Masalah

Agar dapat mencapai hasil yang maksimal, maka batasan masalah yang diterapkan dalam penelitian ini dilakukan hanya pada *front* penambangan cabang 04 terowongan THC-01 dan cabang 04 terowongan THC-02 tambang batubara CV.Tahiti Coal. Penelitian mengkaji masalah kualitas karakteristik massa batuan dengan metode *Rock Mass Rating* dan penggunaan perangkat lunak *Phase2 version 8.0* dengan metode Elemen Hingga *(Finite Element).* Dengan penggunaan 3 *sampling irreguler* pada batubara, batulanau, dan batupasir untuk uji laboratorium makanika batuan.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah dan batasan masalah dapat dirumuskan permasalahannya sebagai berikut:

1. Bagaimana nilai kualitas massa batuan pada terowongan THC-01 dan THC-02 tambang batubara CV. Tahiti Coal ?
2. Bagaimana nilai Faktor Keamanan (FK) pada terowongan THC-01 dan THC-02 tambang batubara CV. Tahiti Coal ?
3. Bagaimana nilai *horizontal displacement* dan nilai *vertical displacement* di terowongan THC-01 dan THC-02 tambang batubara CV. Tahiti Coal ?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui nilai kualitas massa batuan pada terowongan THC-01 dan THC-02 tambang batubara CV. Tahiti Coal
2. Untuk mengetahui nilai Faktor Keamanan (FK) pada terowongan THC-01 dan THC-02 tambang batubara CV. Tahiti Coal
3. Untuk mengetahui nilai *horizontal displacement* dan nilai *vertical displacement* di terowongan THC-01 dan THC-02 tambang batubara CV. Tahiti Coal

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Penulis

   Penulis dapat mengaplikasikan ilmu yang didapat di bangku perkuliahan kedalam bentuk penelitian, dan meningkatkan kemampuan penulis dalam menganalisa

suatu permasalahan serta menambah wawasan penulis khususnya di bidang keilmuan teknik pertambangan.

2. Bagi Perusahaan

   Dapat menjadi bahan masukan bagi perusahaan untuk menciptakan keselamatan dan rasa aman dalam bekerja.

3. Bagi Sekolah Tinggi Teknologi Industri Padang

   Dapat dijadikan sebagai salah satu sebagai referensi dan pedoman bagi mahasiswa yang akan melakukan penelitian khususnya dibidang keilmuan teknik pertambangan.



BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Referensi yang mendukung berkaitan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut Landasan teori terdiri dari seluruh referensi-referensi, konsep-konsep dan kerangka penelitian yang didukung oleh teori-teori ilmiah, yang diperoleh kepustakaan maupun teori yang ada yang berhubungan dengan judul penelitian.

2.1.1 Deskripsi Perusahaan

2.1.1.1 Sejarah Perusahaan

CV. Tahiti Coal merupakan perusahaan yang bergerak dibidang pertambangan, lahan yang di kelola CV. Tahiti Coal dulunya merupakan tanah Ulayat Kolok, Sijantang. Dimana pada awal tahun 2005 PT. Bukit Asam sebagai perusahaan yang terlebih dahulu melaksanakan kegiatan penambangan melakukan pelepasan lahan kepada Pemerintah Daerah Sawahlunto. CV. Tahiti Coal telah melakukan kegiatan penambangan batubara sejak tahun 2005 setelah memperoleh Kuasa Pertambangan Eksploitasi berdasarkan Keputusan Walikota Sawahlunto Nomor 05.29 PERINDAGKOP Tahun 2005, tentang Pemberian Izin Kuasa Pertambangan (KP) Eksploitasi kepada CV. Tahiti Coal. Selain itu CV. Tahiti Coal juga telah memiliki Izin Usaha Pertambangan (IUP) Operasi Produksi Batubara berdasarkan Keputusan Walikota Sawahlunto dengan Nomor 05.77.PERINDAGKOP Tahun 2010. dan dilanjutkan dengan Perpanjangan Izin

Usaha Pertambangan (IUP) Operasi Produksi dengan nomor 05.90.PERINDAGKOP Tahun 2010, tanggal 21 Oktober 2010 seluas 53,80 Ha dengan masa berlaku selama 8 (delapan) tahun. Secara administrasi lokasi izin tersebut berada di Sangkar Puyuh, Desa Sijantang, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat. Bahan galian yang ditambang oleh CV. Tahiti Coal terbagi dalam dua golongan diantaranya Seam A dan Seam C yang memiliki berat jenis 1250 Kg/m^3 dengan kalorinya 7600 Kkal/Kg-7900 Kkal/Kg.

2.1.1.2 Metode Penambangan

Metoda penambangan yang diterapkan oleh CV. Tahiti Coal dengan metoda *room and pillar*. Metoda *room and pillar* adalah kegiatan pengambilan batubara di bawah tanah dengan cara membuat blok-blok dalam lapisan batubara yang diselingi oleh pillar-pillar berbentuk bujur sangkar atau empat persegi panjang yang berguna sebagai penyangga alami. Pengambilan batubara tambang bawah tanah CV. Tahiti Coal menggunakan belincong dan *jack hammer*, hasil pengambilan batubara dimuat ke *stockpile* sementara dan diangkut menggunakan bak lori yang ditarik dengan menggunakan bantuan mesin lori (*Drum hoist)* dan sling, lalu dibongkar di *Dumptruck* dan dibawa ke *stockpile.*

2.1.1.3 Kondisi Umum Geologi

Menurut P.H. Silitonga dan Kastowo (1995) daerah penelitian termasuk dalam anggota Bawah Formasi Ombilin (Tmol), yang menumpang pada batuan Granit

berumur Trias (g). Batuan-batuan yang terdapat di lokasi penyelidikan dari yang tertua sampai yang termuda adalah sebagai berikut:

a. Batuan Intrusi

Batuan Granit merupakan batuan intrusi yang dominan di wilayah ini, berwarna abu-abu putih berbintik putih, dengan susunan dari leuko granit sampai dengan monzonit kuarsa. Tekstur biasanya feneritik sampai porfiritik dan secara setempat mengalami pelapukan sehingga dapat diambil sebagai bangunan oleh masyarakat setempat. Umur satuan ini diperkirakan Trias.

Batuan diorit, berwarna abu-abu tua sampai abu-abu semu hijau dengan bintik-bintik hitam, keras retak-retak secara setempat berongga. Berstektur trakit, bersusunan felspar dan mineral mafik dengan masa dasar mikrolitik. Umur satuan ini diperkirakan Trias.

b. Batuan Sedimen

Anggota Atas Formasi Ombilin, satuan batuan ini terdiri dari lempung dan napal berwarna abu-abu semu biru sampai semu hijau dengan sisipan batupasir, konglomerat dan batu pasir tufaan berwarna kehijau-hijauan, mengandung kapur dan berfosil. Umur satuan batuan ini Miosen Awal. Formasi Sangkarewang, serpihan napal coklat kua sampai kehitam-hitaman disisipi oleh batu pasir arkose dan secara setempat oleh breksi andesit kasar bersudut. Formasi Brani, konglomerat kasar beranekaragam dengan beberapa sisipan batupasir.

2.1.1.4 Stratigrafi Regional

Endapan batubara terjadi pada kala oligosen diendapkan dalam cekungan antara gunung *(inter mountain basin)* yang dikenal dengan cekungan ombilin dan mempunyai luas ± 800 km^2 yang berkembang sejak zaman awal tersier memanjang pada arah barat-tenggara, searah dengan struktur geologi yang banyak terdapat patahan dan lipatan (Koesoemadinata dan Matasak, 1981).

Batubara ini terletak di bagian barat cekungan ombilin dan terdapat pada formasi batuan yang dikenal dengan nama formasi Sawahlunto. Secara umum lapisannya tanah penutup batubara terdiri dari batulempung *(claystone),* batupasir *(sandstone)* dan batulanau *(siltstone).* Formasi Sawahlunto ini terletak pada dua jalur yang terpisah yaitu jalur yang menjurus dari Sawahlunto sampai sawah rasau dan dari tanah hitam terus ke timur dan kemudian ke arah utara yang disebut parambahan.

Secara regional stratigrafi adalah Sawahlunto dapat dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu kelompok batuan pra-tertier dan kelompok batuan tertier. Stratigrafi formasi Sawahlunto tersebut dapat dilihat pada lampiran berikut.

a. Kelompok batuan pra-tertier terdiri dari:

1) Formasi Silungkang

Nama formasi ini mula-mula diusulkan oleh Klompe, Katili dan Sekunder pada tahun 1958. Secara petrografi formasi ini masih dapat dibebankan menjadi empat satuan yaitu: satuan lava andesit, satuan lava

basalt, satuan tufa andesit dan satuan tufa basalt. Umur dan formasi ini diperkirakan perm sampai trias.

2) Tuhur

Formasi ini dirincikan lempung abu-abu kehitaman, berlapis baik, dengan sisipan-sisipan batu pasir dan batu gamping hitam. Diperkirakan formasi ini berumur trias.

b. Kelompok batuan tersier terdiri dari:

1) Formasi Sangkarewang

Nama formasi ini pertama diusulkan oleh Kastowo dan Silitonga pada 1975. Formasi ini terutama terdiri dari serpih gampingan sampai napal berwarna coklat kehitaman, berlapis halus dan mengandung fosil ikan serta tumbuhan. Formasi ini diperkirakan berumur Eosen Oligosen.

2) Formasi Sawahlunto

Nama formasi ini diusulkan oleh R.P.Koesoemadinata dan Th. Matasak pada 1979. Formasi ini merupakan formasi yang paling penting karena mengandung lapisan batubara. Formasi ini dicirikan oleh batu lunau, batu lempung, dan batubara yang berselingan satu sama lain. Diperkirakan formasi ini berumur oligosen.

3) Formasi Sawah Tambang

Nama formasi ini pertama kali diusulkan oleh Kastowo dan Silitonga pada tahun 1975. Bagian bawah dari formasi ini dicirikan oleh beberapa siklus endapan yang terdiri dari batupasir konglomerat, batulanau dan batulempung. Bagian atas di dominasi pada umumnya oleh batupasir konglomerat tanpa adanya sisipan lempung atau batulanau, umur dari formasi ini diperkirakan lebih tua dari miosen bawah.

4) Formasi Ombilin

Nama formasi ini diusulkan pertama kali oleh Kastowo dan Silitonga pada tahun 1975. Formasi ini terdiri dari lempung gamping. napal dan pasir gampingan yang berwarna abu-abu kehitaman, berlapis tipis dan mengandung fosil. Umur formasi ini diperkirakan Miosen bawah.

5) Formasi Ranau

Nama ini diusulkan pertama kali oleh Marks pada tahun 1961. satuan ini terdiri dari batuapung berwarna abu-abu kehitaman. Umur dari formasi ini diperkirakan Pleistosen.

2.1.1.5 Lokasi dan Kesampaian Daerah

Secara administrasi, kegiatan Operasi Produksi Batubara CV. TAHITI COAL berada Sangkar Puyuh, Desa Sijantang, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto,

Provinsi Sumatera Barat. Lokasi kegiatan penambangan dapat ditempuh dari Pusat Kota Sawahlunto – Desa Sijantang Koto (± 20 Km jalan Kota beraspal)– Lokasi (± 500 m jalan tanah di perkeras. Secara rinci koordinat Wilayah Izin Usaha Pertambangan (IUP) Operasi Produksi CV. TAHITI COAL

2.1.2 Metode Elemen Hingga *(Finite Element)*

Elemen Hingga *(Finite Element)* yaitu metode solusi numerik dengan menggunakan *Software Phase 2 Version 8.0*, yang di dalam geomekanika di pakai untuk menentukan medan tegangan dan perpindahan jika diketahui modulus elastisitas/deformasi berdasarkan perilaku masa batuan yang diterapkan, juga bisa menghitung terhadap distribusi tegangan, regangan dan perpindahan akibat pembuatan lubang bukaan, dalam metode ini media dianggap sebagai gabungan dari elemen-elemen, berdasarkan prinsip keseimbangan (M. Rais Fathoni 2012). *Software Phase 2 Version 8.0* digunakan untuk mengkaji ulang kondisi dari terowongan yang akan diteliti, dimana hasil analisisnya mengalami beberapa perubahan sebelum dan sesudah pemasangan penyangga (Rifki Sholeh dkk. 2015). Menurut Eberhardt (Syafrida 2015), ketidakstabilan lubang bukaan berdasarkan mekanisme keruntuhannya secara umum dibedakan atas kontrol struktur geologi *(structurally Controlled)* dan kontrol tegangan *(stress controlled).*

Pada kondisi tertentu, kedua mekanisme tersebut bisa mengontrol ketidakstabilan secara bersamaan, ditambah juga adanya kemungkinan keterlibatan efek dari waktu pelapukan pada kestabilan lubang terowongan. Ketidakstabilan

lubang bukaan dapat disebabkan oleh beberapa faktor, menurut Hoek and Brown (1980) ada empat penyebab ketidakstabilan lubang bukaan, yaitu:

a. Tegangan insitu atau tegangan induksi yang berlebihan.
b. Keadaan geologi yang tidak menguntungkan,misalnya kehadiran patahan, kekar, bidang geser.
c. Aliran air dibawah tanah yang berlebihan.
d. Alterasi batuan yang tidak menguntungkan.

Ketidakstabilan akibat kontrol geologi berarti bahwa blok batuan yang terbentuk oleh bidang diskontinu kemungkinan dapat jatuh atau meluncur pada batas penggalian dalam pengaruh gaya gravitasi. Jika suatu blok atau baji terbentuk, maka ada tiga kemungkinan kinematika yang dapat terjadi, yaitu jatuhnya blok batuan dari atap terowongan meluncurnya blok batuan pada bidang diskontinu atau blok batuan stabil. Penggalian terowongan pada massa batuan akan membawa perubahan kondisi tegangan di area sekitarnya dan ruang akibat penggalian menyebabkan terjadi displacement. Akibat lain adalah terjadinya degradasi tegangan batuan di area penggalian yang bersifat merugikan bagi stabilitas.

Massa batuan pada lokasi yang dalam akan mengalami tegangan in situ yang dihasilkan oleh berat tanah atau batuan yang ada diatasnya *(Gravitational Stress),* tegangan akibat peristiwa tektonik *(Tectonic Stress),* dan tegangan sisa *(Residual Stress).* Jika sebuah lubang bukaan bawah tanah dibuat pada massa batuan, maka kondisi tegangan secara lokal akan berubah dan kondisi tegangan baru akan dialami oleh massa batuan disekitar lubang bukaan tersebut

Metode elemen hingga merupakan salah satu model pendekatan secara numerik yang menggunakan metode diferensial. Metode ini dapat digunakan untuk mengetahui dan menganalisis tegangan pada sebuah struktur. Adapun inti dari metode ini adalah membagi suatu benda yang akan dianalisis menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga. Bagian-bagian ini disebut elemen, dimana setiap elemen dihubungkan satu dengan yang lainnya dengan simpul *(Node).* Kelebihan dari metode ini adalah dapat digunakan untuk menganalisis suatu struktur bawah tanah yang kompleks dan dapat mengsimulasikan hukum konstitutif kompleks dan non-homogen. Sedangkan kekurangan dari metode ini adalah formulasi untuk bidang diskontinu berdasarkan asumsi bahwa objek yang diteliti bersifat kontinu, memerlukan proses dan waktu perhitungan yang panjang, serta formulasinya dibatasi untuk suatu perpindahan yang kecil.

2.1.2.1 Parameter-Parameter yang Digunakan

a. Sifat Fisik Batuan

Sifat fisik batuan yang mempengaruhi kestabilan lereng adalah bobot isi, porositas dan kadar air. Berikut penjelasan dari sifat fisik batuan:

1) Bobot Isi (γ)

Semakin besar bobot isi suatu batuan atau tanah, maka gaya penggerak yang menyebabkan longsor semakin besar juga. Dengan demikian, kemantapan lereng tersebut semakin berkurang. Bobot isi terdiri dari:

2) Bobot Isi Asli (γn)

Bobot Isi Asli (γn) merupakan perbandingan antara berat batuan asli dengan volume total batuan dengan satuan dalam gr/cm$^{3.}$

$$\gamma_n = Wn / (Ww - Ws) \quad \text{.....(2.1)}$$

3) Bobot Isi Kering (γo)

Bobot Isi Kering (γo) merupakan perbandingan antara berat batuan kering dengan volume total batuan dengan satuan gr/cm^3

$$\gamma_o = Wo / (Ww\text{-}Ws) \quad \text{.....(2.2)}$$

4) Bobot Isi Jenuh (γw)

Bobot Isi Jenuh (γw) merupakan perbandingan antara berat batuan jenuh dengan volume total batuan dengan satuan gr/cm^3

$$\gamma_w = Ww / (Ww - Ws) \quad \text{.....(2.3)}$$

b. Kadar Air

Kandungan air pada suatu material baik tanah maupun batuan sangat berpengaruh terhadap kemantapan lereng. Semakin tinggi kandungan air pada suatu lereng maka semakin kecil nilai kemantapan dari suatu lereng. Kadar air terdiri dari:

1) Kadar Air Asli (ωn)

Kadar Air Asli merupakan perbandingan antara berat air dalam batuan. asli dengan berat butiran batuan dan dinyatakan dalam %.

$$\omega_n = ((Wn - Wo) / Wo) \times 100\% \quad \text{.....(2.4)}$$

2) Kadar Air Jenuh (ωsat)

Kadar air jenuh (ωsat) merupakan perbandingan antara berat air dalam batuan jenuh dengan berat butiran batuan dan dinyatakan dalam % (persen).

$$\omega sat = ((Ww-Wo)/Wo) \times 100\% \quad \text{.....(2.5)}$$

c. Porositas (n)

Batuan yang mempunyai porositas besar akan banyak menyerap air. Dengan demikian bobot isinya menjadi lebih besar, sehingga memperkecil kemantapan lereng. Adanya air dalam batuan juga akan menimbulkan tekanan air pori yang memperkecil kuat geser batuan. Batuan yang mempunyai kuat geser kecil akan lebih mudah longsor.

Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara volume total pori-pori batuan dengan volume total batuan per satuan volume tertentu, dinyatakan dalam %, yang dirumuskan :

$$n = ((Ww-Wo) / (Ww-Ws)) \times 100\% \quad \text{.....(2.6)}$$

Sumber : Irwandi Arif, 2016

Keterangan:

Wn = Berat Batuan Air Asli (gram)

Wo = Berat Batuan Air Kering (gram)

Ww = Berat Batuan setelah direndam selama 24 jam (gram)

Ws = Berat Batuan Jenuh (gram)

d. Kuat tekan *Uniaxial Compressive Strength (UCS)*

Nilai *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) adalah kekuatan batuan utuh *(intack rock)* yang diperoleh dari hasil uji UCS. Nilai UCS merupakan besarnya tekanan yang harus diberikan sehingga membuat batuan pecah. Pengujian kuat tekan dilakukan dalam satu arah *(Uniaxial)* dengan sampel geometri batuan yang beraturan, silinder, balok dan prisma. Uji ini menggunakan Mesin Tekan (*Compression Machine*) dan dalam pembebanannya mengikuti standar *International Society Rock Mechanics* (ISRM, 1981). Mesin tekan (*Compression Machine*) terlihat pada gambar.



Gambar 2.1 Mesin Tekan Hungta 2000 KN (*Compression Machine*) Laboratorium Geomekanika dan Peralatan tambang ITB

Untuk nilai UCS dari uji *Point Load Indeks*, Bieniawski mengusulkan apabila sampel 55 mm maka menggunakan persamaan berikut:

UCS = 23 Is……..…..….....…….……..(2.7)

Is adalah nilai yang diperoleh dari pengujian *Point Load* yang satuannya dalam Mega Pascal (MPa). Pada perhitungan nilai RMR parameter kekuatan batuan utuh diberi bobot berdasarkan nilai UCS atau nilai PLI seperti yang terdapat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.1 Parameter *Uniaxial Compressive Strength*

Deskripsi Kualitatif	**UCS (MPa)**	**PLI (MPa)**	**Bobot**
Sangat Kuat Sekali *(Exceptionally Strong)*	>250	> 10	15
Sangat Kuat *(Very Strong)*	100 – 250	4 > 10	12
Kuat *(Strong)*	50 – 100	2 – 4	7
Sedang *(Average)*	25 – 50	1 – 2	4
Lemah *(Weak)*	5 – 25	Penggunaan UCS lebih dilanjutkan	2
Sangat Lemah *(Very Weak)*	1 – 5		1
Sangat Lemah Sekali *(Extremely Weak*)	<1		0

Sumber : Beniawski, 1989

e. *Point Load Indeks*

Pengujian *Point Load Indeks* merupakan pengujian alternatif lain yang digunakan untuk memperoleh nilai UCS. Jika pengujian UCS dilakukan dengan penekanan pada permukaan *sampling*, pada pengujian *Point Load Indeks sampling* diuji pada satu titik.

Menurut Broch dan Franklin (1972) *point load ideks* (I_s) suatu contoh batuan yang dapat dihitung dengan persamaan:

$$I_S = \frac{P}{D^2} \ldots\ldots\ldots\

Setelah faktor koreksi diperoleh maka faktor koreksi dimasukkan kedalam *Point Load Index (Is)* persamaan 2.2. Sehingga jika *Point Load Indeks* telah didapat maka *Unconfined Compressive Strength* dapat ditentukan dari persamaan:

$$\sigma c = 23 \times I_s \text{……..……..(2.11)}$$

Sumber : Irwandi Arif, 2016

Keterangan:

F : Faktor Koreksi

D : Jarak antar konus penekan (cm)

d : Diameter sampel (cm)

I_s : *Point load Index* (Index Franklin) (kg/cm^2)

P : Tekanan maksimum sampel pecah (kg/cm^2)

σc : Nilai UCS (*Unconfined Compressive Strength*) (kg/cm^2)

Pengujian *Point Load Indeks* merupakan pengujian yang sederhana dan mudah dilakukan baik di lapangan maupun di laboratorium disebabkan alat yang mudah dibawa. Berikut ini adalah alat yang digunakan untuk Uji *Point Load.*



Gambar 2.3 Alat Pengujian *Point Load Index* Laboratorium Mekanika Batuan STTIND Padang

f. Uji Kuat Tarik Tak Langsung *(Indirect Tensile Strengtht Test)*

Kuat Tarik dalam suatu material didefinisikan sebagai nilai tegangan maksimum yang dikembangkan oleh suatu contoh mamterial (Jumikis 1983). Secara singkat, kuat tarik di pandang sebagai nilai tegangan maksimum yang di kembangkan oleh suatu contoh material dalam suatu pengujian tarikan yang dilakukan untuh memecah batuan dalam kondisi tertentu. Brazillian test, merupakan salah satu metode uji kuat tarik batuan secara tidak langsung, dilakukan untuk mengetahui kuat tarik (tensile strength) dari contoh batuan yang berbentuk silinder. Alat yang digunakan adalah mesin tekan, seperti pada pengujian kuat tekan.

Menurut Bieniawski (1967) dan Mellor dan Hawkes (1971) serta ISRM (1981), kuat tarik suatu contoh batuan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:



Gambar 2.4 Alat *Indirect Tensile Strength Test* untuk laboratorium
(Laboratorium Mekanika Batuan, MINTEC 2015)

Menurut Jumikis (1983), nilai UTS *(Uniaxial Tensile Strength)* dari suatu batuan hanya sekitar 10% dari nilai UCS-nya. Perbandingan antara UCS terhadap UTS sering disebut sebagai *Toughness Ratio* atau *Brittleness Index* (BI)

$$\sigma t = 10\% \text{ x } \sigma c \text{……..….....……..(2.12)}$$

Keterangan :

σt = Kuat Tarik (MPa)

σc = Kuat Tekan (MPa)

g. Kohesi (c)

Kohesi adalah gaya tarik menarik antara partikel dalam batuan, dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Kohesi batuan akan semakin besar jika kekuatan gesernya makin besar. Nilai kohesi (c) diperoleh dari pengujian laboratorium yaitu pengujian Kuat Geser Langsung *(Direct Shear Strength Test),* pengujian Triaxial *(Triaxial Test)*. Dan hasil pembobotan RMR.

h. Sudut geser dalam (θ)

Sudut geser dalam merupakan sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah atau batuan. Sudut geser dalam adalah sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material mengalami tegangan atau gaya terhadapnya yang melebihi tegangan gesernya. Nilai Sudut geser dalam (θ) diperoleh dari pengujian laboratorium yaitu pengujian Kuat Geser Langsung *(Direct Shear Strength Test),* pengujian Triaxial *(Triaxial Test)*. Dan hasil pembobotan RMR.

