

**ANALISIS STRATA CONTROL OVERBURDEN PADA PANEL
PENAMBANGAN BATUBARA BAWAH TANAH
LONGWALL**

TESIS

Oleh :

**DIANA IRMAWATI PRADANI
212140062**



**JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
YOGYAKARTA
2018**

**ANALISIS STRATA CONTROL OVERBURDEN PADA PANEL
PENAMBANGAN BATUBARA BAWAH TANAH
LONGWALL**

TESIS

Disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik
dari Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Oleh :

**DIANA IRMAWATI PRADANI
NIM : 212140062**



**JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”
YOGYAKARTA
2018**

**ANALISIS STRATA CONTROL OVERBURDEN PADA PANEL
PENAMBANGAN BATUBARA BAWAH TANAH
LONGWALL**

Oleh

**DIANA IRMAWATI PRADANI
212140062**



Disetujui untuk

Program Studi Magister teknik Pertambangan
Fakultas Teknologi Mineral

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

Tanggal 30 November 2018

Pembimbing I

(Dr. Ir. Singgih Saptono, MT)

Pembimbing II

(Dr. Ir. Barlian Dwinagara, MT)

Aku persembahkan karya tulis ini kepada :

Kedua orangtuaku, Bapak Ir. H. Suparno, M.Si dan Ibu Hj. Sri Subekti Endang Susilawati

Kedua adikku, Dita Irwanti Pratiwi dan Danang Inderawan Permana

Calon Suamiku tercinta

RINGKASAN

Penambangan batubara bawah tanah selain mempertimbangkan sistem penambangan dan bentuk rancangan, permasalahan *strata control* juga perlu diperhatikan. Kondisi batuan di alam memiliki sifat yang heterogen, anisotrop dan diskontinyu sehingga dengan adanya sifat tersebut perlu dilakukan pendekatan terhadap nilai tegangan pada panel penambangan. *Strata control* pada *face longwall* merupakan fungsi interaksi dari beberapa faktor yang meliputi; litologi dan sedimentologi, tekanan pori, tinggi penambangan, *panel span*, kedalaman panel, lebar pilar interpanel, karakteristik penyanggan, dan posisi *front* panel penambangan. Adanya *entry* serta metode *retreat* dalam proses pengambilan batubara dimana akan terjadi keruntuhan dibelakang *face* akan mempengaruhi distribusi tegangan awal *insitu*. Keruntuhan yang terjadi dibelakang *face* terjadi pada *immediate roof* dan *main roof* sehingga terjadi dua fase gerakan *overburden* yaitu, *first roof weigthing interval* dan *periodic roof weighting interval*. Distribusi tegangan sepanjang panel longwall akan meningkat dengan cepat ketika mendekati *face*. *Abutment pressure* berkaitan dengan tegangan vertikal dan merupakan hasil dari beban yang berasal dari lapisan *overburden* yang berada diatas batubara dan melewati batas dari zona plastis. Simulasi secara analitik dan numerik menggunakan metode *finite element* dilakukan untuk mendapatkan nilai *abutment pressure* dan zona gangguan pada panel penambangan batubara bawah tanah. Penelitian ini menyajikan analisis terhadap masalah *strata control overburden* dengan melihat posisi kedalaman seam batubara dan karakteristik *overburden* dengan menggunakan analisis dua dimensi.

ABSTRACT

Underground coal mining in addition to considering the mining system and design, strata control problems also need to be considered. The condition of rocks in nature has heterogeneous, anisotropic and discontinuous properties so that with these properties it is necessary to approach the stress values in the mining panel. Strata control on the face of longwall is an interaction function of several factors including; lithology and sedimentology, pore pressure, mining height, panel span, panel depth, interpanel pillar width, supporting characteristics, and position of the mining front panel. The entry and retreat method in the coal extraction process where there will be a collapse behind the face will affect the initial stress distribution. The collapse that occurs behind the face occurs in the immediate roof and main roof so there are two phases of overburden movement, namely, first roof weighting interval and periodic roof weighting interval. The stress distribution along the longwall panel will increase rapidly when approaching the face. Abutment pressure is related to vertical stress and is the result of the load originating from the overburden layer which is above the coal and over the boundary of the plastic zone. Analytical and numerical simulations used the finite element method to obtain the abutment pressure and disturbance zone in the underground coal mining panel. This study presents an analysis of the problem of overburden control strata by looking at the position of coal seam depth and overburden characteristics using two-dimensional analysis.

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan judul “ANALISIS *STRATA CONTROL OVERBURDEN* PADA PANEL PENAMBANGAN BATUBARA BAWAH TANAH *LONGWALL* “ pada Tambang Batubara di lokasi PT. Bukit Asam (Persero), Tbk, Tanjungenim, Sumatera Selatan. Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Mei 2016 sampai dengan Juni 2016. Selesaiannya penyusunan tesis ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dr. Mohamad Irhas Effendi, MS, selaku Rektor Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta,
2. Dr. Ir. Suharsono, MT., selaku Dekan Fakultas Teknologi Mineral Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta,
3. Dr. Edy Nursanto, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknologi Mineral Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta,
4. Dr. Ir. Barlian Dwinagara, MT., selaku Koordinator Program Studi Magister Teknik Pertambangan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta,
5. Dr. Ir. Singgih Saptono, MT. selaku Dosen Pembimbing I,
6. Dr. Ir. Barlian Dwinagara, MT., selaku Dosen Pembimbing II,
7. Ir. Bagus Wiyono, MT., selaku Dosen Pembahas I
8. Ir. R. Hariyanto, MT., selaku Dosen Pembahas II
9. Jajaran Direksi PT. Bukit Asam (Persero), Tbk

Penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat dan khususnya bagi penulis serta para pembaca.

Yogyakarta, November 2018

Penulis,

(Diana Irmawati Pradani)

DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB	
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Hipotesis Penelitian	4
1.6 Metode Penelitian	4
1.7 Manfaat Penelitian	7
II TINJAUAN UMUM.....	8
2.1 Identitas Perusahaan	8
2.2 Lokasi dan Kesampaian Daerah	9
2.3 Keadaan Iklim dan Curah Hujan	10
2.4 Keadaan Geologi Daerah Penelitian.....	11
2.4.1 Geologi Regional	11
2.4.2 Stratigrafi	12
2.4.3 Keadaan Topografi	22
2.5 Keadaan Endapan	23
2.5.1 Bentuk dan Penyebaran Endapan	23
III TINJAUAN PUSTAKA	26
3.1 <i>Longwall Mining</i>	26
3.1.1 Deformasi Batuan pada Tambang Bawah Tanah	27
3.1.2 Keruntuhan pada Atap	32
3.1.3 <i>Stress Distribution</i>	32
3.2 Desain Pilar Batubara	35
3.2.1 Pembebanan Pilar	35

3.2.2	<i>Development Loads</i>	36
3.2.3	<i>Abutment Loads</i>	38
3.3	Kriteria Keruntuhan	47
3.3.1	Kriteria Keruntuhan Batuan	48
3.3.2	Kriteria Runtuhan Mohr-Coulomb	27
3.3.3	Kriteria Runtuhan Hoek-Brown	50
3.3.4	Hubungan Mohr-Coulomb dengan Hoek-Brown	52
3.4	Metode Elemen Hingga (<i>Finite Element Method, FEM</i>)	55
3.4.1	Metode Elemen 2D <i>Plane Strain</i> dan <i>Plain Stress</i>	56
IV	HASIL PENELITIAN	61
4.1	Perhitungan Klasifikasi Massa Batuan	61
4.2	<i>Material Properties</i> Batuan Utuh (<i>Intack Rock</i>)	63
4.3	<i>Overburden Movement</i>	64
4.4	<i>Finite Element Method</i>	66
4.5	Tahapan Pemodelan	67
4.6	Model Panel Penambangan	70
4.6.1	Model <i>Overburden Movement Seam D</i>	71
4.6.2	Model <i>Overburden Movement Seam E</i>	73
4.7	Analisis <i>Abutment Pressure</i> Pada Panel Penambangan	77
4.7.1	Model <i>Side Abutment Pressure</i> Pada Panel Penambangan	77
4.7.2	Model <i>Front Abutment Pressure</i> Pada Panel Penambangan	77
4.7.3	Model <i>Back Abutment Pressure</i> Pada Panel Penambangan	79
V	PEMBAHASAN	82
5.1	Analisis <i>Overburden Movement</i>	82
5.1.1	Analisis <i>Immediate Roof</i>	82
5.1.2	Analisi <i>Main Roof</i>	83
5.1.3	Analisi <i>Sequences of Overburden Movement</i>	83
5.2	Analisis Distribusi tegangan Akibat Kegiatan Penambangan	86
5.3	Analisis <i>Abutment Pressure</i> Pada Panel Penambangan	90
5.3.1	Analisis <i>Side Abutment Pressure</i>	90
5.3.2	Analisis <i>Front Anutment Pressure</i>	92
5.3.3	Analisis <i>Back Anutment Pressure (GOB Pressure)</i>	95
VI	KESIMPULAN DAN SARAN	97
6.1	Kesimpulan	97
6.2	Saran	98
	DAFTAR PUSTAKA	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Diagram Alir Penelitian.....	6
2.1 Peta Lokasi dan kesampaina Daerah PT. Bukit Asam (Persero),Tbk	11
2.2 Peta Persebaran cekungan di Pulau Sumatera (Bishop,2000)	13
2.3 Peta Geologi Regional Daerah Tanjungenim dan Sekitarnya	14
2.4 Stratigrafi Regional Cekungan Sumatera Selatan (De Coster, 1974).....	15
2.5 Stratigrafi Area Air Laya dan Mahayung (Shell Mijnbouw, 1978).....	22
3.1 <i>Longwall Mining</i>	26
3.2 Klasifikasi Runtuhan Strata (Peng & Chiang, 1984).....	28
3.3 Perhitungan dari Tinggi <i>Immediate Roof</i> (peng & Chiang, 1984).....	29
3.4 Panjang dari <i>Roof Caving</i> (Peng, 2006).	30
3.5 Dimensi <i>Mining Block</i> (Peng, 2006)	31
3.6 Jenis Keruntuhan Atap (Barczak,1992).....	33
3.7 Distribusi Tegangan Vertikal pada Panel <i>Longwall</i> dari <i>Stope to gob</i> (Hudson, 1995)	34
3.8 Berbagai Jenis Stress pada Atap (Alehossein & Poulsen, 2010).....	34
3.9 Redistribusi Tekanan Maksimum pada Kekerasan Batuan (Juncker et al, 2006).....	35
3.10 Lebar Maksimum Tekanan Lengkung pada Tambang Inggris (Wilson, 1972)	40
3.11 Distribusi Tegangan dan Penurunan Beban pada Gob (Wilson, 1972).....	41
3.12 Beban pada Pilar <i>Longwall</i> (Whittaker, 1983)	41
3.13 Zona Perpindahan <i>Overburden</i> pada <i>Longwall</i> (Choi dan McCain, 1980) .	43
3.14 <i>Front Abutment Pressure vs Face Distance</i> (Peng, 1984)	44
3.15 Lebar <i>Front Abutment Pressure</i> (Peng, 1984)	44
3.16 Variasi rata-rata Tegangan Pilar pada Panel Penambangan (Peng, 1984) ..	46
3.17 Kriteria Runtuh Mohr-Coulomb (Astawa Rai, 2010)	49
3.18 (a) Geser Dinding dengan Bukaannya (b) Element 4-node Segiempat	57

4.1	Daerah Pengukuran Klasifikasi Massa Batuan di Lokasi Pemboran BAL .	61
4.2	<i>Immediate Roof</i> dan <i>Main Roof</i> Seam D	66
4.3	<i>Immediate Roof</i> dan <i>Main Roof</i> Seam E.....	67
4.4	Diagram Alir Pemodelan menggunakan <i>Finite Element Method</i>	68
4.5	Model <i>Cross Section</i> Panel Penambangan Seam D.....	70
4.6	Model <i>Cross Section</i> Panel Penambangan Seam E	70
4.7	<i>Sigma 3</i> Tahapan Ambrukan pada Seam D	71
4.8	<i>Sigma 1</i> Tahapan Ambrukan pada Seam D	72
4.9	<i>Yielded Element</i> Tahapan Ambrukan pada Seam D	73
4.10	<i>Sigma 3</i> Tahapan Ambrukan pada Seam E.....	74
4.11	<i>Sigma 1</i> Tahapan Ambrukan pada Seam E.....	75
4.12	<i>Yielded Element</i> Tahapan Ambrukan pada Seam E	76
4.13	a) Nilai <i>Sigma 1 Side Abutment Pressure</i> Sebelum Penggalian b) Nilai <i>Sigma 1 Side Abutment Pressure</i> Sesudah Penggalian Seam D	78
4.14	a) Nilai <i>Sigma 1 Side Abutment Pressure</i> Sebelum Penggalian b) Nilai <i>Sigma 1 Side Abutment Pressure</i> Sesudah Penggalian Seam E	78
4.15	a) Nilai <i>Sigma 1 Front Abutment Pressure</i> Sebelum Penggalian b) Nilai <i>Sigma 1 Front Abutment Pressure</i> Sesudah Penggalian Seam D.....	79
4.16	a) Nilai <i>Sigma 1 Front Abutment Pressure</i> Sebelum Penggalian b) Nilai <i>Sigma 1 Front Abutment Pressure</i> Sesudah Penggalian Seam E	80
4.17	a) Nilai <i>Sigma 1 Back Abutment Pressure</i> Sebelum Penggalian b) Nilai <i>Sigma 1 Back Abutment Pressure</i> Sesudah Penggalian Seam D.....	80
4.18	a) Nilai <i>Sigma 1 Back Abutment Pressure</i> Sebelum Penggalian b) Nilai <i>Sigma 1 Back Abutment Pressure</i> Sesudah Penggalian Seam E	81
5.1	Perbandingan <i>Periodic Roof Weighting Interval</i> vs <i>GSI</i> Seam D.....	85
5.2	Perbandingan <i>Periodic Roof Weighting Interval</i> vs <i>GSI</i> Seam E	85
5.3	Nilai <i>Sigma</i> Satu Akibat Kemajuan Penggalian pada Jarak Tertentu untuk seam D	87
5.4	Nilai <i>Sigma</i> Tiga Akibat Kemajuan Penggalian pada Jarak Tertentu untuk seam D	87

5.5	Nilai Sigma Satu Akibat Kemajuan Penggalian pada Jarak Tertentu untuk seam E.....	88
5.6	Nilai Sigma Tiga Akibat Kemajuan Penggalian pada Jarak Tertentu untuk seam E.....	89
5.7	<i>Side Abutment Pressure</i> pada Seam D.....	91
5.8	<i>Side Abutment Pressure</i> pada Seam E.....	92
5.9	<i>Front Abutment</i> pada Panel Penambangan Seam D.....	93
5.10	<i>Front Abutment</i> pada Panel Penambangan Seam E.....	94
5.11	<i>Back Abutment</i> pada Panel Penambangan Seam D.....	95
5.12	<i>Back Abutment</i> pada Panel Penambangan Seam E.....	96

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Koordinat IUP OP PT. Bukit Asam (Persero), Tbk	9
2.2 Curah Hujan Bulanan (mm/bulan) Tambang Air Laya Tahun 2006 s/d 2015	10
2.3 Stratigrafi Cekungan Sumatera selatan (Pudjobroto. A, 2002)	14
3.1 Faktor Geometrik dan geologi yang Mempengaruhi pada Penambangan <i>Longwall</i>	38
3.2 Nilai Konstanta mi pada Batuan Utuh (Hock dan Brown, 2002)	51
3.3 Nilai Modulus Ratio (MR) Deere (1968), Palmstrom dan Singh(2001)	53
3.4 Nilai Faktor D (Hoek-Brown,2002)	54
4.1 Koordinat Lokasi Titik Bor BAL.....	62
4.2 Klasifikasi Massa Batuan	62
4.3 Properties Material.....	63
4.4 Properties Material (Lanjut)	64
4.5 Zona Gangguan	64
4.6 Hasil Perhitungan <i>Immediate Roof</i> Seam D (Peng & Chiang, 1984).....	65
4.7 Hasil Perhitungan <i>Immediate Roof</i> Seam E (Peng & Chiang, 1984)	65

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN	HALAMAN
A. HASIL UJI LABORATORIUM MATERIAL BATUAN	102
B. PERHITUNGAN PERIODIC ROOF WEIGHTING INTERVAL	117
C. PERHITUNGAN ANALITIK SIDE ABUTMENT PRESSURE	119
D. PERHITUNGAN NUMERIK SIDE ABUTMENT PRESSURE.....	122
E. PERHITUNGAN NUMERIK FRONT ABUTMENT PRESSURE	153
F. PERHITUNGAN NUMERIK BACK ABUTMENT PRESSURE	172

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penambangan batubara bawah tanah selain mempertimbangkan sistem penambangan dan bentuk rancangan, permasalahan *strata control* juga perlu diperhatikan. Kenyataan di alam bahwa batuan memiliki sifat yang heterogen, anisotrop dan diskontinyu sehingga dengan adanya sifat tersebut perlu dilakukan pendekatan terhadap nilai tegangan pada panel penambangan. Penampang stratigrafi *overburden* dan batubara menjadi salah satu pertimbangan. Sebelum penggalian, tegangan massa batuan berada dalam kondisi setimbang dan setelah dilakukan penggalian kesetimbangan tersebut menjadi terganggu serta mengubah distribusi tegangan awal. Massa batuan pada *roof* akan kehilangan daya dukung sedangkan pada *floor* akan kehilangan beban yang disangga pada lapisan yang berada di atasnya. Oleh karena itu massa batuan dan batubara disekitar bukaan akan cenderung mengalami perubahan bentuk akibat tegangan yang terganggu. Galvin (2016) mengemukakan bahwa *strata control* pada *face longwall* merupakan fungsi interaksi dari beberapa faktor yang meliputi; litologi dan sedimentologi, tekanan pori, tinggi penambangan, *panel span*, kedalaman panel, lebar pilar interpanel, karakteristik penyanggan, perawatan teknis dan posisi *front* panel penambangan.

Dalam merancang sistem penyanggaan yang baik pada penambangan bawah tanah perlu memperhatikan *strata control*. *Strata control* menggunakan prinsip dasar dari mekanika batuan sebagai dasar dalam analisis *strata control*. Secara struktural *strata control* dianalisis dalam bentuk distribusi tegangan (gaya) dan regangan (perpindahan) yang ditentukan menggunakan kriteria keruntuhan tertentu. Pada penambangan batubara karena memiliki wilayah yang luas, sifat batuan dan struktur sangat bervariasi sehingga perlu adanya penentuan properties batuan yang representatif.

Peng dan Chiang (1984) menentukan nilai *abutment pressure* berdasarkan jarak kedalaman *overburden* dari *face* dan kemudian dikembangkan sampai *face* berada pada jarak yang sama dengan *overburden*. Li (2012) menyebutkan bahwa *abutment stress* merupakan hasil dari beban yang berasal dari lapisan *overburden* yang berada diatas batubara dan melewati batas dari zona plastis. Distribusi *abutment pressure* dan karakteristik batubara dapat dipengaruhi bentuk geometri dari zona plastis seperti ketinggian zona plastis, jarak horisontal antara puncak *stress* dengan batubara dan lebar zona plastis.

Wilson (1972) melakukan pendekatan untuk memperkirakan besarnya nilai *side abutment* dengan konsep *stress balance*. Konsep tersebut menyebutkan bahwa total beban vertikal akibat *overburden* harus tetap ada dan konstan. Wilson menyimpulkan menyimpulkan bahwa beban yang dibawa oleh *roof* meningkat secara linier, dari nol pada *rib* ke beban *cover load*. Peng (1984) menyebutkan bahwa besarnya perubahan *side abutment* pada *rib* dari *headentry* dan *tailentry* berkisar antara $0,4 - 3,5 \sigma_v$. Qiangling et.al (2015) menyatakan bahwa *side abutment* mencapai titik tertinggi ketika jarak *face* ke gob adalah 8m dengan menghasilkan kurva distribusi *side abutment*. Peng (1984) mengatakan bahwa peningkatan *front abument pressure* maksimum berkisar antara $0,2 - 6,4 \sigma_v$ tergantung pada kondisi geologi, lokasi *face* dengan memperhatikan *periodic roof weighting* dan *setup entry*, serta daerah *mined-out*. Tekanan mulai meningkat dengan cepat ketika mendekati *face* kedalam 30 m dan mencapai maksimum ketika menjauhi *face* 3 – 20 ft (6m). Hiajun et.al (2015) melakukan penelitian tentang *front abutment* bahwa nilai maksimum *front abutment* meningkat dengan lebar zona *yield* dengan jarak antara titik puncak *face* sama dengan lebar zona *yield*. Kurva *front abutment* menunjukkan bahwa *front abutment* akan secara bertahap menghilang pada jarak 46 m dari *face*. Peng (1984) menyebutkan bahwa *gob pressure* maksimum merupakan berat *overburden* yang terjadi ketika gob menahan beban penuh dari beban *overbruden* tergantung pada lebar pilar.

PT. Bukit Asam (Persero), Tbk merupakan salah satu perusahaan pertambangan batubara di Indonesia yang direncanakan akan menggunakan metode penambangan batubara bawah tanah. Dilihat dari hasil penelitian

terdahulu yang telah dijelaskan diatas bahwa pentingnya suatu *strata control* dalam suatu penambangan batubara bawah tanah. Sebagai pertimbangan dalam menganalisis *strata control* pada panel penambangan batubara perlu adanya kajian mengenai *abutment pressure*. Dalam analisis *abutment pressure* ini akan menggunakan pendekatan dari Wilson (1972), Peng dan Chiang (1984) dan Galvin (1982,2016) dengan memperhatikan faktor tegangan, sifat fisik dan sifat mekanik batuan utuh (*intack rock*), karakteristik massa batuan, geometri panel serta kondisi batubara (kedalaman, kemiringan dan ketebalan batubara). Hasil penentuan tersebut akan divalidasi dengan menggunakan metode numerik *finite element* (FEM) dan dimodelkan menggunakan piranti lunak *Rocscience RS2* ver.9.016 sehingga hasil tersebut dapat digunakan untuk menganalisis *abutment pressure* pada panel penambangan batubara.

1.2 Rumusan Masalah

Strata control dalam penambangan *longwall* menjadi salah satu hal penting dalam proses penambangan. Adanya bukaan *entry* serta metode *retreat* dalam proses pengambilan batubara dimana akan terjadi keruntuhan dibelakang *face* akan mempengaruhi distribusi tegangan awal *insitu*.

Besaran nilai *abutment pressure* tiap seam akan menunjukkan nilai yang berbeda. Hal ini dipengaruhi oleh kedalaman seam, tinggi penambangan, dan karakteristik material *overburden*. *Abutment pressure* berkaitan dengan tegangan vertikal. Dari hal tersebut akan menghasilkan variasi nilai tegangan yang terjadi perlu dilakukan analisis untuk mendapatkan nilai *abutment pressure* yang terjadi tiap-tiap seam batubara pada Tambang Batubara di Air Laya

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis besaran *overburden movement* yang terdiri dari *first weighting interval* dan *periodic weighting interval* pada lapisan *overburden* yang mempengaruhi *abutment pressure*.
2. Menganalisis nilai distribusi tegangan pada panel penambangan sebelum dan sesudah dilakukan penambangan pada tambang batubara Air Laya.

3. Menganalisis nilai *abutment pressure* pada panel penambangan berdasarkan kedalaman tiap-tiap seam batubara.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diambil dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Lapisan batubara yang akan dianalisis adalah dua seam batubara yaitu seam D dan seam E yang akan dilakukan penambangan bawah tanah.
2. *Depth cover* yang akan dianalisa sampai dengan kedalaman 485 m (-421 mdpl) hingga menembus seam E.
3. Analisis *abutment pressure* menggunakan pendekatan metode numerik (*finite element method*) dan metode analitik.
4. Perhitungan distribusi tegangan di lokasi penelitian mengasumsikan keadaan massa batuan yang kontinu, homogen, dan isotrop.
5. Analisis yang dilakukan menggunakan pendekatan regangan bidang berdimensi 2 (2D) dengan menggunakan *Software Rocscience RS2 ver.9.016* (Licensed Number : 19452-001 an. Novandri Kusuma Wardana) sebagai alat bantu permodelan
6. Struktur geologi tidak dimodelkan dalam proses analisis.
7. Mengabaikan kondisi air tanah dan kondisi seismik.
8. Kemiringan lapisan batubara diasumsikan datar.

1.5 Hipotesis Penelitian

1. Nilai *abutment pressure* dihitung berdasarkan tegangan vertikal sehingga faktor kedalaman mempengaruhi dari nilai *abutments pressure*.
2. *Abutment pressure* mencapai nilai maksimum pada saat mendekati *face* dan mengalami penurunan ketika menjauhi *face* hingga mencapai nol.

1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian terlebih dahulu dilakukan dengan melakukan kajian studi pustaka, kemudian dilanjutkan dengan penelitian lapangan. Adapun kegiatan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Studi Pustaka (*text book*, jurnal, paper, tesis serta disertasi) yang mendukung dan relevan, antara lain:
 - Desain penambangan batubara bawah tanah *longwall*
 - Metode penambangan bawah tanah *longwall*
 - *Ground Engineering*
 - *Coal Mine Ground Control*
2. Penelitian lapangan
 - Observasi jenis batuan yang terdapat di area Tambang Air Laya PT. Bukit Asam (Persero), Tbk
 - Pengumpulan data-data yang mendukung penelitian antara lain: data geoteknik setiap jenis batuan dan batubara, data curah hujan dan referensi keadaan sekitar daerah penelitian.
3. Pengolahan dan analisis data.
 - Mendapatkan parameter input *define materials* untuk setiap batuan dan batubara daerah Tambang Air Laya
 - Mendapatkan ukuran panel penambangan yang sesuai dengan kondisi Tambang Air Laya.
 - Mensimulasikan tegangan yang bekerja pada setiap desain pilar.
 - Melakukan perhitungan analisis secara numerik menggunakan *finite element method*.
 - Mendapatkan nilai *periodic weighting* dan *first weighting* pada setiap seam batubara
 - Mendapatkan nilai grafik *abutment pressure* pada panel penambangan setiap seam batubara.

Tahapan dari metode diatas, dapat dilihat pada diagram alir penelitian dibawah ini (Gambar 1.1):

ANALISIS STRATA CONTROL OVERBURDEN PADA PANEL PENAMBANGAN BATUBARA BAWAH TANAH LONGWALL

Permasalahan

Strata control dalam penambangan *longwall* menjadi salah satu hal penting dalam proses penambangan. Adanya *entry* serta metode *retreat* dalam proses pengambilan batubara dimana akan terjadi keruntuhan dibelakang *face* akan mempengaruhi distribusi tegangan awal *insitu*. Besaran nilai *abutment pressure* tiap seam akan menunjukkan nilai yang berbeda. Hal ini dipengaruhi oleh kedalaman seam, tinggi penambangan, dan karakteristik material *overburden*. *Abutment pressure* berkaitan dengan tegangan vertikal. Dari hal tersebut akan menghasilkan variasi nilai tegangan yang terjadi perlu dilakukan analisis untuk mendapatkan nilai *abutment pressure* yang terjadi tiap-tiap seam batubara pada Tambang Batubara di Air Laya

Tujuan Penelitian

1. Menganalisis besaran *overburden movement* yang terdiri dari *first weighting interval* dan *periodic weighting interval* pada lapisan *overburden* yang mempengaruhi *abutment pressure*.
2. Menganalisis nilai distribusi tegangan pada panel penambangan sebelum dan sesudah dilakukan penambangan pada tambang batubara Air Laya.
3. Menganalisis nilai *abutment pressure* pada panel penambangan berdasarkan kedalaman

Hipotesis

1. Nilai *abutment pressure* dihitung berdasarkan tegangan vertikal sehingga faktor kedalaman mempengaruhi dari nilai *abutments pressure*.
2. *Abutment pressure* mencapai nilai maksimum pada saat mendekati *face* dan mengalami penurunan ketika menjauhi *face* hingga mencapai nol.