Semakin besar sudut geser dalam suatu material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan terhadapnya. Untuk mengetahui nilai kohesi dan sudut geser dalam, dinyatakan dalam persamaan berikut :

$\tau_{nt} = \sigma n \tan \phi + c$ ……..…….....(2.13)

Keterangan:

τ_{nt} = Tegangan Geser

σn = Tegangan Normal

θ = Sudut Geser Dalam

c = Kohesi

Prinsip pengujian *Direct Shear Strength Test* atau juga dikenal dengan *Shear Box Test* adalah menggeser langsung contoh tanah atau batuan di bawah kondisi beban normal tertentu. Pergeseran diberikan terhadap bidang pecahnya,

sementara untuk tanah dapat dilakukan pergeseran secara langsung pada contoh tanah tersebut. Beban normal yang diberikan diupayakan mendekati kondisi sebenarnya di lapangan.

i. Modulus young (E)

Modulus Young atau Modulus Elastisitas merupakan faktor penting dalam mengevaluasi deformasi batuan pada kondisi pembebanan yang bervariasi. Nilai modulus elastisitas batuan bervariasi dari satu contoh batuan dari satu daerah geologi ke daerah geologi lainnya karena adanya perbedaan dalam hal formasi batuan dan genesa atau mineral pembentuknya. Modulus elastisitas dipengaruhi oleh tipe batuan, porositas, ukuran partikel, dan kandungan air. Modulus elastisitas akan lebih besar nilainya apabila diukur tegak lurus perlapisan daripada diukur sejajar arah perlapisan (Jumikis, 1979). Modulus elastisitas dihitung dari perbandingan antara tegangan aksial dengan regangan aksial. Modulus elastisitas dapat ditentukan berdasarkan persamaan:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon a} \quad \text{.....} \quad \text{.....(2.14)}$$

Keterangan:

E = Modulus elastisitas (MPa)

$\Delta\sigma$ = Perubahan tegangan (MPa)

$\Delta\varepsilon a$ = Perubahan regangan aksial (%)

Terdapat tiga cara yang dapat digunakan untuk menentukan nilai modulus elastisitas yaitu:

1) *Tangent Young's Modulus*, yaitu perbandingan antara tegangan aksial dengan regangan aksial yang dihitung pada persentase tetap dari nilai kuat tekan. Umumnya diambil 50% dari nilai kuat tekan uniaksial.
2) *Average Young's Modulus,* yaitu perbandingan antara tegangan aksial dengan regangan aksial yang dihitung pada bagian linier dari kurva tegangan-tegangan.
3) *Secant Young's Modulus,* yaitu perbandingan antara tegangan aksial dengan regangan aksial yang dihitung dengan membuat garis lurus dari tegangan nol ke suatu titik pada kurva regangan-tegangan pada persentase yang tetap dari nilai kuat tekan. Umumnya diambil 50% dari nilai kuat tekan uniaksial.

Modulus elastisitas juga dapat dihitung dari korelasi antara Modulus Elastisitas dengan nilai pembobotan RMR (Bienawski dan Sefari Preira). Modul Elastisitas dapat ditentukan berdasarkan persamaan:

1) Formula Bienawski (1978) untuk batuan keras (RMR>50), dapat dilihat pada persamaan:

   E_m = 2 RMR – 100 GPa.....…….....(2.15)
2) Formula Serafin dan Pereira (1983) untuk batuan keras (RMR<50), dapat dilihat pada persamaan:

$E_m = \pi r^2 = 10\,\frac{(RMR-10)}{40}$.....(2.16)

3) Modulus Elastisitas, didapat pada formula, dapat dilihat pada persamaan:

$E_m = E_i$ x RMF.....(2.17)

4) Dimana nilai *Modulus Reduction Factor* (RMF) menurut Nicholson dan Bienawski (1990), dapat dilihat pada persamaan:

MRF = E_m / E_I = 0,0028 $RMR^2 = \pi r^2$ + 0,9 x $e^{(\frac{RMR}{22,82})}$.....(2.18)

j. Poisson Ratio

Poison Ratio merupakan nilai mutlak dari perbandingan antara reganggan rateral dan reganggan aksial (Prof.Dr.Ir.Irwandi Arif, M.Sc) Jika suatu material direngangkan kepada suatu arah, material tersebut cenderung mengkerut (jarang mengambang) pada arah lainnya. Sebaliknya, jika suatu material ditekan, material tersebut akan mengembang pada dua arah lainnya. Dalam deformasi elastik mekanik, kecenderungan material untuk mengkerut atau mengembang dalam arah tegak lurus terhadap arah pembebanan dikenal sebagai efek *poisson.* Oleh karena itu, jika sebuah contoh batu silinder diberi tegangan pada arah aksialnya, contoh batu tersebut akan mengalami tegangan, baik kearah aksial maupan kearah lateral, dan persamaan *poisson ratio* adalah

$\upsilon = \frac{\varepsilon l}{\varepsilon a}$.....(2.19)

Keterangan:

υ = Poisson Ratio

εl = Regangan Lateral

εa = Regangan Aksial

Poisson Ratio sanggat bergantung kepada tingkat teggangan serta dipengaruhi oleh pembukaan dan penutupan rekahan dalam batuan saat penyediaan dilakukan dan nilainya berfariasi sesuai dengan deformasi yang dialami batuan tersebut. *Poisson Ratio* sangat jarang bernilai negatif atau lebih besar dari 0,5. Untuk batuan Isotropik nilainya berada diantara 0-0,5. Sementara itu, untuk batuan yang umumnya nilai *Poisson Ratio* berkisar 0,05 – 0,45 sedangkan untuk aplikasi rekayasa nilainnya sekitar 0,2 – 0,3 dan untuk batubara berkisar 0,25 – 0,346 (Astawaray, Kramadibrata, dan Wattimena 1998)

2.1.2.2 Klasifikasi Massa Batuan

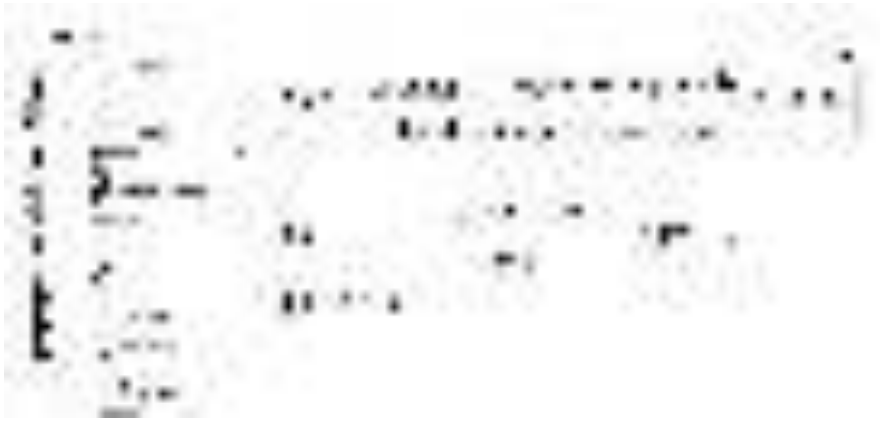
Rock Mass Rating (RMR) dikembangkan oleh Bieniawski pada tahun 1972-1973 dimana sudah mengalami banyak perkembangan, Perkembangan terakhir pada tahun 1989 yang merupakan penyempurnaan dari sebelumnya. Metode klasifikasi *Rock Mass Rating (RMR)* merupakan metode yang sederhana dalam penggunaannya dan parameter-parameter yang digunakan dalam metode ini dapat diperoleh baik dari data lubang bor maupun dari pemetaan struktur diskontinuitas bawah tanah maupun di permukaan. Metode ini dapat diaplikasikan pada kestabilan lereng, kestabilan pondasi dan juga terowongan. Tujuan dari metode *Rock Mass Rating* adalah untuk mengklasifikasikan kualitas massa batuan,

memberikan rekomendasi pertambangan, menunjukkan metode yang tepat untuk mengendalikan dan mencegah seperti risiko-risiko potensial kerugian.

Rock mass rating (Bieniawski, 1989) adalah sistem yang digunakan untuk mengklasifikasikan massa batuan. Untuk dapat mengklasifikasikan massa batuan maka harus diperoleh semua parameter-parameter sesuai dengan kondisi sebenarnya yang ada di lapangan. Dari masing-masing parameter memiliki bobot, maka semua bobot harus dijumlahkan. *Rock mass Rating* (RMR) terdiri dari 5 parameter antara lain sebagai beikut:

a. *Rock Quality Designation (*RQD)

Rock Quality Designation (RQD) adalah parameter yang menunjukkan keutuhan dari massa batuan sebelum penggalian dilakukan dimana ditunjukkan dengan panjang *core* yang utuh yang lebih dari 10 cm terhadap panjang total *core* (Deree, 1967). Dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:



Sumber : Irwandi Arif, 2016

Gambar 2.5 Perhitungan Nilai RQD Berdasarkan Log Bor

$$\text{RQD} = \frac{\text{Panjang total inti bor } \geq \text{ 10 cm}}{\text{Panjang total inti bor}} x\ 100\% \ldots\ldots\ldots\ldots (2.20)$$

Bila inti bor tidak tersedia, RQD dapat dihitung secara tidak langsung dengan melakukan pengukuran orientasi dan jarak antar *diskontinuitas* pada singkapan batuan. (Piest & Hundson, 1976) memberikan persamaan untuk menentukan RQD dari data garis bentangan *(Scanline)* sebagai berikut:

$$RQD = 100\ e^{-0,1\ \lambda}\ (0,1\ \lambda + 1) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.21)$$

Keterangan:

λ : Jumlah kekar per meter

e : Exponensial

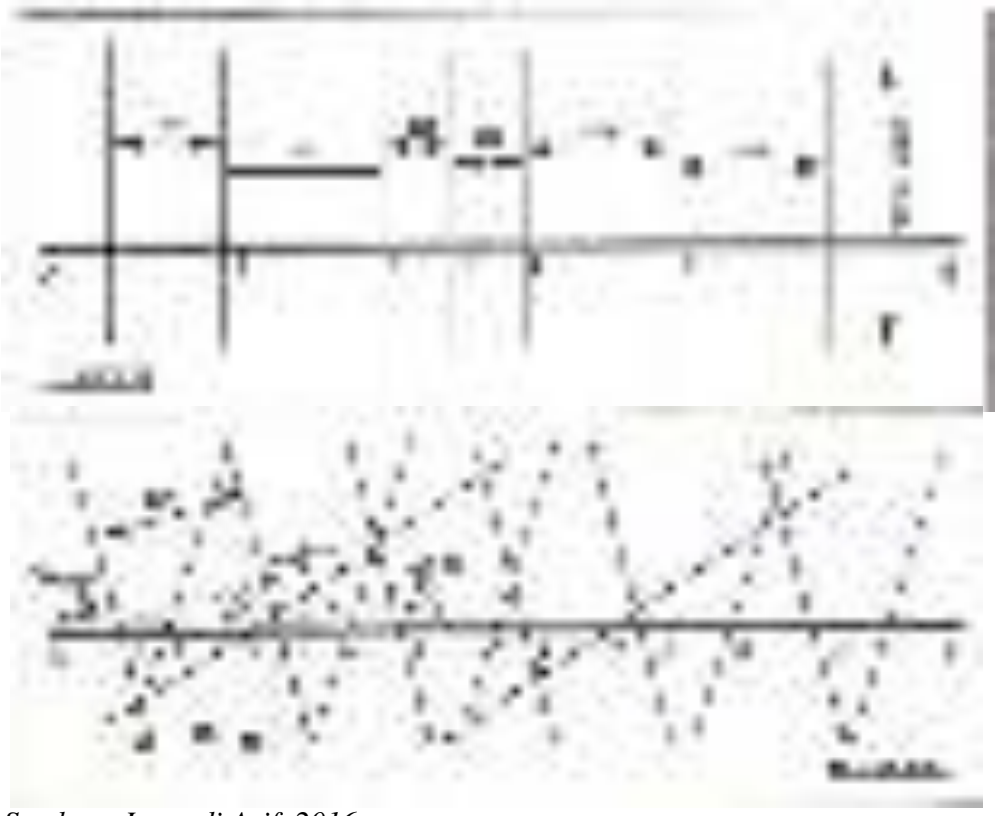
Tabel 2.2 Hubungan Kualitas Massa Batuan Terhadap Nilai RQD

Kualitas Massa Batuan	**RQD (%)**	**Bobot**
Sangat Buruk	0 – 25	3
Buruk	25 – 50	8
Sedang	50 – 75	13
Baik	75 – 90	17
Sangat Baik	90 – 100	20

Sumber : Deere,1968

b. Jarak antar kekar *(Spacing Of Discontinuitas)*

Jarak antar kekar adalah jarak tegak lurus antara dua kekar yang berurutan sepanjang garis pengukuran (Bienawski,1989).



Sumber : Irwandi Arif, 2016

Gambar 2.6 Pengukuran Jarak Antar Kekar Menggunakan Metode *Scanline*

Parameter jarak antar kekar diberi bobot berdasarkan nilai spasi kekarnya seperti penjelasan pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.3 Hubungan Spasi Kekar Terhadap Bobot

Deskripsi	Spasi Kekar (m)	Bobot
Sangat Lebar *(Very Wide)*	>2	20

Lebar *(Wide)*	0,6 – 2	15
Sedang *(Moderate)*	0,2 – 0,6	10
Rapat *(Closes)*	0,006 – 0,2	8
Sangat Rapat *(Very Close)*	0,006	5

Sumber :Bieniawski, 1989

c. Kondisi Kekar

Ada lima karakteristik kekar yang masuk dalam pengertian kondisi kekar, meluputi kemenerusan, jarak antar permukaan kekar, kekasaran kekar, material pengisi dan tingkat pelapukan. Berikut penjelasan dari lima karakteristik kekar tersebut, antara lain sebagai berikut:

1) Kemenerusan *(Continuity)*

Panjang dari suatu kekar dapat dikuantifikasi secara kasar mengamati panjang kekar pada suatu bukaan.

2) Jarak antar permukaan kekar atau ‹

Jarak antar permukaan kekar merupakan jarak tegak lurus antar dinding batuan yang berdekatan pada bidang diskontinu.

3) Kekasaran kekar *(Roughness)*

Tingkat kekerasan dapat dilihat dari brentuk gelombang permukaannya. Gelombang ini diukur relatif dari permukaan datar darin kekar. Semakin besar kekasaran dapat menambah kuat geser kekar.

4) Material pengisi *(Infilling/Gouge)*

Material pengisi merupakan material yang berada pada celah antara dua dinding bidang kekar yang berdekatan. Sifat material pengisi biasanya lebih lemah dari sifat batuan induknya.

5) Tingkat Pelapukan

Penetuan tingkat pelapukan kekar didasarkan pada perubahan warna dan disintegrasi (perubahan fisik) batuan. Semakin besar tingkat perubahan warna dan tingkat disintegrasi, maka batuan akan semakin lapuk.

Berdasarkan 5 parameter kondisi kekar di atas, maka kekar dapat dibobotkan berdasarkan kondisinya masing-masing seperti yang dijelaskan pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.4 Penentuan Rating Kondisi Kekar Pada Pembobotan RMR

Parameter	**Bobot**				
Kemenerusan	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10- 20 m	> 20 m
	6	4	2	1	0
Jarak antar permukaan kekar	Tidak Ada	< 0,1 mm	0,1- 1,0 mm	1- 5 mm	> 5 mm
	6	5	4	1	0
Kekasaran	Sangat Kasar	Kasar	Agak Kasar	Halus	Sangat Halus

	6	5	3	1	0
Material Pengisi	Tidak Ada	Keras		Lembut	
		< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm
	6	4	2	2	0
Tingkat Pelapukan	Tidak Lapuk	Sedikit Lapuk	Sedang	Sangat Lapuk	Membusuk
	6	5	3	1	0

Sumber :Bieniawski,1989

d. Kondisi air tanah

Kondisi air tanah sangat berpengaruh terhadap kekuatan batuan. Semakin tinggi kandungan air, maka semakin rendah kekuatan batuan. Berikut ini identifikasi air tanah. Pada perhitungan nilai RMR, parameter kondisi air tanah (g*roundwater conditions*) diberi bobot berdasarkan tabel berikut:

Tabel 2.5 Kondisi Air Tanah

Kondisi Umum	**Aliran Per 10 Meter Panjang Singkapan (Lt/Menit)**	**Tekanan Air/ Tegangan Utama Major**	**Bobot**
Kering	Kosong	0	15
Lembab	<10	<0,1	10
Basah	10-25	0,1-0,2	7
Menetes	25-125	0,2-0,5	4
Mengalir	>125	>0,5	0

Sumber : Bieniawski, 1989

e. Orientasi Kekar *(Orientation Of Discontinuitas*)

Parameter ini merupakan penambahan terhadap kelima parameter sebelumnya. Bobot yang diberikan untuk parameter ini sangat tergantung pada hubungan antara orientasi kekar-kekar yang ada dengan metode penggalian yang dilakukan. Oleh karena itu dalam perhitungan, bobot parameter ini biasanya diperlakukan terpisah dari lima parameter lainnya. Orientasi kekar yang dimaksud adalah *strike* dan *dip* kekar. Setelah RMR didapat dari penjumlahan 5 parameter UCS, RQD, jarak kekar, kondisi kekar dan air tanah, 5 parameter tersebut dinamakan RMR_{Basic} maka akan ditambah dengan angka penyesuaian orientasi kekar sesuai kegunaannya sebagai koreksi, seperti persamaan di bawah ini:

RMR = RMR_{Basic} + Penyesuaian orientasi kekar…….....(2.22)

Sumber : Made Astawa Rai, Dkk, 2010

Adapun hubungan orientasi kekar terhadap terowongan, pondasi dan lereng seperti table di bawah ini:

Tabel 2.6 Penyesuaian Orientasi Kekar

Orientasi Jurus dan kemiringan	**Bobot**		
	Terowongan	Pondasi	Lereng
Sangat menguntungkan	0	0	0
Menguntungkan	-2	-2	-5

Biasa	-5	-7	-25
Tidak Menguntungkan	-10	-15	-50
Sangat Tidak menguntungkan	-12	-25	-60

Sumber : Bieniawski, 1989

2.1.2.3 Penggunaan *Rock Mass Rating* (RMR)

Setelah nilai bobot masing-masing parameter-parameter diatas diperoleh, maka jumlah keseluruhan bobot tersebut menjadi nilai total RMR. Nilai RMR ini dapat dipergunakan untuk mengetahui kelas dari massa batuan, memperkirakan kohesi dan sudut geser dalam untuk tiap kelas massa batuan seperti terlihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.7 Kelas Massa Batuan, Kohesi Dan Sudut Geser Dalam Berdasarkan Nilai RMR

Profil Massa Batuan	**Deskripsi**				
Rating	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0
Kelas Massa Batuan	I	II	III	IV	V
Deskripsi batuan	Sangat baik	Baik	Sedang	Jelek	Sangat jelek
Kohesi	> 400 kPa	300-400 kPa	200-300 kPa	100-200 kPa	< 100 kPa
Sudut geser dalam	> 45º	35 º-45 º	25 º-35 º	15 º-25 º	< 15 º

Sumber : Jurnal Heri Syaeful, Dkk, 2015

Penggunaan parameter kohesi dan sudut geser dalam memiliki nilai perkiraan atau rentangan, agar nilai kohesi dan sudut geser dalam lebih akurat maka digunakan pendekatan interporasi sebagai berikut:

$$y = 100 + \left[\left(\frac{x-x_1}{x_2-x_1}\right)(y_2 - y_1)\right] \text{.....(2.23)}$$

Keterangan:

y = nilai kohesi atau nilai sudut geser dalam

x = nilai bobot kelas massa batuan

x_1 = rentangan terendah rating kelas massa batuan

x_2 = rentangan tertinggi rating kelas massa batuan

y_1= rentangan terendah nilai kohesi atau sudut geser dalam

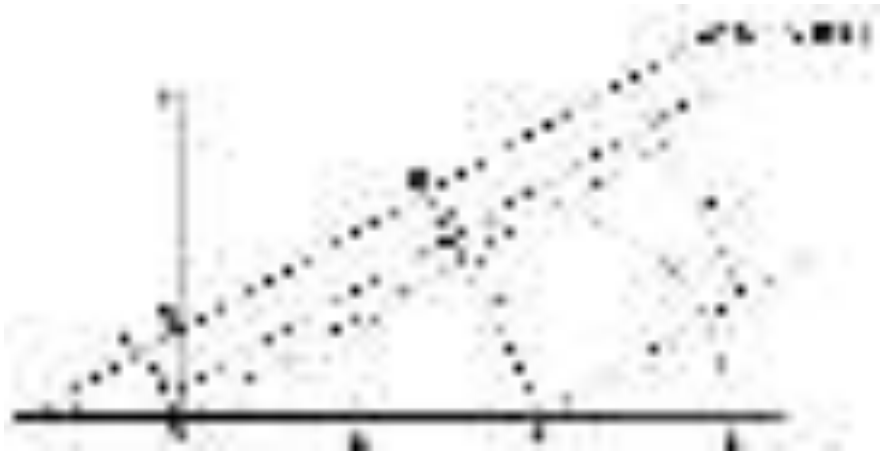
y_2 = rentangan tertinggi nilai kohesi atau sudut geser dalam

2.1.2.4 Perhitungan Faktor Keamanan

a. Faktor Keamanan Sebelum Pemasangan Penyangga

Faktor keamanan digunakan untuk sebagai acuan dalam mengoptimalkan penyanggan yang digunakan berdasarkan analisis jenis dan besarnya deformasi yang terjadi. Menurut Bieniewski (1989) nilai FK>1 menjelaskan terowongan dalam keadaan Stabil, FK=1 menjelaskan dalam keadaan Kritis, dan FK<1 Tidak Stabil. Sebelum penyanggaan keadaan lubang bukaan sangat rentan terjadinya runtuhan pada beberapa bidang lemah, maka dari itu perhitungan FK

dengan kriteria runtuhan Mohr-Coulumb di lakukan untuk menanggulangi *failure* pada lubang bukaaan.



Gambar 2.7 Lingkaran Mohr-Coulumb
(kramadibrata, s. 2015)

keruntuhan massa batuan dapat terjadi saat kurva Mohr-Coulomb telah menyinggung lingkaran Mohr atau dapat dikatakan bahwa batuan dapat mengalami keruntuhan pada dua bidang dengan kondisi tegangan yang berbeda. Seperti yang diketahui bahwa analisis keruntuhan ditentukan berdasarkan hasil percobaan, dimana kriteria ini mengandung satu atau lebih parameter sifat mekanik batuan, menjadi sederhana jika dihitung dalam 2 dimensi dengan asumsi regangan bidang (plane strain) atau tegangan bidang (plane stress). Dalam kriteria Mohr-Coulomb dapat ditentukan kekuatan batuan sebelum pemasangan penyangga dengan melakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\sigma 1 = \frac{2C \times \cos\theta}{1 - \sin\theta}$$

$$\sigma 3 = \frac{2C \times \cos\theta}{1+\sin\theta} \quad \text{.....(2.24)}$$

$$\text{FK} = \frac{a}{b} = \frac{\left(\frac{\sigma 1+\sigma 3}{2}\right)\sin\theta + C.\cos\theta}{\left(\frac{\sigma 1-\sigma 3}{2}\right)} \quad \text{.....(2.25)}$$

Keterangan :

$\sigma 1$ = tegangan mayor (Mpa)

$\sigma 3$ = tegangan minor (Mpa)

C = kohesi (Mpa)

θ = sudut geser dalam (°)

b. Faktor Keamanan Sesudah Pemasangan Penyangga

Analisis Faktor Keamanan lubang bukaan juga dilakukan setelah penyanggaan, untuk mengetahui kestabilan pada masing-masing lubang bukaan yang telah di pasangi penyangga. Pada daerah penelitian lubang bukaan THC-01 dan THC-02 sistem penyangga yang di gunakan *three pieces set* dari kayu.

Tabel 2.8 Kelas kayu berdasarkan Kuat Tekan dan Kuat Lengkung Kayu (Revandy Iskandar. 2005)

Kelas kayu	Berat jenis	Klm (Kg/cm^2)	Ktm (Kg/cm^2)
I	0,90	1100	650
II	0,60 - < 0,90	725 - < 1100	425 - < 650
III	0,40 - < 0,60	500 - < 725	300 - < 425
IV	0,30 - < 0,40	300 - < 500	215 - < 300
V	< 0,30	< 300	< 215

Keterangan:

Klm : Kuat Lengkung Mutlak
Ktm : Kuat Tekan Mutlak

Untuk mengetahui Faktor Keamanan pada penyangga yang telah di pasang menggunakan persamaan rumus menurut (Obert and Duvall 1967) sebagai berikut:

$$FK = \frac{s2}{\sigma a} \quad \text{.....(2.26)}$$

Keterangan:

S2: Kekuatan penyangga yang diizinkan

σa : Nilai *strenght factor* rata-rata

2.1.2.5 *Displacement Horizontal* dan *Displacement Vertical*

Bila massa batuan cukup kuat menahan runtuhan, maka yang terjadi adalah perpindahan elastis. Terjadinya perpindahan elastis yang menyusul perpindahan plastis tidak berarti serta terowongan akan runtuh. Massa batuan masih mempunyai kekuatan yang cukup, karena tebal zona plastis relatif kecil di bandingkan dengan radius terowongan yang akan terjadi hanya retakan-retakan baru dan reruntuhan batuan kecil. Runtuhan yang sebenarnya akan tejadi jika zona plastis yang tebal dan terjadi perpindahan ke arah dinding, massa batuan yang terlepas dan berjatuhan akan semakin bertambah dan teowongan tanpa penyangga akan runtuh. Pada analisa menggunakan simulasi dengan *software phase 2 v.8.0 akan* menghasilkan berapa panjang perpindahan *(displacement)* terjadi pada bidang yang bersifat lemah secara *horizontal* maupun *vertical.* Secara mikroskopis, *displacement* merupakan longsoran butir tanah atau batuan yang

berakibat lemahnya tegangan batuan di area penggalian. Hingga jarak tertentu dari arah penggalian, *displacement* (perpindahan/pergeeran) ini bersifat tetap.

Displacement (perpindahan) di hitung dalam dua bentuk dimensi, yaitu sumbu X yang mewakili perpindahan horizontal dan sumbu Z yang mewakili perpindahan vertikal. Perpindahan pada sumbu X adalah selisih dari data koordinat sumbu X awal dengan data koordinat sumbu X akhir, begitu pula menghitung perpindahan sumbu Z.

2.1.2.6 Sistem Penyangga

Menentukan perlu tidaknya penyangga, dan penyangga yang mestinya dipakai Merancang konfigurasi bukaan dan urutan ekstraksi dikaitkan penyebaran bijihnya. Ada dua macam penyanggaan lubang bukaan, *Natural support* dan *Artificial support.*

a. *Natural support* adalah penyangga yang dibuat dari batuan itu sendiri dan dibentuk seperti *pilar* yang biasanya dibuat dari batuan yang berkadar rendah *(barren rock).* Pembuatan *pillar* ada 2 yaitu:

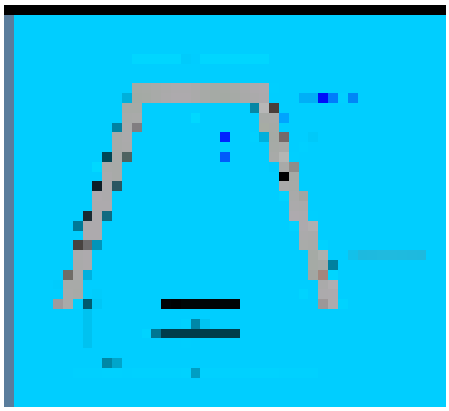
   1) Random pilar atau irrangular yaitu pilar yang bentuk letak satu sama lain tidak seimbang. Biasanya dapat ditemui pada tambang rakyat dan tambang kecil.
   2) Reguler pilar yaitu bentuk letak pilar satu sama lain saling teratur. Dapat berbentuk bulat, persegi empat, dan empat persegi panjang (rib pilar)

b. *Artificial support* adalah penyangga buatan dimana material yang digunakan dapat berupa kayu (timber), semen atau beton, besi atau baja, material pengisi *(filling support)* seperti *broken ore*, waste, dan *tailing*. Penyuntikan dengan semen *(cemen grouting)* dan pemasangan pasak *(rock bolting).*

1) Penyangga kayu

a) *Cribbing (pack)* Pada pemasangan di lubang produksi *(long wall)* susunan cribbing dikombinasikan dengan batang besi yang disebut *chock release*. Mempunyai bentuk penampang yang lebar dan umumnya dipakai didaerah yang memerlukan pemerkuatan tinggi, seperti dilubang produksi dan perempatan *(junction)*

b) *Three piece set* Digunakan pada lubang bukaan yang berbentuk persegi panjang dan terdiri dari tiga bagian utama yaitu, bagian atas cap, samping dn tiang (post)



Gambar 2.8 Penyangga kayu *three pieces set*

c) Square set Penyangga ini umumnya digunakan pada lubang vertikal (raise/winze)

d) Five piece set

2) Penyangga besi

a) *Two piece arch* dan *three piece arch* adalah Penyangga ini bentuknya seperti busur dan umumnya digunakan didaerah lubang-lubang utama.

b) *Rolled steel joist (I - beam)* penyangga ini biasanya dipasang untuk lubang yang bentuknya empat persegi panjang dan umumnya digunakan pada lubang-lubang produksi

3) Penyangga beton *(concrete)* Campuran antara semen, pasir dan air yang kadang-kadang ditambah CaCl2 (calcium clorida) yang berfungsi mempercepat waktu pengerasan *(curing time)* Beton tambak *(shotcrete)* ada dua tipe dasar yaitu:

a) *Shotcrete* campuran kering, dimana campuran semennya kering dan air ditambahkan pada saat penyemprotan (di *nozzle*)

b) *Shotcrete* campuran basah, pada dasarnya memiliki komponen yang sama pada campuran kering, tetapi airnya sudah dicampurkan kedalam *"Mixer"*

c) *Shotcrete* Campuran kering, akselerator dapat ditambahkan pada saat pencampuran.

d) *Shotcrete* Campuran basah, akselerator harus ditambahkan pada saat penyemprotan *(nozzle)*

2.1.2.7 Geometri Lubang Bukaan

Secara umum istilah terowongan di definisikan sebagai lubang bukaan yang di buat dengan dua lubang bukaan yang saling terhubung langsung atau dengan kata lain lubang bukaan tersebut menembus bagian kerak bumi. Terowongan berfungsi sebagai akses jalur transportasi untuk karyawan, alat dan material ke area *front* penambangan.

Dalam pembagiannya terowongan terbagi 5 macam yaitu:

a. Bentuk lingkaran
b. Bentuk segi empat
c. Bentuk trapesium
d. Bentuk tapal kuda
e. Bentuk poligon

Pertimbangan dalam bentuk terowongan di asumsikan dari sifat fisik dari material itu sendiri struktur yang terjadi di daerah tersebut perbedaan posisi terowongan metode penggalian terowongan.

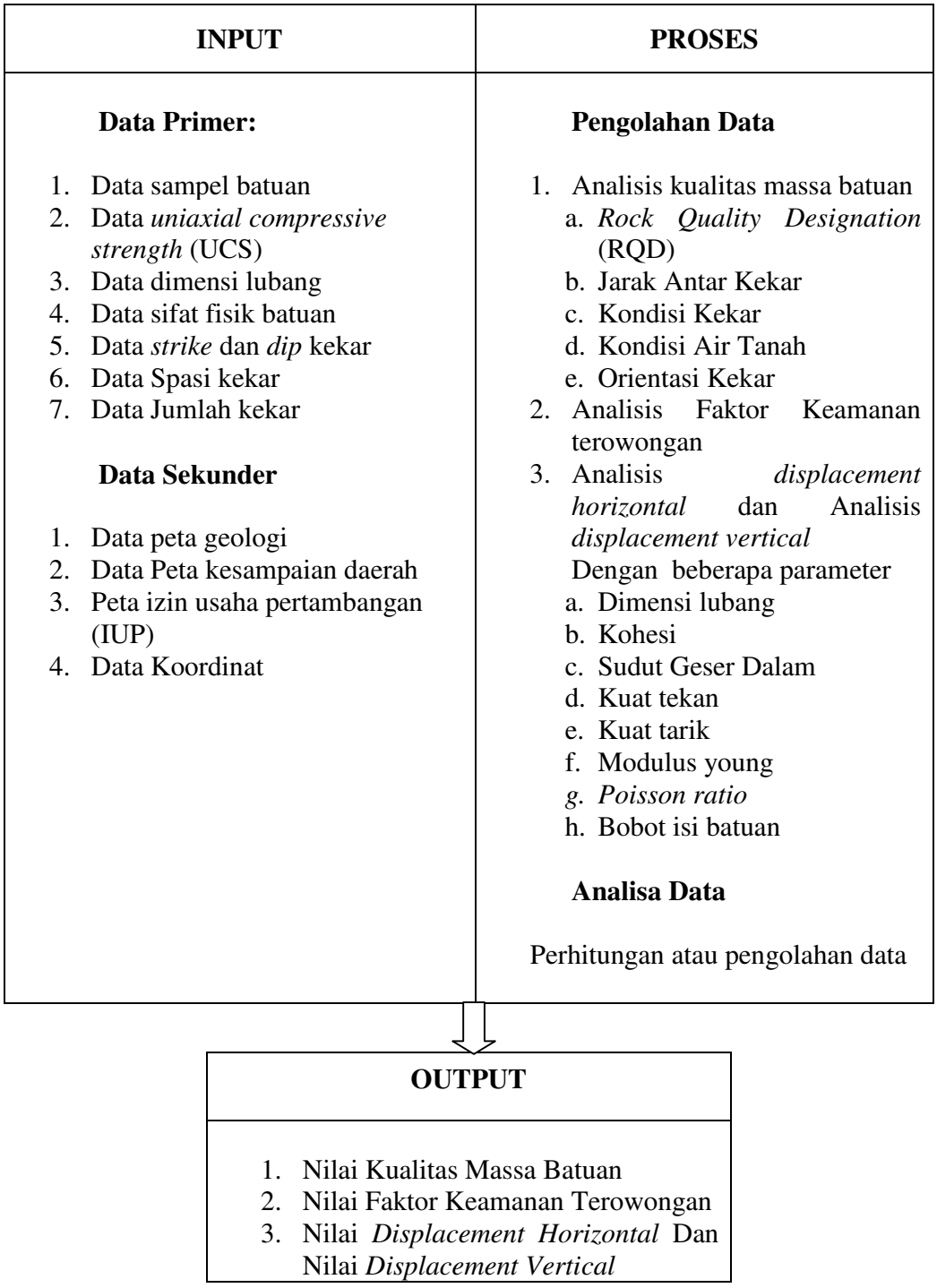
2.1.2.8 Software Phase 2 Version 8.0

Analisis desain terowongan pada studi ini akan dilakukan dengan menggunakan program komputer *Finite Element.* Adapun program komputer yang digunakan adalah phase 2 dan plaxis 3D terowongan. Phase2 digunakan untuk menganalisis *bending moment* yang terjadi pada *lining*, gaya aksial yang terjadi pada *rockbalt*, tegangan dan deformasi yang terjadi disekitar terowongan serta penurunan tanah diatas terowongan dalam bentuk 2D. Pada phase2 pemodelan tanah yang digunakan adalah Mohr-Coulumb dan Hoek-Brown.

Phase2 adalah bagian dari *rocsience* yang menggunakan analisis 2D elastoplastik dengan analisis tegangan elemen hingga untuk penggalian bawah tanah atau permukaan batuan maupun tanah. Hal ini dapat digunakan untuk berbagai proyek rekayasa dan termasuk *support design*, stabilitas lereng elemen hingga, rembesan air tanah dan analisis probabilistik. Program phase2 ini dapat menyajikan hasil *output* berupa tabel dan grafik berdasarkan hasil analisis *input.*

2.2 Kerangka Konseptual

Suatu perusahaan yang bergerak dalam bidang pertambangan wajib memperhatikan keselamatan dalam bekerja dengan melakukan analisis kestabilan lereng. Hal ini dapat digambarkan seperti skema kerangka konseptual di bawah ini:



Gambar 2.9 Kerangka Konseptual

Dari bagan kerangka konseptual di atas maka dapat dijelaskan bahwa:

1.2.1 Input

Input bersumber dari data primer dan data Sekunder. Data primer diambil dari kegiatan lapangan yang bersumber dari pengamatan langsung dan observasi. Data sampel batuan, Data *uniaxial compressive strength* (UCS), Data dimensi lubang, Data sifat fisik batuan, Data *strike* dan *dip* kekar, Data Spasi kekar, dan Data Jumlah kekar. Selain data primer, terdapat data sekunder merupakan berasal dari perusahaan dan literatur-literatur yang mendukung. Data sekunder berupa data peta topografi, peta geologi, peta izin usaha pertambangan (IUP) dan koordinat terowongan.

1.2.2 Proses

Pada proses dilakukan pengolahan dan analisa data. Pengolahan data menggunakan pembobotan beberapa parameter berdasarkan metode elemen hingga *(Finite Element)* dengan media *software phase2 version 8.0*. Sedangkan Analisa data dilakukan berdasarkan perhitungan atau pengolahan data.

1.2.3 Output

Output atau hasil dari kegiatan penelitian ini adalah nilai kualitas massa batuan, nilai Faktor Keamanan terowongan, *displacement horizontal* dan *displacement vertical.*



BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian merupakan cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu (Sugiyono, 2015). Adapun jenis penelitian ini menurut tujuannya adalah berbentuk penelitian terapan (*applied research*). Penelitian terapan adalah penelitian yang dilakukan secara teliti, hati-hati, sistematik dan terus menerus terhadap suatu masalah dengan tujuan digunakan segera untuk keperluan tertentu (Wikley.et.al,1918)

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada CV. Tahiti Coal, secara administratif lokasi penelitian terletak di kecamatan Talawi, kabupaten Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat.

3.2.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilakukan pada tanggal 10 November sampai selesai

Tabel 3.1 Jadwal Rencana Penelitian

No	Jadwal Kegiatan	Bulan 2018-2019		
		November	Desember	Januari
1	Pengambilan Data			
2	Pengolahan Data			
3	Ujian Komprehensif			

3.3 Data dan Sumber Data

3.3.1 Data

Dalam penelitian ini, data yang penulis kumpulkan untuk menunjang penelitian diantaranya:

a. Data Primer

Data primer berupa Data sampel batuan, Data *uniaxial compressive strength* (UCS), Data dimensi lubang, Data sifat fisik batuan, Data *strike* dan *dip* kekar, Data Spasi kekar, dan Data Jumlah kekar.

b. Data Sekunder

Data sekunder berupa data peta geologi, peta kesampaian daerah, peta izin usaha pertambangan (IUP) CV. Tahiti Coal dan data koordinat.

3.3.2 Sumber Data

Dalam pelaksanaan penelitian ini, penulis menggabungkan antara teori dengan data-data lapangan dari CV. Tahiti Coal, sehingga dari keduanya didapat pendekatan penyelesaian masalah.

3.4 Pengumpulan data

Adapun data yang dikumpulkan guna untuk menunjang penelitian adalah sebagai berikut:

3.4.1 Data Primer

a. Data sampling batuan didapat dengan teknik pengambilan *sampling random sampling* yaitu pengambilan sampling secara acak sampling yang di ambil berupa batulanau, batupasir dan batubara.

b. Data *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) di dapatkan dengan melakukan pengujian sifat mekanik batuan menggunakan alat *Point Load Index* (PLI).
c. Data dimensi lubang didapatkan dari pengukuran di lubang bukaan dengan menggunakan meteran
d. Data sifat fisik batuan diperoleh dari pengujian sampel di lab
e. Data *strike* dan *dip* kekar di ukur pada *scanline* yang terdapat di dalam terowongan dengan panjang 15 meter menggunakan kompas geologi atau *pocket transit*
f. Data Spasi kekar diukur pada sepanjang *scanline* yang terdapat di dalam terowongan dengan panjang 15 meter menggunakan meteran
g. Data Jumlah kekar didapat sepanjang *scanline* yang terdapat di dalam terowongan dengan panjang 15 meter

3.4.2 Data Sekunder

a. Data peta geologi didapat dari arsip yang ada di perusahaan
b. Peta topografi diperoleh dari arsip perusahaan
c. Peta izin usaha pertambangan (IUP) CV. Tahiti Coal diperoleh dari arsip perusahan
d. Data Koordinat diperoleh dari arsip perusahaan

3.5 Teknik Pengolahan dan Analisa Data

Perhitungan nilai Faktor Keamanan pada terowongan THC-01 dan THC-02 tambang batubara CV. Tahiti Coal. Karena dalam menentukan nilai Faktor Keamanan menggunakan metode Elemen Hingga *(Finite Element)*

yaitu simulasi numerik menggunakan bantuan perangkat lunak *phase 2 v.8.0,* dengan kriteria keruntuhan Mohr-Coulumb*,* maka ada beberapa langkah yang harus diikuti dan dilakukan pengolahan data. Untuk mencapai tujuan penelitian maka dilakukan pengolahan data yang dengan menggunakan rumus-rumus dan pendekatan sebagai berikut:

1. Perhitungan kualitas massa batuan
   a. *Rock Quality Designation* (RQD), pengukuran dilakukan secara tidak langsung pada pengukuran orientasi dan jarak antar *diskontinuitas* pada singkapan batuan (Pierst & Hundson,1976). Dilihat pada persamaan:

      $RQD = 100\, e^{-0,1\,\lambda}\ (0,1\,\lambda + 1)$…….....…….(2.21)

   b. Jarak antar kekar, jarak tegak lurus antara dua kekar yang berurutan sepanjang garis pengukuran (Bienawski, 1989). Dilihat pada gambar 2.6
   c. Kondisi kekar, terdapat lima karakterisktik meliputinya kemenerusan, jarak antar permukaan kekar, kekasaran kekar, material pengisi, dan tingkat pelapukan. Dilihat pada tabel 2.4
   d. Kondisi air tanah, observasi secara langsung dengan visual diberi bobot dilihat pada tabel 2.5 dan penggunaan peta hidrologi
   e. Orientasi kekar adalah perhitungan *strike* dan *dip* kekar. Setelah parameter sebelumnya dipenuhi, maka orientasi kekar berguna untuk sebagai koreksi dengan persamaan:

      RMR = RMR_{Basic} + Penyesuaian orientasi kekar…….....(2.22)

      Sumber : Made Astawa Rai, Dkk, 2010

2. Perhitungan faktor keamanan menggunakan keruntuhan Mohr-Coulumb

a. Mengitung Faktor Keamanan FK>1 sebelum pemasangan penyangga dengan Memasukkan nilai parameter (kohesi, sudut geser dalam, tegangan mayor dan tegangan minor) dengan persamaan:

$$FK = \frac{a}{b} = \frac{\left(\frac{\sigma 1 + \sigma 3}{2}\right)\sin\theta + ç.\cos\theta}{\left(\frac{\sigma 1 - \sigma 3}{2}\right)} \text{.....(2.25)}$$

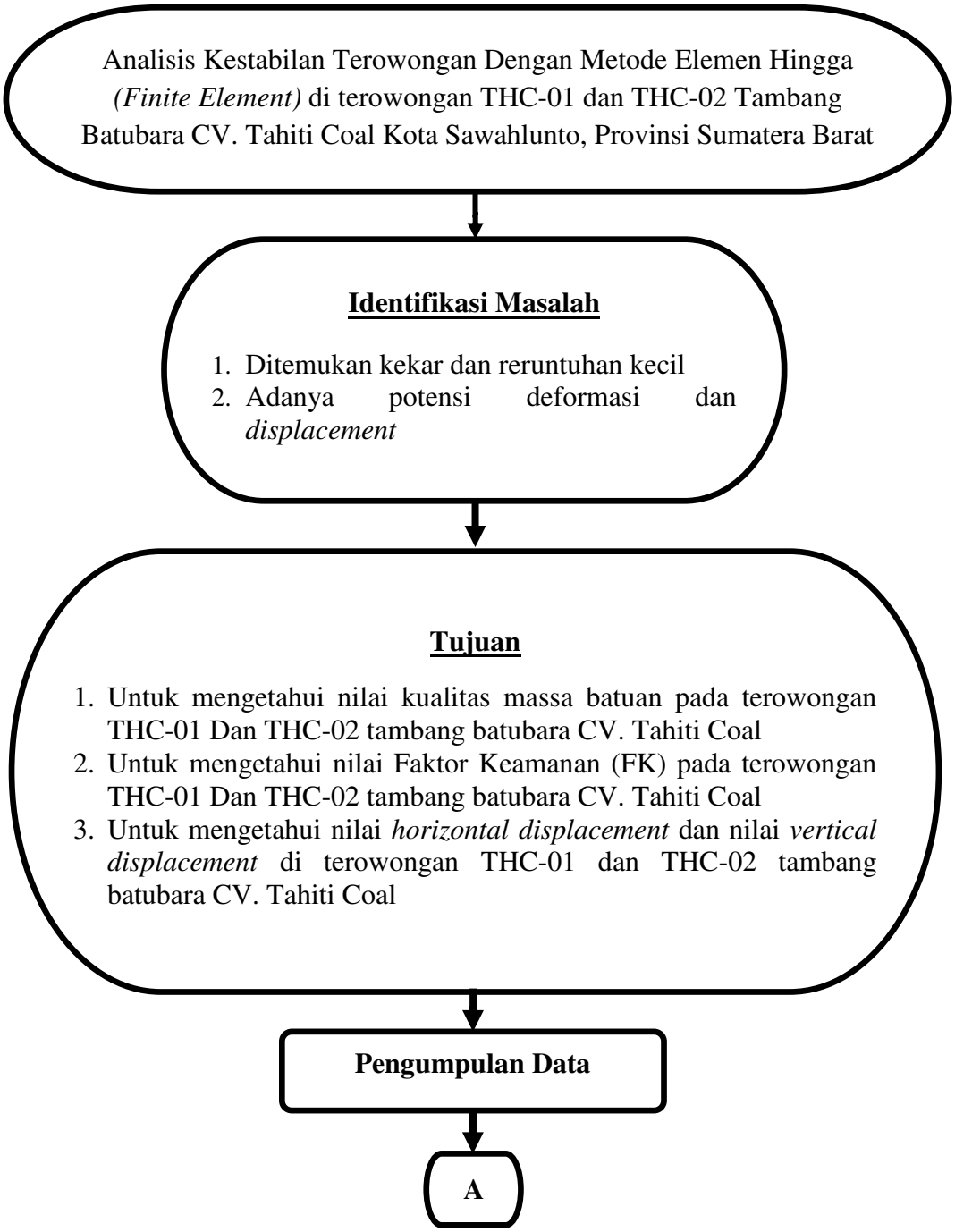
b. Hitung Faktor Keamanan FK>1,5 sesudah pemasangan penyangga dengan memasukan parameter (rata-rata strenght factor, jumlah *strength factor,* spesifikasi penyangga pada kayu dengan persamaan:

$$FK = \frac{S2}{\sigma a} \text{.....(2.26)}$$

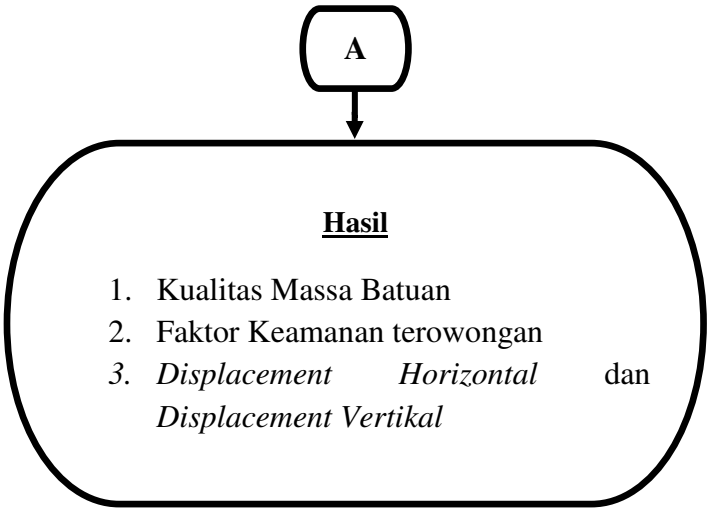
3. Perhitungan nilai *displacement horizontal* dan Perhitungan nilai *displacement vertical*
   a. Ukur diameter terowongan di lapangan
   b. Hitung dan masukan parameter yang akan di gunakan pada *software phase 2 v.8.0* (nilai kuat tekan, kuat tarik, kohesi, sudut geser dalam, modulus young, dan *poisson ratio*)
   c. Masukan data geometri terowongan
   d. Lalu ikuti prosedur di antaranya *project setting, boundaries, mesh, boundary conditions, field stress, support, properties, excavating, compute, dan interpretasi.*

3.6 Kerangka Metodologi

Langkah-langkah yang dilakukan penulis dalam melakukan penelitian dapat dilihat pada bagan berikut:




A
Data Primer
1. Data sampel batuan
2. Data uniaxial compressive strength (UCS)
3. Data dimensi lubang
4. Data sifat fisik batuan
5. Data strike dan dip kekar
6. Data Spasi kekar
7. Data Jumlah kekar
Data Sekunder
1. Data peta geologi
2. Peta kesampaian daerah
3. Peta izin usaha pertambangan (IUP)
4. Data Koordinat
Pengolahan Data:
Perhitungan dan Analisis Faktor Keamanan terowongan, displacement horizontal, serta displacement vertical menggunakan software phase 2 v.8.0 dengan beberapa parameter: Dimensi lubang, Kohesi, Sudut Geser Dalam, Kuat tekan, Kuat tarik, Modulus young, Poisson ratio, dan Bobot isi batuan
Pengolahan Data
Perhitungan atau pengolahan data dengan menggunakan rumus dan bantuan perangkat lunak software
A



Gambar 3.1 Kerangka Metodologi



BAB IV
DATA DAN PENGOLAHAN DATA

4.1. Pengumpulan Data Primer

4.1.1. Data Lapangan

Pengumpulan data di lapangan berupa data kekar yang diukur pada *scanline* sepanjang 15 meter dengan menggunakan meteran dan data luas dimensi terowongan pada lubang bukaan dan luas dimensi penampang pada area *front* penambangan cabang 04 THC-01 dan *front* cabang 04 THC-02. *Scanline* ini dibentangkan sebanyak 3 kali 15 meter, yaitu 15 meter pertama untuk batubara. 15 meter kedua untuk batupasir, dan 15 meter ketiga untuk batulanau. Pengukuran data kekar di *front* cabang 04 THC-01 dan *front* cabang 04 THC-02 sangat terbatas karena dipengaruhi oleh kondisi di dalam lubang THC-01 dan THC-02 yang gelap dan telah dipasangi penyangga. Berikut adalah data telah diperoleh:

Tabel 4.1 Kondisi Kekar

Jenis Batuan	No.	Strike (°)	Dip (°)	Jarak Antar Kekar (cm)	Panjang Kekar (cm)	Bukaan (mm)
Batupasir	1.	224	79	24	400	0,19
	2.	231	73	516	600	0,01
	3.	263	89	580	420	3
Batulanau	1.	314	80	40	300	0,1
	2.	331	77	230	295	1,6
	3.	305	75	600	250	3

Batubara THC-01	1.	302	66	26	112	0,4
	2.	317	70	170	80	2
	3.	233	56	100	70	2
	4.	205	58	40	45	1,3
	5.	295	55	143	30	0,5
	6.	325	48	49	55	0,7
	7.	312	68	169	100	0,8
	8.	345	73	335	57	1,5
	9.	305	68	15	40	0,4
	10.	319	88	45	98	0,7
Batubara THC-02	1.	347	78	123	47	0,5
	2.	325	66	390	39	0,5
	3.	327	71	258	107	1
	4.	319	60	452	45	0,9
	5.	301	67	142	87	0,8
	6.	298	81	100	90	1,2
	7.	305	58	36	121	1,1

Tabel 4.2 Data Dimensi *Tunnel* THC-01 *front* cabang 04

Panjang Alas	Panjang Atap	Tinggi Side Post Kiri	Tinggi Side Post Kanan	Koordinat
270 cm	250 cm	170 cm	170 cm	00° 37,95’ 07,08” S 99,99° 44,95’ 19,08” E
Dimensi Lubang Bukaan				
Panjang	Panjang	Tinggi	Tinggi	Koordinat

Alas	Atap	Trapesium	Lubang	
320 cm	60 cm	90 cm	260 cm	00° 38’ 10” S 100° 45’ 22” E

Tabel 4.3 Data Dimensi *Tunnel* THC-02 *front* cabang 04

Panjang Alas	Panjang Atap	Tinggi Side Post Kiri	Tinggi Side Post Kanan	Koordinat
200 cm	100 cm	170 cm	170 Cm	00° 37,96’ 17,89” S 99,99° 44,96’ 26,89” E

Dimensi Lubang Bukaan				
Panjang Alas	Panjang Atap	Tinggi Trapesium	Tinggi Lubang	Koordinat
240 cm	110 cm	50 cm	200 cm	00° 38’ 20” S 100° 45’ 29” E

Pengumpulan data primer berupa dimensi *tunnel* THC-01 dan THC-02 menggunakan meteran yang diukur secara langsung, serta pengukuran terhadap penampang di *front* cabang 04 pada *tunnel* THC-01 dan THC-02.