Kegiatan Penelitian

Studi Pustaka

1. Desain penambangan batubara bawah tanah *longwall*
2. Metode penambangan bawah tanah *longwall*
3. *Ground Engineering*
4. *Coal Mine Ground Control*

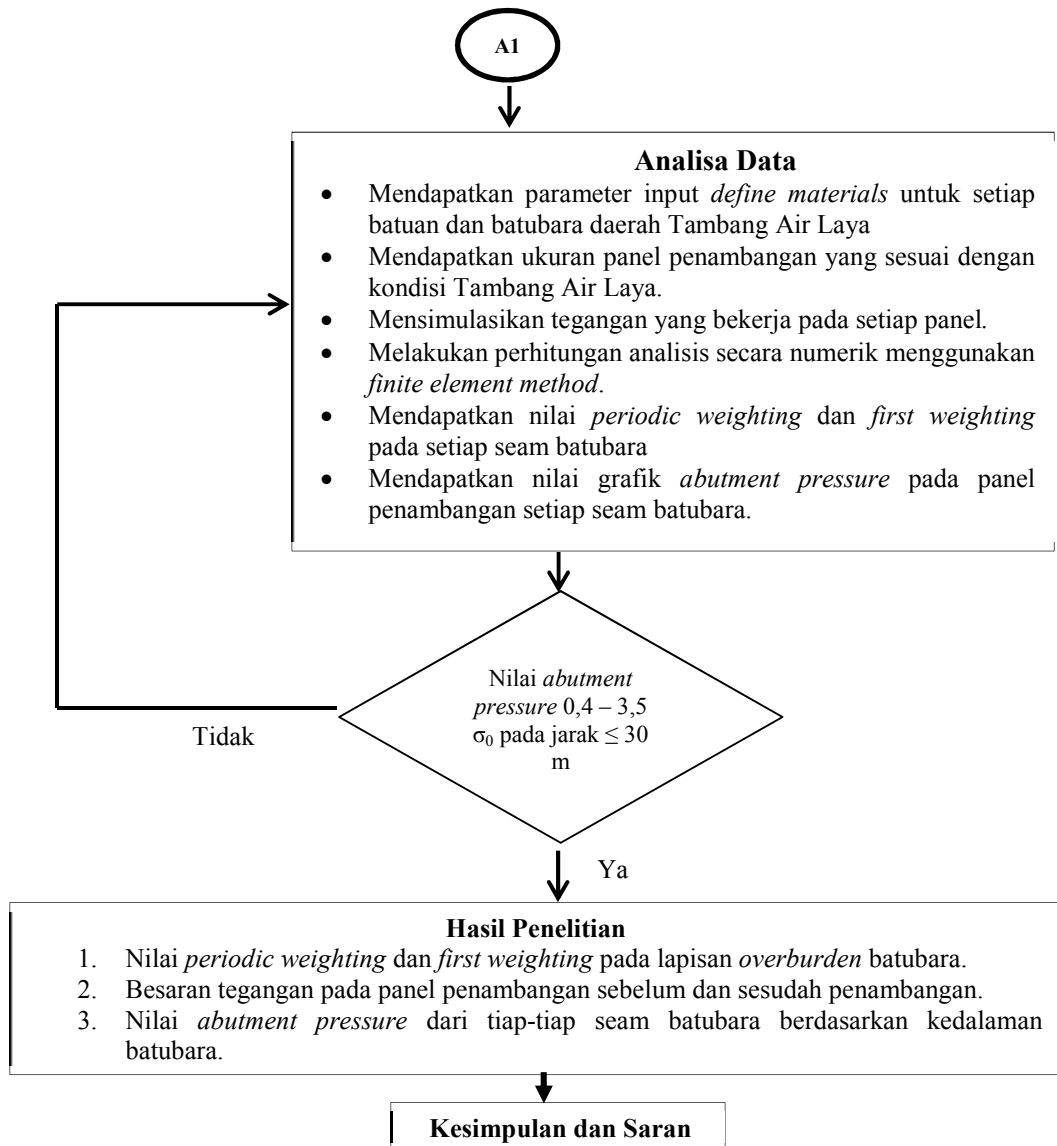
Lapangan

- Observasi jenis batuan yang terdapat di area Tambang Air Laya PT. Bukit Asam (Persero), Tbk
- Pengumpulan data-data yang mendukung penelitian antara lain: data geoteknik setiap jenis batuan dan batubara, data curah hujan dan referensi keadaan sekitar daerah penelitian.

Pengumpulan data penelitian

A1

Gambar 1.1A
Diagram Alir Penelitian



Gambar 1.1C
Lanjutan Diagram Alir Penelitian

1.7 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Sebagai acuan dalam analisis *abutment pressure* pada panel penambangan batubara *longwall* PT. Bukit Asam (Persero), Tbk.
2. Sebagai informasi bagaimana *strata control* yang terjadi pada panel penambangan batubara bawah tanah.
3. Sebagai referensi mengenai *ground control* pada PT. Bukit Asam (Persero), Tbk

BAB II

TINJAUAN UMUM

2.1. Identitas Perusahaan

Perusahaan Perseroan (Persero) PT. Tambang Batubara Bukit Asam (Persero) Tbk. , didirikan berdasarkan Peraturan Pemerintah RI No.42 Tahun 1980 tanggal 15 Desember 1980 tentang Penyertaan Modal Negara RI untuk Pendirian Perusahaan Perseroan (Prsero) Tambang Batubara Bukit Asam berkantor pusat di Jalan Parigi No.1 Tanjung Enim, Sumatera Selatan, dengan akta pendirian No.1 tanggal 2 Maret 1981 dibuat Notaris Muhammad Ali, Notaris di Jakarta, akta mana telah diubah, terakhir dengan Perubahan Anggaran Dasar No.57 tanggal 15 Desember 2006 dibuat Notaris Imas Fatimah SH, Notaris di Jakarta. Berkedudukan dan berkantor pusat di Jalan Parigi Nomor 1, Tanjung Enim, Kabupaten Muara Enim, Propinsi Sumatera Selatan.

Ruang lingkup kegiatan usaha Perseroan adalah mengusahakan pertambangan yang meliputi penyelidikan umum, eksplorasi, eksploitasi, pengolahan, pemurnian, pengangkutan dan perdagangan bahan-bahan galian terutama batubara, mengusahakan pengolahan lebih lanjut atas hasil produksi bahan-bahan galian, memperdagangkan hasil produksi sehubungan dengan usaha baik hasil sendiri maupun hasil produksi pihak lain didalam maupun diluar negeri, mengusahakan dan/atau mengoperasikan pembangkit listrik tenaga uap baik untuk keperluan sendiri maupun untuk keperluan pihak lain, dan memberikan jasa-jasa konsultasi dan rekayasa dalam bidang yang ada hubungan dengan pertambangan batubara beserta hasilolahannya.

Perseroan memiliki 2 (dua) unit pertambangan yaitu UPTE, untuk Unit Penambangan Tanjung Enim, Sumatera Selatan dioperasikan dengan sistem tambang terbuka dan UPO, untuk Unit Penambangan Ombilin yang berlokasi di Sawahlunto, Sumatera Barat dioperasikan dengan sistem tambang terbuka dan bawah tanah. Selain itu Perseroan mengoperasikan 3 (tiga) pelabuhan/dermaga

khusus batubara yaitu Pelabuhan Tarahan di Lampung, Dermaga Kertapati di Sumatera Selatan dan Dermaga Teluk Bayur di Sumatera Barat.

Tanggal 23 Desember 2002 Perseroan menjadi Perusahaan publik dengan kode saham “PTBA” yang dicatatkan di Bursa Efek Jakarta (BEJ) dan Bursa Efek Surabaya (BES). Pada saat penawaran saham perdana (IPO) Perseroan mengeluarkan waran yang diperdagangkan sejak 30 Juni 2003 hingga 22 Desember 2005.

2.2. Lokasi dan Kesampaian Daerah

Secara administrasi lokasi penyelidikan berada di Air Laya Kecamatan Tanjung Enim, Kabupaten Muara Enim dan Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Selatan. Penyelidikan bahan galian batubara dilakukan di atas lahan seluas 7.621 Ha, secara geografis mempunyai koordinat seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1.

Koordinat IUP OP PT. Bukit Asam (Persero), Tbk
(KP KW.00PP0083 SK No.303/KPTS/Distamben/2010 tertanggal 30 April 2010)

No. Koordinat	(UTM)	
	Easting	Northing
1	367197.708	9579892.917
2	362204.323	9579892.917
3	360174.846	9582448.012
4	367163.107	9582448.012

Lokasi tambang PT. Bukit Asam (Persero), Tbk terletak di lapangan batubara Air Laya dapat dicapai melalui jalan darat, adapun rute perjalanan, adalah sebagai berikut :

Dari Kota Palembang, sebagai Ibu Kota Provinsi Sumatera Selatan dapat ditempuh dengan kendaraan roda empat melalui jalan aspal yang cukup baik, kearah selatan lebih kurang 4 (empat) jam atau berdasarkan jarak lebih kurang 200 kilometer, melalui Kota Muara Enim dan kota Tanjung Enim, posisi antara 3^o42'30" – 4^o47'30" Lintang Selatan dan 103^o47'00" – 103^o50'10" Bujur Timur (Gambar 2.1).

2.3. Keadaan Iklim dan Curah Hujan

Sesuai dengan letaknya daerah Air Laya ini merupakan iklim Tropis dengan temperatur rata-rata 27⁰ Celcius, suhu udara didaerah ini bervariasi antara 20⁰ Celcius sampai dengan 34⁰ Celcius.

Data curah hujan di daerah Air Laya menggunakan data rata-rata bulanan di Bukit Asam periode tahun 2006 s/d 2015. Dari data yang ada menunjukkan curah hujan rata-rata bulanan berkisar yang terendah 0 mm pada bulan Juli 1994 dan tertinggi 687 mm pada bulan Januari. Data curah hujan dapat dilihat Tabel 2.2.

Tabel 2.2
Curah Hujan Bulanan (Mm/Bulan) Tambang Air Laya Tahun 2006 s/d 2015

Tahun	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nop	Des	Jumlah
2006	474	576	92	314	203	94	138	15	17	39	207	441	2610
2007	401	375	163	543	152	101	89	69	184	192	366	426	3061
2008	414	147	279	428	124	142	17	83	142	337	178	391	2682
2009	310	167	274	335	188	87	90	86	107	210	148	457	2459
2010	429	497	398	374	333	128	132	131	191	245	336	154	3346
2011	193	201	227	360	346	119	38	20	52	186	505	314	2560
2012	225	383	167	164	154	101	44	23	105	298	321	714	2698
2013	466	256	303	327	714	92	444	110	233	224	319	414	3901
2014	349	483	419	182	200	228	138	125	24	33	358	490	3028
2015	120	330	336	386	31	47	39	152	18	22	297	259	2037
N =	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Rata²	338.1	341.5	265.8	341.3	244.5	113.9	116.9	81.4	107.3	178.6	303.5	406	2838.2
Min	120	147	92	164	31	47	17	15	17	22	148	154	2037
Max	474	576	419	543	714	228	444	152	233	337	505	714	3901



Gambar 2.1
Peta Lokasi dan Kesampaian Daerah PT. Bukit Asam (Persero), Tbk.
(SatKerRencana Operasi PTBA, 2015)

2.4. Keadaan Geologi Daerah Penelitian

2.4.1. Geologi Regional

Geologi Cekungan Sumatera Selatan adalah suatu hasil produk kegiatan tektonik yang berkaitan erat dengan penunjaman Lempeng India - Australia, yang bergerak ke arah relatif Utara hingga Timurlaut terhadap Lempeng Eurasia yang relatif diam. Zona penunjaman lempeng meliputi daerah sebelah Barat Pulau Sumatera dan Selatan Pulau Jawa. Beberapa lempeng kecil (*micro-plate*) yang berada di antara zona interaksi tersebut, turut bergerak dan menghasilkan zona konvergensi dalam berbagai bentuk dan arah. Penunjaman lempeng India - Australia tersebut dapat mempengaruhi keadaan batuan, morfologi, tektonik dan struktur di Sumatera Selatan. Tumbukan tektonik lempeng di Pulau Sumatera menghasilkan jalur busur depan, magmatik, dan busur belakang.

Cekungan Sumatera Selatan terbentuk dari hasil penurunan (*depression*) yang dikelilingi oleh tinggian-tinggian batuan Pra-tercier. Pengangkatan Pegunungan Barisan terjadi di Akhir Kapur disertai terjadinya sesar - sesar bongkah (*block faulting*).

Selain Pegunungan Barisan sebagai pegunungan bongkah (*block mountain*) beberapa tinggian batuan tua yang masih tersingkap di permukaan adalah di Pegunungan Tigapuluh, Pegunungan Duabelas, Pulau Lingga, serta Pulau Bangka yang merupakan sisa-sisa tinggian "*Sunda Landmass*" yang mana sekarang merupakan Paparan Sunda.

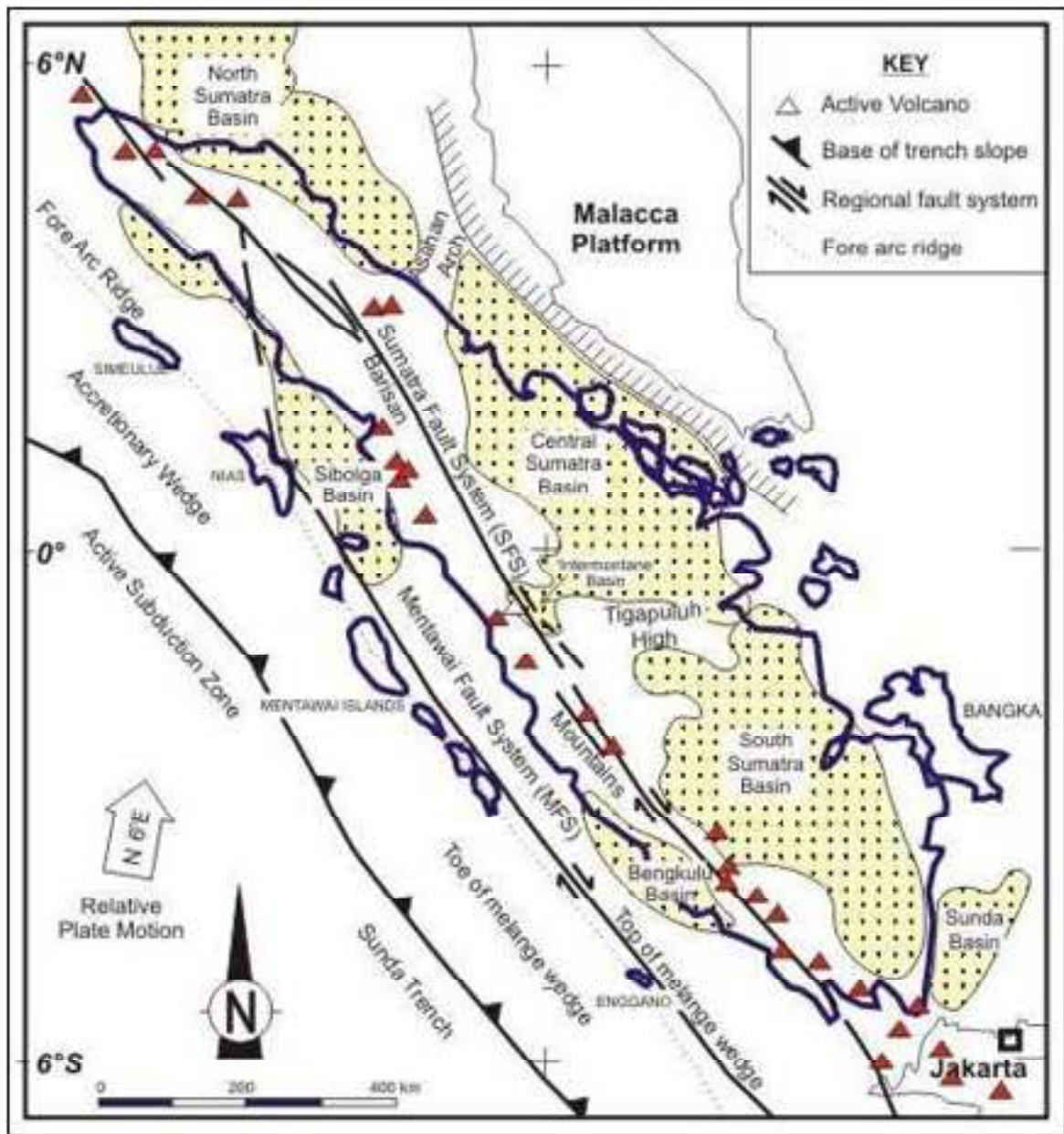
Cekungan Sumatera Selatan telah mengalami tiga kali proses orogenesis, yaitu yang pertama adalah pada Kala Mesozoikum Tengah, kedua pada Kala Kapur Akhir sampai Tersier Awal, serta yang ketiga pada Kala Plio-Plistosen. Orogenesis Plio-Plistosen menghasilkan kondisi struktur geologi yang seperti terlihat pada saat ini (Gambar 2.2).

Tektonik dan struktur geologi daerah Cekungan Sumatera Selatan dapat dibedakan menjadi tiga kelompok, yaitu; zona sesar Semangko, zona perlipatan yang berarah Baratlaut – Tenggara, zona sesar-sesar yang berhubungan erat dengan perlipatan, serta sesar - sesar Pra-tercier yang mengalami peremajaan.

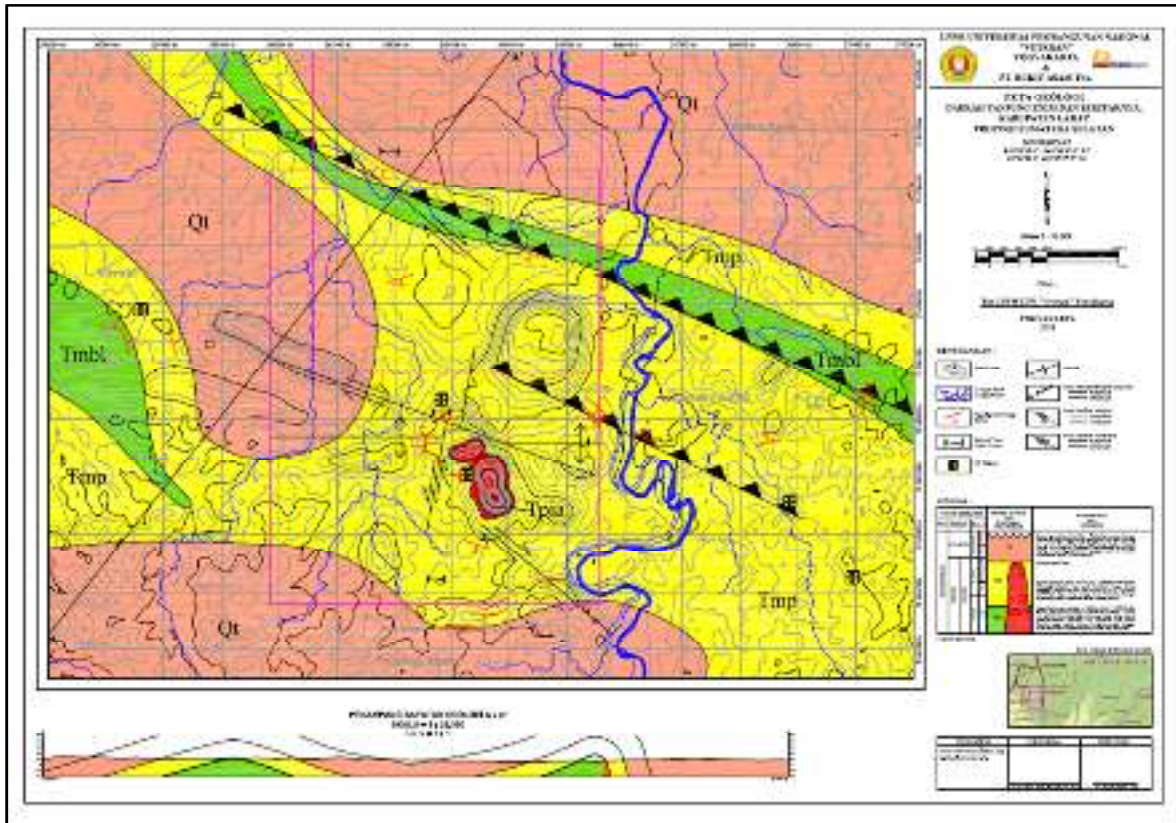
Lapisan Batubara yang terdapat di wilayah Air Laya dan sekitarnya merupakan bagian dari Formasi Muara Enim berumur Miosen – Pliosen yang terbentuk pada Cekungan Sumatera Selatan. Secara regional lapisan batubara di wilayah ini telah mengalami perlipatan dan patahan serta di beberapa tempat terdapat intrusi batuan beku. Struktur geologi berupa antiklinorium yang berarah Barat – Timur (Gambar 2.3).

2.4.2. Stratigrafi

Stratigrafi daerah Cekungan Sumatera Selatan telah banyak dibahas oleh para ahli geologi terdahulu, peneliti terdahulu telah menyusun urutan-urutan stratigrafi umum Cekungan Sumatera Selatan, antara lain : Van Bemmelen, (1932), Musper, (1937), Marks, (1956), Spruyt, (1956), Pulunggono, (1969), De Coster, (1974) (Gambar 2.4) , Pertamina (1981), Pudjobroto A (2002)(Tabel 2.2)



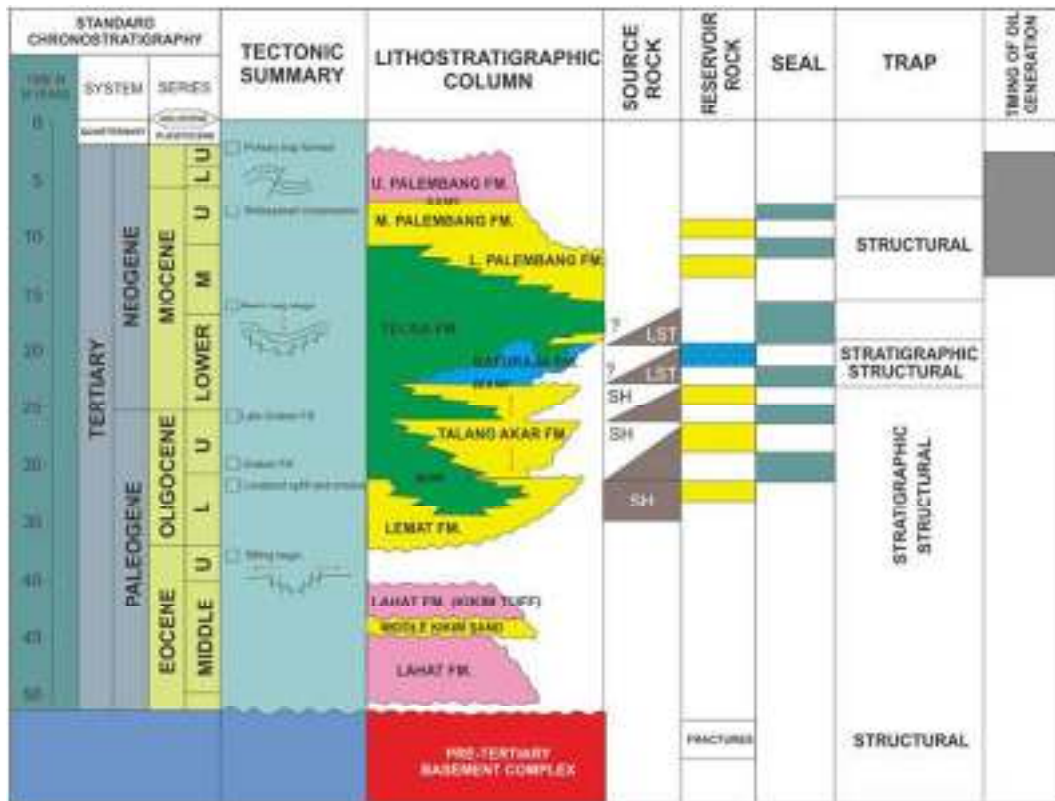
Gambar 2.2.
Peta Persebaran Cekungan di Pulau Sumatera (Bishop., 2000)



Gambar 2.3.
Peta Geologi Regional Daerah Tanjung Enim dan Sekitarnya

Tabel 2.2
Statigrafi Cekungan Sumatera Selatan (Pudjobroto. A, 2002)

Formasi	Tebal (m)	Litologi
Kasai	>200	Tuff, Batupasir tufa dan batu lempung
Muara Enim	250 – 800	Batulempung berinterkalasi dengan batupasir, batubara dan batulanau
Air Benakat	300 – 600	Batulempung berinterkalasi dengan batupasir glaukonitan, batugamping dengan beberapa foraminifera
Gumai	150 – 1500	Batulempung berinterkalasi dengan batupasir dan batulanau
Baturaja	50 – 200	Batugamping
Talang Akar	400 – 850	Sisipan Batupasir dan serpih, batupasir kasar – sangat kasar berinterkalasi dengan batubara dan serpih
Lahat	200 – 700	Serpih tufa dan batulanau, tuff, batupasir agromerat, breksi
Basement		Granite, quartzite, phylite dan shale



Gambar 2.4
Stratigrafi Regional Cekungan Sumatera Selatan (De Coster., 1974)

Berdasarkan peneliti-peneliti terdahulu, maka Stratigrafi Cekungan Sumatera Selatan dibagi menjadi tiga kelompok yaitu kelompok batuan Pra-Tersier, kelompok batuan Tersier serta kelompok batuan Kuartar.

1. Batuan Pra-Tersier

Batuan Pra-Tersier Cekungan Sumatera Selatan merupakan dasar cekungan sedimen Tersier. Batuan ini ditemukan sebagai batuan beku, batuan metamorf dan batuan sedimen (De Coster., 1974) Westerveld, (1941) yang membagi batuan berumur Paleozoikum (Permokarbon) berupa *slate* dan yang berumur Mesozoikum (Yurakapur) berupa seri fasies vulkanik dan seri fasies laut dalam. Batuan Pra-Tersier ini diperkirakan telah mengalami perlipatan dan patahan yang intensif pada Zaman Kapur Tengah sampai Zaman Kapur Akhir dan diintrusi oleh batuan beku sejak orogenesis Mesozoikum Tengah (De Coster., 1974).

2. Batuan Pra-Tersier

Berdasarkan penelitian terdahulu urutan sedimentasi Tersier di Cekungan Sumatera Selatan dibagi menjadi dua tahap pengendapan, yaitu; tahap genang air laut dan tahap susut air laut. Sedimen-sedimen yang terbentuk pada tahap genang air laut disebut Kelompok Telisa (De Coster., 1974 dan Spruyt., 1956), dari umur Eosen Awal hingga Miosen Tengah terdiri atas; Formasi Lahat (LAF), Formasi Talang Akar (TAF), Formasi Baturaja (BRF), dan Formasi Gumai (GUF), sedangkan yang terbentuk pada tahap susut air laut disebut Kelompok Palembang (Spruyt., 1956) dari umur Miosen Tengah – Pliosen terdiri atas; Formasi Air Benakat (ABF), Formasi Muara Enim (MEF), dan Formasi Kasai (KAF).