Gambar 4.1 Kondisi Batubara di Dalam Lubang Tambang

4.1.2. Data Laboratorium

Data yang didapatkan dari pengujian laboratorium adalah data uji kuat tekan batuan menggunakan alat pengujian *Point Load Index* (PLI). Sampling yang digunakan berupa 3 (tiga) jenis batuan yaitu batubara, batulanau, dan batupasir, dengan masing-masing 3 sampling, sampling batubara diambil di dalam terowongan, sedangkan batulanau dan batupasir diambil dilereng sekitar lubang tambang bawah terowongan THC-01 dan THC-02. Sehingga sampling yang digunakan berjumlah 9 (sembilan). Masing-masing sampling dipotong dan dirapikan secara manual menggunakan gerinda listrik. Dengan ketentuan pada gambar 2.2. Menghasilkan sampling batuan dengan ukuran yang tidak teratur (*irregular*). Berikut adalah proses pengujian kuat tekan menggunakan alat uji *Point Load Index* (PLI), dan data hasil pengujian kuat tekan batuan terlihat pada Tabel 4.4 di bawah ini:

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Batuan

Jenis batuan	No	Sampel	D (cm)	d (cm)	W1 (cm)	L (cm)	W2 (cm)	P (kg/cm^2)
Batubara	1.	I	3,72	4,12	3,11	3,65	3,11	17
	2.	II	4,11	4,62	4,00	2,35	4,00	12
	3.	III	4,01	3,84	3,31	2,05	3,54	12
Batupasir	1.	I	3,4	4,3	2,5	2,3	2,4	10
	2.	II	3,3	3,8	2,4	2	2,4	7
	3.	III	3,4	3,9	2,4	2	2,5	10
Batulanau	1.	I	3,5	4,35	2,6	2,3	2,8	20
	2.	II	3,4	4,25	2,5	2,1	2,4	25
	3.	III	3,4	4,5	2,5	2,3	2,55	20



Gambar 4.2 Alat Uji *Point Load Index* (PLI)



Gambar 4.3 Sampel Batuan



Gambar 4.4 Pengujian Sifat Fisik Batuan



Gambar 4.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Batuan

4.2. Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder dilakukan melalui studi *literature* berdasarkan dokumen perusahaan, buku dan jurnal sebagai beriku:

1. Peta geologi penambangan (Lampiran VI)
2. Peta kesampaian daerah (Lampiran IV)
3. Peta izin usaha pertambangan (IUP) (Lampiran VII)
4. Data koordinat (Lampiran IX)

4.3. Pengolahan Data

Pengolahan data dalam penelitian ini menggunakan klasifikasi massa batuan dari Bieniawski yang dikenal dengan *Rock Mass Rating System* (RMR) dan metode *Finite Element* atau metode elemen hingga dengan bantuan *software Phase2 version 8.0*.

4.3.1. Rock Mass Rating System (RMR)

4.3.1.1. Uji Kuat Tekan Batuan *Point Load Index* (PLI)

Uji kuat tekan batuan dilakukan menggunakan alat *point load index*, pengujian kuat tekan batuan dibutuhkan untuk menentukan kualitas dari massa batuan. Dalam pengujian ini disediakan sebanyak 3 (tiga) sampling untuk setiap jenis batuan. Diketahui L adalah setengah dari panjang sampling, d adalah diameter sampling batuan, W1 adalah lebar sampling bagian bawah, W2 adalah lebar sampling bagian atas, W adalah rata-rata lebar sampling, D/W adalah luas sampling sedangkan D adalah jarak antara konus atas dan konus bawah pada alat PLI terlihat pada gambar 2.2 Untuk menentukan faktor koreksi (F) digunakan

persamaan Greminger (1982) seperti terlihat pada rumus 2.10, setelah nilai faktor koreksi didapatkan , masukkan nilai faktor koreksi ke persamaan *point load index* menggunakan rumus 2.9. Dari nilai PLI yang telah didapatkan, maka dapat dicari nilai kuat tekan batuan berdasarkan nilai *Unconfined Compressive Strength* (UCS), dengan persamaan 2.9 (Lampiran II). Berdasarkan pengolahan data yang telah dilakukan, nilai UCS rata-rata dari ke 3 jenis sampel batuan dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Nilai UCS Sampel Batuan

Jenis Batuan	**No**	**Sampel**	**Faktor Koreksi (F)**	***Point Load Index* (Is)**	**UCS (Mpa)**	**Rata-rata (Mpa)**	**UCS (Kg/cm^2)**	**Rata-rata (Kg/cm^2)**
Batubara	1	I	0,32	0,39	0,879	0,999	8,97	10,19
	2	II	0,34	0,71	1,600		16,33	
	3	III	0,31	0,23	0,518		5,29	
Batupasir	1	I	0,33	0,28	0,631	0,547	6,44	5,58
	2	II	0,31	0,19	0,428		4,37	
	3	III	0,31	0,26	0,581		5,93	
Batulanau	1	I	0,33	0,53	1,194	1,344	12,19	13,72
	2	II	0,32	0,69	1,555		15,87	
	3	III	0,33	0,57	1,284		13,11	

Dari nilai rata-rata UCS yang sudah didapatkan, nilai UCS dari batubara sebesar 10,19 Kg/cm^2 atau sebesar 0,999 MPa, batupasir sebesar 5,58 Kg/cm^2 atau 0,547 MPa, batulanau sebesar 13,72 Kg/cm^2 atau 1,344 MPa. Berdasarkan Tabel pembobotan RMR, nilai UCS untuk batubara dan batupasir mempunyai bobot 0 (nol) dengan deskripsi batuan sangat lemah sekali (*extremelyweak*), sedangkan

untuk batulanau mempunyai bobot 1 (satu) dengan deskripsi batuan sangat lemah (*very weak)* seperti yang ditunjukkan Tabel pembobotan RMR 15.

Tabel 4.6 Kekuatan Material Batuan Utuh

Deskripsi kualitatif	UCS (Mpa)	PLI (MPa)	Bobot
Sangat Kuat Sekali (*exceptonallystong*)	>250	>10	15
Sangat Kuat (*very strong*)	100 – 250	4 – 10	12
Kuat (*strong*)	50 – 100	2 – 4	7
Sedang (*average*)	25 – 50	1 – 2	4
Lemah (*weak*)	5 – 25	**Penggunaan UCS lebih dilanjutkan**	2
Sangat lemah (*very weak)*	**1 – 5**		**1**
Sangat lemah sekali (*extremelyweak)*	**<1**		**0**

Sumber: Made Astawa Rai, 2011

4.3.1.2. *Rock Quality Designation* (RQD)

Rock Quality Designation (RQD) adalah parameter yang dapat menunjukkan kualitas massa batuan sebelum dilakukan penggalian. Parameter ini dikembangkan oleh Deree (1964), yang datanya diperoleh dari pengeboran eksplorasi dalam bentuk inti bor yang merupakan wakil massa batuan berbentuk silinder. Bila inti bor tidak tersedia, RQD dapat dihitung secara tidak langsung dengan melakukan pengukuran data kekar baik presistensi, aperture, jarak antar kekar pada singkapan batuan dengan membuat suatu garis yang dibentangkan (*scaneline*). *Scanline* pada penelitian ini sepanjang 15 meter untuk tiap jenis batuan, dimana pada batubara di bentangkan di area *front* penambangan, sedangkan pada batupasir dan batulanau dibentangkan pada lereng di atas lubang tambang. Dalam menentukan nilai RQD

berdasarkan data kekar sepanjang *scanline* yang sudah ditentukan dapat digunakan persamaan Priest & Hudson (1976) seperti terlihat pada rumus 2.21. Berikut adalah Tabel hasil perhitungan nilai RQD, dapat dilihat pada Tabel 4.7 di bawah ini:

Tabel 4.7 Kualitas dan Bobot Batuan Berdasarkan Nilai RQD

Jenis Batuan	Jumlah Kekar	RQD Rata-rata (%)
Batupasir	3	99,906
Batulanau	3	99,906
Batubara THC-01	10	99,534
Batubara THC-02	7	99,726

Untuk bobot RQD batupasir, batulanau dan batubara dapat dilihat pada Tabel berikut ini:

Tabel 4.8 Kualitas dan Bobot Batubara Berdasarkan Nilai RQD

RQD (%)	Kualitas Batuan	Bobot
< 25	Sangat Jelek (*Very Poor*)	3
25 – 50	Jelek (*Poor*)	8
50 – 75	Sedang (*Fair*)	13
75 – 90	Baik (*Good*)	17
90 – 100	**Sangat Baik (*Excellent*)**	**20**

Nilai RQD menentukan kualitas dari massa batuan yang dilihat dari banyaknya diskontinuitas pada tiap satu meter dari *sacanline*. Semakin tinggi kualitas massa batuan maka semakin baik kualitas massa batuannya.

4.3.1.3. Jarak antar kekar *(Spacing Of Discontinuitas)*

Spasi bidang diskontinuitas atau kekar adalah jarak tegak lurus antar kekar yang dapat dihitung secara langsung di lapangan. Berdasarkan pengukuran di lapangan menggunakan alat ukur berupa meteran, didapatkan data jarak kekar seperti Tabel berikut ini:

a. Jarak Kekar Untuk Batupasir

Tabel 4.9 Jarak Kekar Untuk Batupasir

No	Kekar	Jarak (cm)	Rata-rata (cm)
1.	Titik scanline ke 1	24 cm	373,33 cm
2.	1 ke 2	516 cm	
3.	2 ke 3	580 cm	

Tabel 4.10 Bobot Jarak Antar Kekar

Deskripsi	Jarak Kekar (m)	Bobot
Sangat lebar (very wide)	**>2**	**20**
Lebar (wide)	0,6 – 2	15
Sedang (moderate)	0,2 – 0,6	10
Rapat (close)	0,06 – 0,2	8
Sangat rapat (very close)	<0,06	5

b. Jarak Kekar Untuk Batulanau

Tabel 4.11 Jarak Kekar Untuk Batulanau

No	Kekar	Jarak (cm)	Rata rata (cm)
1.	Titik scanline ke 1	40 cm	290 cm
2.	1 ke 2	230 cm	
3.	2 ke 3	600 cm	

Tabel 4.12 Bobot Jarak Antar Kekar

Deskripsi	Spasi Kekar (m)	Bobot
Sangat lebar (very wide)	**>2**	**20**
Lebar (wide)	0,6 – 2	15
Sedang (moderate)	0,2 – 0,6	10
Rapat (close)	0,006 – 0,2	8
Sangat rapat (very close)	<0,006	5

c. Jarak Kekar Untuk Batubara THC-01

Tabel 4.13 Jarak Kekar Untuk Batubara THC-01

No	Kekar	Jarak (cm)	Rata rata (cm)
1.	Titik scanline ke 1	26 cm	109.2 cm
2.	1 ke 2	170 cm	
3.	2 ke 3	100 cm	
4.	3 ke 4	40 cm	
5.	4 ke 5	143 cm	
6.	5 ke 6	49 cm	
7.	6 ke 7	169 cm	
8.	7 ke 8	335 cm	
9.	8 ke 9	15 cm	
10.	9 ke 10	45 cm	

Tabel 4.14 Bobot Jarak Antar Kekar

Deskripsi	Spasi Kekar (m)	Bobot
Sangat lebar (very wide)	>2	20
Lebar (wide)	**0,6 – 2**	**15**
Sedang (moderate)	0,2 – 0,6	10
Rapat (close)	0,006 – 0,2	8
Sangat rapat (very close)	<0,006	5

d. Jarak Kekar Untuk Batubara THC-02

Tabel 4.15 Jarak Kekar Untuk Batubara THC-02

No	Kekar	Jarak (cm)	Rata rata (cm)
1.	Titik scanline ke 1	123 cm	214,42 cm
2.	1 ke 2	390 cm	
3.	2 ke 3	258 cm	
4.	3 ke 4	452 cm	
5.	4 ke 5	142 cm	
6.	5 ke 6	100 cm	
7.	6 ke 7	36 cm	

Tabel 4.16 Bobot Jarak Antar Kekar

Deskripsi	Spasi Kekar (m)	Bobot
Sangat lebar (very wide)	**>2**	**20**
Lebar (wide)	0,6 – 2	15
Sedang (moderate)	0,2 – 0,6	10
Rapat (close)	0,006 – 0,2	8
Sangat rapat (very close)	<0,006	5

4.3.1.4. Kondisi Diskontinuitas

Kondisi diskontinuitas memiliki 5 (lima) karakteristik, meliputi kemenerusan (*persistence*), jarak antar permukaan kekar atau celah kekar (*aperture*), kekasaran kekar (*roughnes*), material pengisi (*gouge*), dan tingkat pelapukan (*weathering*). Berdasarkan pengukuran di lapangan didapatkan pengukuran sebagai berikut:

a. Kondisi Kekar Batupasir

Tabel 4.17 Kondisi Kekar di Lapangan Untuk Batupasir

No	Panjang kekar	Bukaan	isian	Kekasaran	Kelapukan	Air tanah
1	400 cm	0,19 mm	Tidak ada	Sedikit kasar	Sedikit lapuk	Kering
2	600 cm	0,01 mm	Tidak ada	Sedikit kasar	Sedikit lapuk	Kering
3	420 cm	3 mm	Tidak ada	Sedikit kasar	Sedikit lapuk	Kering
	1420 cm	3,2 mm	**Jumlah**			
	473,33 cm	1,06 mm	**Rata-rata**			

Berikut adalah Tabel pembobotan untuk kondisi kekar batupasir di lapangan:

Tabel 4.18 Total Bobot Kekar Batupasir

Parameter	Rating					Hasil rating
Panjang diskontinuitas	<1 m	1-3 m	**3-10 m**	10-20 m	>20 m	2
	6	4	**2**	1	0	
Bukaan diskontinuitas	-	<0,1 mm	0,1-1 mm	**1-5 mm**	> 5 mm	1
	6	5	4	**1**	0	
Kekasaran	Sangat	Kasar	**Sedikit**	Halus	Sliken-	4

diskontinuitas	kasar		**kasar**		side	
	6	5	**4**	1	0	
Material pengisi (infilling)	**Tidak ada**	Keras <5mm	Keras >5mm	Lunak <5mm	Lunak >5mm	6
	6	4	2	2	1	
Pelapukan	Tidak lapuk	**Sedikit lapuk**	Lapuk	Sangat Lapuk	Hancur	5
	6	**5**	3	1	0	
Jumlah						**18**

b. Kondisi Kekar Batulanau

Tabel 4.19 Kondisi Kekar di Lapangan Untuk Batulanau

No	Panjang kekar	Bukaan	isian	Kekasaran	Kelapukan	Air tanah
1	300 cm	0,1 mm	Tidak ada	Sedikit kasar	Sedikit lapuk	Kering
2	295 cm	1,6 mm	Tidak ada	Sedikit kasar	Sedikit lapuk	Kering
3	250 cm	3 mm	Tidak ada	Sedikit kasar	Sedikit lapuk	Kering
	845 cm	4,7 mm	**Jumlah**			
	281,66 cm	1,56 mm	**Rata-rata**			

Berikut adalah Tabel pembobotan untuk kondisi kekar batulanau di lapangan:

Tabel 4.20 Total Bobot Kekar Batulanau

Parameter	Rating					Hasil rating
Panjang diskontinuitas	<1 m	**1-3 m**	3-10 m	10-20 m	>20 m	4
	6	**4**	2	1	0	
Bukaan diskontinuitas	-	<0,1 mm	0,1-1 mm	**1-5 mm**	> 5 mm	1
	6	5	4	**1**	0	
Kekasaran diskontinuitas	Sangat kasar	Kasar	**Sedikit kasar**	Halus	Sliken-side	4

	6	5	**4**	1	0	
Material pengisi (infilling)	**Tidak ada**	Keras <5mm	Keras >5mm	Lunak <5mm	Lunak >5mm	6
	6	4	2	2	1	
Pelapukan	Tidak lapuk	**Sedikit lapuk**	Lapuk	Sangat Lapuk	Hancur	5
	6	**5**	3	1	0	
Jumlah						**20**

c. Kondisi Kekar Batubara THC-01

Tabel 4.21 Kondisi Kekar di Lapangan Untuk Batubara THC-01

No	Panjang kekar	Bukaan	Isian	Kekasaran	Kelapukan	Air tanah
1	112 cm	0,4 mm	Tidak ada	Sedikit kasar	Sedikit lapuk	Kering
2	80 cm	2 mm	Tidak ada	Sedikit kasar	Sedikit lapuk	Kering
3	70 cm	2 mm	Tidak ada	Sedikit kasar	Sedikit lapuk	Kering
4	45 cm	1,3 mm	Tidak ada	Sedikit kasar	Sedikit lapuk	Kering
5	30 cm	0,5 mm	Tidak ada	Sedikit kasar	Sedikit lapuk	Kering
6	55 cm	0,7 mm	Tidak ada	Sedikit kasar	Sedikit lapuk	Kering
7	100 cm	0,8 mm	Tidak ada	Sedikit kasar	Sedikit lapuk	Kering
8	57 cm	1,5 mm	Tidak ada	Sedikit kasar	Sedikit lapuk	Kering
9	40 cm	0,4 mm	Tidak ada	Sedikit kasar	Sedikit lapuk	Kering
10	98 cm	0,7 mm	Tidak	Sedikit	Sedikit	Kering

			ada	kasar	lapuk	
	687 cm	10,3 mm	**Jumlah**			
	68,7 cm	1,03 mm	**Rata-rata**			

Berikut adalah Tabel pembobotan untuk kondisi kekar Batubara THC-01 di lapangan:

Tabel 4.22 Total Bobot Kekar Batubara THC-01

Parameter	**Rating**					**Hasil rating**
Panjang diskontinuitas	**<1 m**	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m	6
	6	4	2	1	0	
Bukaan diskontinuitas	-	<0,1 mm	0,1-1 mm	**1-5 mm**	> 5 mm	1
	6	5	4	**1**	0	
Kekasaran diskontinuitas	Sangat kasar	**Kasar**	Sedikit kasar	Halus	Sliken-side	5
	6	**5**	4	1	0	
Material pengisi (infilling)	**Tidak ada**	Keras <5mm	Keras >5mm	Lunak <5mm	Lunak >5mm	6
	6	4	2	2	1	
Pelapukan	Tidak lapuk	**Sedikit lapuk**	Lapuk	Sangat Lapuk	Hancur	5
	6	**5**	3	1	0	
Jumlah						**23**

d. Kondisi Kekar Batubara THC-02

Tabel 4.23 Kondisi Kekar di Lapangan Untuk Batubara THC-02

No	**Panjang kekar**	**Bukaan**	**isian**	**Kekasaran**	**Kelapukan**	**Air tanah**
1	47 cm	0.5 mm	Tidak ada	Sedikit kasar	Sedikit lapuk	Kering
2	39 cm	0.5 mm	Tidak ada	Sedikit kasar	Sedikit lapuk	Kering

3	107 cm	1 mm	Tidak ada	Sedikit kasar	Sedikit lapuk	Kering
4	45 cm	0,9 mm	Tidak ada	Sedikit kasar	Sedikit lapuk	Kering
5	87 cm	0,8 mm	Tidak ada	Sedikit kasar	Sedikit lapuk	Kering
6	90 cm	1,2 mm	Tidak ada	Sedikit kasar	Sedikit lapuk	Kering
7	121 cm	1,1 mm	Tidak ada	Sedikit kasar	Sedikit lapuk	Kering
	536 cm	6 mm	**Jumlah**			
	76,57 cm	0,85 mm	**Rata-rata**			

Berikut adalah Tabel pembobotan untuk kondisi kekar Batubara THC-02 di lapangan:

Tabel 4.24 Total Bobot Kekar Batubara THC-02

Parameter	**Rating**					**Hasil rating**
Panjang diskontinuitas	**<1 m**	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m	6
	6	4	2	1	0	
Bukaan diskontinuitas	-	<0,1 mm	**0,1-1 mm**	1-5 mm	> 5 mm	4
	6	5	**4**	1	0	
Kekasaran diskontinuitas	Sangat kasar	Kasar	**Sedikit kasar**	Halus	Sliken-side	4
	6	5	**4**	1	0	
Material pengisi (infilling)	**Tidak ada**	Keras <5mm	Keras >5mm	Lunak <5mm	Lunak >5mm	6
	6	4	2	2	1	
Pelapukan	Tidak lapuk	**Sedikit lapuk**	Lapuk	Sangat Lapuk	Hancur	5
	6	**5**	3	1	0	
Jumlah						**25**

4.3.1.5. Kondisi Air Tanah

Berdasarkan penelitian di lapangan dapat disimpulkan bahwa kondisi air tanah termasuk dalam kondisi kering karena *run off* tidak ada. Maka dari itu didapatkan *rating*/bobot untuk kondisi air tanah sebesar 15 untuk batupasir, batulanau dan batubara. Untuk pembobotan kondisi air tanah di lapangan dapat dilihat dari Tabel 4.25. di bawah ini:

Tabel 4.25 Total Bobot Kondisi Umum Air Tanah (Bieniawski 1989)

Kondisi Umum	Kering	Lembab	Basah	Terdapat tetesan Air	Terdapat Aliran Air
Aliran/10 m panjang terowongan (liter/menit)	**Tidak ada**	< 10	10 – 25	25 – 125	>125
Tekanan air pada kekar maks	**0**	<0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	>0,5
Bobot	**15**	10	7	4	0

4.3.1.6. Orientasi Kekar

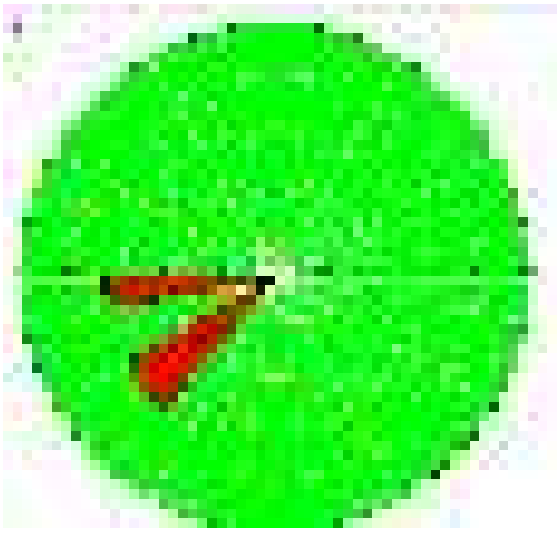
Orientasi (arah dan kemiringan) kekar berdasarkan hasil pengukuran di lapangan dapat dilihat pada Tabel berikut ini:

a. Orientasi Kekar Batupasir

Tabel 4.26 Nilai *Strike* dan *Dip* Batupasir

No	Strike (^{o})	Dip (^{o})
1.	224	79
2.	231	73
3.	263	89

Hasil pengukuran orientasi kekar di lapangan kemudian dianalisa menggunakan diagram Rosette pada software Streonet, dengan hasil pengolahan seperti Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Hasil Diagram Rosette Untuk Batupasir

Tabel 4.27 Pengaruh Orientasi Kekar Dalam Pembuatan Terowongan dan Penggalian

Pengaruh Jurus & Kemiringan Kekar Untuk Penerowongan						
Jurus Tegak Lurus Sumbu Terowongan				Jurus Paralel Sumbu Terowongan		Tidak Tergantung Jurus
Galian//kemiringan		Galian\\kemiringan				
Dip	Dip	Dip	Dip	Dip	Dip	Dip
45 – 90°	20 – 45°	45 – 90°	20 – 45°	45 – 90°	20 – 45°	0 – 20°
Sangat menguntungkan	Menguntungkan	Sedang	Tidak menguntungkan	Sangat tidak menguntungkan	Sedang	Tidak menguntungkan

Tabel 4.28 Peubah Bobot Orientasi Kekar

Orientasi Jurus dan Kemiringan Kekar		Sangat Menguntungkan	Menguntungkan	Sedang	Tidak Menguntungkan	Sangat tidak menguntungkan
Pembobotan	Terowongan	0	-2	**-5**	-10	-12
	Pondasi	0	-2	-2	-15	-25
	Lereng	0	-5	-25	-50	-60

Tabel 4.29 Total Bobot Dari 6 Parameter RMR Untuk Batupasir

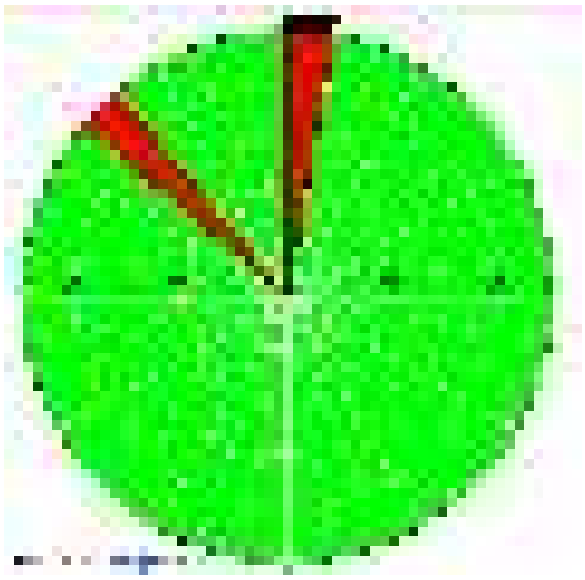
No	Parameter	Bobot	Total Bobot
1	UCS	**0**	**68**
2	RQD	**20**	
3	Jarak Antar Kekar	**20**	
4	Kondisi Kekar	**18**	
5	Kondisi Air Tanah	**15**	
6	Orientasi Kekar	**-5**	

b. Orientasi Kekar Batulanau

Tabel 4.30 Nilai *Strike* dan *Dip* Batulanau

No	Strike (^{o})	Dip (^{o})
1.	314	80
2.	331	77
3.	305	75

Hasil pengukuran orientasi kekar di lapangan kemudian dianalisa menggunakan diagram Rosette pada software Streonet, dengan hasil pengolahan seperti Gambar 4.7 di bawah ini:



Gambar 4.7 Hasil Diagram Rosette Untuk Batulanau

Tabel 4.31 Pengaruh Orientasi Kekar Dalam Pembuatan Terowongan dan Penggalian

Pengaruh Jurus & Kemiringan Kekar Untuk Penerowongan						
Jurus Tegak Lurus Sumbu Terowongan				Jurus Paralel Sumbu Terowongan		Tidak Tergantung Jurus
Galian//kemiringan		Galian\\kemiringan				
Dip	Dip	Dip	Dip	Dip	Dip	Dip
45 – 90°	20 – 45°	45 – 90°	20 – 45°	45 – 90°	20 – 45°	0 – 20°
Sangat menguntungkan	menguntungkan	Sedang	Tidak menguntungkan	Sangat tidak menguntungkan	Sedang	Tidak mengun tungkan

Tabel 4.32 Peubah Bobot Orientasi Kekar

Orientasi Jurus dan Kemiringan Kekar		Sangat Menguntungkan	Menguntungkan	Sedang	Tidak Menguntungkan	Sangat tidak menguntungkan
Pembobotan	Terowongan	0	-2	**-5**	-10	-12
	Pondasi	0	-2	-2	-15	-25
	Lereng	0	-5	-25	-50	-60

Tabel 4.33 Total Bobot Dari 6 Parameter RMR Untuk Batulanau

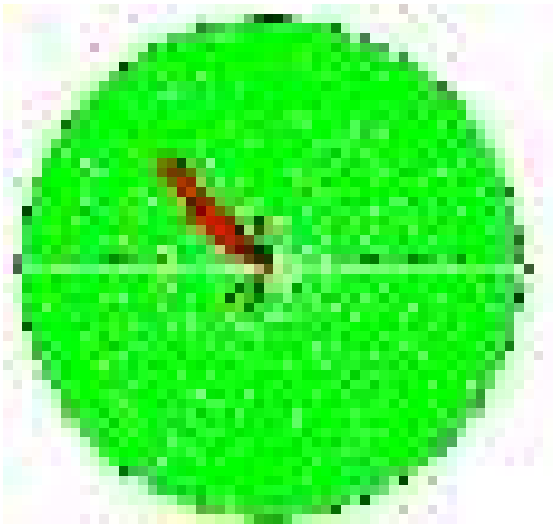
No	Parameter	Bobot	Total Bobot
1	UCS	**1**	**71**
2	RQD	**20**	
3	Jarak Antar Kekar	**20**	
4	Kondisi Kekar	**20**	
5	Kondisi Air Tanah	**15**	
6	Orientasi Kekar	**-5**	

c. Orientasi Kekar Batubara THC-01

Tabel 4.34 Nilai *Strike* dan *Dip* Batubara THC-01

No	Strike (^{o})	Dip (^{o})
1.	302	66
2.	317	70
3.	233	56
4.	205	58
5.	295	55
6.	325	48
7.	312	68
8.	345	73
9.	305	68
10.	319	88

Hasil pengukuran orientasi kekar di lapangan kemudian dianalisa menggunakan diagram Rosette pada software Streonet, dengan hasil pengolahan seperti Gambar 4.8 di bawah ini:



Gambar 4.8 Hasil Diagram Rosette Untuk Batubara THC-01

Tabel 4.35 Pengaruh Orientasi Kekar Dalam Pembuatan Terowongan dan Penggalian

Pengaruh Jurus & Kemiringan Kekar Untuk Penerowongan						
Jurus Tegak Lurus Sumbu Terowongan				Jurus Paralel Sumbu Terowongan		Tidak Tergantung Jurus
Galian//kemiringan		Galian\\kemiringan				
Dip	Dip	Dip	Dip	Dip	Dip	Dip
45 – 90°	20 – 45°	45 – 90°	20 – 45°	45 – 90°	20 – 45°	0 – 20°
Sangat menguntungkan	Menguntungkan	Sedang	Tidak menguntungkan	Sangat tidak menguntungkan	Sedang	Tidak menguntungkan

Tabel 4.36 Peubah Bobot Orientasi Kekar

Orientasi Jurus dan Kemiringan Kekar		Sangat Menguntungkan	Menguntungkan	Sedang	Tidak Menguntungkan	Sangat tidak menguntungkan
Pembobotan	Terowongan	0	-2	**-5**	-10	-12
	Pondasi	0	-2	-2	-15	-25
	Lereng	0	-5	-25	-50	-60

Tabel 4.37 Total Bobot Dari 6 Parameter RMR Untuk Batubara THC-01

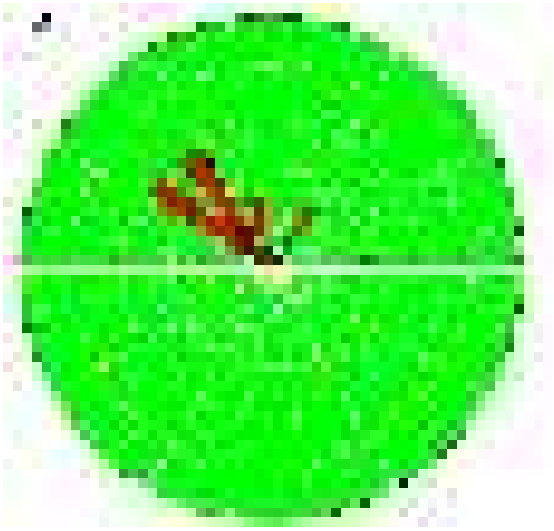
No	Parameter	Bobot	Total Bobot
1	UCS	**0**	**68**
2	RQD	**20**	
3	Jarak Antar Kekar	**15**	
4	Kondisi Kekar	**23**	
5	Kondisi Air Tanah	**15**	
6	Orientasi Kekar	**-5**	

d. Orientasi Kekar Batubara THC-02

Tabel 4.38 Nilai *Strike* dan *Dip* Batubara THC-02

No	Strike (^{o})	Dip (^{o})
1.	347	78
2.	325	66
3.	327	71
4.	319	60
5.	301	67
6.	298	81
7.	305	58

Hasil pengukuran orientasi kekar di lapangan kemudian dianalisa menggunakan diagram Rosette pada software Streonet, dengan hasil pengolahan seperti Gambar 4.9 di bawah ini:



Gambar 4.9 Hasil Diagram Rosette Untuk Batubara THC-02

Tabel 4.39. Pengaruh Orientasi Kekar Dalam Pembuatan Terowongan dan Penggalian

Pengaruh Jurus & Kemiringan Kekar Untuk Penerowongan						
Jurus Tegak Lurus Sumbu Terowongan				Jurus Paralel Sumbu Terowongan		Tidak Tergantung Jurus
Galian//kemiringan		Galian\\kemiringan				
Dip	Dip	Dip	Dip	Dip	Dip	Dip
45 – 90°	20 – 45°	45 – 90°	20 – 45°	45 – 90°	20 – 45°	0 – 20°
Sangat menguntungkan	Menguntungkan	Sedang	Tidak menguntungkan	Sangat tidak menguntungkan	Sedang	Tidak mengun tungkan

Tabel 4.40 Peubah Bobot Orientasi Kekar

Orientasi Jurus dan Kemiringan Kekar		Sangat Menguntungkan	Menguntungkan	Sedang	Tidak Menguntungkan	Sangat tidak menguntungkan
Pembobotan	Terowongan	0	-2	**-5**	-10	-12
	Pondasi	0	-2	-2	-15	-25
	Lereng	0	-5	-25	-50	-60

Tabel 4.41 Total Bobot Dari 6 Parameter RMR Untuk Batubara THC-02

No	Parameter	Bobot	Total Bobot
1	UCS	**0**	**75**
2	RQD	**20**	
3	Jarak Antar Kekar	**20**	
4	Kondisi Kekar	**25**	
5	Kondisi Air Tanah	**15**	
6	Orientasi Kekar	**-5**	

4.3.2. Elemen Hingga (*Finite Element*)

Elemen hingga (*finite element*) dapat diketahui dengan menggunakan perangkat lunak *Phase2* dengan memasukkan parameter-parameter antara lain, dimensi lubang THC-01 *front* cabang 04 dan THC-02 *front* cabang 04, nilai kohesi dan nilai sudut geser dalam.

Tabel 4.42 Data Dimensi Terowongan THC-01 *front* cabang 04 dan THC-02 *front* cabang 04

Lubang Tambang	Panjang Alas	Panjang Atap	Tinggi Side Post Kiri	Tinggi Sidi Post Kanan
THC-01	270 cm	250 cm	170 cm	170 cm
THC-02	200 cm	100 cm	170 cm	170 cm

Berdasarkan nilai RMR yang sudah didapatkan sebelumnya, maka dapat ditentukan nilai kohesi dan sudut geser dalam dengan menggunakan Tabel kelas massa batuan menurut bobot total.

Tabel 4.43 Kelas Massa Batuan Menurut Bobot Total Untuk Tiga Jenis Batuan

Kelas	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
No. Kelas	I	**II**	III	IV	V

Description	Batuan sangat baik	**Batuan Baik**	Batuan sedang	Batuan Buruk	Batuan sangat buruk

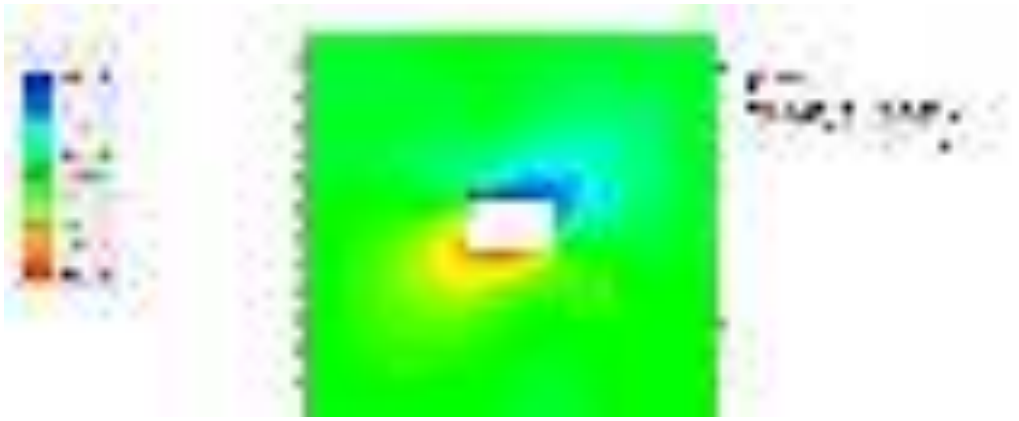
Kelas	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**
Stand Up Time	20 th-15 m span	**1 th-10 m span**	1 mg-5 m span	10 jam-2,5 m span	30 menit-1 m span
C (KPa)	>400	**300-400**	200-300	100-200	<100
[illegible]	>45°	**35°-45°**	25°-35°	15°-25°	<15°

Dari tabel kelas massa batuan tergolong batuan baik kelas II dengan kohesi 300-400 dan sudut geser dalam 35°-45°, menentukan nilai kohesi dan sudut geser dalam bisa dengan rumus pendekatan interporasi, dengan hasil kohesi dan sudut geser dalam THC-01 336,84 Kpa atau 0,336 MPa dan 48,68°. Sedangkan hasil kohesi dan sudut geser dalam THC-02 373,68 Kpa atau 0,373 MPa dan 52,36°. Untuk nilai sigma 3 dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.24, dimana sigma 3 dapat diketahui padaa saat sigma 1 sama dengan 0 (nol). Adapun hasil dari perhitungannya nilai sigma 3 untuk batubara 0,252. Berikut ini merupakan hasil dari pengolahan data menggunakan *software Phase2*:

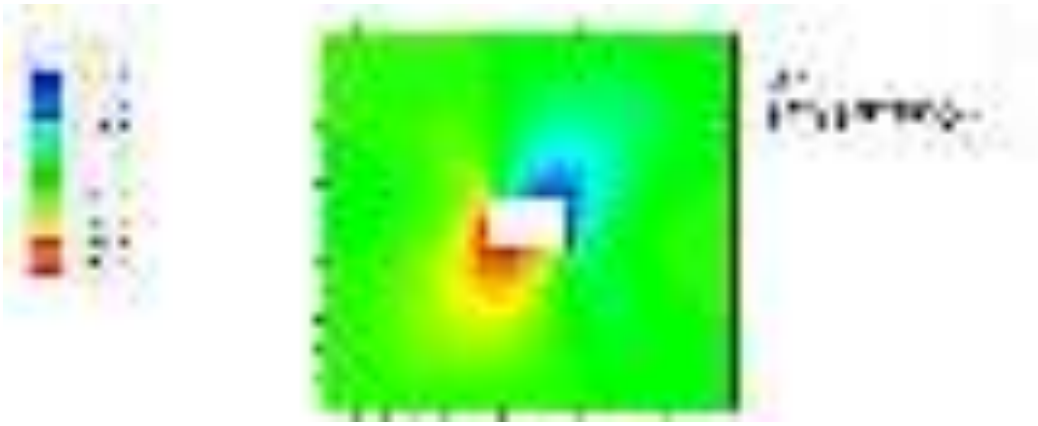
1. THC-01



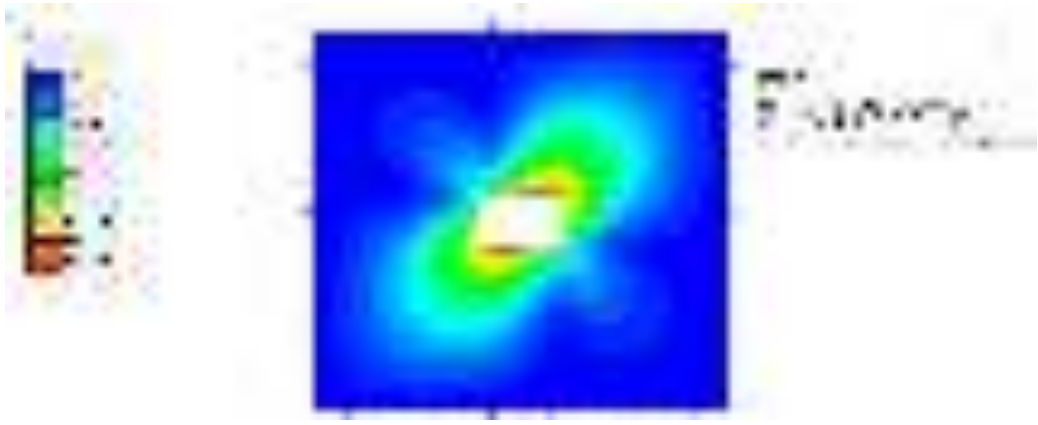
Gambar 4.10 Bentuk lubang THC-01 *front* 04



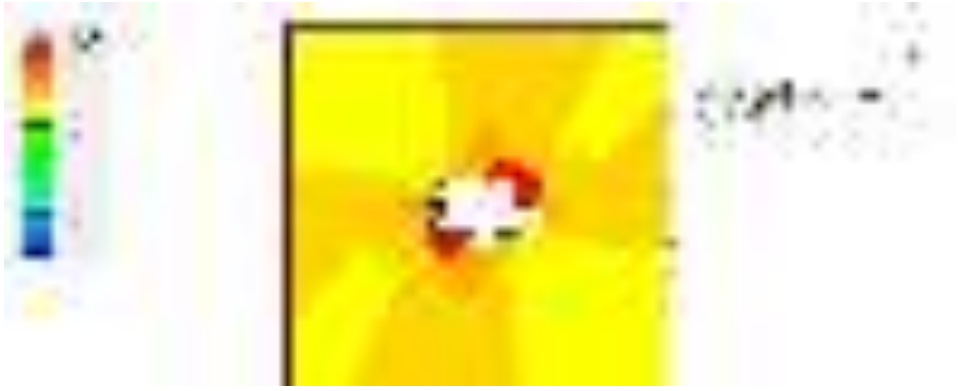
Gambar 4.11 ***Horizontal Displacemenet*** **THC-01** ***front*** **04**



Gambar 4.12 ***Vertical Displacement*** **THC-01** ***front*** **04**

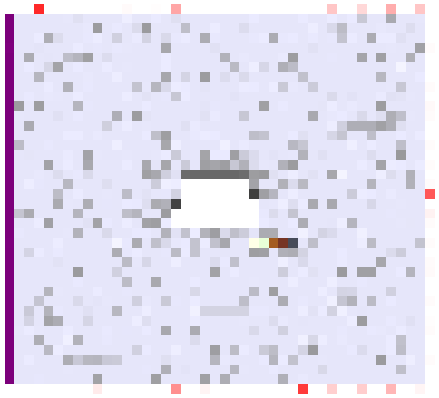


Gambar 4.13 Total ***Displacement*** **THC-01** ***front*** **04**

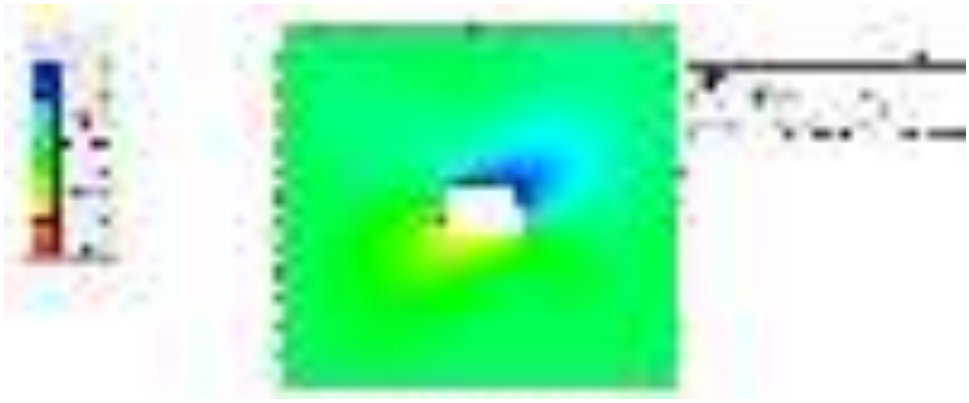


Gambar 4.14 *Strength Factor* THC-01 *front* 04

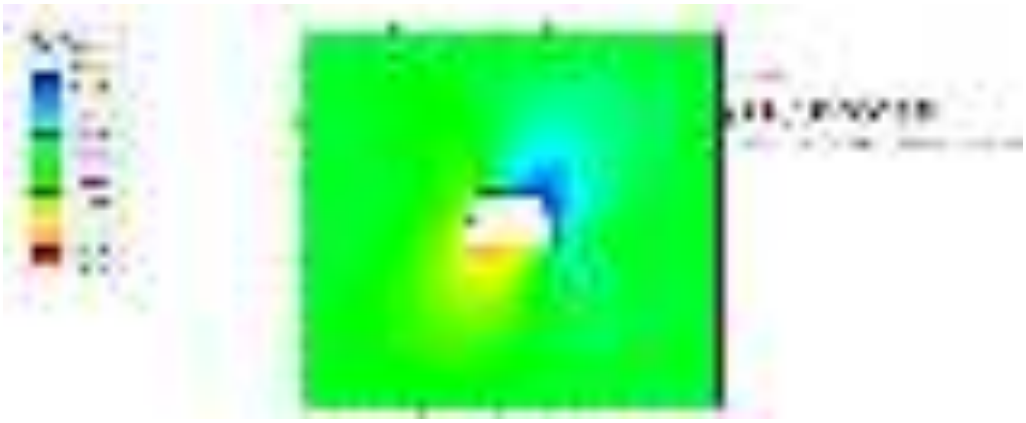
2. THC-02



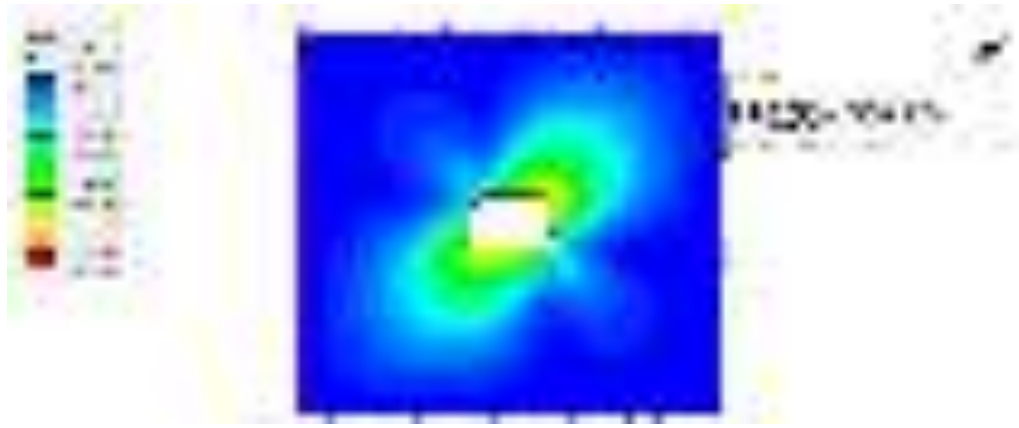
Gambar 4.15 Bentuk lubang THC-02 *front* 04



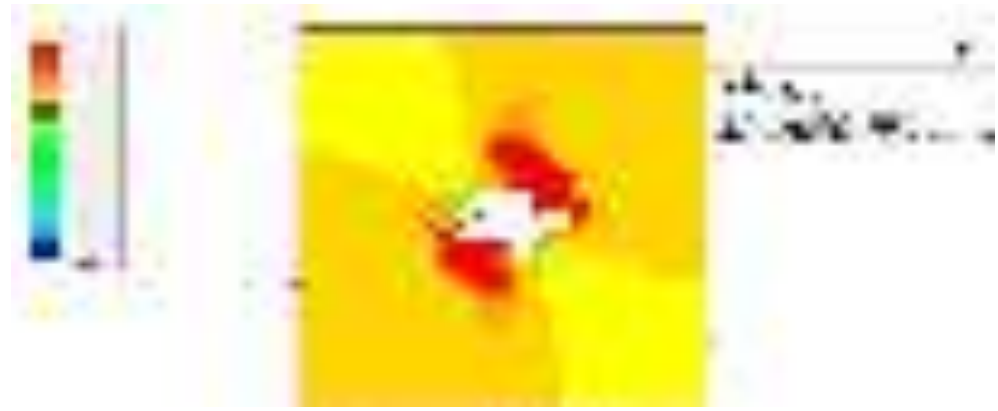
Gambar 4.16 *Horizontal Displacemenet* THC-02 *front* 04



Gambar 4.17 ***Vertical Displacement*** **THC-02** ***front*** **04**



Gambar 4.18 Total ***Displacement*** **THC-02** ***front*** **04**



Gambar 4.19 ***Strength Factor*** **THC-02** ***front*** **04**

4.3.3. Faktor Keamanan Sebelum dan Sesudah Pemasangan Penyangga

1. THC-01 *front* 04

   a. Sebelum pemasangan penyangga

   FK =

   =

   =

   =

   = 0,96

   Dijelaskan dari hasil perhitungan Faktor Keamanan sebelum pemasangan penyangga lubang THC-01 *front* 04 yaitu 0,96 dengan keterangan (FK<1 tidak stabil)

   b. Sesudah pemasangan penyangga

   Pada daerah penelitian lubang bukaan THC-01 sistem penyangga yang digunakan *three pieces set* dari kayu dengan kelas kayu III.