- a. **Formasi Lahat (LAF)**, menurut Spruyt, (1956), Formasi ini terletak secara tidak selaras diatas batuan dasar, yang terdiri atas lapisan-lapisan tipis tuf andesitik yang secara berangsur berubah keatas menjadi batu lempung tufan. Selain itu breksi andesit berselingan dengan lava andesit, yang terdapat dibagian bawah. Batulempung tufan, segarnya berwarna hijau dan lapuknya berwarna ungu sampai merah keunguan. Menurut De Coster, (1973) Formasi ini terdiri dari tuf, aglomerat, batulempung, batupasir tufan, konglomeratan dan breksi yang berumur Eosen Akhir hingga Oligosen Awal. Formasi ini diendapkan dalam air tawar daratan. Ketebalan dan litologi sangat bervariasi dari satu tempat ke tempat yang lainnya karena bentuk cekungan yang tidak teratur, selanjutnya pada umur Eosen hingga Miosen Awal, terjadi kegiatan vulkanik yang menghasilkan andesit (Westerveld., 1941 vide of side katilli., 1941). Kegiatan ini mencapai puncaknya pada umur Oligosen Akhir sedangkan batumannya disebut sebagai batuan “Lava Andesit tua” yang juga mengintrusi batuan yang diendapkan pada Zaman Tersier Awal
- b. **Formasi Talang Akar (TAF)**, nama Talang Akar berasal dari *Talang Akar Stage* (Martin., 1952) nama lain yang pernah digunakan

adalah *Houthorizont* (Musper.,1937) dan *Lower Telisa Member* (Marks., 1956). Formasi Talang akar dibebberapa tempat bersentuhan langsung secara tidak selaras dengan batuan Pra Tersier. Formasi ini dibebberapa tempat menindih selaras Formasi Lahat (De Coster.,1974), hubungan itu disebut rumpang stratigrafi, ia juga menafsirkan hubungan stratigrafi diantara kedua formasi tersebut selaras terutama dibagian tengahnya, ini diperoleh dari data pemboran sumur Limau yang terletak disebelah Barat Daya Kota Prabumulih (Pertamina, 1981), Formasi Talang Akar dibagi menjadi dua, yaitu; Anggota “Gritsand” terdiri atas batupasir, yang mengandung kuarsa dan ukuran butirnya pada bagian bawah kasar dan semakin atas semakin halus. Pada bagian teratas batupasir ini berubah menjadi batupasir konglomeratan atau breksian. Batupasir berwarna putih sampai coklat keabuan dan mengandung mika, terkadang terdapat selang-seling batulempung coklat dengan batubara, pada anggota ini terdapat sisa-sisa tumbuhan dan batubara, ketebalannya antara 40 – 830 meter. Sedimen-sedimen ini merupakan endapan fluviatil sampai delta (Spruyt., 1956), juga masih menurut Spruyt, (1956) anggota transisi pada bagian bawahnya terdiri atas selang-seling batupasir kuarsa berukuran halus sampai sedang dan batulempung serta lapisan batubara. Batupasir pada bagian atas berselang-seling dengan batugamping tipis dan batupasir gampingan, napal, batulempung gampingan dan serpih. Anggota ini mengandung fosil- fosil *Molusca*, *Crustacea*, sisa ikan foram besar dan foram kecil, diendapkan pada lingkungan paralis, litoral, delta, sampai tepi laut dangkal dan berangsur menuju laut terbuka kearah cekungan. Formasi ini berumur Oligosen Akhir hingga Miosen Awal. Ketebalan formasi ini pada bagian selatan cekungan mencapai 460 – 610 meter, sedangkan pada bagian utara cekungan mempunyai ketebalan kurang lebih 300 meter (De Coster., 1974).

- c. **Formasi Baturaja (BRF)**, menurut Spruyt, (1956), formasi ini diendapkan secara selaras diatas Formasi Talang Akar. Terdiri dari batugamping terumbu dan batupasir gampingan. Di gunung Gumai tersingkap dari bawah keatas berturut-turut napal tufaan, lapisan batugamping koral, batupasir napalan kelabu putih, batugamping ini mengandung foram besar antara lain *Spiroclypes spp*, *Eulipidina Formosa Schl*, *Molusca* dan lain sebagainya. Ketebalannya antara 19 - 150 meter dan berumur Miosen Awal. Lingkungan Pengendapannya adalah laut dangkal. Penamaan Formasi Baturaja pertama kali dikemukakan oleh Van Bemmelen (1932) sebagai “Baturaja Stage”, Baturaja Kalk Steen (Musper., 1973) “*Crbituiden Kalk*” (v.d. Schilden., 1949; Martin., 1952), “*Midle Telisa Member*” (Marks., 1956), *Baturaja Kalk Sten Formatie* (Spruyt., 1956) dan *Telisa Limestone* (De Coster., 1974). Lokasi tipe Formasi Baturaja adalah di pabrik semen Baturaja (Van Bemelen., 1932).
- d. **Formasi Gumai (GUF)**, Formasi ini diendapkan setelah Formasi Baturaja dan merupakan hasil pengendapan sedimen-sedimen yang terjadi pada waktu genang laut mencapai puncaknya. Hubungannya dengan Formasi Baturaja pada tepi cekungan atau daerah dalam cekungan yang dangkal adalah selaras, tetapi pada beberapa tempat di pusat-pusat cekungan atau pada bagian cekungan yang dalam terkadang menjari dengan Formasi Baturaja (Pulonggono., 1986). Menurut Spruyt, (1956) Formasi ini terdiri atas napal tufaan berwarna kelabu cerah sampai kelabu gelap. Kadangkadangkang terdapat lapisan-lapisan batupasir glaukonit yang keras, tuff, breksi tuff, lempung serpih dan lapisan tipis batugamping. Endapan sediment pada formasi ini banyak mengandung *Globigerina spp*, dan napal yang mengeras. Westerfeld, (1941) menyebutkan bahwa lapisan-lapisan Telisa adalah seri monoton dari serpih dan napal yang mengandung *Globigerina sp* dengan selingan tufa juga lapisan

pasir glaukonit. Umur dari formasi ini adalah Awal Miosen Tengah (Tf2) (Van Bemmelen., 1949) sedangkan menurut Pulonggono, (1986) berumur Miosen Awal hingga Miosen Tengah, (N9 – N12).

- e. **Formasi Air Benakat (ABF)**, menurut Spruyt, (1956), Formasi ini merupakan tahap awal dari siklus pengendapan Kelompok Palembang, yaitu pada saat permulaan dari endapan susut laut. Formasi ini berumur dari Miosen Akhir hingga Pliosen. Litologinya terdiri atas batupasir tufaan, sedikit atau banyak lempung tufaan yang berselang-seling dengan batugamping napalan atau batupasirnya semakin keatas semakin berkurang kandungan glaukonitnya. Pada formasi ini dijumpai *Globigerina spp*, tetapi banyak mengandung *Rotalia spp*. Pada bagian atas banyak dijumpai *Molusca* dan sisa tumbuhan. Di Limau, dalam penyelidikan Spruyt, (1956) ditemukan serpih lempungan yang berwarna biru sampai coklat kelabu, serpih lempung pasiran dan batupasir tufaan. Di daerah Jambi ditemukan berupa batulempung kebiruan, napal, serpih pasiran dan batupasir yang mengandung *Mollusca*, glaukonit kadang-kadang gampingan. Diendapkan dalam lingkungan pengendapan neritik bagian bawah dan berangsur kelaut dangkal bagian atas (De Coster., 1974). Ketebalan formasi ini berkisar 250 – 1550 meter. Lokasi tipe Formasi ini , menurut Musper, (1937), terletak diantara Air Benakat dan Air Benakat Kecil (kurang lebih 40 km sebelah Utara - Baratlaut Muara Enim (Lembar Lahat). Nama lainnya adalah “*Onder Palembang Lagen*” (Musper., 1937), “*Lower Palembang Member*” (Marks., 1956), “*Air Benakat and en Klai Formatie*” (Spruyt., 1956).
- f. **Formasi Muara Enim (MEF)**, Menurut Spruyt, (1956) Formasi ini terlatak selaras diatas Formasi Air Benakat. Formasi ini dapat dibagi menjadi dua anggota “a” dan anggota “b”. Anggota “a” disebut juga Anggota Coklat (*Brown Member*) terdiri atas batulempung dan batupasir coklat sampai coklat kelabu, batupasir berukuran halus

sampai sedang. Di daerah Palembang terdapat juga lapisan batubara. Anggota “b” disebut juga Anggota Hijau Kebiruan (*Blue Green Member*) terdiri atas batulempung pasir dan batulempung tufaan yang berwarna biru hijau, beberapa lapisan batubara berwarna merah-tua gelap, batupasir kasar halus berwarna putih sampai kelabu terang. Pada anggota “a” terkadang dijumpai kandungan *Foraminifera* dan *Mollusca* selain batubara dan sisa tumbuhan, sedangkan pada anggota “b” selain batubara dan sisa tumbuhan tidak dijumpai fosil kecuali foram air payau *Haplophragmoides spp* (Spruyt., 1956). Ketebalan formasi ini sekitar 450 -750 meter. Anggota “a” diendapkan pada lingkungan litoral yang berangsur berubah kelingkungan air payau dan darat (Spruyt, 1956). Lokasi tipenya terletak di Muara Enim, Kampong Minyak, Lembar Lahat (Tobler., 1906).

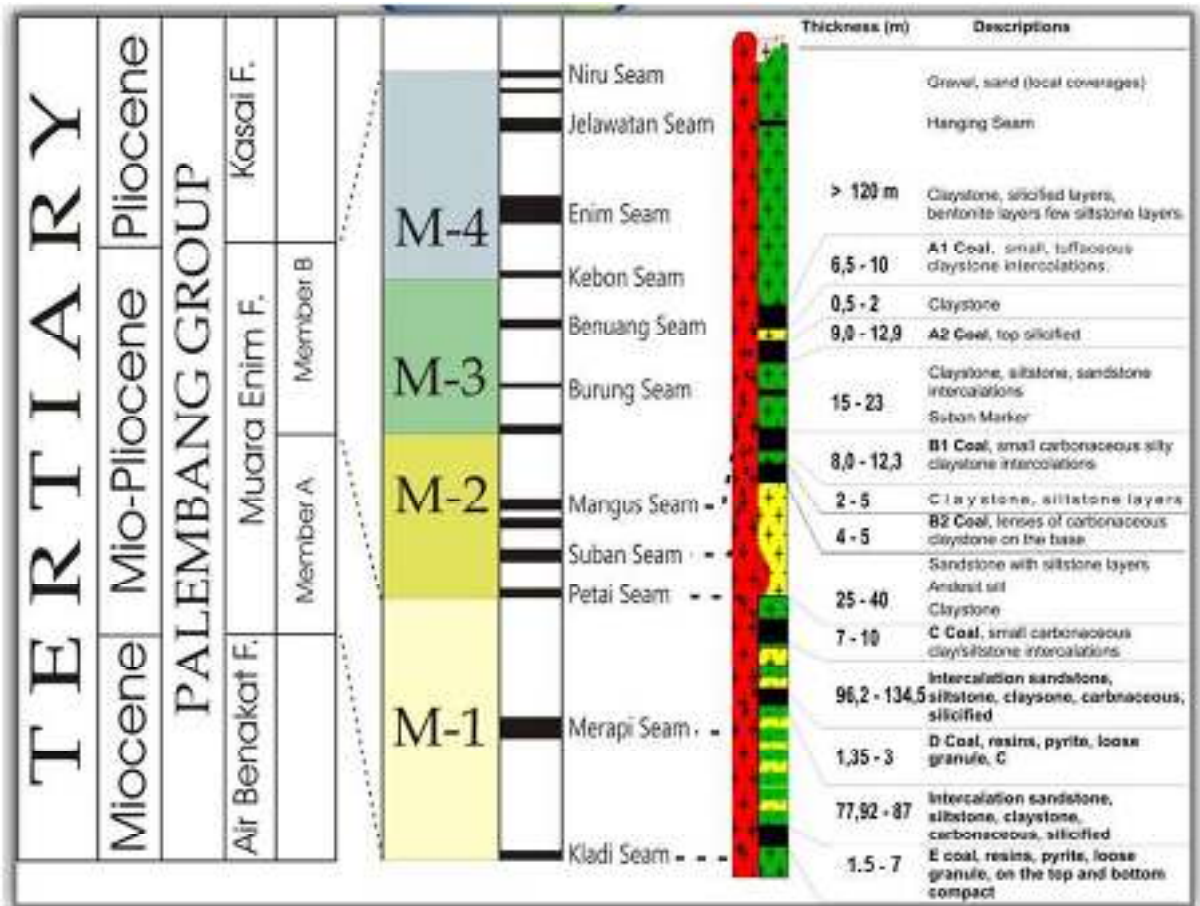
- g. Formasi Kasai (KAF)**, Formasi ini mengakhiri siklus susut laut (De Coster dan Adiwijaya., 1973). Pada bagian bawah terdiri atas batupasir tufan dengan beberapa selingan batulempung tufan, kemudian terdapat konglomerat selang- seling lapisan-lapisan batulempung tufan dan batupasir yang lepas, pada bagian teratas terdapat lapisan tuf batupung yang mengandung sisa tumbuhan dan kayu terkarsikan berstruktur sediment silang siur, lignit terdapat sebagai lensa- lensa dalam batupasir dan batulempung tufan (Spruyt., 1956). Tobler., (1906) menemukan moluska air tawar *Viviparus spp* dan *Union spp*, umurnya diduga Plio-Plistosen. Lingkungan pengendapan air payau sampai darat. Satuan ini terlempar luas dibagian timur Lembar dan tebalnya mencapai 35 meter.
- h. Satuan Endapan Alluvial**, Penyebaran satuan ini meliputi daerah sungai dan tepian sungai-sungai besar berupa *meander - meander* ditengah dan ditepi sungai. Ketebalan endapan alluvial ini bervariasi, dan satuan ini terdiri dari hasil rombakan beku, batuan sedimen,

batuan metamorf yang bersifat lepas berukuran pasir halus hingga kerakal.

Formasi batubara Muara Enim terbentuk pada Miosen Atas dan menempati bagian dari Cekungan Sumatera Selatan. Cekungan ini dibagi menjadi empat subbagian yaitu M1, M2, M3, dan M4 (Shell Mijnbouw, 1978) (Gambar 2.5).

Anggota M1 mengandung 2 lapisan batubara yaitu lapisan batubara kladi (5-10m) dan Merapi (0.2-1m). Anggota M2 mengandung beberapa lapisan utama, yaitu lapisan batubara C (petai) dengan ketebalan 5-9m, lapisan batubara B (Suban) dengan ketebalan 10-18m, dan lapisan batubara A (Mangus) dengan ketebalan 8-12m. Anggota M3 mengandung beberapa lapisan batubara dengan ketebalan kurang dari 2 meter. Hanya ada satu lapisan batubara yang cukup tebal, yaitu lapisan batubara Benuang dengan ketebalan dapat mencapai 2 meter. Anggota M4 terdiri dari beberapa lapisan batubara dengan tebal mencapai 20 m. Lapisan tersebut antara lain lapisan Kebon, Enim, Jelawatan dan Niru.

Menurut De Coster (1974), siklus pengendapan pada Cekungan Sumatera Selatan disimpulkan bahwa batuan dan endapan batubara yang termasuk ke dalam Formasi Muara Enim memiliki siklus pengendapan regresi. Secara umum Cekungan Sumatera Selatan menghasilkan endapan batubara dengan penyebaran yang cukup luas, namun memiliki peringkat batubara yang tidak terlalu tinggi, kecuali untuk endapan batubara disekitar daerah intrusi, seperti yang terdapat di daerah Air Laya, Suban, dan Bukit Kendi. Formasi pembawa lapisan batubara merupakan bagian dari Formasi Muara Enim yang kemudian terbagi menjadi Lapisan Batubara Mangus, Suban, dan Petai.



Gambar 2.5.

Stratigafi area Air Laya dan Mahayung (Shell Mijnbouw, 1978)

2.4.3. Keadaan Topografi

Wilayah Air Laya merupakan rangkaian dari gunung-gunung, lembah-lembah, dataran dan sebagian kecil rawa-rawa, yang merupakan bagian dari rangkaian anak Bukit Barisan, dengan ketinggian antara 100 m sampai dengan 282 m diatas permukaan laut serta kemiringan lereng berkisar antar 0 % sampai dengan lebih kecil 40 %.

Sungai –sungai utama didaerah ini adalah Sungai Enim dan Sungai Lawai yang relatif sejajar dan mengalir kearah Utara serta bermuara ke Sungai Lematang :

- Lebar sungai – sungai tersebut lebih kurang 50 – 70 meter, memiliki daerah tangkapan air yang cukup besar, semua sungai – sungai kecil didaerah ini bermuara ke sungai Enim, sehingga membentuk pola aliran sungai Dendritik.

- Sungai Enim dan Sungai Lawai banyak digunakan oleh penduduk disekitarnya untuk keperluan mandi, mencuci dan memancing, selama musim kemarau muka air sungai turun dan kadang – kadang sampai kering namun sebaliknya pada musim penghujan didaerah sekitar sungai kadang terjadi luapan air (banjir).

2.5. Keadaan Endapan

2.5.1. Bentuk dan Penyebaran Endapan

Lapisan batubara yang tersebar di wilayah Air Laya hampir sama dengan lapisan batubara di wilayah Tanjung Enim dan sekitarnya, yaitu memiliki 5 grup lapisan batubara utama (*seam*) yaitu: lapisan batubara A, lapisan batubara B, lapisan Batubara C, lapisan Batubara D, dan lapisan Batubara E. Besarnya kemiringan lapisan batubara bervariasi yaitu antara 5-20⁰.

Urutan perlapisan batuan di Tambang Air laya adalah sebagai berikut:

1. Lapisan Tanah Penutup

Merupakan material yang terdiri dari *clay* dan campuran lumpur serta *sandstone* halus dan beberapa lapisan tipis batubara gantung. Pada bagian ini dijumpai adanya lensa-lensa *clay ironstone* yang berbentuk cakram. Terdapat pula lapisan batubara gantung (*hanging seam*) dengan ketebalan sekitar setengah meter. Tebal lapisan penutup berkisar antara 60-120 meter.

2. Lapisan Batubara A1 (Mangus Atas)

Lapisan ini dicirikan dengan adanya tiga lapisan yang berupa sisipan tanah liat. Ketebalan lapisan batubara A1 berkisar antara 6,5-10 meter.

3. Lapisan antara Batubara A1 dan A2

Lapisan ini dicirikan dengan adanya batu pasir tufaan berwarna putih dan abu-abu, memperlihatkan struktur *graded* dengan batu pasir konglomerat di bagian dasar dan batu pasir halus dibagian atas. Ketebalan lapisan berkisar antara 0,5-2,0 meter.

4. Lapisan Batubara A2 (Mangus Bawah)

Lapisan ini dicirikan sebagai batubara silikaan pada bagian atas lapisan batubara dan terdapat dua lapisan pengotor *iron claystone* yang sangat keras dengan ketebalan 5 centimeter hingga 20 centimeter. Sedangkan ketebalan batubara A2 berkisar antara 9,0-13,0 meter.

5. Lapisan antara Batubara A2 dan B1

Lapisan ini dicirikan dengan adanya lapisan batu lempung berwarna abu-abu gelap dengan sisipan batu pasir halus, kadang-kadang terdapat lapisan batubara tipis setebal 20 - 40 centimeter yang dikenal dengan Suban Marker Interburden. Ketebalan lapisan ini berkisar antara 15-23 meter.

6. Lapisan Batubara B1 (Suban Atas)

Lapisan ini sedikit memiliki lapisan pengotor dan mempunyai ketebalan antara 8-12,3 meter dengan kualitas yang hampir sama dengan lapisan Suban.

7. Lapisan antara Batubara B1 dan B2

Lapisan ini dicirikan dengan adanya lapisan lempung lanauan berwarna abu-abu gelap dan mengandung karbon sehingga berwarna hitam.

8. Lapisan Batubara B2 (Suban Bawah)

Ketebalan lapisan batubara ini diantara 4,0-5,0 meter.

9. Lapisan antara Batubara B2 dan C

Lapisan ini dicirikan dengan adanya batu pasir, batu lanau dan batu lempung dengan dominan batu lempung dan batu lanau. Butiran halus batu pasir mengandung lapisan glaukonit yang tipis atau berupa lensa-lensa. Ketebalan lapisan berkisar antara 25-40 meter.

10. Lapisan Batubara C (Lapisan Petai)

Merupakan lapisan batubara yang bersih dari lapisan pengotor. Lapisan C tebalnya bervariasi antara 5-9 meter.

11. Lapisan antara Batubara C dan D

Lapisan ini dicirikan dengan adanya batu pasir, batu lanau dan batu lempung dengan dominan batu lempung dan batu lanau. Butiran halus batu pasir mengandung lapisan glaukonit yang tipis atau berupa lensa-lensa. Ketebalan lapisan berkisar antara 96,2 – 134,5 meter.

12. Lapisan Batubara D

Lapisan ini dicirikan dengan adanya butiran halus, *pyrite*, resin, *suggary* pada bagian *top* dan *bottom* batubara dan merupakan lapisan batubara Merapi yang memiliki ketebalan 1,35 – 3 meter.

13. Lapisan antara Batubara D dan E

Lapisan ini dicirikan dengan adanya batu pasir, batu lanau dan batu lempung dengan dominan batu lempung dan batu lanau. Butiran halus batu pasir mengandung lapisan glaukonit yang tipis atau berupa lensa-lensa. Ketebalan lapisan berkisar antara 77,92 – 87 meter.

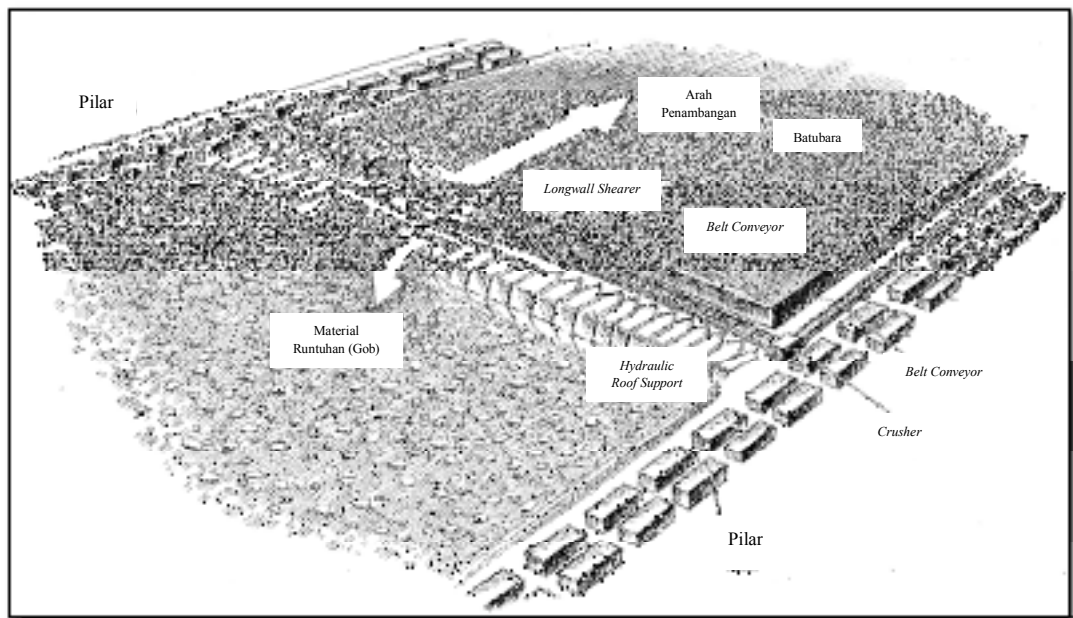
14. Lapisan Batubara E

Lapisan ini dicirikan dengan adanya butiran halus, *pyrite*, resin, *suggary* pada bagian *top* dan *bottom* batubara dan merupakan lapisan batubara Keladi yang memiliki ketebalan 5,58 – 8,20 meter

BAB III TINJAUAN PUSTAKA

3.1. *Longwall Mining*

Longwall mining digunakan untuk penambangan batu bara dengan kemiringan lapisan batubara relatif datar (dip $0^{\circ} - 7^{\circ}$) dan berbentuk tabular. Hal ini memungkinkan untuk penambangan hampir sumber daya dapat diambil. Prinsip *longwall* adalah pada bagian area yang ditambang mengalami keruntuhan (Gambar 3.1). Akses jalan digali di sekitar panel membentuk pilar yang digunakan untuk mendukung lapisan yang berada di atasnya. Jalan-jalan ini terhubung hingga akhir ini disebut *bleeders*. Masuknya panel disebut *headgate* dan keluarnya panel disebut *tailgate*. Lebar panel penambangan yang dapat dibentuk hingga 260 m, dengan panjang panel hingga 2000 m dan ketinggian panel hingga 2,5 m (Wenzel,2012).



Gambar 3.1
Longwall Mining (Arch Coal Inc.,2010)

Selama proses ekstraksi, batubara akan ditambang oleh *longwall shearers* dengan lebar potongan sekitar 0,76-1,07 m (Peng, 2006) dan dilakukan secara kontinyu. *Belt conveyor* digunakan untuk mengangkut batubara yang telah ditambang ke lorong samping. Ketika *shearer* mencapai ujung panel, arah penggalian terbalik dan *shearer* menggali panel berikutnya. Sementara *shearer* bergerak, *roof support* akan maju menuju ke *face* baru dan menyangga atap di atas untuk mencegah keruntuhan. Jarak antara *face* dan ujung kanopi perisai disebut *unsupport distance*. Atap di belakang *face* yang aktif dibiarkan runtuh. Sebagai dampak tersebut terjadi pergerakan strata yang menyebabkan penurunan permukaan. Hal ini juga dapat mempengaruhi aliran air tanah dengan pemisahan *bedding separation* atau *strata breakage*. Masalah tambahan dapat muncul dalam kasus penurunan permukaan (di beberapa daerah penurunan 10 m dan lebih tinggi yang teramati), jika *water level* naik setelah *mine flooding*.

3.1.1. Deformasi Batuan pada Tambang Bawah Tanah

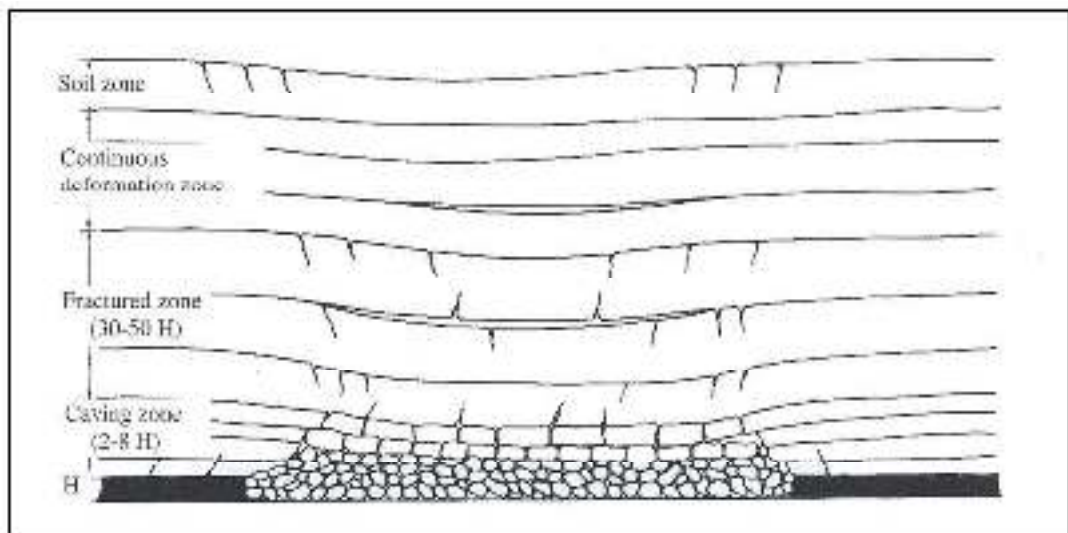
Deformasi batuan bawah tanah termasuk deformasi plastik, elastis dan *disjunctive*. Sepanjang *gate roads disjunctive* deformasi adalah yang paling umum. Proses *caving* pada atap termasuk rekah batuan, disintegrasi dan kebawah. Pada atas atap terdapat tiga zona gangguan di lapisan tanah penutup (Peng & Chiang 1984): *caving zone*, *fractured zone* dan *continuous deformation zone* (Gambar 3.2). Zona gangguan ini berbeda berdasarkan dalam tingkat kerusakan yang diinduksi.

Caving zone adalah daerah dimana *immediate roof* runtuh langsung ke panel. Zona ini memiliki ketebalan dua hingga delapan kali tinggi penambangan. Fraktur dan deformasi mendominasi sebagian besar pada zona ini. Strata dipecah menjadi blok-blok kecil dan tidak beraturan dengan berbagai ukuran. Volume atap yang melengkung biasanya lebih besar dari atap yang utuh. Rasio yang sesuai disebut *bulking factor* K:

$$K = \frac{V_E}{V_0} > 1 \quad (3.1)$$

Dimana V_E adalah volume atap yang jatuh dan V_0 adalah volume dari *intack roof* sebelumnya. Dengan tingginya *bulking factor*, batuan yang tercaving dapat

menyangga atap dan mendistribusi penurunan lebih merata. *Fractured zone* adalah zona dimana kehilangan fraktur intensif dan kemampuan mengikat antar material pada atap. Blok dipisahkan oleh fraktur vertikal dan retakan horizontal disebabkan oleh *bed separation*, yang mengarah pada pembentukan rongga di antara lapisan. *Continuous deformation zone* tidak terjadi patahan, namun pada zona ini terjadi deformasi plastik. Zona ini rongga antara lapisan yang berbeda dapat berkembang. Zona ini mencapai sampai ke permukaan dan dapat dianggap sebagai satu medium kontinyu. Peng et al. (2006) juga memasukan zona tanah yang tipis tepat di bawah permukaan, yang dicirikan oleh batuan yang tidak terkonsolidasi.



Gambar 3.2
Klasifikasi Runtuhan Strata (Peng & Chiang, 1984)

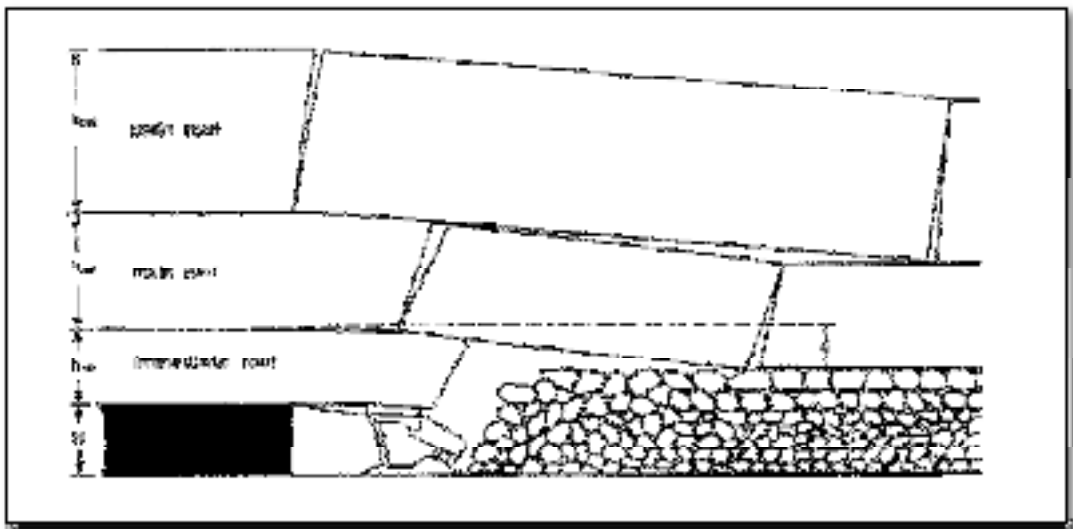
Caving zone juga disebut *immediate roof* memiliki efek terbesar pada kontrol atap pada *face longwall*. Atap tidak dapat mentransmisikan kekuatan horizontal sepanjang arah penambangan, karena mengalami kerusakan, oleh karena itu *powered roof support (PRS)* harus sepenuhnya mendukung beratnya beban atap. (Peng & Chiang, 1984). Ketebalan *immediate roof* tergantung pada berbagai faktor seperti, tinggi penambangan, metode penambangan dan sifat batuan. Perkiraan kasar tinggi dari *immediate roof*, h_{im} (Gambar 3.3) dapat dilihat dengan menggunakan rumus berikut:

$$h_{im} = \frac{H-d}{K-1} \quad (3.2)$$

Dengan h_{im} , ketinggian *immediate roof*, H adalah tinggi pertambangan dan d adalah nilai *settlement* dari *main roof* yang lebih rendah. Koefisien *settlement*, c dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$c = \frac{d}{H} = \frac{h_{im}+H-h_E}{H} \quad (3.3)$$

Di sana h_E adalah ketinggian lapisan awal. *Main roof* mengacu pada bagian bawah *fractured zone* dengan strata yang sedikit rusak tetapi tidak retak. Jacobi (1976) menunjukkan bahwa *caving roof* terjadi dalam siklus periodik. Pada *immediate roof* dan *main roof* terdapat dua fase gerakan overburden yaitu, *first roof weighting interval* dan *periodic roof weighting interval*.



Gambar 3.3

Perhitungan dari tinggi *Immediate Roof* (Peng & Chiang, 1984)

Fase pertama dimulai dengan *immediate roof* runtuh di dalam area yang luas, diikuti oleh kerusakan dan *caving* dari atas *main roof*. Tekanan pada atap maksimum selama waktu ini disebut *first weighting*. *Weighting interval*, L_0 adalah jarak dari *setup entry* ke *first weighting* yang didefinisikan sebagai berikut (Gambar 3.4):

$$L_0 = \sqrt{\frac{2h_m \cdot \sigma_{t.m}}{\gamma_m}} \quad (3.4)$$

$\sigma_{t.m}$ adalah kuat tarik dan γ_m adalah unit weight

Pada fase kedua, lapisan atap hanya didukung oleh dukungan listrik. Pecahnya atap terjadi secara berkala, yang menyebabkan peningkatan dan penurunan tekanan. Ini disebut pembobotan atap periodik.

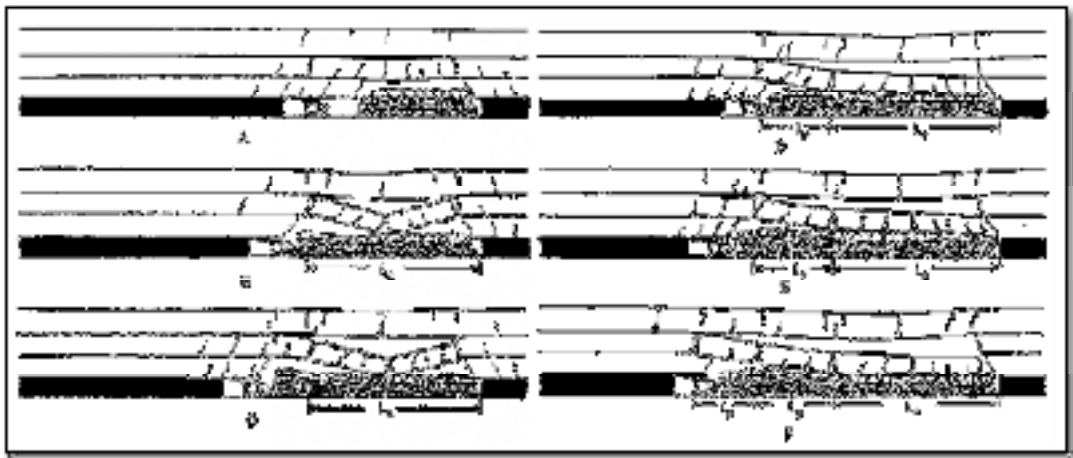
Periodic roof weighting interval dapat dihitung sebagai *periodic weighting resistance*, P_{tm}

$$P_{tm} = c_1 + c_2 \cdot L_p \quad (3.5)$$

Dan perberbedaan beban, Δp :

$$\Delta p = \frac{p \cdot (c_3 \cdot L_p - c_4)}{L_p} \quad (3.6)$$

Dengan beban p , *settlement rate* c_1, \dots, c_4 dan *periodic weighting interval* L_p .



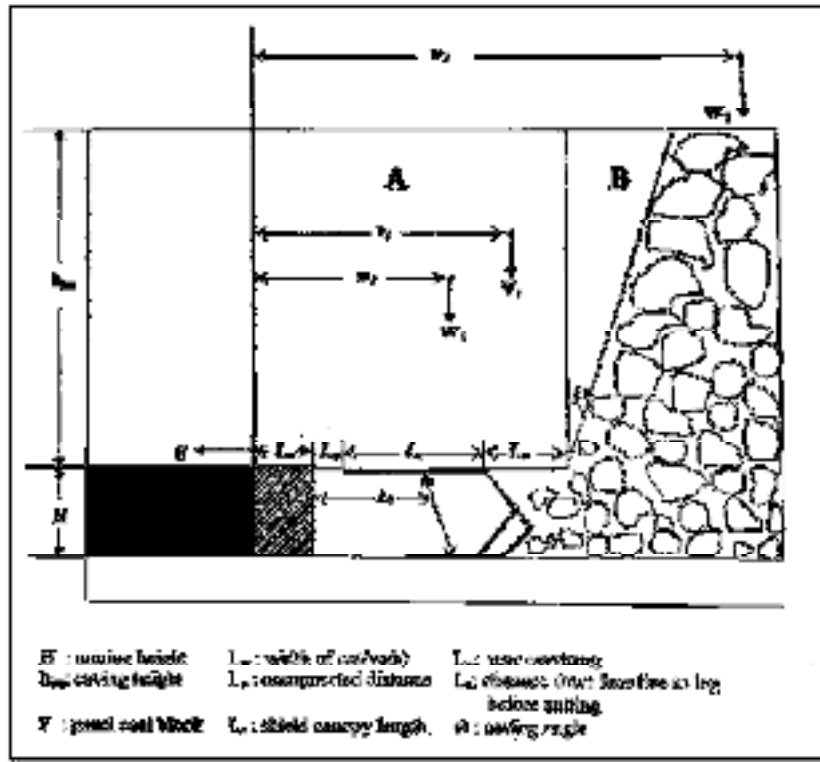
Gambar 3.4

Panjang dari *roof caving* (Peng, 2006). Panjang L_0 adalah *First weighting interval*, L_1 adalah *periodic roof weighting*

Untuk penyangga pada *roof* dengan *shields*, penting untuk mengetahui berat dari atap. Peng (2006) mengembangkan metode sederhana untuk menghitung beban sangga. Panjang, L dan lebar blok atap h_{im} dihitung (Gambar.3.5):

$$L = L_W + L_U + L_C + L_O \quad (3.7)$$

- Keterangan
- L_W = lebar cut
 - L_U = jarak tanpa penyangga
 - L_C = panjang kanopi
 - L_O = rear overhang



Gambar 3.5
Dimensi *mining block* (Peng, 2006).

Untuk *solid* dan *weak roof* dapat perhitungan pembebanan sebagai berikut:

Solid roof

$$W_1 = h_{im} \cdot \gamma \cdot b_s \cdot (L + 0,5 \cdot h_{im} \cdot b_s \cdot \tan\theta) \quad (3.8)$$

$$w_1 = 0,5 \cdot (I_{ges} + h_{im} \cdot \tan\theta) > L_{stempel} \quad (3.9)$$

- Keterangan
- W_1 = berat vertikal
 - w_1 = lebar atap
 - b_s = spasi penyangga
 - I_{ges} = panjang *whole cut*
 - $L_{stempel}$ = panjang kanopi

Weak roof

$$V = W_1 + W_2 \quad (3.10)$$

$$v \cdot V = (w_1 \cdot W_1) + (w_2 \cdot W_2) \quad (3.11)$$

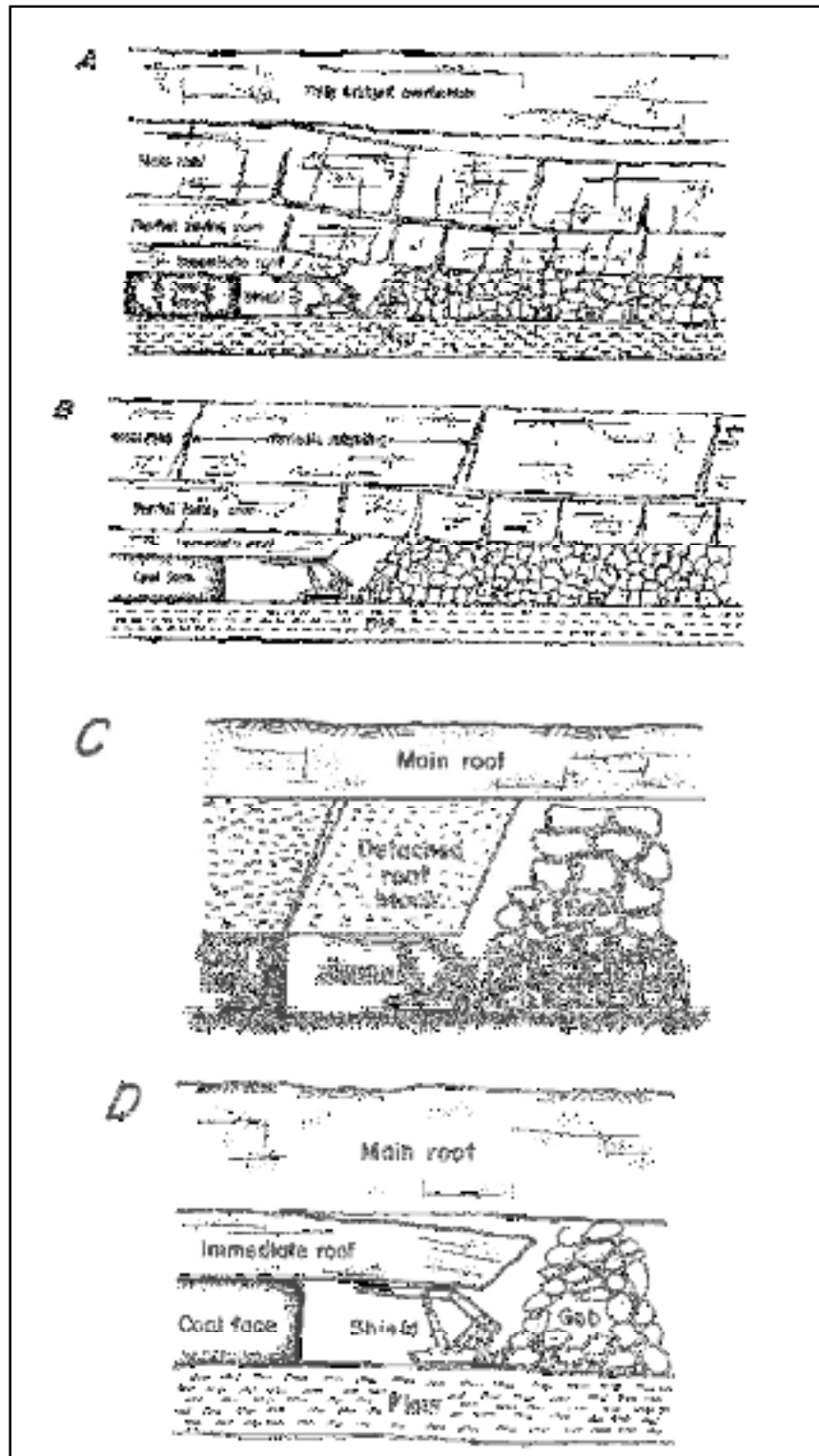
3.1.2. Keruntuhan pada Atap

Keruntuhan pada atap terjadi secara umum apabila *stress* yang terdapat pada atap melebihi kekuatan massa batuan. Jumlah atap yang jatuh berkaitan dengan besarnya tekanan horisontal (Peng, 2008). Nilai kuat tarik batuan menjadi parameter material batuan yang memiliki pengaruh besar. Keruntuhan pada atap cenderung lebih banyak terjadi pada atap yang lemah daripada pada atap yang kuat seperti pada batu pasir. Diskontinuitas dalam massa batuan dapat mengurangi stabilitas. Stabilitas pada atap tergantung pada ketebalan lapisan, dengan atap tebal yang umumnya memiliki stabilitas lebih buruk (Peng, 2008). Atap dengan sifat lebih liat apabila terkena udara ventilasi dan memiliki siklus basah dan kering sangat sensitif terhadap pelapukan dan dapat runtuh dengan cepat. *Stack rock* yang dibuat dari lapisan tipis batu pasir / serpih berpasir yang berselubung dengan bahan karbon tipis yang mudah teruai menjadi pengaruh terhadap banyaknya penurunan pada atap. Barczak (1992) membedakan empat kategori mekanisme keruntuhan atap seperti pada Gambar. 3.6.

3.1.3. *Stress Distribution*

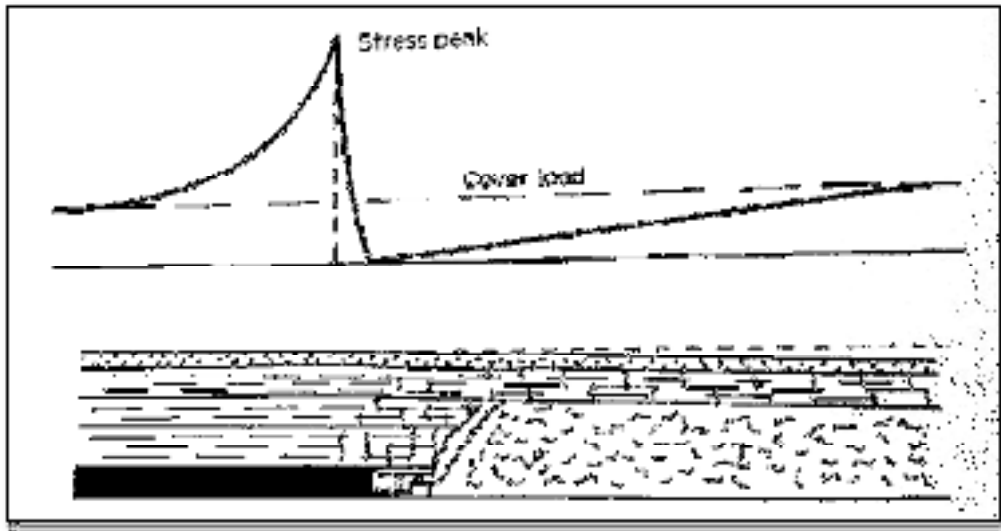
Penambangan bawah tanah secara dramatis mengubah kondisi *insitu stress* di massa batuan. Letak panel dan urutan penambangan mempengaruhi redistribusi tekanan batuan. Juga, *cave* pada strata atap menghasilkan perubahan stres. Redistribusi tegangan ini telah memberi dampak pada stabilitas pada *gate*, pilar dan *drifts*. Umumnya, konsentrasi tegangan vertikal meningkat dengan panel yang lebih panjang, juga mengubah tegangan horisontal.

Gambar 3.7 menunjukkan distribusi tegangan sepanjang panel longwall. Mendekati *face* (dari kiri ke kanan), stress meningkat sangat cepat. Beberapa meter didepan *face*, puncak abutment tercapai. Baik pada *face* maupun pada *rib*, tekanan vertikal adalah nol. Dengan bertambahnya jarak dari wajah tersebut tingkat stress kembali untuk menutupi beban.



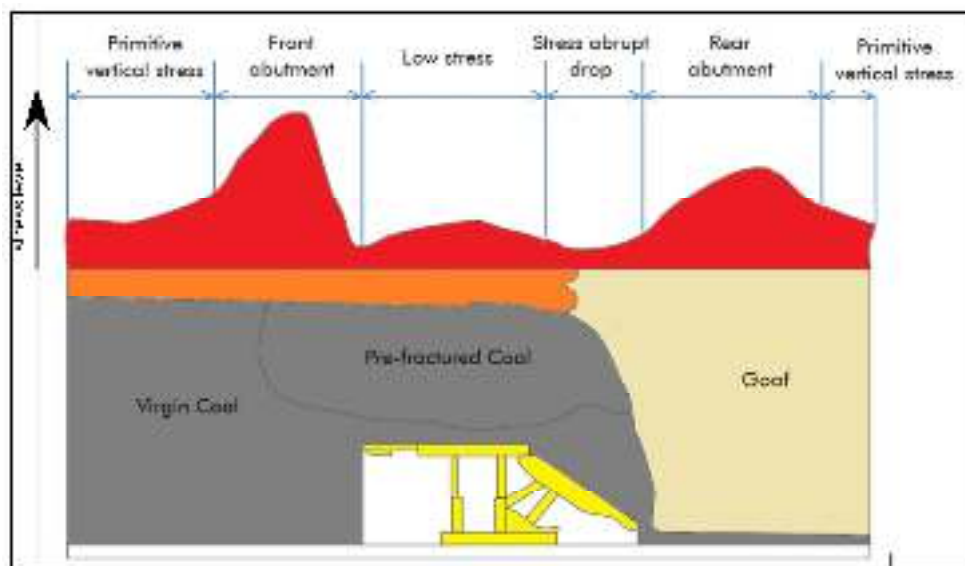
Gambar 3.6

Jenis keruntuhan pada atap. (A) *main roof convergence* (B) *periodic weighting* (C) *detached immediate roof* (D) *deflection of immediate roof* (Barczak, 1992).



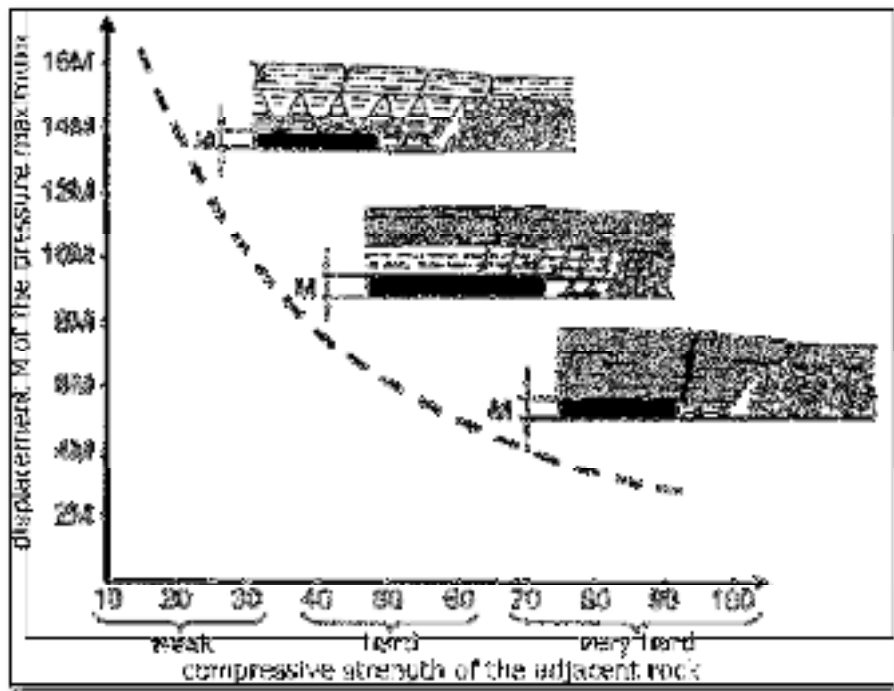
Gambar 3.7
Distribusi tegangan vertikal pada panel *longwall* dari *stope* to *gob* (Hudson, 1995).

Distribusi tegangan yang lebih jelas ditunjukkan pada Gambar 3.8 bersama dengan spesifikasi tipe tegangan yang berbeda. Di zona yang tidak terpengaruh yang disebut *virgin coal* dan dibelakang *gob* tegangan vertikal mendekati keadaan awal. Dibelakang *face* stress mencapai maksimum hampir mendekati nol pada *face*. Penurunan tegangan lainnya muncul di awal *gob*.



Gambar 3.8
Berbagai jenis stress pada atap (Alehossein & Poulsen, 2010).

Posisi tekanan maksimum tergantung pada kekerasan batu (*stiffness* dan *strength*), seperti ditunjukkan pada Gambar 3.9. Untuk batu yang sangat keras, tekanan maksimum adalah terletak pada 3 x M hingga 6 x M di depan *face*. Untuk lokasi batuan lemah maksimal bisa sampai 15 x M.



Gambar 3.9

Redistribusi tekanan maksimum pada kekerasan batuan (Juncker et al, 2006).

3.2. Desain Pilar Batubara

Pilar batubara adalah batubara yang ditinggalkan (tidak ditambang) untuk menyangga lapisan penutup (*overburden*) dan menjaga keberadaan lubang bukaan. Karena fungsinya sebagai penyangga, keruntuhan pilar sangat berperan pada masalah kestabilan lubang bukaan. Proses merancang pillar termasuk menentukan ukuran pillar sesuai dengan beban yang disangganya. Secara konseptual, lapisan batubara yang lebih memiliki sifat lebih lunak yang berada diantara atap dan lantai yang relatif lebih kuat yang terbebani oleh beban *overburden* dan *stress* terdistribusi merata di

3.2.1. Pembebanan Pilar

Pembebanan yang terdapat pada *longwall* dibagi menjadi dua bagian. Yaitu *development loads* yang terdapat sebelum dilakukan penambangan dan

abutment loads dimana terjadi selama proses penambangan pada panel. *Development loads* juga sama terdapat pada pembebanan pada *room and pillar* dan dikarenakan *abutment loads* terjadi pada saat penambangan (*retreat mining*) sehingga sulit untuk dipresiksi.

$$\frac{P}{W_p^2} = \frac{(W_o + W_p)^2 \gamma h}{W_p^2} \quad (3.12)$$

$$\sigma_a = \left(1 + \frac{W_o}{W_p}\right)^2 \sigma_v \quad (3.13)$$

Keterangan. $\sigma_a = P/W_p^2$: rata-rata pilar stress
 P : total beban pilar
 W_p dan W_o : lebar pilar dan *room*
 $\sigma_v = \gamma h$: tegangan vertikal
 γ : bobot isi batuan
 h : kedalaman dari permukaan

demikian pula untuk pilar berbentuk persegi panjang,

$$\frac{P}{L_p W_p} = \frac{(L_p + W_o)(W_p + W_o) \gamma h}{W_p L_p} \quad (3.14)$$

$$\sigma_a = \left(1 + \frac{W_o}{L_p}\right) \left(1 + \frac{W_o}{W_p}\right) \sigma_v \quad (3.15)$$

Keterangan. L_p dan W_p : panjang dan lebar pilar
 W_o : lebar *room*

Pillar Loading pada pilar persegi, P , ketika $W \geq 2 h \tan \delta_0$, dimana W merupakan lebar panel dan W_o merupakan lebar masukan adalah :

$$P = \gamma h \left(W_p + \frac{W_o}{2} + \frac{h \tan \delta_0}{2}\right) (W_p + W_o) \quad (3.16)$$

Ketika $W \leq 2 h \tan \delta_0$

$$P = \gamma \left[h \left(W_p + \frac{W_o}{2}\right) + \frac{W}{4} \left(2h - \frac{W}{2 \tan \delta_0}\right) \right] (W_p + W_o) \quad (3.17)$$

Persamaan 3.5 dan 3.6 dapat diterapkan pada kondisi pilar berada disalah satu sisi gob.