   FK =

   =

=

=

= 6,03

Dijelaskan dari hasil perhitungan Faktor Keamanan sesudah pemasangan penyangga lubang THC-01 *front* 04 yaitu 6,03 dengan keterangan (FK<1 stabil)

2. THC-02 *front* 04

a. Sebelum pemasangan penyangga

FK =

=

=

=

= 0,97

Dijelaskan dari hasil perhitungan Faktor Keamanan sebelum pemasangan penyangga lubang THC-01 *front* 04 yaitu 0,97 dengan keterangan (FK<1 tidak stabil)

b. Sesudah pemasangan penyangga

. Pada daerah penelitian lubang bukaan THC-02 sistem penyangga yang digunakan *three pieces set* dari kayu dengan kelas kayu III.

FK =

=

=

=

= 6,96

Dijelaskan dari hasil perhitungan Faktor Keamanan sesudah pemasangan penyangga lubang THC-01 *front* 04 yaitu 6,96 dengan keterangan (FK<1 stabil)



BAB V
HASIL PENGOLAHAN DATA

Hasil pengolahan data primer yang diperoleh di lapangan menggunakan metode *Rock Mass Rating* (RMR) dan metode *Finite Element* dalam menentukan faktor keamanan dan *displacement* secara horizontal maupun vertikal pada terowongan THC-01 *front* 04 dan THC-02 *front* 04.

5.1. *Rock Mass Rating System* (RMR)

5.1.1. Nilai Kuat Tekan Batuan (UCS)

Dari uji kuat tekan yang dilakukan, didapatkan hasil nilai rata-rata kuat tekan untuk batubara sebesar 0,999 Mpa dan untuk batupasir sebesar 0,547 MPa yang kedua jenis batuan tersebut dikategorikan sebagai batuan yang sangat lemah sekali (*extremelyweak*), sedangkan untuk batulanau memiliki nilai kuat tekan sebesar 1,344 MPa yang dikategorikan ke dalam batuan sangat lemah (*very weak*). Berdasarkan hasil kuat tekan yang sudah didapatkan maka dapat mengakibatkan terjadinya potensi resiko keruntuhan pada area tambang yang lebih besar.

5.1.2. Nilai RQD

Berdasarkan pengolahan data didapatkan nilai RQD rata-rata pada batupasir 99,906% pada batulanau 00,906% pada batubara THC-01 99,534% dan pada batubara THC-02 99,726%. Dari tiga jenis batuan tersebut memiliki bobot 20 dengan kualitas batuan yang sangat baik dikarenakan tidak banyaknya terdapat kekar pada massa batuan, bobot massa batuan dapat ditentukan berdasarkan tabel

RMR 4.7, dan 4.8 untuk kedua jenis batuan. Semakin tinggi nilai RQD maka semakin baik kualitas massa batuan.

5.1.3. Jarak Antar Kekar

Jarak kekar (spasi kekar) yang didapatkan adalah jarak kekar yang dirata-ratakan berdasarkan nilai jarak kekar yang sudah didapatkan di lapangan, rata-rata jarak antar kekar dapat dilihat pada tabel 4.9, 4.11, 4.13 dan 4.15 untuk masing-masing jenis batuan. Berdasarkan pengolahan data primer jarak rata-rata antar kekar untuk batupasir sebesar 373,33 cm memiliki bobot 20 dengan seskripsi "sangat lebar" ,untuk batulanau sebesar 290 cm memiliki bobot 20 dengan deskripsi "sangat lebar", untuk batubara THC-01 sebesar 109,2 cm memiliki bobot 15 dengan deskripsi "lebar" dan untuk batubara THC-02 sebesar 214,42 cm memiliki bobot 20 dengan deskripsi "sangat lebar". Berdasarkan tabel RMR Bieniawski 1989 menyebutkan bahwa semakin tinggi jarak antar kekar, maka semakin baik kualitas massa batuan dikarenakan semakin sedikit jumlah kekar yang ada dalam massa batuan.

5.1.4. Kondisi Diskontinuitas

Kondisi diskontinuitas di lapangan ditentukan dengan menggunakan alat pengukur berupa meteran untuk panjang dan bukaan kekar, sedangkan untuk kekasaran, material pengisi dan kelapukan ditentukan menggunakan indra penglihatan (mata) dan perasa (kulit). Dari hasil pengukuran didapatkan bobot kondisi diskontinuitas berdasarkan tabel RMR Bieniawski 1989 dapat dilihat pada tabel 4.17, 4.19, 4.21 dan 4,23 untuk ketiga jenis batuan.

Kemenerusan yang merupakan panjang dari kekar yang diukur di lapangan dapat disimpulkan bahwa nilai panjang rata-rata kekar untuk masing-masing jenis batuan yaitu untuk batupasir memiliki bobot 2 dengan deskripsi 3-10 m ,untuk batulanau memiliki bobot 4 dengan deskripsi 1-3 m, untuk batubara THC-01 memiliki bobot 6 dengan deskripsi <1 m dan untuk batubara THC-02 memiliki bobot 6 dengan deskripsi <1 m.

Bukaan kekar (*aperture*) diartikan sebagai lebar kekar yang dilakukan pengukuran di lapangan dan dapat disimpulkan bahwa nilai bukaan kekar untuk batupasir memiliki bobot 1 dengan deskripsi 1-5 mm ,untuk batulanau memiliki bobot 1 dengan deskripsi 1-5 mm, untuk batubara THC-01 memiliki bobot 1 dengan deskripsi 1-5 mm dan untuk batubara THC-02 memiliki bobot 4 dengan deskripsi 0,1-1 mm.

Kekasaran berfungsi sebagai pengunci permukaan bidang kekar, yang mana semakin kasar bidang batuan maka semakin kecil kekuatan geser bidang pada massa batuan, sehingga pergerakan bidang batuan akan berkurang. Untuk kondisi kekasaran di lapangan untuk batupasir, batulanau dan batubara memiliki kondisi kasar dan sedikit kasar.

Isian (*infilling*) yang merupakan isian celah antar permukaan bidang kekar, material pengisi akan mempengaruhi kuat geser bidang kekar, yang mana tergantung ketebalannya, isian menghambat penguncian yang diakibatkan kekerasan rekahan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, tidak ada isian

diseluruh kekar yang telah diukur dan setelah dicocokkan dengan tabel pembobotan memiliki bobot 6 (enam).

Kelapukan, diartikan semakin lapuk suatu bidang kekar, maka semakin besar kuat geser pada bidang batuan. Berdasarkan kondisi di lapangan, kondisi bidang kekar terlihat sedikit lapuk.

5.1.5. Kondisi Air Tanah

Parameter lain yang berpengaruh selanjutnya adalah kondisi air tanah. Berdasarkan penelitian di lapangan, kondisi air tanah relatif kering, yang mana untuk bobot air kering adalah 15 yang merupakan nilai pembobotan tertinggi dari pembobotan kondisi air tanah. Dari pembobotan tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin rendah kandungan air maka semakin baik kualitas massa batuan.

5.1.6. Orientasi Diskontinuitas

Dari diagram *rosette* di atas, dapat disimpulkan bahwa batubara memiliki orientasi kekar sejajar dengan sumbu terowongan sedangkan untuk batulanau memiliki orientasi kekar tegak lurus dengan arah sumbu terowongan. Untuk ketiga jenis batuan memiliki nilai peubah “sedang” dengan bobot penilaian -5.

Berdasarkan tabel 4.29 untuk batupasir memiliki RMR sebesar 68, berdasarkan tabel 4.33 untuk batulanau memiliki RMR sebesar 71, berdasarkan tabel 4.37 untuk batubara THC-01 memiliki RMR sebesar 68 dan berdasarkan tabel 4.41 untuk batubara THC-02 memiliki RMR sebesar 75 maka berada pada rating 80-61 dengan deskripsi massa batuan batuan sedang dan berada pada kelas

batuan nomor II. Berdasarkan tabel 4.32 untuk batulanau memiliki RMR dan 67 dengan deskripsi massa batuan baik dan berada pada kelas batuan nomor II.

5.2. Elemen Hingga (*Finite Element*)

Metode elemen hingga ini digunakan dalam menentukan faktor keamanan terowongan dan nilai *displacement* horizontal maupun vertikal.

5.2.1. Faktor Keamanan

Faktor keamanan digunakan untuk sebagai acuan dalam mengoptimalkan penyanggan yang digunakan berdasarkan analisis jenis dan besarnya deformasi yang terjadi. Menurut Bieniewski (1989) nilai FK>1 menjelaskan terowongan dalam keadaan stabil, FK=1 menjelaskan dalam keadaan Kritis, dan FK<1 Tidak stabil. Sebelum penyanggaan keadaan lubang bukaan sangat rentan terjadinya runtuhan pada beberapa bidang lemah, maka dari itu perhitungan FK dengan kriteria runtuhan Mohr-Coulumb di lakukan untuk menanggulangi *failure* pada lubang bukaaan.

Berdasarkan penggunaan rumus 2.24, 2.25 dan 2.26 didapatkan FK untuk terowongan THC-01 *front* 04 sebelum pemasangan penyangga memiliki nilai FK sebesar 0,96 (tidak stabil) dan sesudah pemasangan penyangga memiliki nilai FK sebesar 6,03 (stabil) sedangkan FK untuk terowongan THC-02 *front* 04 sebelum pemasangan penyangga memiliki nilai FK sebesar 0,97 (tidak stabil) dan sesudah pemasangan penyangga memiliki nilai FK sebesar 6,96 (stabil).

5.2.2. *Displacement* Horizontal dan *Displacement* Vertikal

Berdasarkan data hasil lapangan didapatkan untuk terowongan THC-01 *front* 04 horizontal *displacement* maksimum sebesar 8,2 mm sedangkan untuk minimum sebesar -8,1 mm, *vertical displacement* maksimum sebesar 7,3 mm sedangkan untuk minimum sebesar -7,7 mm dan untuk total *displacement* sebesar 10,7 mm.

Sedangkan untuk terowongan THC-02 *front* 04 horizontal *displacement* maksimum sebesar 7,8 mm, sedangkan untuk minimum sebesar -7,3 mm, *vertical displacement* maksimum sebesar 6,7 mm, sedangkan untuk minimum sebesar -8,2 mm dan untuk total *displacement* sebesar 10,1 mm.



BAB VI
PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Hasil pembahasan pengolahan data yang didapatkan dari terowongan THC-01 dan THC-02 CV. Tahiti Coal, dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan nilai RMR yang sudah didapatkan kelas massa batuan untuk batulanau, batupasir dan batubara berada pada kelas 2 (dua) dengan deskripsi batuan baik.
2. Berdasarkan nilai RMR dan parameter-parameter yang diolah menggunakan *software phase2* maka dapat disimpulkan nilai Faktor Keamanan pada terowongan THC-01 dari 0.96 (sebelum pemasangan penyangga) menjadi 6.03 (sesudah pemasangan penyangga) dapat dikategorikan stabil dan nilai Faktor Keamanan pada terowongan THC-02 dari 0.97 (sebelum pemasangan penyangga) menjadi 6.96 (sesudah pemasangan penyangga) dapat dikategorikan stabil.
3. Berdasarkan parameter-parameter yang diolah menggunakan *software phase2* menentukan nilai horizontal *displacement* maksimum sebesar 8,2 mm sedangkan untuk *displacement* minimum sebesar -8,1 mm, *vertical displacement* maksimum sebesar 7,3 mm sedangkan *displacement* untuk minimum sebesar -7,7 mm dan untuk total *displacement* sebesar 10,7 mm pada terowongan THC-01 *front* 04.

4. Berdasarkan parameter-parameter yang diolah menggunakan *software phase2* menentukan nilai horizontal *displacement* maksimum sebesar 7,8 mm sedangkan untuk *displacement* minimum sebesar -7,3 mm, *vertical displacement* maksimum sebesar 6,7 mm sedangkan *displacement* untuk minimum sebesar -8,2 mm dan untuk total *displacement* sebesar 10,1 mm pada terowongan THC-02 *front* 04.

5.2. Saran

Adapun saran yang diharapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Nilai uji kuat tekan yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa batubara memiliki deskripsi batuan sangat lemah sekali sedangkan untuk batulanau dan batupasir memiliki deskripsi batuan sangat lemah. Nilai kuat tekan yang tergolong lemah akan menyebabkan terjadinya potensi resiko keruntuhan atap lokasi penambangan yang lebih besar, sehingga sangat perlu dilakukan penyanggaan terhadap terowongan.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan penyanggan pada lubang tambang dan pembuatan terowongan

DAFTAR PUSTAKA

Arif, irwandi, *Geoteknik Tambang*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2016.

Faizal Akbar Trie Erto, dkk., 2015, *Kajian Geoteknik Terhadap Rancangan Penambangan Batubara Bawah Tanah Metode Shortwall Di CV. Artha Pratama Jaya Kecamatan Muara Jawa Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur*, Yogyakarta: UPN

Firaz, Muh. Fathin. dkk. 2015. *Analisis Kestabilan Lubang Bukaan Tambang Bawah Tanah Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Yogyakarta: UPN

Made Astawa Ray, dkk., *Mekanika Batuan,* Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2011.

Nugroho, Bani Pulung dan Edi Prasetyo Utomo. 2016. *Kualitas Batu Gamping Berdasarkan Analisis Klasifikasi Geomekanika Di Goa Seropan*. Yogyakarta: Universitas Padjadjaran.

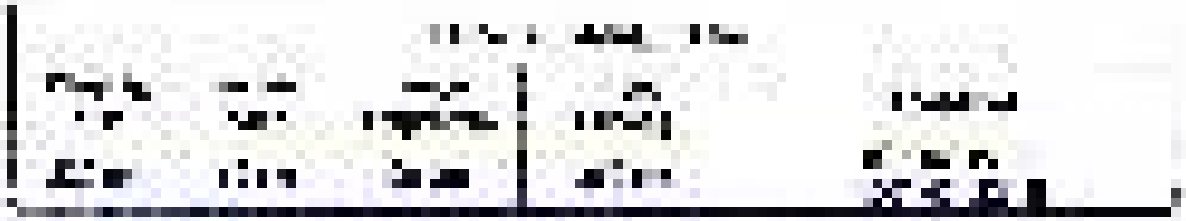
Rifki Sholeh Pribadi, dkk., 2015, *Kajian Geologi Teknik Pada Rencana Pembuatan Tunnel Tambang Bawah Tanah*, Kalimantan Timur: Universitas Kutai Kartanegara.

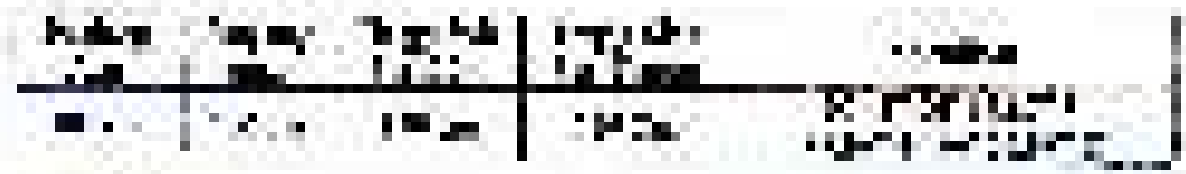
Riko Ervil, dkk, *Buku Panduan Penulisan dan Ujian Skripsi,* Sekolah Tinggi Teknologi Industri (STTIND) Padang, 2016

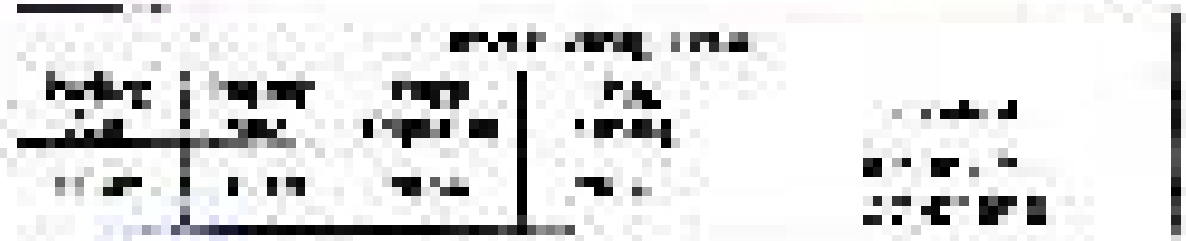
LAMPIRAN











PERHITUNGAN NILAI RQD

Tabel Jumlah Kekar Batupasir

Panjang *Scanline* (m)	Jumlah kekar (λ)
1	1
2	0
3	0
4	0
5	0
6	1
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	1
13	0
14	0
15	0

Perhitungan:

1. RQD 1 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

   $= 100e^{-0.1x1}(0.1x1 + 1)$

   = 99,53

2. RQD 2 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

   $= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

   = 100

3. RQD 3 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

   $= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

   = 100

4. RQD 4 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

   $= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

   = 100

5. RQD 5 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

6. RQD 6 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x1}(0.1x1 + 1)$

$= 99{,}53$

7. RQD 7 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

8. RQD 8 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

9. RQD 9 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

10. RQD 10 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

11. RQD 11 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

12. RQD 12 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x1}(0.1x1 + 1)$

$= 99{,}53$

13. RQD 13 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

14. RQD $14 = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

= 100

15. RQD $15 = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

= 100

$\textbf{RQD rata} - \textbf{rata} = \frac{\text{RQD 1+RQD 2+RQD 3+RQD 4+RQD 5+}\cdots\text{+RQD15}}{15}$

$= \frac{99{,}53+100+100+100+100+99{,}53+100+100+100+100+100+99{,}53+100+100+100}{15}$

$\textbf{RQD rata} - \textbf{rata}$ = 99,906

Tabel Jumlah Kekar Batulanau

Panjang *Scanline* (m)	Jumlah kekar (λ)
1	1
2	0
3	1
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	1
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0

Perhitungan:

1. RQD $1 = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x1}(0.1x1 + 1)$

= 99,53

2. RQD $2 = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

3. RQD 3 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x1}(0.1x1 + 1)$

$= 99{,}53$

4. RQD 4 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

5. RQD 5 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

6. RQD 6 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x1}(0.1x1 + 1)$

$= 99{,}53$

7. RQD 7 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

8. RQD 8 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

9. RQD 9 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x1}(0.1x1 + 1)$

$= 99{,}53$

10. RQD 10 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

11. $\text{RQD } 11 = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

12. $\text{RQD } 12 = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x1}(0.1x1 + 1)$

$= 99{,}53$

13. $\text{RQD } 13 = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

14. $\text{RQD } 14 = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

15. $\text{RQD } 15 = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

$$\textbf{RQD rata} - \textbf{rata} = \frac{\text{RQD } 1+\text{RQD } 2+\text{RQD } 3+\text{RQD } 4+\text{RQD } 5+\cdots+\text{RQD}15}{15}$$

$$= \frac{99{,}53+100+99{,}53+100+100+100+100+100+99{,}53+100+100+99{,}53+100+100+100}{15}$$

$\textbf{RQD rata} - \textbf{rata} = 99{,}906$

Tabel Jumlah Kekar Batubara THC-01

Panjang *Scanline* (m)	Jumlah kekar (λ)
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1
8	0
9	0
10	0
11	3
12	0
13	0
14	0
15	0

Perhitungan:

1. $\text{RQD } 1 = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

   $= 100e^{-0.1x1}(0.1x1 + 1)$

   = 99,53

2. $\text{RQD } 2 = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

   $= 100e^{-0.1x1}(0.1x1 + 1)$

   = 99,53

3. $\text{RQD } 3 = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

   $= 100e^{-0.1x1}(0.1x1 + 1)$

   = 99,53

4. $\text{RQD } 4 = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

   $= 100e^{-0.1x1}(0.1x1 + 1)$

   = 99,53

5. $\text{RQD } 5 = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

   $= 100e^{-0.1x1}(0.1x1 + 1)$

= 99,53

6. RQD 6 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x1}(0.1x1 + 1)$

= 99,53

7. RQD 7 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x1}(0.1x1 + 1)$

= 99,53

8. RQD 8 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

= 100

9. RQD 9 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

= 100

10. RQD 10 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

= 100

11. RQD 11 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x3}(0.1x3 + 1)$

= 96,30

12. RQD 12 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

= 100

13. RQD 13 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

= 100

14. RQD 14 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

= 100

15.RQD 15 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

= 100

$\textbf{RQD rata} - \textbf{rata} = \frac{\text{RQD 1+RQD 2+RQD 3+RQD 4+RQD 5+}\cdots\text{+RQD15}}{15}$

$= \frac{99{,}53+99{,}53+99{,}53+99{,}53+99{,}53+99{,}53+100+100+100+96{,}30+100+100+100+100}{15}$

$\textbf{RQD rata} - \textbf{rata}$ = 99,534

Tabel Jumlah Kekar Batubara THC-02

Panjang *Scanline* (m)	Jumlah kekar (λ)
1	0
2	1
3	0
4	0
5	0
6	1
7	0
8	1
9	0
10	0
11	0
12	1
13	0
14	1
15	2

Perhitungan:

1. RQD 1 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

= 100

2. RQD 2 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x1}(0.1x1 + 1)$

$= 99{,}53$

3. RQD 3 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

4. RQD 4 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

5. RQD 5 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

6. RQD 6 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x1}(0.1x1 + 1)$

$= 99{,}53$

7. RQD 7 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

8. RQD 8 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x1}(0.1x1 + 1)$

$= 99{,}53$

9. RQD 9 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

10. RQD 10 $= 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

11. $\text{RQD } 11 = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

12. $\text{RQD } 12 = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x1}(0.1x1 + 1)$

$= 99{,}53$

13. $\text{RQD } 13 = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x0}(0.1x0 + 1)$

$= 100$

14. $\text{RQD } 14 = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x1}(0.1x1 + 1)$

$= 99{,}53$

15. $\text{RQD } 15 = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$

$= 100e^{-0.1x2}(0.1x0 + 1)$

$= 98{,}24$

$$\textbf{RQD rata} - \textbf{rata} = \frac{\text{RQD } 1+\text{RQD } 2+\text{RQD } 3+\text{RQD } 4+\text{RQD } 5+\cdots+\text{RQD}15}{15}$$

$$= \frac{100+99{,}53+100+100+100+99{,}53+100+99{,}53+100+100+100+99{,}53+100+99{,}53+98{,}24}{15}$$

RQD rata − rata = 99,726

LAMPIRAN 2

DATA PENGUJIAN SIFAT BATUAN
DI LABORATORIUM MEKANIKA BATUAN STTIND PADANG

Pengujian : Bobot isi batuan
Tgl Pengujian : 13 November 2018
Alat : Oven, Neraca Analitik
Cuaca : Cerah