3.2.2. Development Loads

Development loads disebabkan oleh beban *overburden* yang berada tepat diatas pilar dan *entry*. *Tributary area theory* sering digunakan untuk menghitung

beban pilar pada *room and pillar* namun digunakan juga untuk menghitung *development loads* (Wilson, 1972; King and Whittaker, 1971). Penerapan teori *tributary area* untuk *development load* per satuan panjang dari *gate entry* adalah :

$$L_t = (H)(W_t)(\gamma) \quad (3.18)$$

Keterangan. H = kedalaman *overburden*
 Wt = lebar *center-to-center* dari pilar *gate*
 = $(\Sigma W) + (n-1)W_e$
 n = jumlah *gate entriy*
 ΣW = hasil penjumlahan lebar tiap pilar
 W_e = lebar *gate entri*
 γ = rata-rata bobot isi *overburden*

Teori *Tributary area* secara jelas mengasumsikan bahwa daerah yang diekstaksi sangat besar, dan beban pilar dapat dihitung tanpa melihat kondisi batas yang dekat dengan tepi pilar (Salamon, 1974). Pada *gate longwall*, faktor lain yang mempengaruhi besarnya beban pilar antara lain:

1. Lebar pada *gate entry*
2. Besar kekakuan relatif pada atap, pilar dan lantai
3. Besar tegangan horisontal
4. Kestabilan pilar pada bagian bawah akibat rasio penggalian yang tinggi

Berbagai peneliti yang telah dilakukan untuk mendapatkan perkiraan dari *development load* dengan menggunakan pendekatan berdasarkan teori elastisitas (Salamon dan Ovarcz, 1970; Coates, 1981; Belesky, 1981). Para peneliti sepakat bahwa teori *tributary area* merupakan nilai pesimistis dari beban pilar yaitu sebanyak 40% dari beberapa pilar dengan ratio ekstraksi yang tinggi (Salamon, 1974). Pada rasio ekstraksi rendah seperti pada bagian *longwall development*, ada beberapa hasil yang menyebutkan bahwa prediksi *development load* menggunakan teori *tributary area* tidak berbeda secara signifikan dengan pendekatan berdasarkan teori elastisitas (Coates, 1981). Untuk memprediksi beban pilar berdasarkan metode elastisitas pada atap dan lantai bahwa diasumsikan homogen dan memiliki kekakuan yang sama. Dalam kondisi aktual, atap dan lantai memiliki sifat yang sangat berbeda dan terdiri dari beberapa

lapisan. Sedangkan untuk memprediksi *developmen load* lebih baik dilakukan permodelan secara numerik.

3.2.3. *Abutments Loads*

Abutment loads merupakan komponen kedua yang harus diperhatikan dalam beban pilar pada *longwall*. *Abutmen loads* muncul pada saat kegiatan penambangan berlangsung dan terjadi akibat sebagian beban dari *overburden* yang disangga oleh batubara di panel yang digali berpindah ke pilar. Terjadinya *abutment loads* pada kegiatan penambangan dikarenakan juga adanya pengaruh sebagian besar variabel geometrik dan geologi seperti pada Tabel 3.1 dan variabel ini sangat penting dalam mendesain maupun memprediksi *abutment load* pada pilar *longwall*.

Tabel 3.1.
Faktor geometrik dan geologi yang mempengaruhi pada penambangan *longwall*

Geometrik	Geologi
1. Kedalaman area kerja	1. Kekuatan batuan pada atap
2. Tinggi penggalian	2. Ketebalan batuan pada atap
3. Lebar panel	3. Stratigrafi pada atap
4. Ukuran <i>chain pillar</i>	4. Kekuatan batubara
	5. Kekuatan lantai
	6. Diskontinyu pada atap
	7. Major diskontinyu (patahan)
	8. Kekuatan insitu

Abutment load pertama kali dideteksi pada jarak kedalaman *overburden* dari *face* (Peng dan Chiang, 1984), dan dapat terus berkembang sampai *face* berada pada jarak yang sama. Dari sudut pandang pada desain pilar *longwall*, *abutment load* paling kritis terjadi pada akhir *face*. Oleh karena itu dapat kita definisikan *front abutment (Lp)* sebagai *abutment load* bila jarak *face* adalah nol ($F_d=0$). Sedangkan maksimum *abutment load* yang terdapat setelah *face* dalam waktu yang lama dapat didefinisikan sebagai *side abutment (Ls)*.

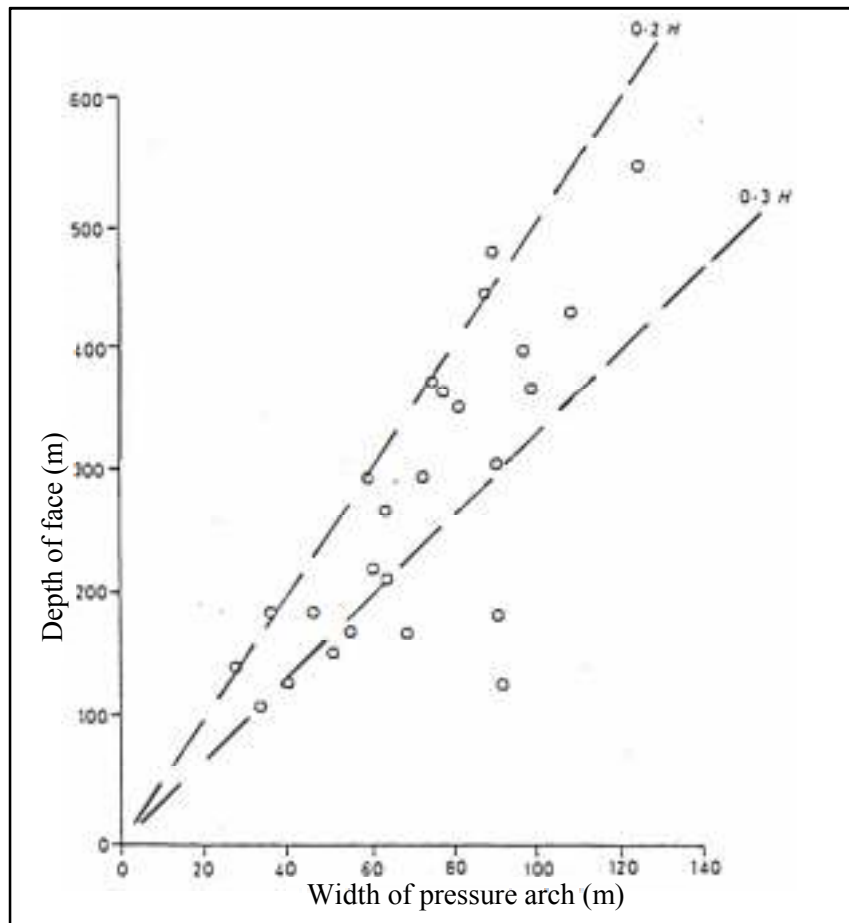
Side abutment lebih mudah untuk dianalisis daripada *front abutment*, karena dapat dihitung dalam dua dimensi. Beberapa pendekatan telah dikembangkan untuk memperkirakan besarnya nilai *side abutment*. Salah satu pendekatan dilakukan oleh Wilson (1972) dilakukan di Inggris dengan konsep “*stress balance*”. Konsep tersebut menyebutkan bahwa total beban vertikal akibat *overburden* harus tetap ada dan konstan. Setiap “*stress deficiency*” dalam hasil ekstraksi harus diambil oleh pilar dengan menggunakan konvergensi jalan yang diukur didekat daerah ekstraksi dan mempelajari pepadatan pada batuan yang telah terbongkar. Wilson menyimpulkan bahwa beban yang dibawa oleh batuan atap meningkat secara linier, dari nol pada *rib* ke beban *cover load*. Wilson juga menghitung dari studi lebar tekanan lengkung maksimum (Gambar 3.10) bahwa jarak yang dibutuhkan dari *gob stress* untuk kembali ke *cover load* adalah $0,3H$. Untuk lebar panel kurang dari $0,6H$ (*subcritical panel*), *gob stress* tidak akan kembali ke *cover load* namun kenaikan tegangan linier tetap akan terjadi. Penurunan beban pada *gob* per kaki *entry* dapat ditunjukkan pada Gambar 3.11 dan Gambar 3.12 dan dapat dinyatakan sebagai:

$$L_s = 0,15 \gamma H^2 \quad (3.19)$$

$$L_{ss} = \frac{1}{2} P\gamma \left(H - \frac{P}{1,2} \right) \quad (3.20)$$

Keterangan. L_s = *side abutment* per satuan panjang *gate entry* untuk subkritikal dan superkritikal panel
 L_{ss} = *side abutment* per satuan panjang *gate entry* untuk panel subkritikal
 P = lebar panel

Wilson mengemukakan bahwa perkiraan kenaikan tegangan dalam sisa ekstraksi akan terjadi tergantung pada jenis lengkung *subsidence*. Menjembatani strata kuat yang berada didekat kedalaman yang bekerja atau kuat periodik dapat menghasilkan tekanan pilar yang jauh lebih tinggi. Berdasarkan Gambar 3.10 bahwa Wilson mencatat lengkungan yang telah diamati melampaui $0,3 H$ kurang dari 200 m (600 ft), menunjukkan bahwa beban pilar yang relatif lebih besar dapat ditemukan pada kedalaman yang dangkal.



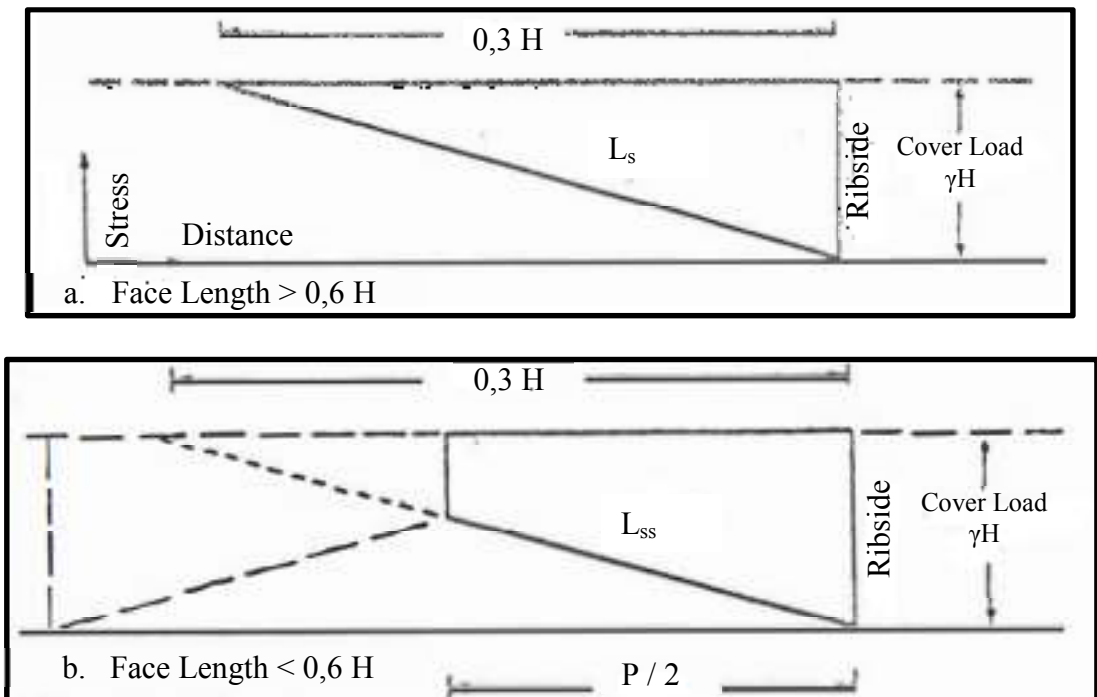
Gambar 3.10

Lebar Maksimum Tekanan Lengkung pada Tambang Inggris (Wilson, 1972)

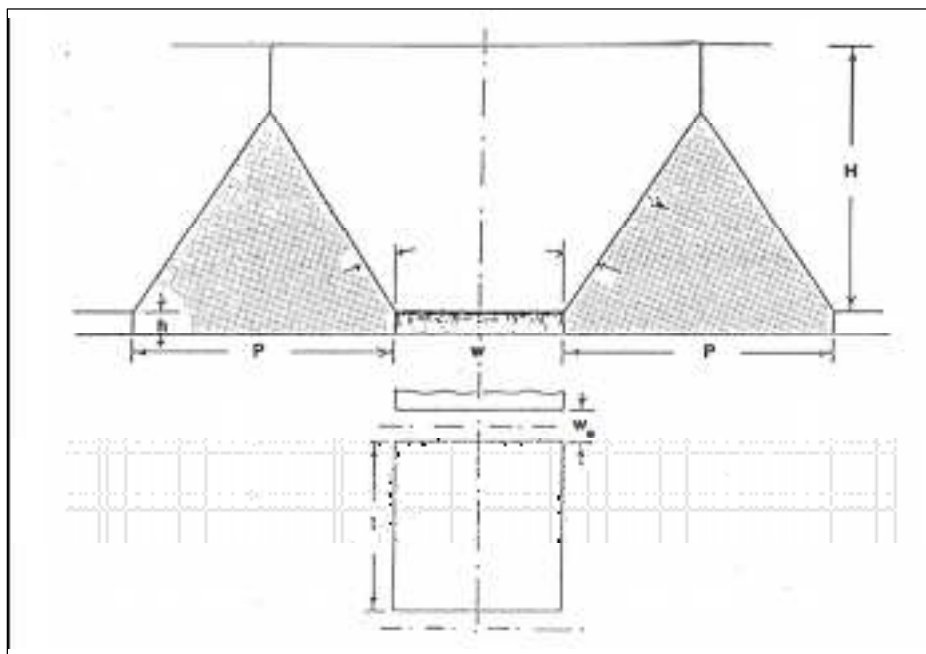
Panel kritis dan subkritis, *abutment loads* dinyatakan dengan segitiga yang dibentuk oleh diagonal geser dan besarnya *side abutment* sebagai:

$$L_s = H^2(\tan \beta)(\gamma/2) \quad (3.21)$$

King menuliskan bahwa untuk kedua kondisi tersebut β sama dengan sudut yang terbentuk atau sekitar 31° untuk kondisi di Inggris sebagai koreksi untuk menyamakan sudut yang terbentuk yang sering sulit ditentukan nilai sudut geseknya. Meski dikembangkan dengan menggunakan konsep yang berbeda, pendekatan yang dilakukan King untuk memperkirakan beban pilar *longwall* sebenarnya hampir sama dengan yang digunakan oleh Wilson (1972).



Gambar 3.11
Distribusi Tegangan dan Penurunan Beban pada *Gob* (Wilson, 1972)



Gambar 3.12
Beban pada Pilar *Longwall* (Whittaker, 1983)

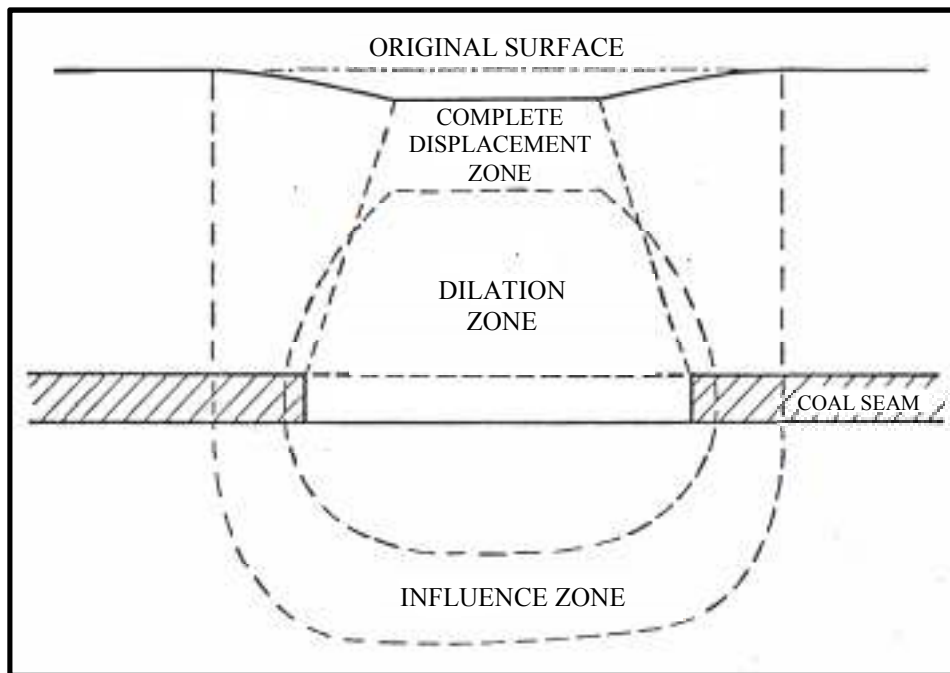
King menggunakan konsep *stress balance* mengasumsikan bahwa beban *overburden* awal dibagi antara pilar dan *gob*. Meskipun tidak mengatasi distribusi

tegangan di *gob* secara langsung, pendekatan ini menjelaskan tegangan linier naik dan kembali ke *cover load* pada jarak $H \tan\beta$. Perbedaan yang paling penting antara kedua pendekatan tersebut terletak pada saat pengaplikasian. Wilson berasumsi bahwa *gob stress* kembali ke *cover load* pada $0,3H$ dengan $\beta = 16,7^\circ$, yang dapat diartikan bahwa besarnya sudut *side abutment* lebih kecil daripada King $\beta = 31^\circ$.

Pendekatan King dimodifikasi di Amerika oleh Choi dan McCain (1980) dengan mendefinisikan zona perpindahan (Gambar 3.13) dimana tidak ada pergerakan batuan lebih lanjut (*subsidence*) terjadi ketika panel yang berdekatan dengan ditambang. Hal ini dikarenakan zona perpindahan terletak pada *gob*, tekanan *side abutment* pada pilar diinduksi oleh penambahan berat area yang keluar di luar zona perpindahan. Zona perpindahan dibentuk oleh sudut tarik negatif yang setara dengan sudut gesek pada King. Choi dan McCain menunjukkan adanya penurunan aktual yang mengindikasikan bahwa $\beta = 18^\circ$ untuk seam Pittsburgh. Oleh karena itu secara kuantitatif metode mereka menghasilkan estimasi *abutment load* yang sama dengan metode Wilson. Meskipun tidak diragukan adanya hubungan antara *subsidence* dan *abutment load* (Heasley dan Saperstain, 1968), hubungan tersebut tidak mudah ditentukan seperti yang dijelaskan dengan istilah sudut tarik negatif. β yang berbeda tidak bisa secara positif diidentifikasi dari data *subsidence* dari Old Ben Coal atau Kitt Mine (Heasley, 1987), bahkan *subsidence* lain yang diperoleh dari Pittsburgh (Adamek dan Jeran, 1985).

Oleh karena itu sudut tarik negatif seperti sudut gesek mungkin bukan merupakan hasil pengukuran fisik dari *gob*. Namun demikian, konsep sudut *abutment* β dapat berguna ketika melakukan desain. Sudut pada *abutment* bukan dianggap sebagai fisik pada kondisi aktual, tetapi sebagai perkiraan yang mendefinisikan *side abutment* pada persamaan (3.4) dan (3.5). Maka perlukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan nilai β yang sesuai. Besaran *front abutment* lebih sulit ditentukan secara analitik. Perpindahan beban pada ujung *face* adalah masalah tiga dimensi, karena beban *overburden* dibagi antara pilar dan *gob*. Sementara permodelan elemen hingga tiga dimensi telah dilakukan

untuk menganalisa hal ini (Hsuing dan Peng, 1985) yang sifat mekanik batubara dan *gob* bisa sangat sulit ditentukan sehingga pengukuran lapangan harus disediakan sebagai pendekatan alternatif.



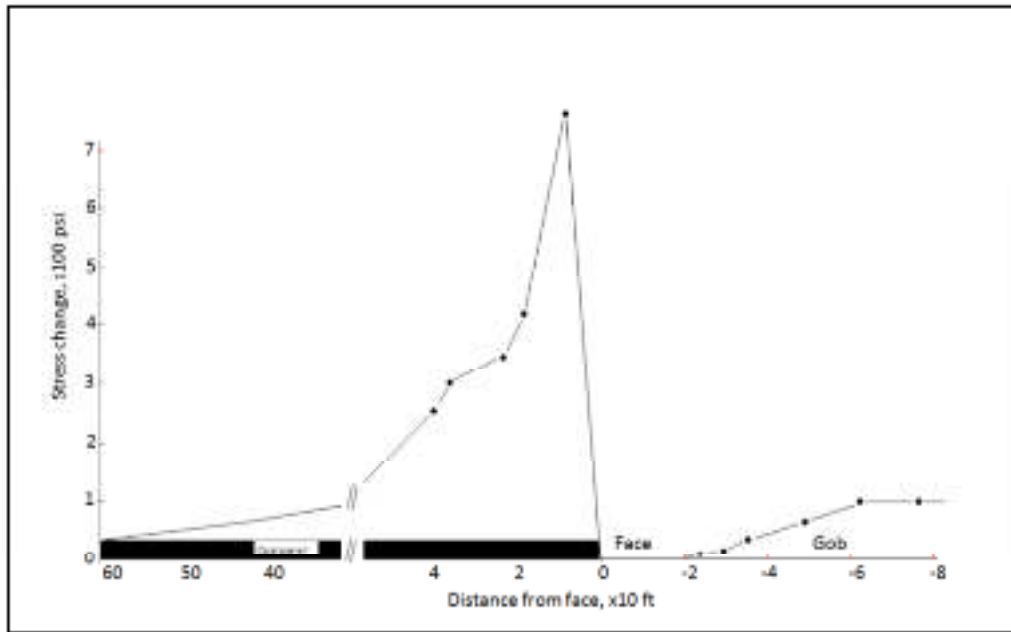
Gambar 3.13

Zona Perpindahan *Overburden* pada *Longwall* (Choi dan McCain,1980)

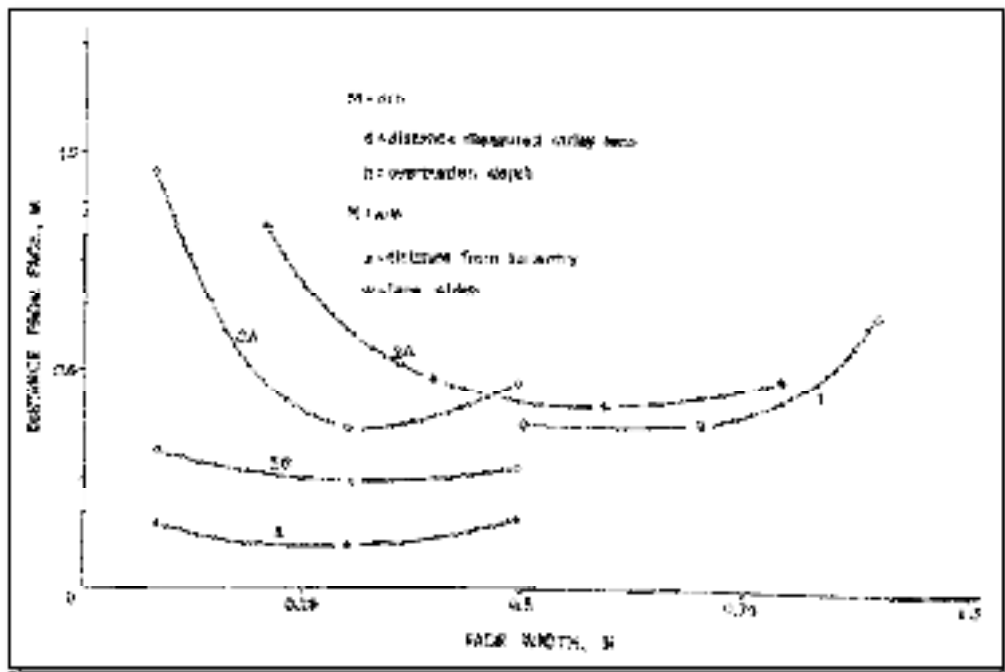
a. Front Abutment Pressure

Tergantung pada kondisi penambangan, *front abutment pressure* dapat dideteksi pada jarak satu kali kedalaman lapisan penutup jauh dari *face* dan besaran tekanan sangat kecil. Tekanan mulai meningkat dengan cepat ketika mendekati *face* kedalam 100ft (30m) dan mencapai maksimum ketika menjauhi *face* 3 – 20 ft. Setelah itu tekanan menurun drastis dan menghilang didepan *face* (Gambar 3.14). Lebar dari *front abutment* tidak hanya tergantung pada kedalaman *overburden* tetapi juga pada posisi sepanjang *face*. Secara umum, peningkatan *front abutment pressure* maksimum berkisar antara $0,2 - 6,4 \sigma_0$ (dimana σ_0 adalah rata-rata tekanan *overburden insitu*) tergantung pada kondisi geologi, lokasi *face* dengan memperhatikan *periodic roof weighting* dan *setup entry*, serta daerah *mined-out*. Jika terdapat panel *mined-out* yang saling

berdekatan, *front abutment pressure* maksimum berada pada sisi tersebut atau pada daerah persimpangan *tailentry*.



Gambar 3.14
Front Abutment Pressure vs Face distance (Peng, 1984)



Gambar 3.15
Lebar Front Abutment Pressure (Peng, 1984)

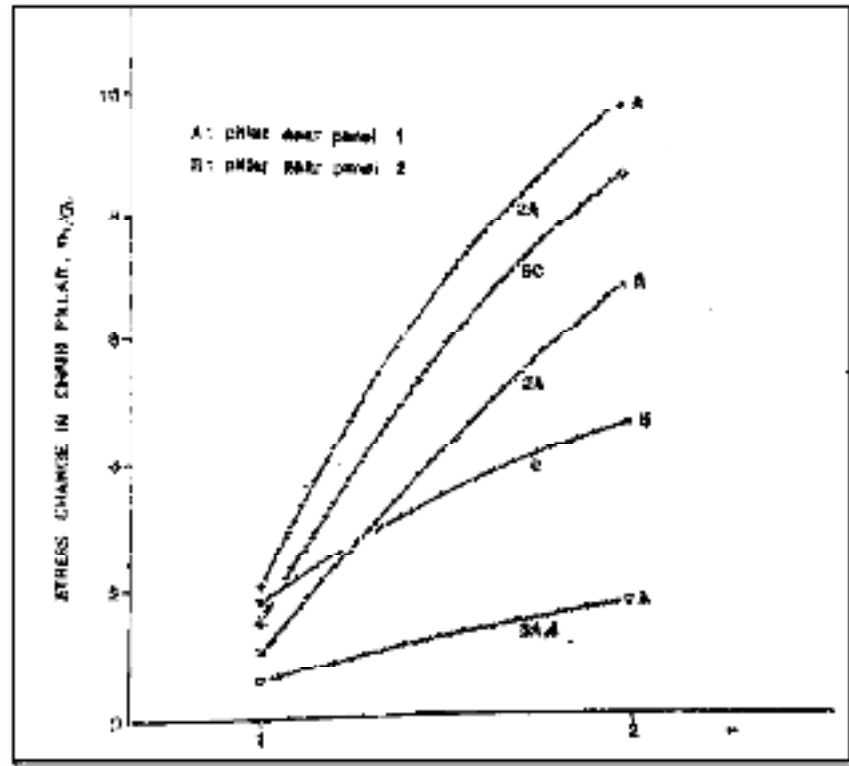
b. Side Abutment Pressure

Perubahan *side abutment* dapat dilihat pada *rib* dari *headentry* pada waktu yang sama dengan *front abutment*. Saat *face* bergerak lebih jauh, *side abutment* secara bertahap menumpuk dan memanjang dari *rib*. Pengembangan proses *side abutment* pada *rib* dapat diklasifikasikan menjadi dua tipe berdasarkan penumpukan tekanan dan lokasi *face*. Tipe pertama adalah bahwa *side pressure* pada *rib* telah mencapai nilai maksimum sebelum mendekati *face*. Setelah melalui *face*, *side abutment* pada pilar berubah sementara dan mengalami peningkatan pada pilar berikutnya. Tipe kedua justru sebaliknya hanya mengalami sedikit peningkatan *side abutment* pada mendekati *face*.

Kedua tipe dari *side abutment* ini bergantung dari lebar panel, kondisi geologi dan propertis batubara. *Side abutment* pada *rib* dari *headentry* dan *tailentry* harus lebih kecil untuk kemudahan pemeliharaan. Besarnya perubahan *side abutment* pada pilar berkisar antara $0,4 - 3,5 \sigma_0$ tergantung pada lokasi pilar. Meskipun ada kemungkinan bahwa *side abutment* pada *rib* mencapai maksimum sebelum mendekati *face*, *side abutment* terus melebar keluar dari panel aktif sampai *face* menjauh. Untuk menentukan bahwa *side abutment* (zona pengaruh) meningkat dengan kedalaman *overburden* dapat dihitung dengan persamaan :

$$W_s = 9,3\sqrt{h} \quad (3.22)$$

W_s adalah lebar *side abutment* (zona pengaruh) dalam ft dan h kedalaman *overburden* dalam ft. Tergantung pada lebar total pilar dan zona pengaruh pada *side abutment*, perubahan tegangan dalam pilar ketika *face* panel dapat mencapai hingga tujuh kali dari panel panel pertama ketika sedang berlangsung proses penambangan. Besarnya karena penambangan panel kedua berkisar dari 1,6 hingga $10 \sigma_0$ dibandingkan dengan $0,4-3,5 \sigma_0$ karena panel pertama (Gambar 3.16)



Gambar 3.16

Variasi rata-rata tegangan pilar pada panel penambangan (Peng, 1984)

c. GOB Pressure

Ketika batuan pada atap pada gob, berat dari fragmen *caving* membentuk *gob pressure*. Ketika fragmen *caving* terus menumpuk maka *gob pressure* akan tertumpuk pula. Pada jarak tertentu pada gob, fragmen *caving* mulai mengambil beban dari lapisan yang berada diatas. *Gob pressure* maksimum adalah berat *overburden* yang terjadi ketika gob menahan beban penuh dari beban *overburden*. *Gob pressure* mencapai beban *overburden* bergantung pada lebar panel. Jika panel terlalu sempit, lapisan atas yang tidak rusak akan dijembatani oleh *side abutment* sehingga *gob pressure* lebih atau kurang dari berat *caving*. Pada Gambar 3.14 menunjukkan *gob pressure* yang diukur sepanjang penampang sekitar 35 ft (11m) dari *rib headentry* dengan lebar panel 150 ft (46m).

3.3. Kriteria Keruntuhan

Keruntuhan *roof* pada umumnya disebabkan karena hilangnya daya dukung yang menyebabkan suatu atap jatuh. Hal ini disebabkan oleh retakan dan gangguan geologi lainnya yang terdapat pada overburden. Retakan ini merupakan penyebab utama terjadinya atap jatuh dan *sinkholes*. Selain itu, keruntuhan dari satu pilar dapat mendistribusikan beban ke sekitar pilar dan dapat menyebabkan keruntuhan pilar secara progresif (tiba-tiba atau bertahap) atau terjadinya perpindahan berlebihan di daerah yang relatif besar.

Pillar failure terjadi ketika beban pada pilar lebih dari kekuatan pilar. Penumpasan dari pilar terjadi karena peningkatan beban yang ada, oksidasi kimia batubara, tambang kebakaran, dan air yang masuk dalam tambang dengan jumlah yang berlebih. Selain kekuatan pilar, pilar lebar dengan tinggi ratio (w / h) juga penting (Mark, 2006). Untuk pilar *Slender* ($w/h < 4$), hasil keruntuhan yang terjadi sering mendekati dengan nilai dari kapasitas beban, terkadang tiba-tiba maupun langsung runtuh. Pilar dengan w/h antara sekitar 4 dan 10 sebagian besar elastis dengan kemungkinan bersifat palstis pada bagian inti, dan keruntuhan cenderung terjadi secara bertahap dengan keruntuhan pada kekuatan sisa bernilai konstan. Kerusakan pilar terjadi sampai pilar tersebut telah mengeluarkan cukup beban untuk menghentikan proses keruntuhan. Pilar dengan w/h lebih besar dari 10 (dikenal dengan "*squat*") memiliki inti yang bersifat plastik dan terjadi regangan yang bernilai signifikan setelah kehilangan kekuatan awal karena terjadinya keruntuhan atau *yield* dari bagian elastis pada luar pilar. Setelah kerusakan awal ini, pilar memperoleh kekuatan karena faktor kerusakan tersebut. Implikasi untuk struktur permukaan pada keruntuhan dari *slender* pilar dengan selubung yang lebih pendek dan jauh lebih signifikan dibandingkan dengan keruntuhan pada *squat pillar* pada kedalaman yang lebih besar. Berbeda formula untuk menganalisis kekuatan pilar telah dikembangkan, dan program komputer untuk melakukan analisis pilar yang tersedia.

Formula untuk kestabilan pilar dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu analitis dan empiris. Formula analitis melibatkan pengujian dengan menggunakan bahan yang telah dikembangkan, pemahaman dari pembebanan dasar berbagai

kondisi, dan faktor keamanan sekitar 2 berdasarkan pengetahuan dan pemahaman untuk semua variabel. Salah satu model analitis pertama kali dikembangkan untuk memperkirakan kekuatan pilar, adalah Pendekatan Wilson, yang dapat langsung dihitung, sehingga membuatnya lebih fleksibel dan disesuaikan dengan kondisi yang sebenarnya dibandingkan dengan persamaan empiris lainnya. Hal ini dapat digunakan untuk memperkirakan distribusi tegangan dari tepi pilar ke pusat berdasarkan terbatas Teori inti (Wilson dan Ashwin, 1972). Persamaan Wilson menggunakan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb untuk pemodelan batubara dan batuan disekitarnya. Namun, pada penahanan yang tinggi (perbandingan tinggi w/h) kekuatan batubara tidak linier dengan hasil yang terlalu optimistis pada kekuatan pilar. Scovazzo (1995) yang dimodifikasi persamaan Wilson untuk menggabungkan batubara dan batuan yang lebih tepat.

3.3.1. Kriteria Keruntuhan Batuan

Kriteria runtuh (*failure*) batuan ditentukan berdasarkan hasil percobaan atau eksperimentasi. Ekspresi dari kriteria ini mengandung satu atau lebih parameter sifat mekanik dari batuan dan menjadi sederhana jika dihitung dalam 2 dimensi, dengan asumsi regangan bidang (*plane strain*) atau tegangan bidang (*plane stress*).

Pada tegangan bidang, dua tegangan prinsipal (*principal stresses*) saja yang berpengaruh karena satu tegangan utama sama dengan nol. Pada regangan bidang, jika kondisinya seperti demikian $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, maka tegangan prinsipal menengah (*intermediate principal stress*) σ_2 merupakan fungsi dari dua tegangan utama lainnya atau kriteria runtuh hanya berfungsi pada dua tegangan utama tersebut (σ_1 dan σ_3).

3.3.2. Kriteria Runtuhan Mohr-Coulomb

Untuk mempermudah perhitungan didalam mekanika batuan maka selubung Mohr dianggap sebagai garis lurus dan persamaannya dinyatakan sebagai kriteria Mohr-Coulomb yang didefinisikan seperti persamaan $\tau = c + \sigma_n \tan \phi$ dan ditulis sebagai berikut.

$$\tau = C + \mu\sigma \quad (3.23)$$

- Keterangan τ = Tegangan geser
 σ_n = Tegangan normal
 C = Kohesi
 μ = Koefisien gesek dalam dari batuan = $\tan\phi$

Misalkan , σ_1 dan σ_3 masing-masing adalah tegangan-tegnagn utama maksimum dan minimum, maka kriteria Mohr-Coulomb dapat ditulis sebagai berikut.

$$\sigma_1\{(1 + \mu^2)^{0,5} - \mu\} - \sigma_3\{(1 + \mu^2)^{0,5} + \mu\} = 2C \quad (3.24)$$

Dari persamaan (3.93) dapat disimpulkan bahwa batuan runtuh terjadi pada dua bidang kondisi tegangan yang berbeda (Gambar 3.17).

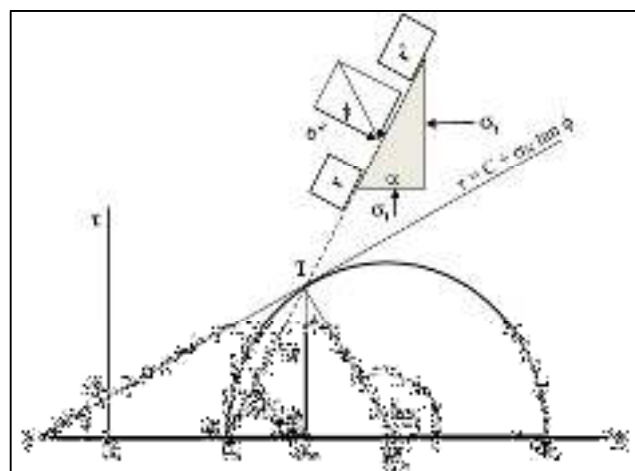
- Keterangan r-r = Bidang runtuh
 $\sigma_1 - \sigma_3$ = Diameter Lingkaran Mohr-Coulomb
 $\tau = S$ = kuat geser
t-t = Garis kuat geser Mohr-Coulomb

Tegangan normal pada bidang runtuh r-r adalah

$$\sigma_n = 1/2 (\sigma_1 + \sigma_3) + 1/2 (\sigma_1 - \sigma_3) \cos 2\alpha \quad (3.25)$$

Dan tegnagn geser pada bidang runtuh r-r' adalah

$$\tau = 1/2 (\sigma_1 - \sigma_3) \sin 2\alpha \quad (3.26)$$



Gambar 3.17
Kriteria runtuh Mohr-Coulomb (Astawa Rai,2010)

3.3.3. Kriteria Runtuhan Hoek-Brown

Hoek-Brown (1980) mengemukakan suatu metode yang digunakan untuk memperkirakan kekuatan massa batuan yang terkekarkan. Kriteria runtuh ini merupakan hasil penelitian mengenai mekanisme pecahan batuan utuh dan perilaku massa batuan yang terkekarkan. Hoek-Brown (2002) mengusulkan kriteria empirik keruntuhan massa batuan dengan persamaan sebagai berikut,

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s \right)^a \quad (3.27)$$

Keterangan σ_1 = Tegangan utama mayor
 σ_3 = Tegangan utama minor
 σ_c = Kuat tekan uniaksial
 a = Konstanta karakteristik massa batuan
 m dan s = konstanta massa batuan

konstanta massa batuan $m = 1$ dan $s = 1$ untuk batuan utuh, $m < m_i$ dan $0 \leq s < 1$ untuk batuan terkekarkan. Tegangan normal dan geser dihubungkan dengan tegangan utama sehingga menghasilkan persamaan yang dipublikasikan Balmer (1952) sebagai berikut

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cdot \frac{\frac{d\sigma_1}{d\sigma_3 - 1}}{\frac{d\sigma_1}{d\sigma_3 + 1}} \quad (3.28)$$

$$\tau = (\sigma_1 - \sigma_3) \frac{\sqrt{\frac{d\sigma_3}{d\sigma_1}}}{\frac{d\sigma_3}{d\sigma_1 + 1}} \quad (3.29)$$

$$\frac{d\sigma_1}{d\sigma_3} = 1 + am_b \left(\frac{m_b \sigma_3}{\sigma_{c1} + s} \right)^{a-1} \quad (3.30)$$

Rumusan Hoek-Brown untuk batuan utuh dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$\sigma_1 = \sigma_3 \left(m_i \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s \right)^{0,5} \quad (3.31)$$

Hubungan antara $m_b = m_i$, s , dan a serta *Geology Strength Index (GSI)* adalah sebagai berikut

$$m_b = m_i \exp \left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right) \quad (3.32)$$

Untuk $GSI > 25$, menggunakan persamaan sebagai berikut

$$s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right) \quad (3.33)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{-\frac{GSI}{13}} - e^{-\frac{20}{3}}\right) \quad (3.34)$$

Untuk $GSI < 25$, menggunakan persamaan sebagai berikut

$$s = 0 \quad (3.35)$$

$$a = 0,605 - \frac{GSI}{100} \quad (3.36)$$

Hoek-Brown telah membuat parameter konstanta massa batuan berupa m dan s , konstanta m seperti pada tabel 3.2.

Tabel 3.2
Nilai Konstanta m pada Batuan Utuh (Hoek dan Brown, 2002)

Batuan	Kelas	Group	Tekstur			
Sedimen	Klastik		Kasar	sedang	halus	Sangat halus
			Konglomerat (22)	Batu pasir (19)	Siltstone (9)	Batu lempung (4)
			----- Graywak----- (18)			
	Bukan klastik	Organik	----- Chalk----- (7)			
			----- Batubara----- (8-21)			
		Karbonat	Breksi (20)	Sparatik Gamping (10)	Mikritik Gamping (8)	
	Kimia		Batuaps (16)	Anhidrit (13)		
Metamorf	Tidak berfoliasi	Marmar (9)	Hornfels (19)	Quarzit (24)		
	Sedikit berfoliasi	Migmatic (30)	Amfibolit (25-31)	Milonits (6)		
	Berfoliasi	Gneis (33)	Sekis (4-8)	Philitis (20)		
Batu	Terang	Granit (33)		Rhiohit (16)	Obsidian (19)	
	Gelap	Granodiorit (30)		Desit (17)		
		Diorit (28)		Andesit (19)		
Gabro (27) Neorit (22)		Delorit (19)	Basalt (17)			
	Ekstrusive tipe piroklastik	Anglomerat (20)	Breksia (18)	Tuf (15)		

Nilai kuat tekan uniaxial untuk suatu massa batuan didapatkan dengan melakukan pengaturan terhadap nilai dari $\sigma_3=0$ pada persamaan (3.27) sehingga diperoleh:

$$\sigma_c = \sigma_{ci} \cdot s^a \quad (3.37)$$

Untuk menentukan kuat tarik untuk massa batuan dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\sigma_t = -\frac{s \cdot \sigma_{c1}}{m_b} \quad (3.38)$$

Sebagai catatan bahwa pada $GSI=25$, untuk koefisien s dan a (Hoek dan Brown) telah dilakukan suatu eliminasi pada persamaan (3.33) dan persamaan (3.34). Penentuan nilai modulus deformasi pada massa batuan diperoleh dari satu persamaan yang dapat dilihat sebagai berikut (Hoek-Brown *failure criterion*, 2002)

$$E_m = E_i \left(0,002 + \frac{1 - \frac{D}{2}}{1 - e^{\left(\frac{10 + 1,5D - GSI}{11} \right)}} \right) \quad (3.39)$$

$$E_i = MR \cdot \sigma_{ci} \quad (3.40)$$

Penggunaan Modulus Ratio (MR) yang diusulkan oleh Deere (1986) kemudian dilakukan suatu modifikasi oleh Palmstrom dan Singh (2001). Modulus ratio merupakan perbandingan modulus massa batuan dengan batuan utuh. Untuk menentukan besarnya nilai estimasi dari modulus ratio dapat dilihat pada Tabel 3.3. Hoek- brown memasukkan efek dari kegiatan peledakan redistribusi tegangan akibat dari kegiatan penggalan, nilai D merupakan faktor gangguan massa batuan dan besarnya nilai D dapat ditentukan pada Tabel 3.4.

3.3.4. Hubungan Mohr-Coulomb dengan Hoek-Brown

Dalam menentukan nilai kohesi dan sudut gesek dalam setara untuk masing-masing massa batuan dapat dilakukan dengan hubungan kriteria Mohr-Coloumb dengan Hoek-Brown. Hal ini dapat dilaksanakan dengan melakukan penyesuaian satu hubungan linier pada kurva yang dihasilkan dengan melakukan pemecahan pada persamaan (3.27) dengan *range* dari tegangan utama minor nilainya antara $\sigma_1 < \sigma_3 < \sigma_{3max}$. Proses penyesuaian membutuhkan keseimbangan

antara daerah atas dan daerah bawah pada plot Mohr-Coloumb, sehingga menghasilkan persamaan untuk mendapat nilai sudut gesek dalam dan kohesi (Hoek-Brown, 1980)

Tabel 3.3
Nilai Modulus *Ratio*(MR) Deere(1968), Palmstrom dan Singh(2001)

Batuan	Kelas	Group	Teksture			
			kasar	sedang	halus	sangat halus
Sedimen	Klastik		Konglomerat (300-400)	Batu pasir (200-350)	Siltstone (350-400)	Lempung (200-300)
		Breksi (230-350)			Shale 150-250*	Marls 150-200
	Bukan klastik	Karbonat	Kristalin Limestones (400-600)	Sparitic Limestones (600-800)	Mikriti Limestones (800-1000)	Dolomit (350-50)
		Evaporits		Gypsum (350)**	Anhidrit (350)**	
	Organik				Chalk (1000 +)	
Metamorf	Tidak berfoliasi		Marmmer (700-1000)	Hornfels (400-700)	Quarzit (300-450)	
	Sedikit berfoliasi		Migmatic (350-400)	Amfibolit (400-500)	Gneiss (300-750)*	
	Berfoliasi*			Sekiss (250-1100)*	Philits/ mika skiss (300-800)*	Slates (400-600)*
Beku	Pluton	Terang	Granit + (300-550)	Diorit + (300-350)		
			Granodiorit+ (400-450)			
	Gelap	Gabro (400-500)	Delorit (300-400)			
		Norite (340-400)				
	Hipabyssal		Porphiri (400)**	Diabase (300-350)	Peridoti (250-300)	
	Lava		Rhiolit (300-500)	Dasit (350-450)		
		Andesit (300-500)	Basalt (250-450)			
Piroklastik		Agglomerat (400-600)	Volkanik Breksi (500)**	Tuff (200-400)		

*Batuan anisotropik tinggi: Nilai MR akan berbeda signifikan jika tegnagan normal tegak lurus terhadap bidang lemah

+Felsic Garnitoids : Berbutir kasar (MR tinggi), Berbutir halus (MR rendah)

**Data tidak tersedia (Perkiraan atas dasar logika geologi)

Tabel 3.4
 Nial Faktor D (Hoek-Brown,2002)

Penampakan pada massa batuan	Deskripsi pada massa batuan dan metode penggalian	Nilai D dianjurkan
	Kualitas peledakan terkontrol sangat baik atau <i>excavation</i> dengan <i>Tunnel Boring Machine</i> yang menghasilkan gangguan (<i>disturbance</i>) yang kecil pada massa batuan di sekitar terowongan	D = 0
	Penggalian menggunakan alat mekanis atau menggunakan tangan (<i>hand excavation</i>) pada kualitas massa batuan yang buruk (tanpa peledakan) yang menghasilkan gangguan (<i>disturbance</i>) yang minimal pada massa batuan sekitar. Masalah <i>squeezing</i> menghasilkan pengangkatan lantai yang signifikan, gangguan dapat di atasi dengan invert sementara.	D = 0 D = 0,5 Tanpa invert
	Peledakan dengan kualitas yang sangat buruk pada terowongan pada batuan keras yang menghasilkan kerusakan, memperluas 2 atau 3 m di pada massa batuan.	D = 0,8
	Peledakan skala kecil pada lereng sipil yang menghasilkan kerusakan massa batuan sedang, terutama apabila peledakan terkontrol digunakan seperti terlihat pada bagian kiri gambar. Akan tetapi pelepasan tegangan menghasilkan beberapa gangguan (<i>disturbance</i>)	D = 0,7 Peledakan yang bagus D = 1,0 Peledakan yang buruk
	Lereng <i>open pit</i> yang sangat besar yang menghasilkan gangguan (<i>disturbance</i>) signifikan akibat peledakan produksi yang padat dan juga akibat pelepasan tegangan dari penggalian overburden. Pada beberapa batuan yang lebih lunak, <i>excavation</i> dapat dilakukan dengan ripping dan dozing sehinggatingkat kerusakan pada lereng menjadi lebih kecil	D = 0,7 Peledakan Produksi D = 1,0 Peledakan Mekanis

$$\phi = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b(s+m_b\sigma_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a)+6am_b(s+m_b\sigma_{3n})^{a-1}} \right] \quad (3.41)$$

$$c = \frac{\sigma_{ci}[(1+2a)s+(1-a)m_b\sigma_{3n}](s+m_b\sigma_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)\sqrt{1+(6am_b(s+m_b\sigma_{3n})^{a-1})}/((1+a)(2+a))} \quad (3.42)$$

Kekuatan massa batuan dapat ditentukan dengan persamaan yang diusulkan Hoek dan Brown (1997) sebagai berikut:

$$\sigma_{cn} = \sigma_{ci} \frac{(m_b+4s-a(m_b-8s))\left(\frac{m_b}{4}+s\right)^{a-1}}{2((1+a)(2+a))} \quad (3.43)$$

Nilai σ_{3max} pada terowongan didapat dengan rumusan (Hoek-Brown *Failure Criterion*, 2002).

$$\frac{\sigma_{3max}}{\sigma_{cm}} = 0,47 \left(\frac{\sigma_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0,94} \quad (3.44)$$

Alur tegangan utama mayor dan minor digambarkan dengan (Hoek-Brown *Failure Criterion*, 2002)

$$\sigma_1 = \frac{2c \cdot \cos\phi}{1-\sin\phi} + \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi} \sigma_3 \quad (3.45)$$

3.4. Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method, FEM*)

Finite Element Method (FEM) dalam geomekanika dipakai untuk menentukan medan tegangan dan perpindahan jika modulus elastisitas atau deformasi berdasarkan perilaku massa batuan yang diterapkan. Telah dibuktikan bahwa metode ini dapat menghitung secara lebih konsisten terhadap distribusi tegangan, regangan dan perpindahan akibat pembuatan lubang bukaan bawah tanah dibandingkan dengan metode analitik konvensional.

Dalam metode elemen hingga, media dianggap sebagai gabungan dari elemen-elemen berdasarkan prinsip keseimbangan. Ide logikanya adalah dengan mengetahui besar perpindahan dari tiap titik simpul pada setiap elemen, maka perpindahan tersebut diekstensikan pada seluruh elemen dalam media. Dengan kata lain metode elemen hingga adalah teknik untuk memecahkan persamaan diferensial parsial dengan terlebih dahulu mendiskritkan persamaan ini dalam dimensi ruang. Diskritisasi dilakukan secara lokal di daerah-daerah kecil dengan bentuk yang sederhana (elemen-elemen terhingga). Ini menghasilkan persamaan

matriks yang menghubungkan input pada titik-titik yang ditentukan dalam elemen (node) ke output pada titik-titik yang sama ini. Untuk memecahkan persamaan atas wilayah yang besar, persamaan matriks untuk sub-wilayah yang lebih kecil dapat dijumlahkan oleh simpul, menghasilkan persamaan matriks global, atau teknik "unsur-demi-elemen" yang dapat digunakan untuk menghindari pembulatan (besar) global Matriks. Metode ini sudah dijelaskan dalam banyak teks, misalnya, Zienkiewicz dan Taylor (1989), Strang and Fix (1973), Cook et al. (1989), dan Rao (1989), tetapi prinsip-prinsip ini akan dijelaskan secara singkat dalam bab ini untuk membuat notasi dan mengatur adegan untuk deskripsi teknik-teknik pemrograman selanjutnya.

3.4.1. Metode Elemen 2D ; *Plane Strain* dan *Plain Stress*

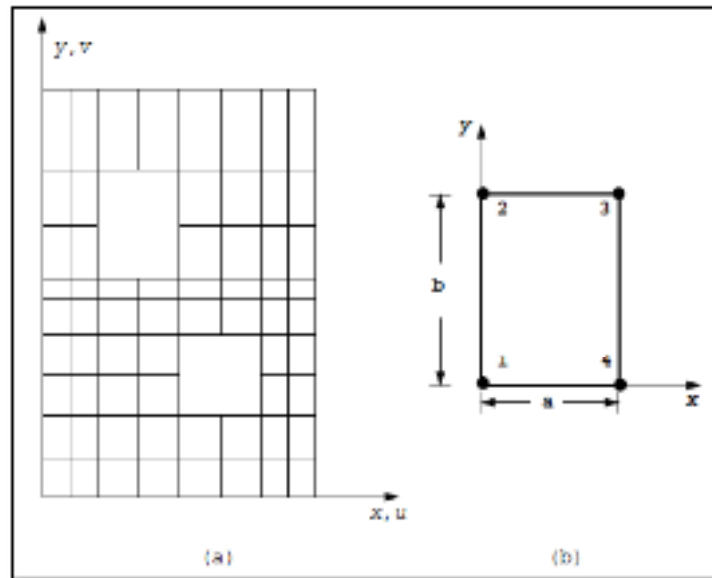
Unsur-unsur yang sejauh ini dijelaskan belum merupakan elemen hingga yang benar karena mereka telah digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial dalam satu variabel ruang saja. Dengan demikian masalah nyata yang melibatkan dua atau tiga variabel ruang telah digantikan oleh masalah satu dimensi yang hipotetis dan ekuivalen sebelum solusi. Unsur-unsur yang telah kita pertimbangkan dapat digabungkan bersama di titik (*node*) dan kesinambungan lengkap (kompatibilitas) dan kesetimbangan tercapai. Dengan cara ini kita kadang-kadang bisa mendapatkan solusi tepat untuk masalah hipotetis kita (terutama pada node) di mana solusi tidak akan terpengaruh oleh jumlah elemen yang dipilih untuk mewakili segmen garis seragam.

Situasi ini berubah secara radikal ketika masalah dalam dua atau tiga dimensi ruang dianalisis. Misalnya, perhatikan dinding geser bidang dengan bukaan yang ditunjukkan pada Gambar 3.18 (a). Dinding telah dibagi lagi menjadi elemen segi empat dari panjang sisi a dan b yang mana Gambar 3.18 (b) adalah tipikal. Elemen-elemen ini memiliki 4 simpul sudut sehingga ketika dinding yang diidealkan dirakit, unsur-unsur hanya akan melekat pada titik-titik ini.

Jika ketebalan dinding dianggap sebagai ketebalan satuan (Timoshenko and Goodier, 1982), persamaan yang harus dipecahkan adalah sebagai berikut :

1. Equilibrium

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + F_x &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + F_y &= 0 \end{aligned} \quad (3.46)$$



Gambar 3.18

(a) Geser dinding dengan bukaan (b) Elemen 4-node segi empat

Dimana komponen σ_x , σ_y , dan τ_{xy} merupakan satu – satunya komponen stress *non zero* dan F_x , F_y merupakan *body forces* (unit of force/length³).