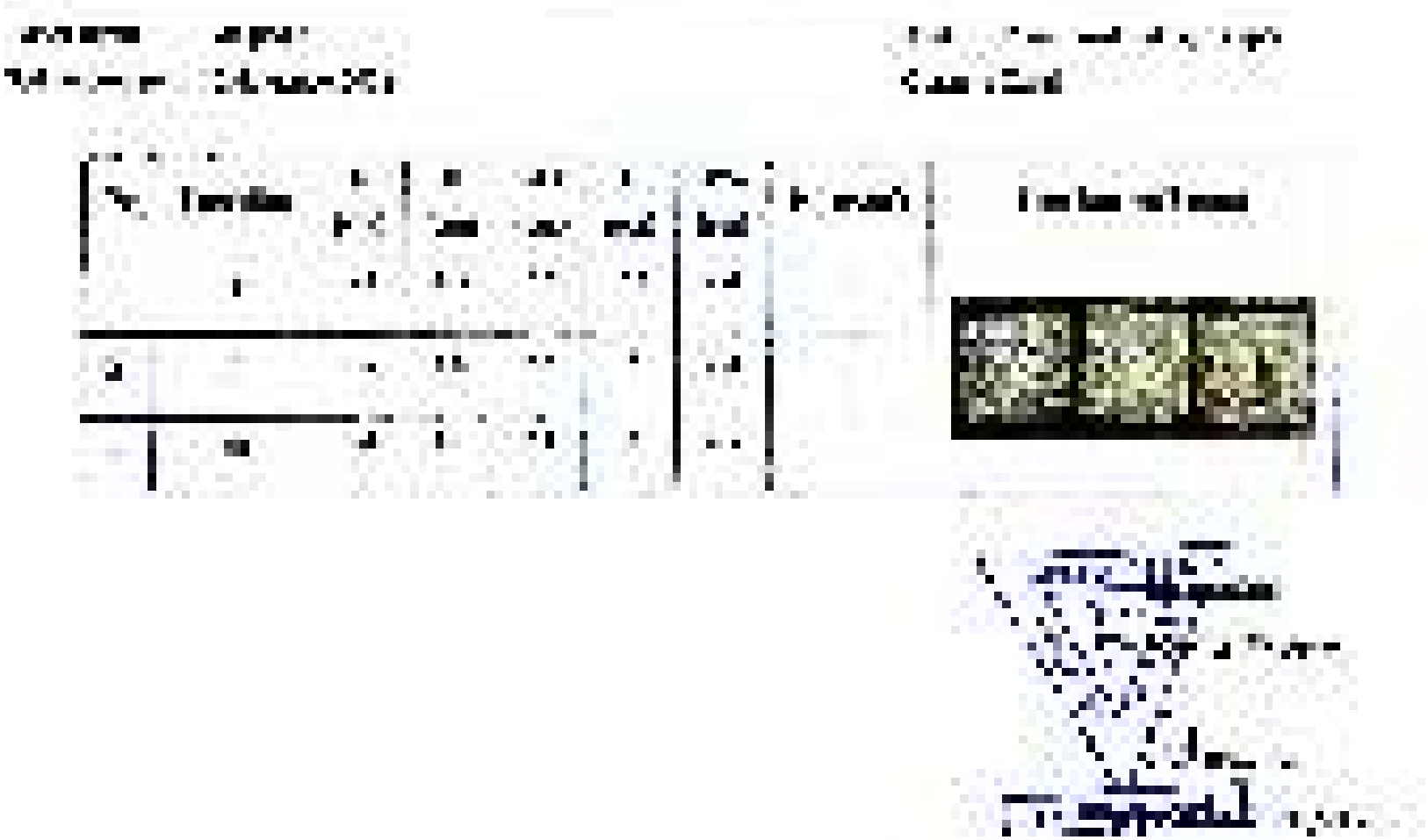
No	Parameter	Sampel Batupasir (gr/cm^3)		
		Sampel		
		I	II	III
1	Berat Asli (W_n)	104.6	101.8	91.9
2	Berat Kering ($W_{0)}$	104.2	101.5	91.6
3	Berat Melayang (Ws)	58.2	57.1	56.3
4	Berat Jenuh (W_w)	110.9	108.1	97.2

No	Parameter	Sampel Batulanau (gr/cm^3)		
		Sampel		
		I	II	III
1	Berat Asli (W_n)	130.8	127.2	137.8
2	Berat Kering ($W_{0)}$	130.5	127.0	137.4
3	Berat Melayang (Ws)	85.5	82.4	85.2
4	Berat Jenuh (W_w)	132.9	129.1	139.7









[redacted]

[redacted]

No	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
2	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	
3	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]	

[redacted]

Pengolahan Data Kuat Tekan (UCS)

1. Sampel Batubara

a. Syarat sampel D/W = 1.0 – 1.4

b. F = $\left(\frac{d}{50}\right)^{0.45}$

c. $Is = F\,\frac{P}{D^2}$

d. $\sigma_c = 23\ x\ IS$

Sampel 1

a. W $= \frac{W_1 + W_2}{2}$

$= \frac{3.11+3.11}{2} = 3{,}11$ cm

Jadi, $\frac{D}{W} = \frac{3{,}72}{3{,}11} = 1.19$ (Masuk)

b. F = $\left(\frac{d}{50}\right)^{0.45}$

F = $\left(\frac{4.12}{50}\right)^{0.45} = 0.32$

c. $Is = F\,\frac{P}{D^2}$

$Is = 0.32\ \frac{17}{3.72^2} = 0.39$

d. $\sigma_c = 23\ x\ IS$

$\sigma_c = 23\ x\ 0.39$

$\sigma_c = 8.97\ kg/cm^2$ x $0.098 = 0.879\ Mpa$

Sampel 2

a. W $= \frac{W_1 + W_2}{2}$

$= \frac{4+4}{2} = 4$ cm

Jadi, $\frac{D}{W} = \frac{4.11}{4} = 1.02$ (Masuk)

b. $\mathrm{F} = \left(\frac{d}{50}\right)^{0.45}$

$\mathrm{F} = \left(\frac{4.62}{50}\right)^{0.45} = 0.34$

c. $Is = F\frac{P}{D^2}$

$Is = 0.34\ \frac{12}{4.11^2} = 0.71$

d. $\sigma_c = 23\ x\ IS$

$\sigma_c = 23\ x\ 0.71$

$\sigma_c = 16.33\ kg/cm^2$ x $0.098 = 1.600\ Mpa$

Sampel 3

a. W $= \frac{W_1 + W_2}{2}$

$= \frac{3.31+3.54}{2} = 3.42$ cm

Jadi, $\frac{D}{W} = \frac{4.01}{3.42} = 1.17$ (Masuk)

b. $\mathrm{F} = \left(\frac{d}{50}\right)^{0.45}$

$$F = \left(\frac{3.84}{50}\right)^{0.45} = 0.31$$

c. $Is = F\frac{P}{D^2}$

$$Is = 0.31\ \frac{12}{4.01^2} = 0.23$$

d. $\sigma_c = 23\ x\ IS$

$\sigma_c = 23\ x\ 0.23$

$\sigma_c = 5.29\ kg/cm^2$ x $0.098 = 0.518\ Mpa$

2. Sampel Batupasir

a. Syarat sampel D/W = 1.0 – 1.4

b. $F = \left(\frac{d}{50}\right)^{0.45}$

c. $Is = F\frac{P}{D^2}$

d. $\sigma_c = 23\ x\ IS$

Sampel 1

a. W $= \frac{W_1 + W_2}{2}$

$= \frac{2.5+2.4}{2} = 2.45$ cm

Jadi, $\frac{D}{W} = \frac{3.4}{2.45} = 1.38$ (Masuk)

b. $F = \left(\frac{d}{50}\right)^{0.45}$

F = $\left(\frac{4.3}{50}\right)^{0.45}$ = 0.33

c. $Is = F\frac{P}{D^2}$

$Is = 0.33\ \frac{10}{3.4^2} = 0.28$

d. $\sigma_c = 23\ x\ IS$

$\sigma_c = 23\ x\ 0.28$

$\sigma_c = 6.44\ kg/cm^2$ x 0.098 = 0.631 Mpa

Sampel 2

a. W = $\frac{W_1 + W_2}{2}$

= $\frac{2.4+2.4}{2}$ = 2.4 cm

Jadi, $\frac{D}{W}$ = $\frac{3.3}{2.4}$ = 1.37 (Masuk)

b. F = $\left(\frac{d}{50}\right)^{0.45}$

F = $\left(\frac{3.8}{50}\right)^{0.45}$ = 0.31

c. $Is = F\frac{P}{D^2}$

$Is = 0.31\ \frac{7}{3.3^2} = 0.19$

d. $\sigma_c = 23\ x\ IS$

$\sigma_c = 23\ x\ 0.19$

$\sigma_c = 4.37\ kg/cm^2$ x 0.098 = 0.428 Mpa

Sampel 3

a. W $= \frac{W_1 + W_2}{2}$

$= \frac{2.4+2.5}{2} = 2.45$ cm

Jadi, $\frac{D}{W} = \frac{3.3}{2.45} = 1.38$ (Masuk)

b. F $= \left(\frac{d}{50}\right)^{0.45}$

F $= \left(\frac{3.9}{50}\right)^{0.45} = 0.31$

c. $Is = F\frac{P}{D^2}$

$Is = 0.31\ \frac{10}{3.41^2} = 0.26$

d. $\sigma_c = 23\ x\ IS$

$\sigma_c = 23\ x\ 0.26$

$\sigma_c = 5.93\ kg/cm^2$ x $0.098 = 0.581\ Mpa$

3. Sampel Batulanau

a. Syarat sampel D/W = 1.0 – 1.4

b. F $= \left(\frac{d}{50}\right)^{0.45}$

c. $Is = F\frac{P}{D^2}$

d. $\sigma_c = 23\ x\ IS$

Sampel 1

a. W $= \frac{W_1 + W_2}{2}$

$= \frac{2.6+2.8}{2} = 2.7$ cm

Jadi, $\frac{D}{W} = \frac{3.5}{2.7} = 1.29$ (Masuk)

b. $F = \left(\frac{d}{50}\right)^{0.45}$

$F = \left(\frac{4.35}{50}\right)^{0.45} = 0.33$

c. $Is = F\frac{P}{D^2}$

$Is = 0.33\ \frac{20}{3.5^2} = 0.53$

d. $\sigma_c = 23\ x\ IS$

$\sigma_c = 23\ x\ 0.53$

$\sigma_c = 12.419\ kg/cm^2$ x $0.098 = 1.194\ Mpa$

Sampel 2

a. W $= \frac{W_1 + W_2}{2}$

$= \frac{2.5+2.4}{2} = 2.45$ cm

Jadi, $\frac{D}{W} = \frac{3.4}{2.45} = 1.29$ (Masuk)

b. $F = \left(\frac{d}{50}\right)^{0.45}$

F = $\left(\frac{4.25}{50}\right)^{0.45}$ = 0.32

c. $Is = F\frac{P}{D^2}$

$Is = 0.32\ \frac{25}{3.4^2} = 0.69$

d. $\sigma_c = 23\ x\ IS$

$\sigma_c = 23\ x\ 0.69$

$\sigma_c = 15.87\ kg/cm^2$ x 0.098 = 1.555 Mpa

Sampel 3

a. W = $\frac{W_1 + W_2}{2}$

= $\frac{2.5+2.55}{2}$ = 2.525 cm

Jadi, $\frac{D}{W}$ = $\frac{3.4}{2.525}$ = 1.34 (Masuk)