2. Constitutive (*plane stress*)

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (3.47)$$

Dimana E merupakan *Young's Modulus*, ν *Poisson's ratio* dan ϵ_x , ϵ_y dan γ_{xy} merupakan komponen regangan kecil yang terpisah.

3. *Strain-displacement*

$$\begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} \quad (3.48)$$

Dimana u dan v merupakan komponen perpindahan di dalam arah x dan y .
 Persamaan 3.12 dan 3.14 dapat dituliskan menjadi bentuk :

$$\begin{aligned} [A]^T \{\sigma\} &= -\{f\} \\ \{\sigma\} &= [D]\{\epsilon\} \\ \{\epsilon\} &= [A]\{e\} \end{aligned} \quad (3.49)$$

Dimana ;

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}, \quad \{\epsilon\} = \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}, \quad \{e\} = \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix}, \quad \{f\} = \begin{Bmatrix} F_x \\ F_y \end{Bmatrix} \quad (3.50)$$

$$[A] = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix}, \quad [D] = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \quad (3.51)$$

Diskusi ini hanya akan konsen dalam formula perpindahan dimana $\{\sigma\}$ dan $\{\epsilon\}$ eliminasi dari 3.15 Ditunjukkan :

$$\begin{aligned} [A]^T \{\sigma\} &= -\{f\} \\ [A]^T [D] \{\epsilon\} &= -\{f\} \\ [A]^T [D] [A] \{e\} &= -\{f\} \end{aligned} \quad (3.52)$$

Persamaan tersebut dapat dituliskan secara lengkap :

$$\frac{E}{1-\nu^2} \begin{Bmatrix} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} + \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial^2 v}{\partial y \partial x} \\ \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y \partial x} + \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -F_x \\ -F_y \end{Bmatrix} \quad (3.53)$$

Persamaan tersebut pasangan persamaan diferensial parsial simultan dalam variabel ruang kontinu u dan v . Seperti biasa, hal ini dapat diselesaikan dengan mendiskritisasi setiap elemen menggunakan fungsi bentuk. (Di sini kita mengasumsikan fungsi yang sama dalam arah x dan y).

$$\bar{u} = [N_1 \quad N_2 \quad N_3 \quad N_4] \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{Bmatrix} = [N]\{u\} \quad (3.54)$$

Dan,

$$\bar{v} = [N_1 \quad N_2 \quad N_3 \quad N_4] \begin{Bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{Bmatrix} = [N]\{v\} \quad (3.55)$$

Di mana dalam kasus elemen persegi empat 4-node yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 (b) fungsi N_i pertama kali diturunkan oleh Taig (1961) menjadi :

$$\begin{aligned} N_1 &= \left(1 - \frac{x}{a}\right) \left(1 - \frac{y}{b}\right) \\ N_2 &= \left(1 - \frac{x}{a}\right) \frac{y}{b} \\ N_3 &= \frac{x}{a} \frac{y}{b} \\ N_4 &= \frac{x}{a} \left(1 - \frac{y}{b}\right) \end{aligned} \quad (3.56)$$

Hasil ini merupakan variasi linear dalam regangan melintasi elemen yang kadang-kadang disebut persegi panjang regangan linear. Diskritisasi dan penerapan metode Galerkin (Szabo dan Lee, 1969), menggunakan Tabel 2.1, mengarah ke persamaan kekakuan untuk tipe elemen,

$$\frac{E}{1-\nu^2} \int_0^a \int_0^b \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y}\right) & \left(\nu \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial y} + \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial x}\right) \\ \left(\nu \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial y}\right) & \left(\frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} + \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x}\right) \end{bmatrix}_{i,j=1,2,3,4} dx dy \{u\} = \{f\} \quad (3.57)$$

Dimana $\{u\}$ dan $\{f\}$ merupakan node perpindahan dan komponen gaya. Sebagian program mengatur komponen ini dengan bergantian, sehingga $\{u\} = \{u_1 v_1 \ u_2 v_2 \ u_3 v_3 \ u_4 v_4\}^T$ dan $\{f\} = [f_{x1}, f_{y1}, f_{x2}, f_{y2}, f_{x3}, f_{y3}, f_{x4}, f_{y4}]^T$ dimana u_1 merupakan perpindahan- x pada node 1, dan f_{y2} merupakan tegangan- y pada node 2, dan lain sebagainya. Hubungan kekakuan dapat juga dituliskan dengan persamaan standar sebagai :

$$[k_m] \{u\} = \{f\} \quad (3.58)$$

Evaluasi pertama dalam persamaan matriks tegangan bidang kekakuan :

$$k_{m1,1} = \frac{E}{1-\nu^2} \left(\frac{b}{3a} + \frac{1-\nu}{2} \frac{a}{3b} \right) \quad (3.59)$$

Dalam persamaan ini ukuran elemen tidak dimunculkan, hanya memuat aspek rasio elemen. Kemudian bentuk integral dari bagian tipe berikut :

$$\iint N_i \frac{\partial^2 N_j}{\partial x^2} dx dy = - \iint \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} dx dy + \int_S N_i \frac{\partial N_j}{\partial x} l_n dS \quad (3.60)$$

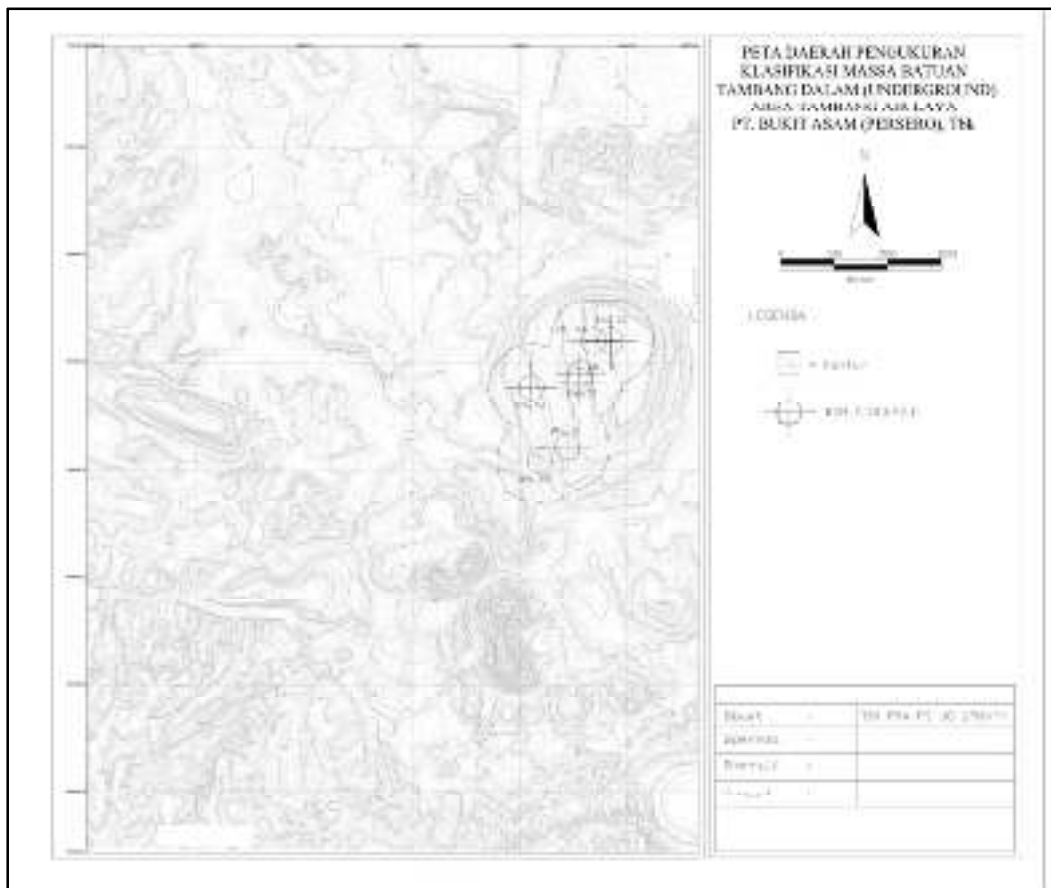
Dimana l_n adalah arah kosinus dari batas normal S dan kita mengasumsikan bahwa kontur integral dalam (3.60) adalah nol antar elemen. Asumsi ini umumnya masuk akal tetapi perhatian ekstra diperlukan pada batas-batas mesh.

BAB IV HASIL PENELITIAN

4.1. Perhitungan Klasifikasi Massa Batuan

Klasifikasi massa batuan diperlukan sebagai informasi awal yang penting untuk digunakan nantinya dalam menganalisis *first weighting interval* dan *periodic weighting*. Selain itu dapat pula digunakan untuk memprediksi waktu runtuh pada lapisan atap. Pengambilan data untuk klasifikasi massa batuan di daerah timur tambang Air Laya dengan kode sampel BAL

(Gambar 4.1) (Tabel 4.1).



Gambar 4.1.
Daerah Pengukuran Klasifikasi Massa Batuan pada Lokasi Pemboran
BAL

Tabel 4.1
Koordinat Lokasi Titik Bor BAL

Titik Bor	Koordinat		
	X	Y	Elevasi (m)
BAL – 01	364269.328	9587347.398	-75.551
BAL – 02	364747.600	9587589.750	-69.934
BAL – 03	364051.450	9586880.140	-62.841
BAL – 04	364586.640	9587585.020	-70.683
BAL – 05	363893.990	9586532.664	-60.275
BAL – 06	364340.650	9586600.812	-50.350
BAL – 07	364265.444	9587277.645	-61.193

Tabel 4.2
Klasifikasi Massa Batuan

Litologi	RMR	Kelas Massa Batuan	GSI	Q-System	Kelas Massa Batuan
<i>Claystone</i>	33 - 51	Buruk - Sedang	25 - 43	0,19 – 2,18	<i>Very Poor - Poor</i>
<i>Siltstone</i>	51	Sedang	43	2,180	<i>Poor</i>
<i>Sandstone</i>	47 - 54	Sedang	39 - 46	1,4 – 3,04	<i>Poor</i>
<i>Silty-sandstone</i>	51	Sedang	43	2,180	<i>Poor</i>
<i>Interkalasi Clay-Sandstone</i>	37 - 54	Sedang	29 - 46	1 – 3,04	<i>Poor</i>
<i>Interkalasi clay-siltstone</i>	38 - 47	Buruk - Sedang	30 - 39	0,51 – 1,39	<i>Very Poor - Poor</i>
<i>clayey-Silty-sandstone</i>	40 - 54	Sedang	32 - 46	0,64 – 3,03	<i>Very Poor - Poor</i>
<i>Interkalasi Sandstone-Siltstone</i>	42	Sedang	34	0,80	<i>Very Poor</i>
<i>Interkalasi Silt-Sandstone</i>	39 - 51	Buruk - Sedang	31 - 43	0,57 – 2,2	<i>Very Poor - Poor</i>
<i>Interkalasi Sand-Silt-Claystone</i>	42 - 51	Sedang	34 - 43	0,80 – 2,17	<i>Very Poor - Poor</i>

Perhitungan klasifikasi massa batuan/ *Rock Mass Rating* (RMR) menurut Bieniawski, 1973 terdiri dari 5 parameter utama yaitu : Nilai kuat tekan, nilai RQD (*Rock Quality Designation*), jarak kekar, kondisi kekar dan air tanah. Selain menggunakan RMR, mengklasifikasikan massa batuan menggunakan *Q-System* dengan parameter RQD, jumlah set kekar, derajat alterasi, aliran air dan factor reduksi tegangan. Pemilihan daerah pengukuran yang digunakan untuk mengklasifikasikan massa batuan pada daerah sekitar lubang bor BAL di tambang Air

Laya dikarenakan pada daerah BAL memiliki data parameter RMR terutama RDQ yang lengkap dan dianggap homogen (sama) untuk daerah lainnya. Hasil pengklasifikasian massa batuan di daerah BAL didapatkan kelas batuan rata-rata kelas III-IV (sedang-buruk)(Tabel 4.2).

4.2. Material Properties Batuan Utuh (*Intack Rock*)

Kegiatan pemboran geoteknik dilakukan untuk keperluan analisis geoteknik dan mendapatkan parameter masukan dalam menganalisis *abutment pressure*. Pengambilan sejumlah sampel yang diuji dilaboratorium dipilih berdasarkan keterwakilan dalam masing-masing lubang bor. Sampel geoteknik sebelumnya yang telah diambil merupakan perwakilan dari sampel titik bor BAL, AP dan AUG. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian sifat fisik (*Natural water content, Spesific gravity, Unit weight natural state, Dry unit weight, Degree saturation, Natural porosity, Natural Void ratio, Atterbarg Limits, dan Hydrometer*), dan pengujian sifat mekanik (*Consolidation, Permeability, Direct Shear, Tensile Strength, Unconfined Comp. Strength, Point Load dan Triaxial Comp. Strength*). Hasil pengujian ini merupakan data sekunder dilapangan yang diuji oleh pihak ketiga (PT. Sinar Perindotindo Utama dan Laboratorium Pengujian TekMIRA) sehingga diperoleh hasil sebagai berikut (Tabel 4.3 – Tabel 4.4) :

Tabel 4.3.
Properties Material

Litology	Water Conten	SG	Unit Weight Natural Slate	Dry Unit Weight	Degree Saturation	Natural Porosity	Natural Void Ratio
	(%)		(gr/cm ³)	(gr/cm ³)	%	%	
Soil	10,65	2,64	1,79	2,21	43,76	27,84	0,38
Claystone 1	10,1	2,4	2,22	1,93	89,94	27,27	0,38
Claystone 2	5,37	2,63	2,26	2,15	62,77	18,38	0,23
Siltstone 1	9,78	2,6	2,2	2	91,62	23,2	0,3
Siltstone 2	6,86	2,64	2,36	2,21	91,97	16,45	0,2
Sandstone 1	12,37	2,72	2,1	2	91,76	26,54	0,37
Sandstone 2	9,4	2,64	2,26	2,06	89,07	21,78	0,28
Sandstone 3	11,68	2,77	2,33	2,05	95,48	24,58	0,32
Coal	4,68	2,51	2,29	2,3	78,63	13	0,15

Tabel 4.4.
Properties Material

Litology	UCS				Triaxial		Tensile Strength	Point Load
	UCS	Poisson's Ratio	Modulus Elasticity	Strain	Cohesion	Int. Fric. Angle	(Brazilian Test)	Is (50) Diametral
	Mpa		Mpa	%				
Soil	0,85	-	-	-	12,62	6,93	-	-
Claystone 1	1,9	0,28	302	1,48	0,37	19,25	0,34	0,07
Claystone 2	9,22	0,34	435,3	1,12	1,35	20,06	0,59	0,14
Siltstone 1	3,79	0,33	283,85	2,21	0,69	37,79	0,42	0,16
Siltstone 2	3,85	0,33	505,85	2,73	0,59	27,79	0,42	0,07
Sandstone 1	4,81	0,31	504,47	1,53	1,18	34,47	0,71	0,51
Sandstone 2	6,13	0,3	799,11	1,767	2,99	29,44	0,6	0,76
Sandstone 3	1,09	0,36	104,5	1,606	0,21	20,61	0,14	0,02
Coal	4,35	0,31	348,19	2,25	0,42	24,33	1,03	0,49

4.3. Overburden Movement

Pada atas *roof* terdapat tiga zona gangguan di lapisan tanah penutup (Peng & Chiang 1984): *caving zone*, *fractured zone* dan *continuous deformation zone* (Gambar 3.2). Zona gangguan ini berbeda berdasarkan dalam tingkat kerusakan yang diinduksi. Berdasarkan pada teori tersebut didapatkan zona gangguan setiap seam batubara pada Tambang Airlaya dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5
Zona Gangguan

Zona	Seam D		Seam E	
<i>Caving zone</i>	4,16-16,64 m	13,65-53,28 ft	14-56 m	45,93-183,72 ft
<i>Fractured zone</i>	62,4-104 m	204,72-341,2 ft	210-350 m	688,97-1148,29 ft
<i>Continuous deformation zone</i>	-	-	-	-

Pada *immediate roof* dan *main roof* terdapat dua fase gerakan overburden yaitu, *first roof weighing interval* dan *periodic roof weighing interval*. Ketebalan *immediate roof* tergantung pada berbagai faktor seperti, tinggi penambangan, metode penambangan dan sifat batuan. Perkiraan kasar tinggi dari *immediate roof*, h_{im} berdasarkan (Peng & Chiang 1984) menghasilkan nilai sebagai berikut (Tabel 4.6 – Tabel 4.7):

Tabel 4.6
 Hasil Perhitungan *Immediate Roof Seam D* (Peng & Chiang,1984)

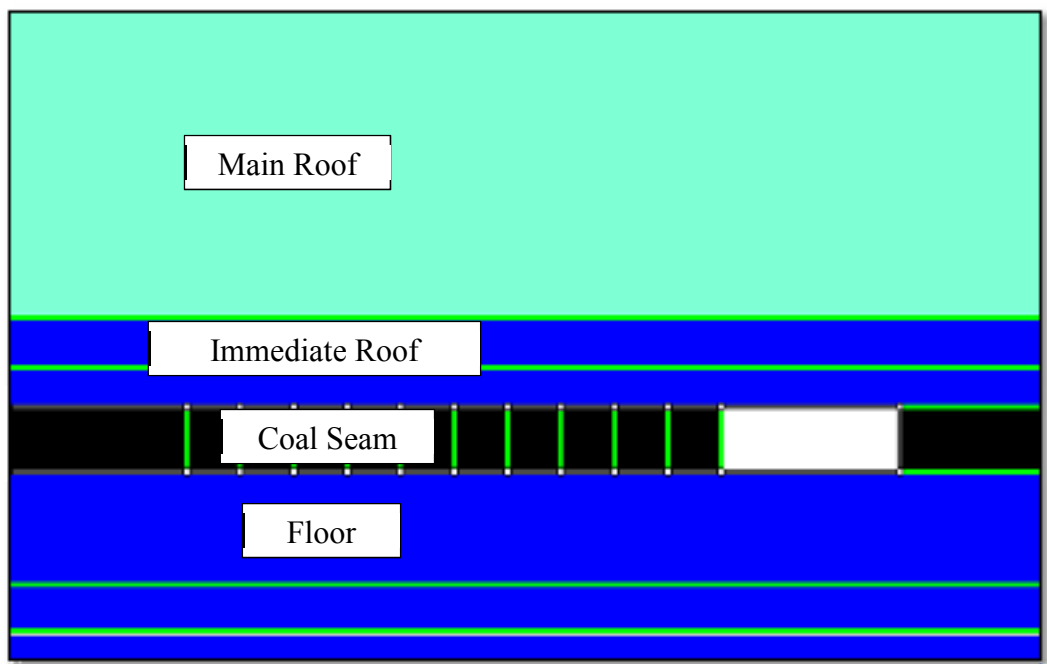
Keterangan	Simbol	Satuan	Nilai
Kedalaman Penambangan dari permukaan	h	m	400,00
Tinggi Area Penambangan	H	m	2,00
Lebar Ruang (Room)	Wo	m	3,50
Lebar Panel	P	m	150,00
Berat Jenis Batuan	γ	kg/m ³	2.200,00
Kuat Tekan Uniaksial Batubara	σ_c	kg/m ²	443.567,55
Tegangan Vertikal Insitu	σ_v	kg/m ²	880.000,00
Bulking Faktor Original	Ko (Original)		1,20
Bulking Faktor Residual	Kr (Residual)		1,07
Koefisien Pelengkungan	c		0,45
<i>Sagging</i>	d	m	0,9
Ketinggian <i>Immediate Roof Original</i>	h_{im} original	m	5,5
Ketinggian <i>Immediate Roof Residual</i>	h_{im} residual	m	15,7

Tabel 4.7
 Hasil Perhitungan *Immediate Roof Seam E* (Peng & Chiang,1984)

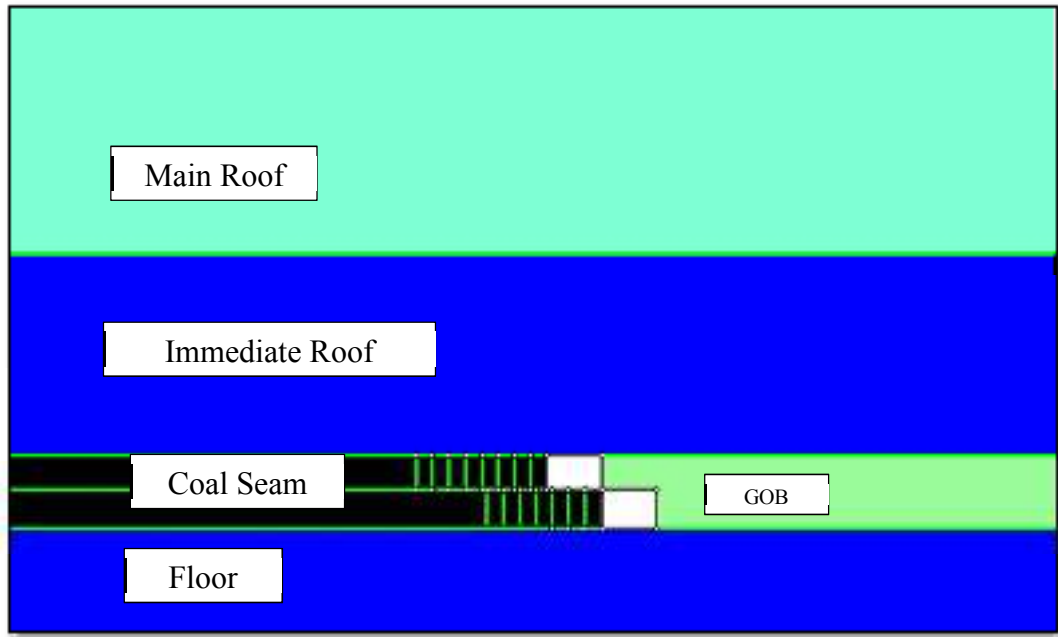
Keterangan	Simbol	Satuan	Nilai
Kedalaman Penambangan dari permukaan	h	m	485,00
Tinggi Area Penambangan	H	m	3,50
Lebar Ruang (Room)	Wo	m	3,50
Lebar Panel	P	m	150,00
Berat Jenis Batuan	γ	kg/m ³	2.200,00
Kuat Tekan Uniaksial Batubara	σ_c	kg/m ²	443.567,55
Tegangan Vertikal Insitu	σ_v	kg/m ²	1.067.000,00
Bulking Faktor Original	Ko (Original)		1,20
Bulking Faktor Residual	Kr (Residual)		1,07
Koefisien Pelengkungan	c		0,45
<i>Sagging</i>	d_2	m	1,58
Ketinggian <i>Immediate Roof upper slicing</i>	h_{im1}	m	9,6
Ketinggian <i>Immediate Roof lower slicing</i>	h_{im2}	m	9,31
Total Ketinggian <i>Immediate Roof</i>	h_{im}	m	18,91

4.4. Finite Element Method

Pembuatan suatu model batubara diperlukan untuk menganalisis *strata control* dengan menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*). Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 menunjukkan geometri model geometri *main roof* dan *immediate roof* seam D dan seam E. Data input dari model yang dibutuhkan terdiri geometri lapisan *overburden* dan batubara serta data properties batuan. Tebal lapisan batubara pada seam D adalah 2,00 m pada kedalaman 400 m dari *surface* dan seam E adalah 7,00 m dengan dibagi menjadi dua lapisan yang masing 3,50 m pada kedalaman 485m dari *surface*. Lapisan *main roof* dan *immediate roof* pada masing-masing seam berdasarkan hasil hitungan pada Tabel 4.6 – Tabel 4.7. Analisis *strata control* menggunakan *finite element method* bertujuan untuk mendapatkan kondisi *first weighting*, *periodic first weighting* dan nilai *abutment pressure* yang akan digunakan sebagai acuan dan informasi dalam melakukan pengambilan batubara pada panel penambangan.



Gambar 4.2.
Immediate Roof dan *Main Roof* Seam D



Gambar 4.3.
Immediate Roof dan Main Roof Seam E

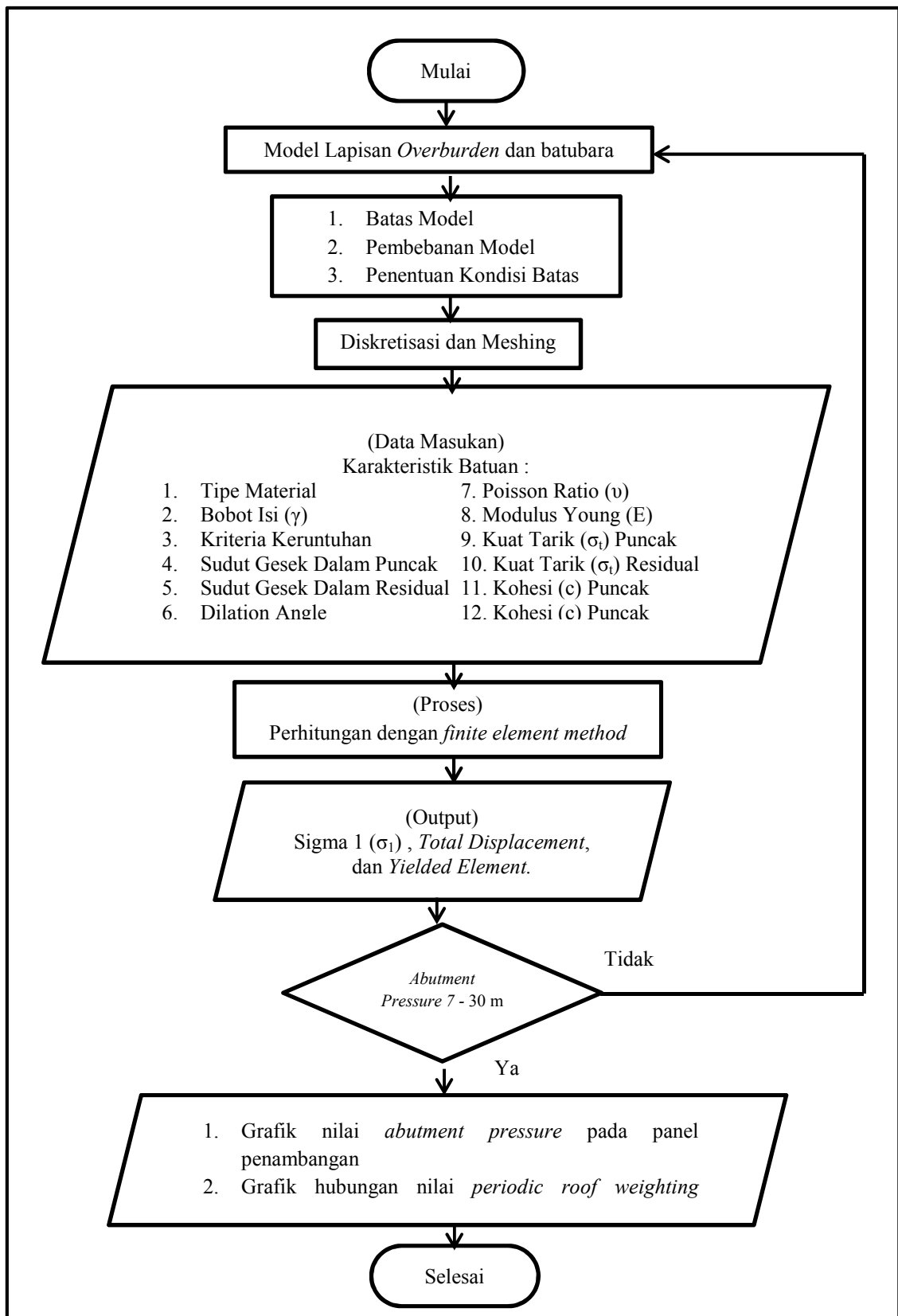
4.5. Tahapan Permodelan

Pemodelan *strata control* diproyeksikan secara 2D yang memperlihatkan posisi lapisan *overburden* dan batubara. Tahapan-tahapan yang dilakukan pada pemodelan *strata control* menggunakan *finite element method* sebagai berikut (Gambar 4.4).