b. F = $\left(\frac{d}{50}\right)^{0.45}$

F = $\left(\frac{4.5}{50}\right)^{0.45}$ = 0.33

c. $Is = F\frac{P}{D^2}$

$Is = 0.33\ \frac{20}{3.4^2} = 0.57$

d. $\sigma_c = 23\ x\ IS$

$\sigma_c = 23\ x\ 0.57$

$\sigma_c = 13.11\ kg/cm^2$ x 0.098 = 1.284 Mpa

LAMPIRAN 3

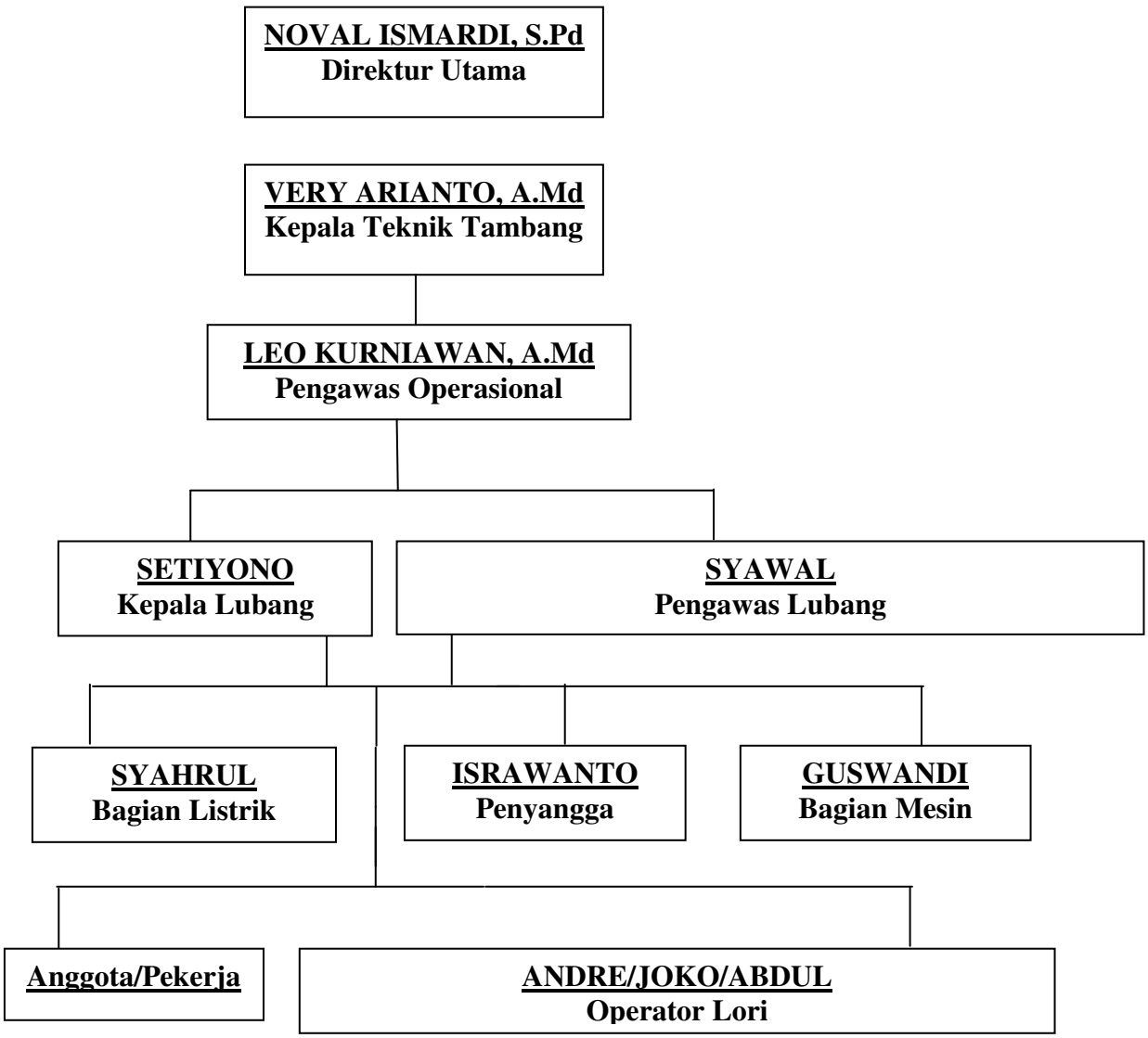
CV. TAHITI COAL

CONTRAKTOR – GENERAL TRADE – COAL MINING & TRADING

Jl. Khatib Sulaiman Santur Kota Sawahlunto

Telp. (0754) 7015910 e-mail. tahiti_1205@yahoo.com

STRUKTUR ORGANISASI LUBANG THC-01



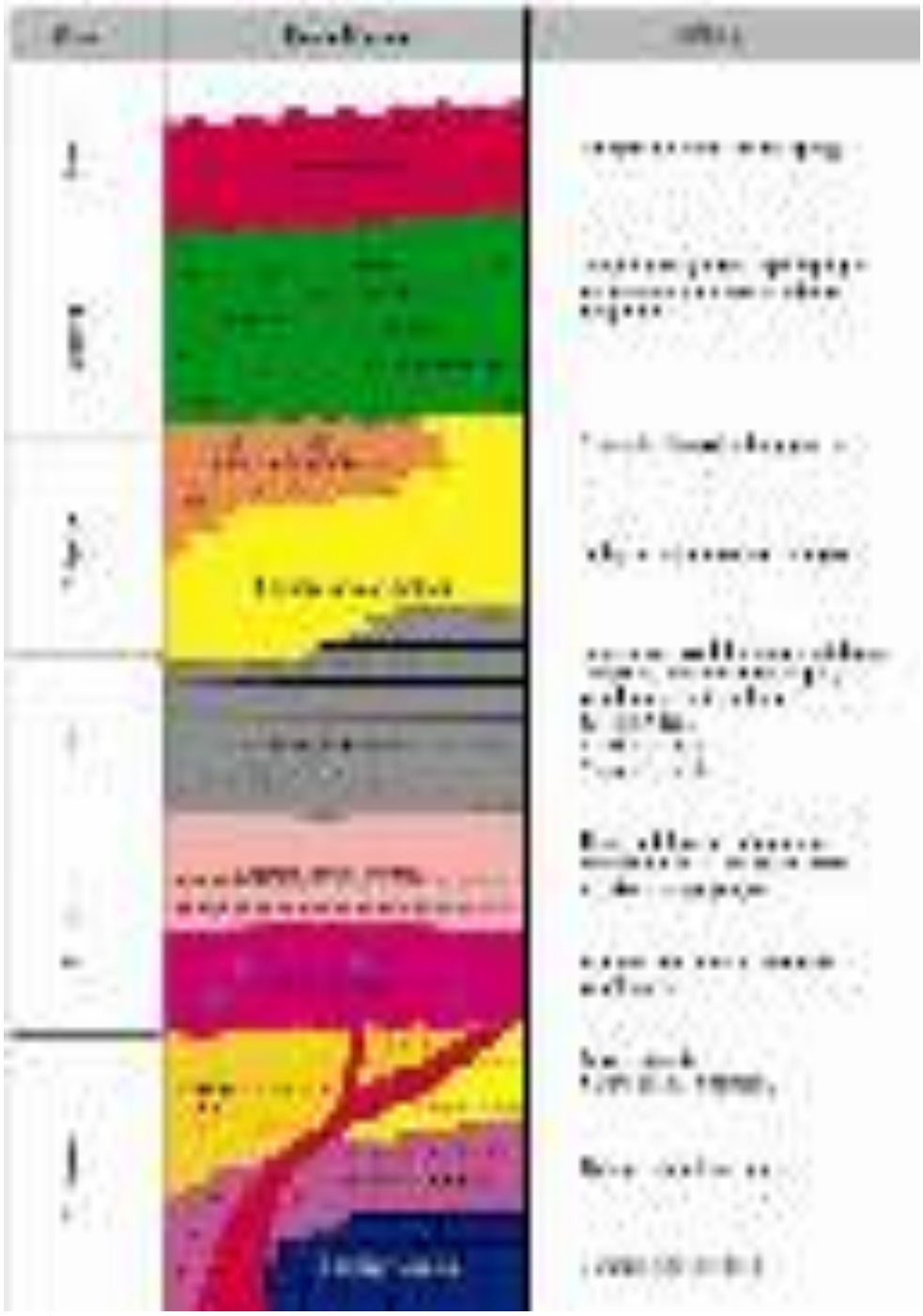
LAMPIRAN 4

PETA KESAMPAIAN DAERAH



LAMPIRAN 5

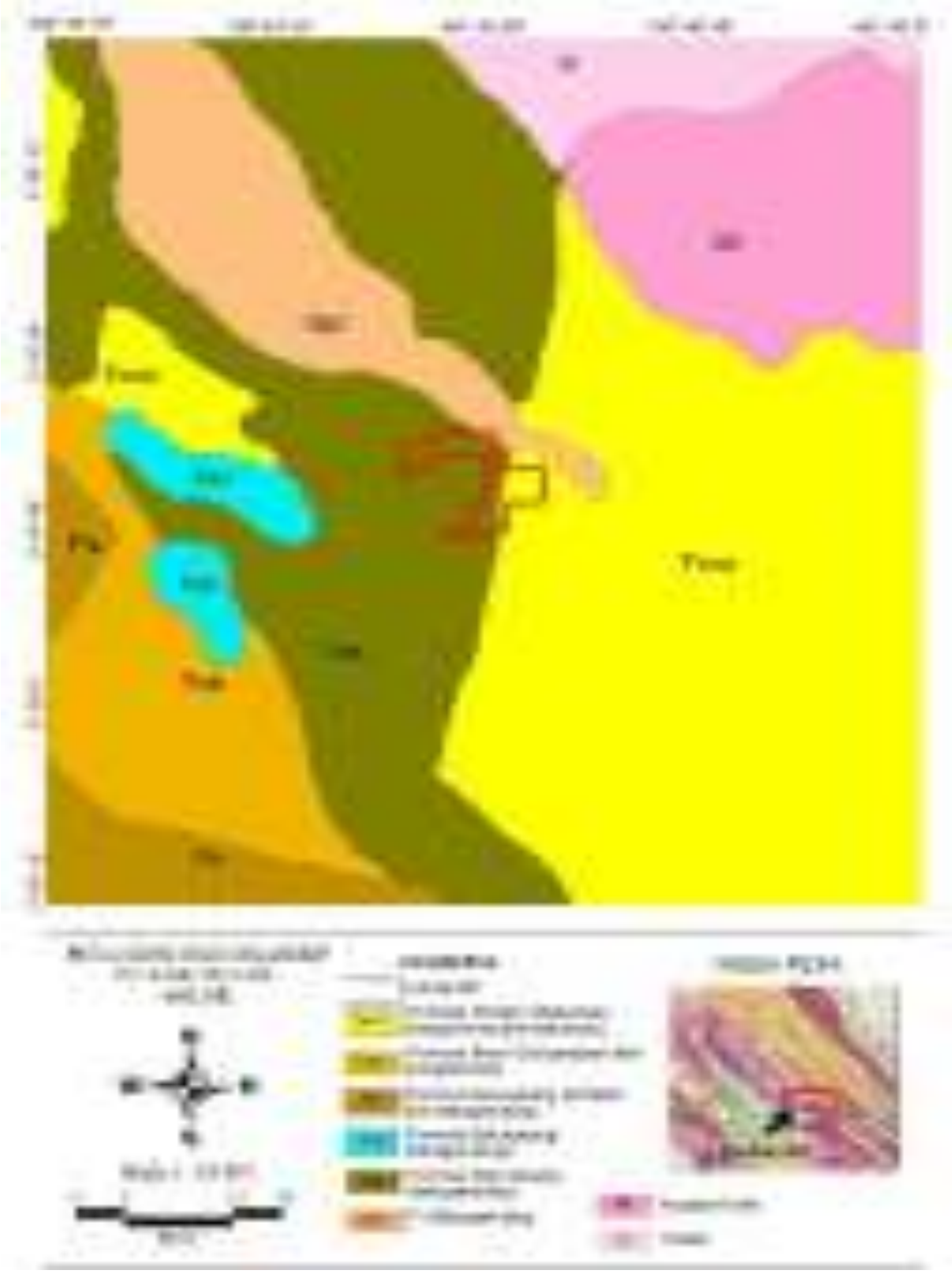
STATIGRAFI DAERAH PENELITIAN



Sumber : Laporan PLI Diana

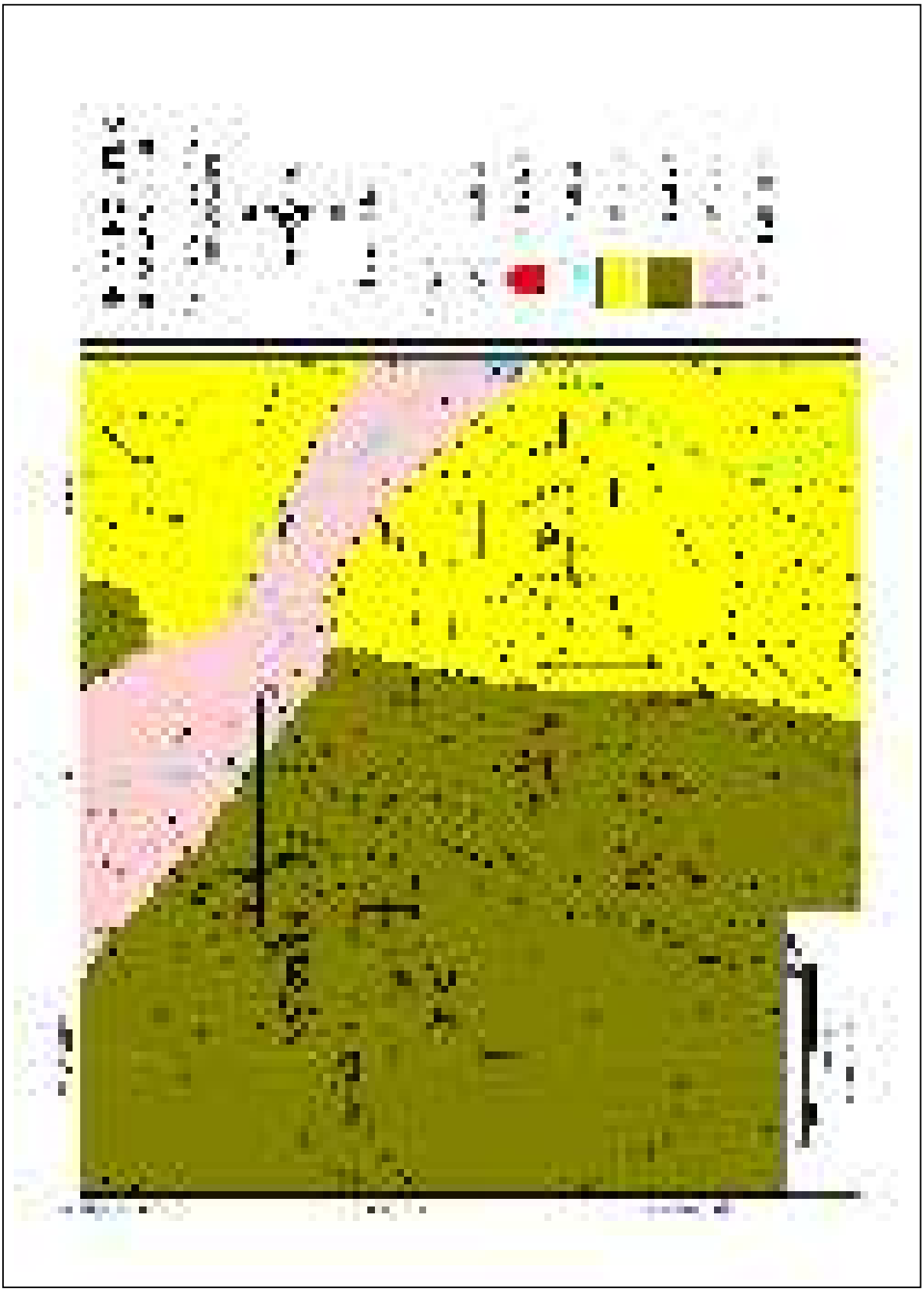
LAMPIRAN 6

PETA GEOLOGI CV. TAHITI COAL



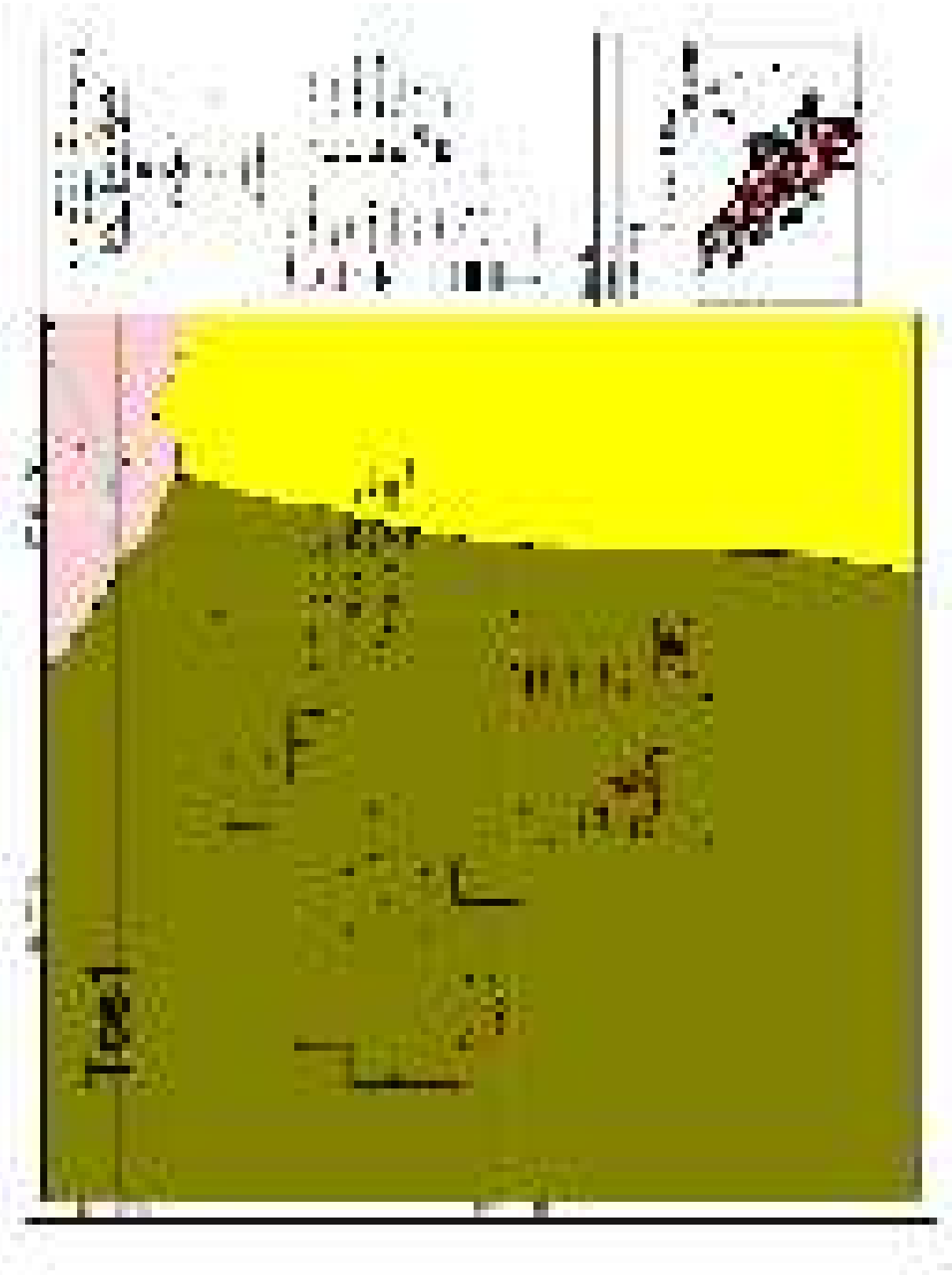
LAMPIRAN 7

PETA KONTUR



LAMPIRAN 8

PETA SITUASI CV. TAHITI COAL



LAMPIRAN 9

TC

LAPORAN RENCANA DAN ANGGARAN BIAYA IZIN USAHA PERTAMBANGAN (IUP) OPERASI PRODUKSI CV. TAHITI COAL PERIODE TAHUN 2018

RINGKASAN EXSECUTIF

- **LATAR BELAKANG**

Kegiatan penambangan batubara CV. TAHITI COAL telah dilaksanakan semenjak tahun 2005 setelah CV. TAHITI COAL memiliki Kuasa Pertambangan Eksploitasi berdasarkan Keputusan Walikota Sawahlunto Nomor 05.29 PERINDAGKOP Tahun 2005, tentang Pemberian Izin Kuasa Pertambangan (KP) Eksploitasi kepada CV. TAHITI COAL. CV. TAHITI COAL memiliki Izin Usaha Pertambangan (IUP) Operasi Produksi Batubara berdasarkan Keputusan Walikota Sawahlunto dengan Nomor 05.77.PERINDAGKOP Tahun 2010. Dan dilanjutkan dengan Perpanjangan Izin Usaha Pertambangan (IUP) Operasi Produksi dengan nomor 05.90.PERINDAGKOP Tahun 2010, pada tanggal 21 Oktober 2010 dengan luas 53,80 Ha dengan masa berlaku selama 8 (delapan) tahun. Secara administrasi lokasi izin tersebut berada Sangkar Puyuh, Desa Sijantang, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat.

- **LOKASI DAN KESAMPAIAN DAERAH**

Secara administrasi, kegiatan Operasi Produksi Batubara CV. TAHITI COAL berada Sangkar Puyuh, Desa Sijantang, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat. Lokasi kegiatan penambangan dapat ditempuh dari Pusat Kota

LAMPIRAN 9

Sawahlunto – Desa Sijantang Koto (+ 20 Km jalan Kota beraspal) – Lokasi (+ 500 m jalan tanah diperkeras.

Secara rinci koordinat Wilayah Izin Usaha Pertambangan (IUP) Operasi Produksi CV. TAHITI COAL seperti terlihat pada Tabel 1.1 dan ditunjukkan dalam Gambar sesuai dengan peta dan Wialayah Izin Usaha Pertambangan (IUP) Operasi Produksi CV. TAHITI COAL.

Koordinat Wilayah Izin Usaha Pertambangan CV. TAHITI COAL.

No.	Bujur Timur (BT)			Lintang selatan (LS)		
	ø	'	"	ø	'	"
1.	100	45	19,00	0	37	35,00
2.	100	45	19,00	0	37	20,00
3.	100	45	37,00	0	37	20,00
4.	100	45	37,00	0	37	38,00
5.	100	45	34,00	0	37	38,00
6.	100	45	34,00	0	37	39,00
7.	100	45	32,00	0	37	39,00
8.	100	45	32,00	0	37	49,80
9.	100	45	23,00	0	37	49,80
10.	100	45	23,00	0	37	40,20
11.	100	45	11,00	0	37	40,20
12.	100	45	11,00	0	37	35,00
13.	100	45	08,70	0	37	35,00
14.	100	45	08,70	0	37	28,00

LAMPIRAN 9

15. 100 45 11,00 0 37 28,00

16. 100 45 11,00 0 37 25,00

==========

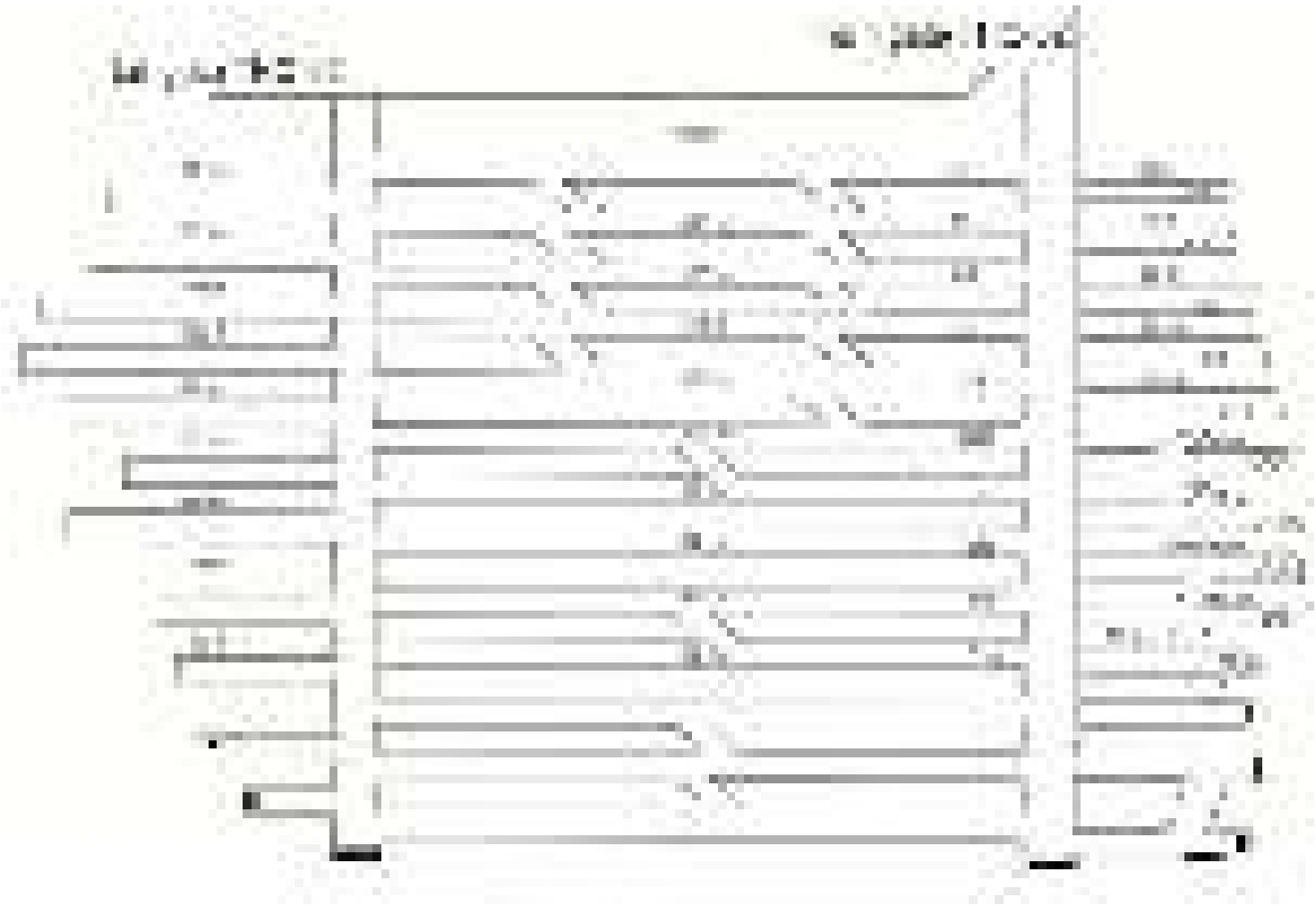
LAMPIRAN 10

PETA LAYOUT TANPA SKALA THC-01



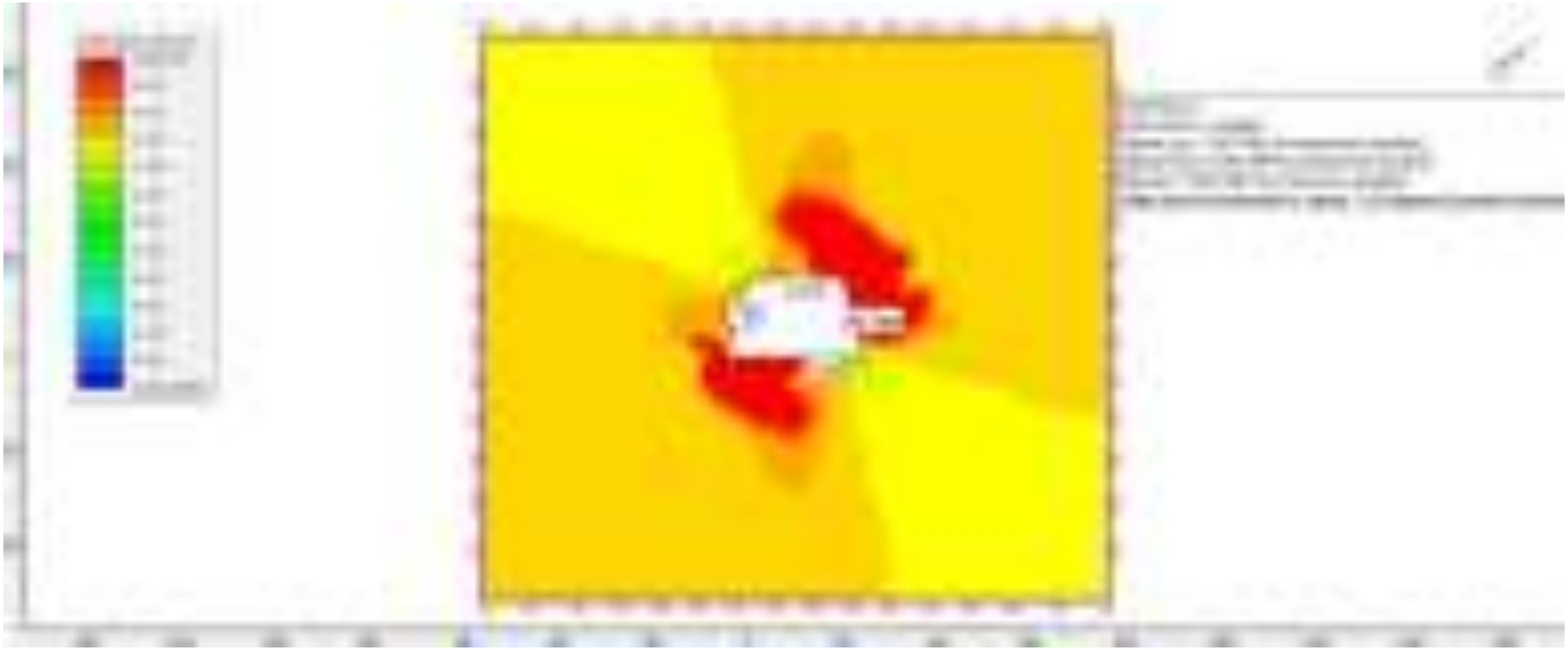
LAMPIRAN 11

PETA LAYOUT TANPA SKALA THC-02



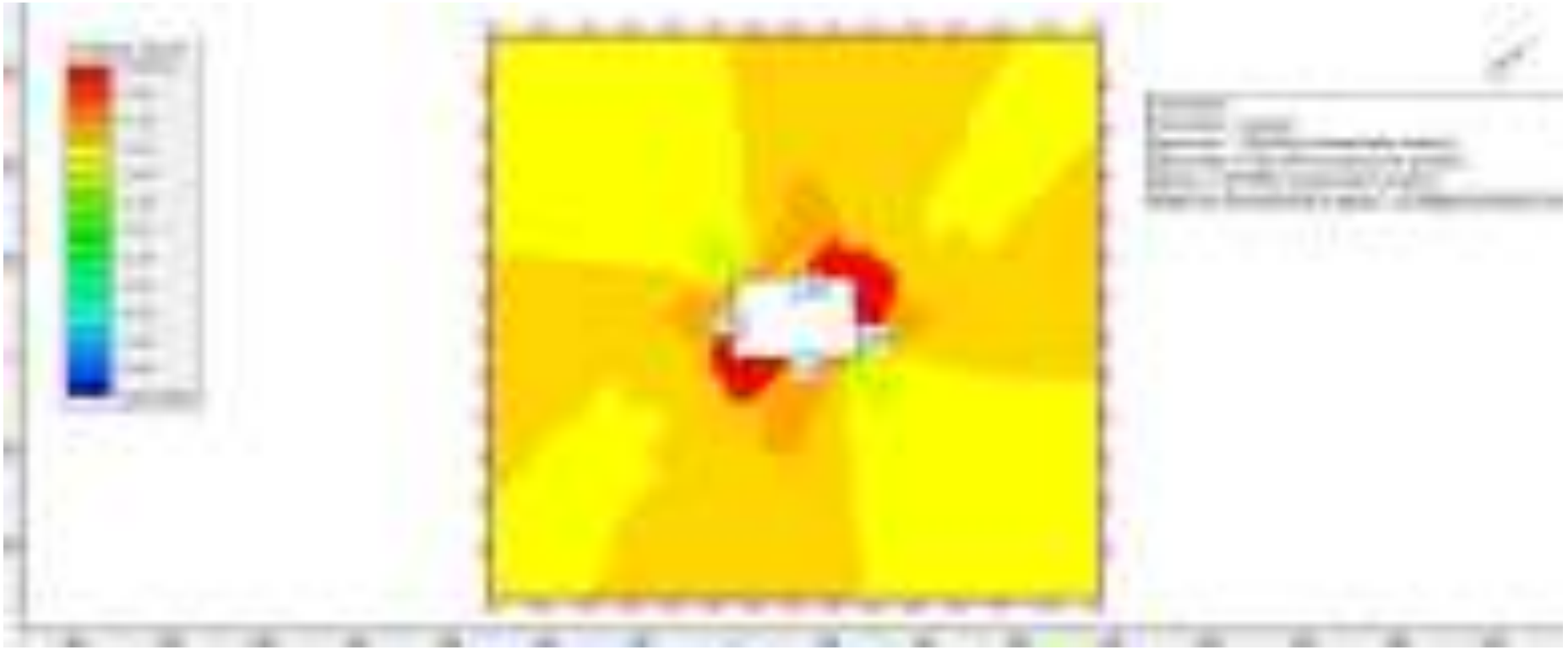
LAMPIRAN 13

STRENGTH FACTOR THC-02



LAMPIRAN 12

STRENGTH FACTOR THC-01



LAMPIRAN 14

DOKUMENTASI














1
2
3



LAMPIRAN 15



[redacted]

[illegible]

[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]

No.	Tanggal	Aktif Perbaikan	Ketua
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

[illegible]

[illegible]

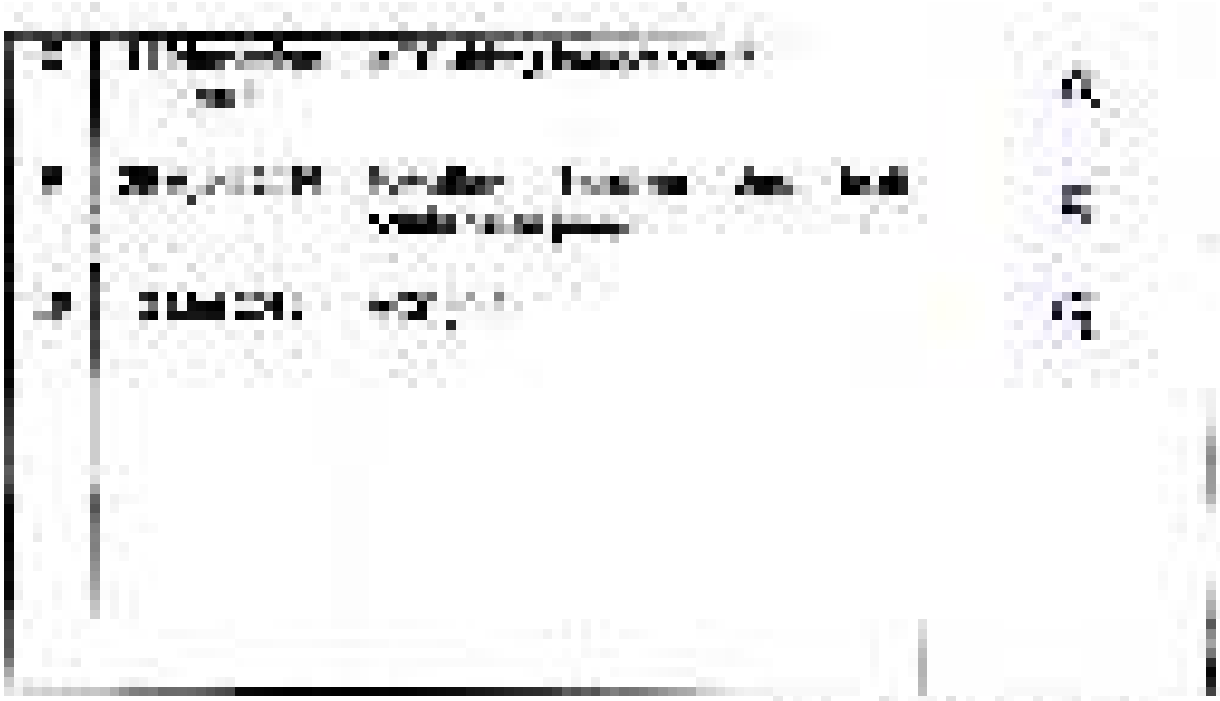
[illegible]



[illegible]

[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]



YAYASAN MUHAMMAD YAMIN
SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI INDUSTRI (STTIND) PADANG
Jl. Prof. DR. Hamka No. 121 Telp. (0751) 7054350 Padang

BIODATA WISUDAWAN/TI



No. Urut	:	
Nama	:	Muhammad Hasbi
Jenis Kelamin	:	Laki-laki
Tempat/Tgl Lahir	:	Padang / 29 Oktober 1996
Nomor Pokok Mahasiswa	:	1410024427097
Program Studi	:	Teknik Pertambangan
Tanggal Lulus	:	22 Desember 2018
IPK	:	3,36
Predikat Lulus	:	Sangat Memuaskan
Judul Skripsi	:	Analisis Kestabilan Terowongan Dengan Metode Elemen Hingga *(Finite Element)* di Terowongan THC-01 dan THC-02 Tambang Batubara CV. Tahiti Coal Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat
Dosen Pembimbing	:	1. Dian Hadiyansyah ST.,MT 2. Refky Adi Nata ST.,MT
Asal SMA	:	SMAN 12 Padang
Nama Orang Tua	:	Yahya
Pekerjaan Orang Tua	:	Pensiunan Pegawai Negeri Sipil
Alamat /Telp/Hp	:	JL Gajah Mada RT 01 RW 02 Kmpung Olo, Kecamatan Nanggalo, Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat Hp. 081371008845 / 081995291692
Email	:	mhasbi211@gmail.com hasbi291096@gmail.com hasbi29101996@gmail.com