1. Penentuan Model

Pembuatan model pada analisis *strata control* mengacu pada geometri ketebalan lapisan *overbunden* dan batubara berdasarkan data log bor. Dimensi model sebagai berikut :

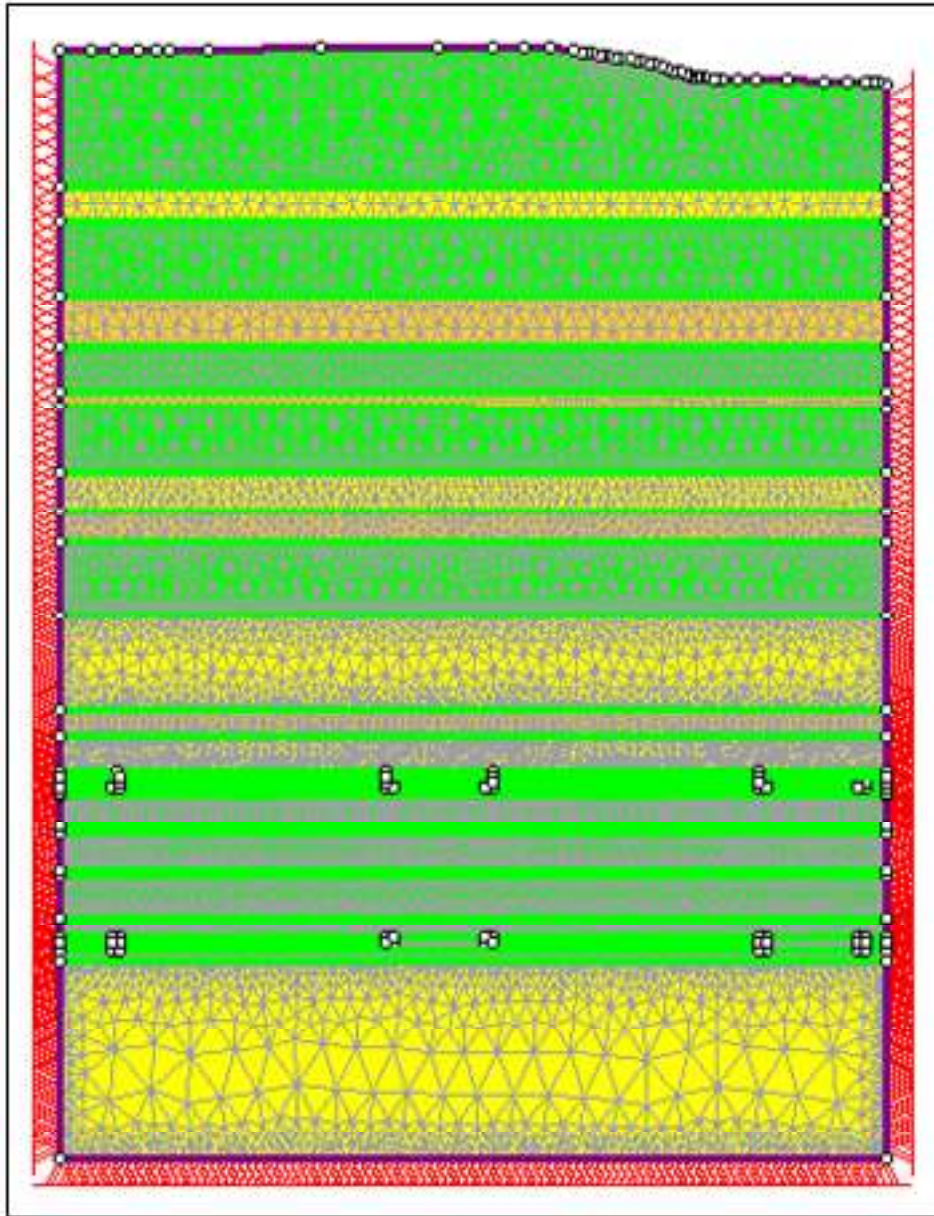
Lebar	= 463,69 m
Tinggi hingga <i>surface</i>	= 621.05 m
Lebar panel penambangan	= 150,00 m
Tebal seam/tinggi panel	= 2,00 m untuk seam D, dan 7,00 m untuk seam (multislice 3,50 m)
Lebar <i>setup room</i>	= 6 m
Lebar <i>immediate roof</i>	= 5,50 m untuk seam D, dan 9,60 m untuk seam E



Gambar 4.4.
Diagram Alir Permodelan Menggunakan *Finite Element Method*

2. Batas Model

Batas model pada Horizontal kanan dan kiri menggunakan 6D, vertikal atas menggunakan data topografi dan vertikal bawah sebesar 116 m dari seam E dengan menggunakan *Restrain XY (Fix)* (Gambar 4.5). Kondisi ini digunakan karena distribusi tegangan tidak akan mempengaruhi suatu *stope*.



Gambar 4.5.

Batas Model Perlapisan *Overburden* dan Batubara pada Tambang Airlaya

3. Pembebanan pada Model

Pendekatan kondisi pembebanan pada pemodelan ini menggunakan metode *gravity* yang berupa bobot isi dari material dengan kedalaman. Pembebanan ini adalah hidrostatis yaitu tegangan vertikal (σ_v) dan tegangan horizontal (σ_h) adalah sama.

4. Penentuan Kondisi Batas

Penentuan kondisi batas pada pemodelan ini diasumsikan bahwa model tidak terjadi perpindahan sehingga kondisi batas model sebagai berikut:

- Pada kondisi batas kiri tidak terjadi perpindahan secara vertikal
- Pada kondisi batas kanan tidak terjadi perpindahan secara vertikal
- Pada kondisi bawah tidak terjadi perpindahan horizontal
- Pada kondisi atas terjadi perpindahan.

5. Diskretisasi

Perhitungan numerik pada analisis *strata control* ini menerapkan metode elemen hingga sehingga pada saat perhitungannya terdapat pembagian atau *discretization*. Pada model menjadi elemen-elemen yang lebih kecil dan membentuk suatu jaringan (*mesh*) yang dihubungkan dengan *node*. Tipe *mesh* yang digunakan adalah *graded* dengan tipe elemen 3 *nodes triangles*.

6. Data Masukan

Pada model perlu adanya data masukan untuk dilakukan analisis. Data masukan pada model menggunakan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb dengan jenis material plastis dimana nilai pada kondisi puncak (*peak*) sama dengan kondisi sisa (*residual*). Properties massa batuan yang digunakan untuk menganalisis *periodic first weighting* menggunakan pendekatan kriteria Hoek-Brown untuk merepresentasikan kondisi aktual.

7. Proses Perhitungan

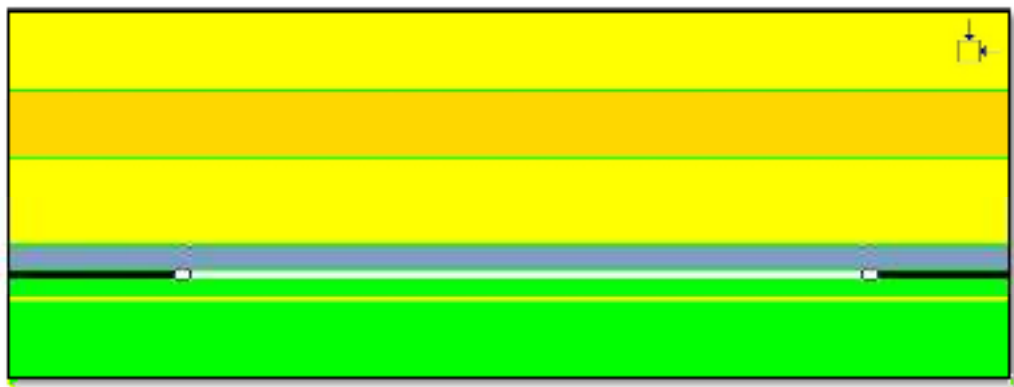
Seluruh data yang diperlukan pada model yang telah dimasukkan kemudian dilakukan perhitungan (*compute*).

8. Hasil Perhitungan

Pada tahap ini merupakan hasil *interpretasi* dari model yang telah di-*compute*. Hasil dari *interpretasi* ini antara lain Sigma 1 (σ_1), *Total Displacement*, dan *Yielded Element*.

4.6. Model Panel Penambangan

Panel penambangan pada seam D dan seam E mempunyai lebar 150 m dengan tinggi disesuaikan dengan ketebalan masing-masing seam. Kemiringan lapisan barubara diasumsikan relatif datar (dip 0°). Model geometri secara *cross section* panel penambangan pada masing-masing seam dapat dilihat pada gambar 4.6 dan gambar 4.7.



Gambar 4.6.
Model *Cross Section* Panel Penambangan Seam D



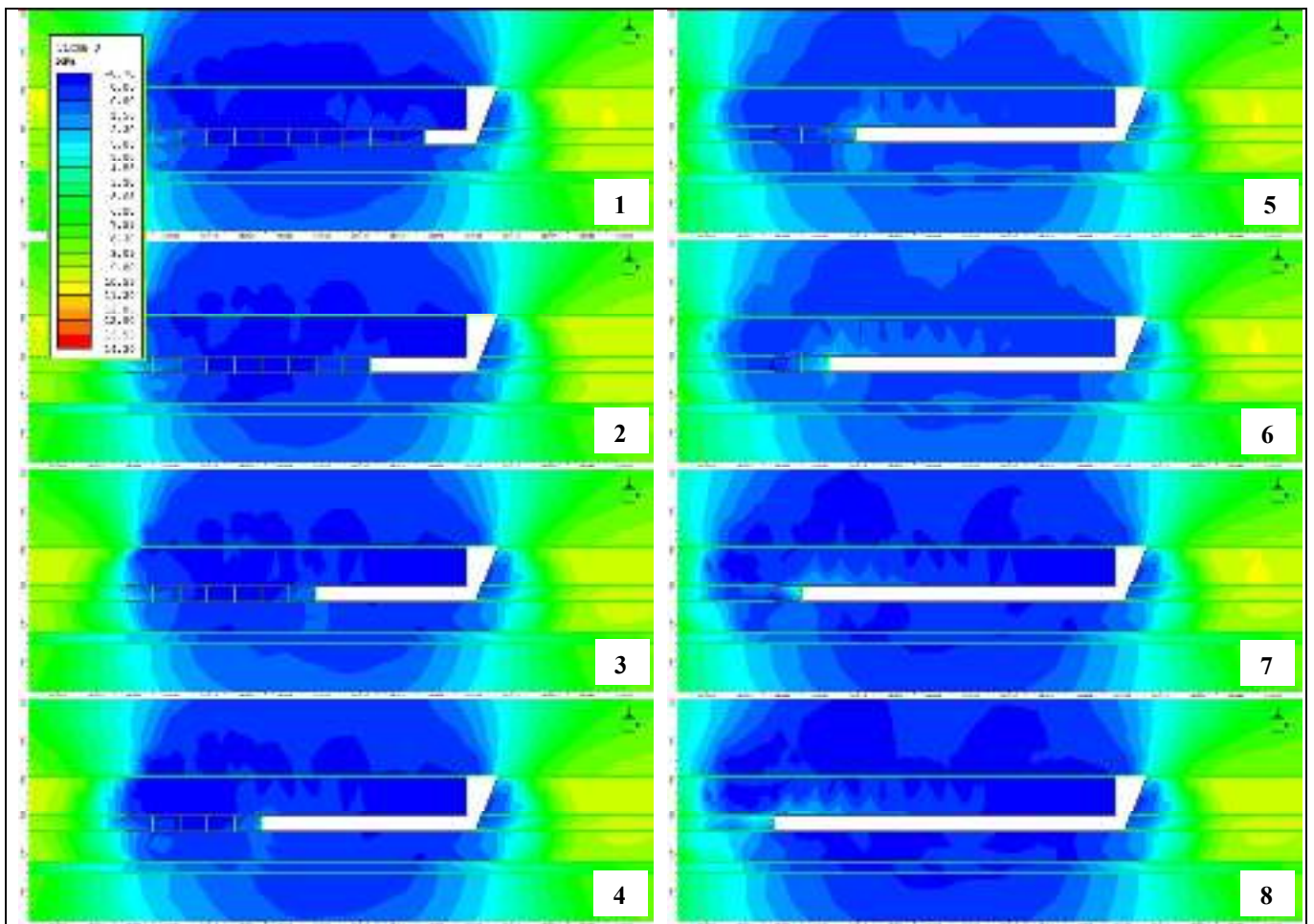
Gambar 4.7.
Model *Cross Section* Panel Penambangan Seam E

4.6.1 Model *Overburden Movement Seam D*

Tahapan pertama yang dilakukan pada analisis *strata control* ini adalah menentukan tebal dari *immediate roof* dari seam D menggunakan perhitungan analitik seperti dijelaskan pada sub bab 4.3. Ketebalan dari *immediate roof* masuk

dalam zona *caving* dan diasumsikan sebagai *caving height*. Hasil perhitungan *caving height* tersebut akan digunakan sebagai acuan dalam melakukan perhitungan *first weighting interval*.

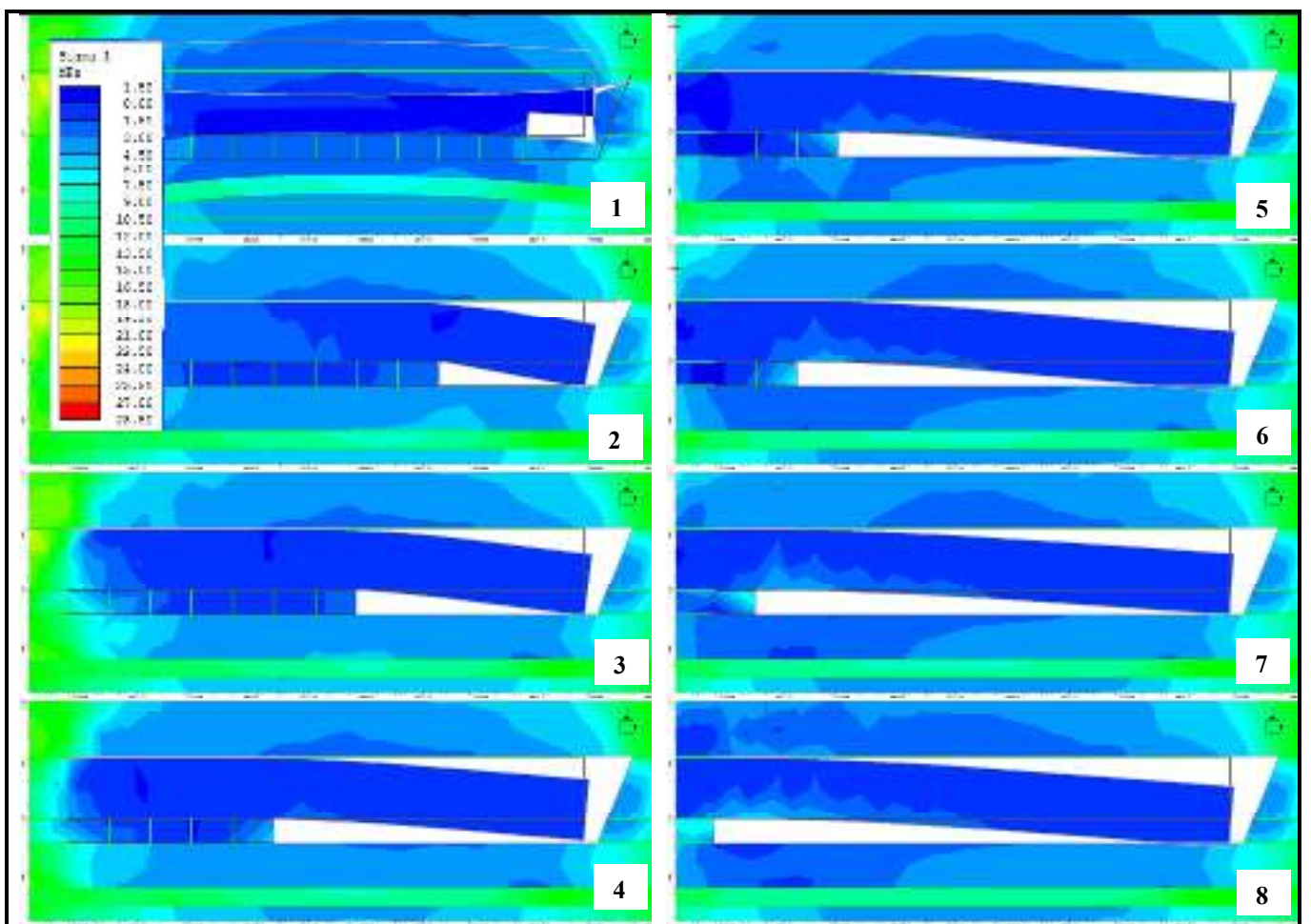
Tahap selanjutnya dilakukan analisis *excavation* pada panel penambangan dengan kemajuan 3,60 m disesuaikan dengan panjang *powered roof support* dengan posisi kanopi terbuka. Tahapan *excavation* pada panel penambangan seam D menghasilkan *sigma 3*, *sigma 1* dan *yielded element*. dapat dilihat pada Gambar 4.8 – Gambar 4.10.



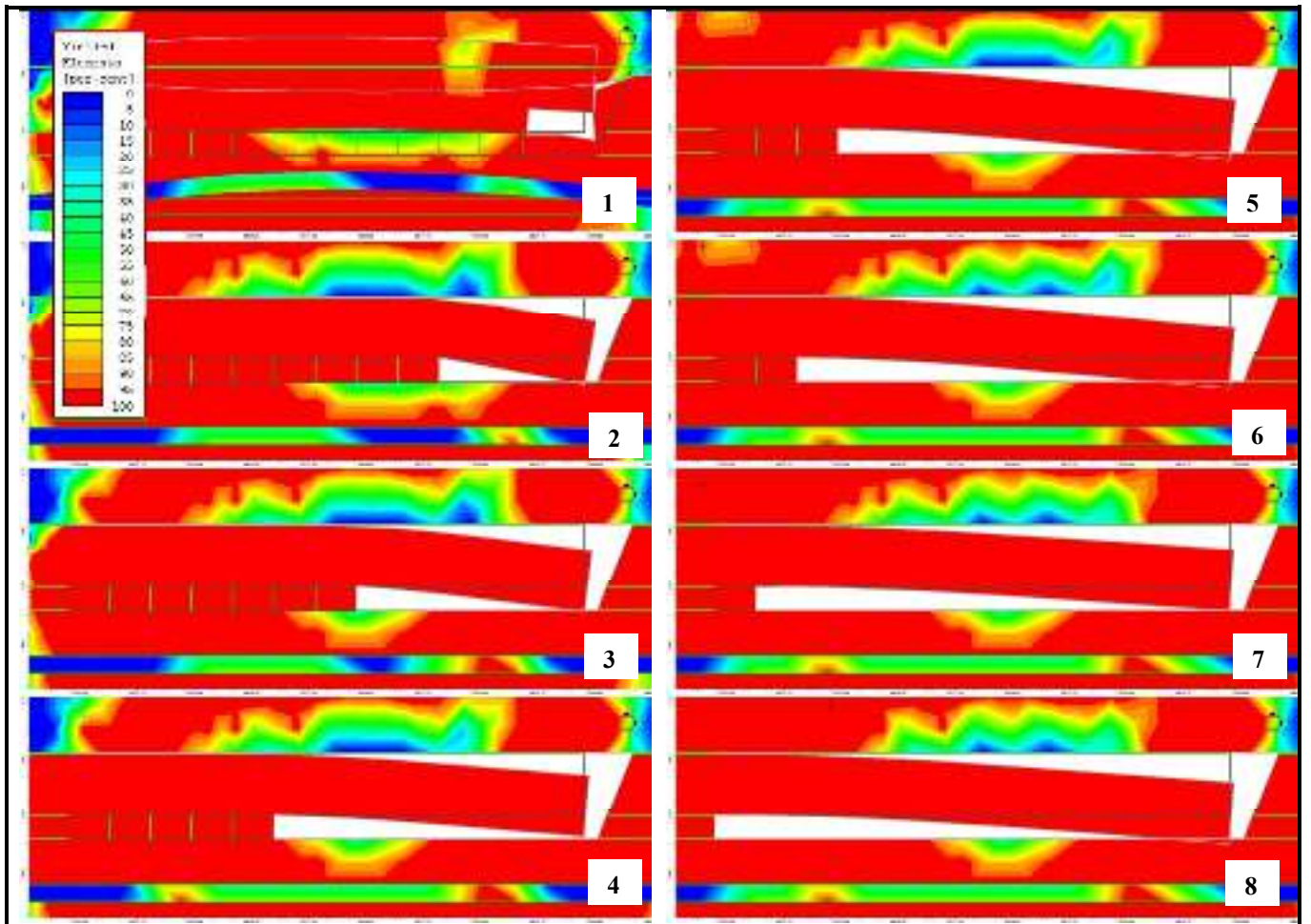
Gambar 4.8.
Sigma 3 Tahapan Ambrukan pada Seam D

Selama kegiatan *excavation* berlangsung *shearer* akan mengekstraksi batubara, *roof support* akan maju menuju ke *face* baru dan menyangga atap di atas untuk mencegah keruntuhan. *Roof* di belakang *face* yang aktif dibiarkan runtuh.

Keruntuhan *immediate roof* terjadi secara bertahap sesuai dengan kemajuan penggalian. Waktu runtuh *immediate roof* yang berada dibelakang *powered roof support* dihitung dengan menggunakan pendekatan *Rock Mass Rating* dan lebar *span*. Nilai *first weighting interval* dilihat dari *immediate roof* runtuh menyentuh *floor* dan disaat *main roof* runtuh menyentuh *immediate roof* yang telah runtuh. Nilai *periodic roof weighting interval* dilihat dengan hubungan antara nilai GSI dan parameter massa batuan.



Gambar 4.9.
Sigma 1 Tahapan Ambrukan pada Seam D



Gambar 4.10.
Yielded Element Tahapan Ambrukan pada Seam D

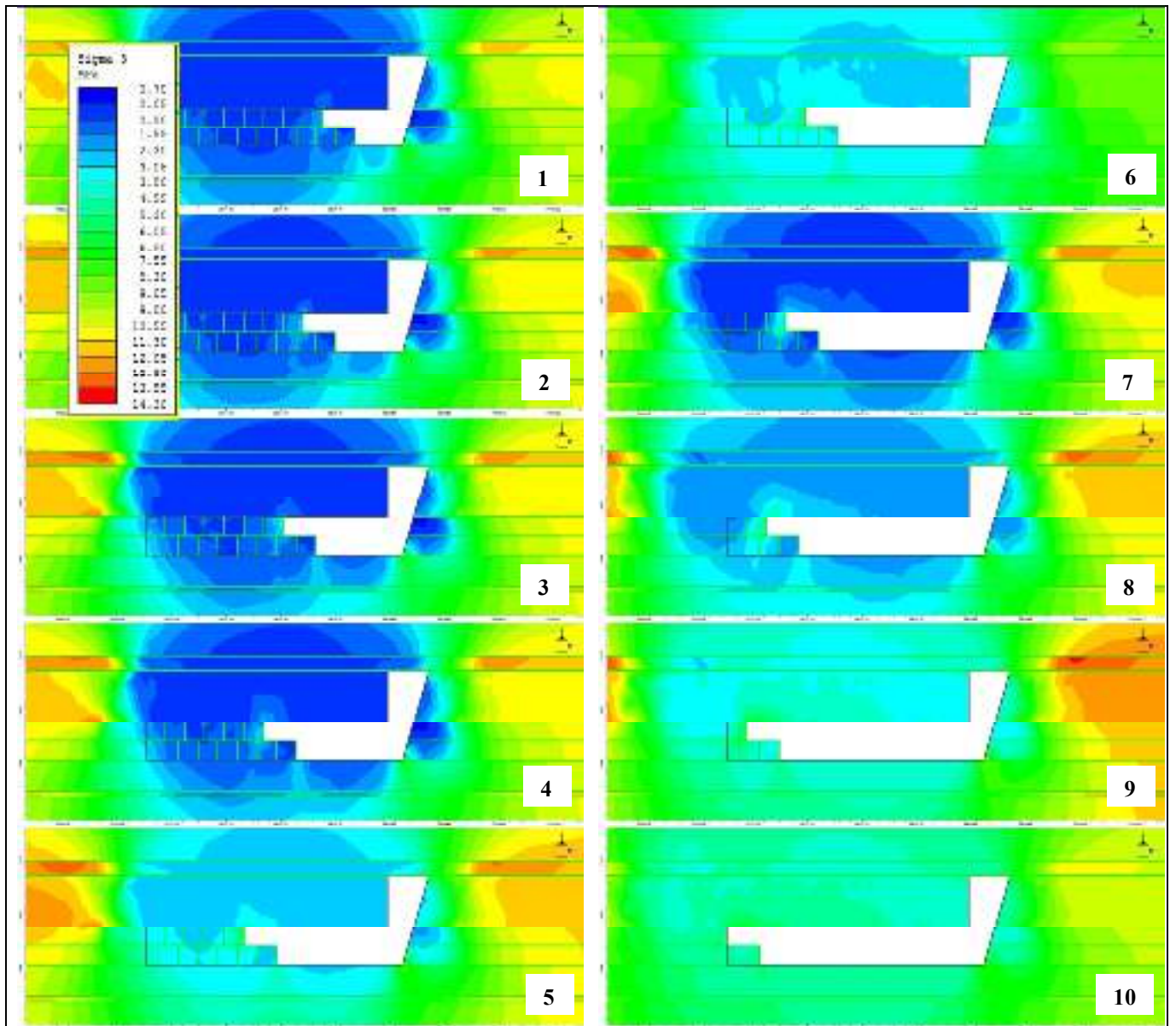
4.6.2 Model *Overburden Movement Seam E*

Tahapan pertama yang dilakukan pada analisis *strata control* ini adalah menentukan tebal dari *immediate roof* dari seam E menggunakan perhitungan analitik seperti dijelaskan pada sub bab 4.3. Ketebalan dari *immediate roof* masuk dalam zona *caving* dan diasumsikan sebagai *caving height*. Hasil perhitungan *caving height* tersebut akan digunakan sebagai acuan dalam melakukan perhitungan *first weighting interval*.

Tahap selanjutnya dilakukan analisis *excavation* pada panel penambangan dengan kemajuan 3,60 m disesuaikan dengan panjang *powered roof support* dengan posisi kanopi terbuka. Pada seam E *excavation* dilakukan dengan metode *multislicing* karena memiliki ketebalan lebih dari 3 m. Penggalian ini dilakukan dengan membagi dua layer batubara dengan dua *shearer* pada tiap layer dan

dilakukan secara beriringan pada saat *excavation*.

Tahapan *excavation* pada panel penambangan seam E menghasilkan *sigma 3*, *sigma 1* dan *yielded element*. dapat dilihat pada Gambar 4.11 – Gambar 4.13.

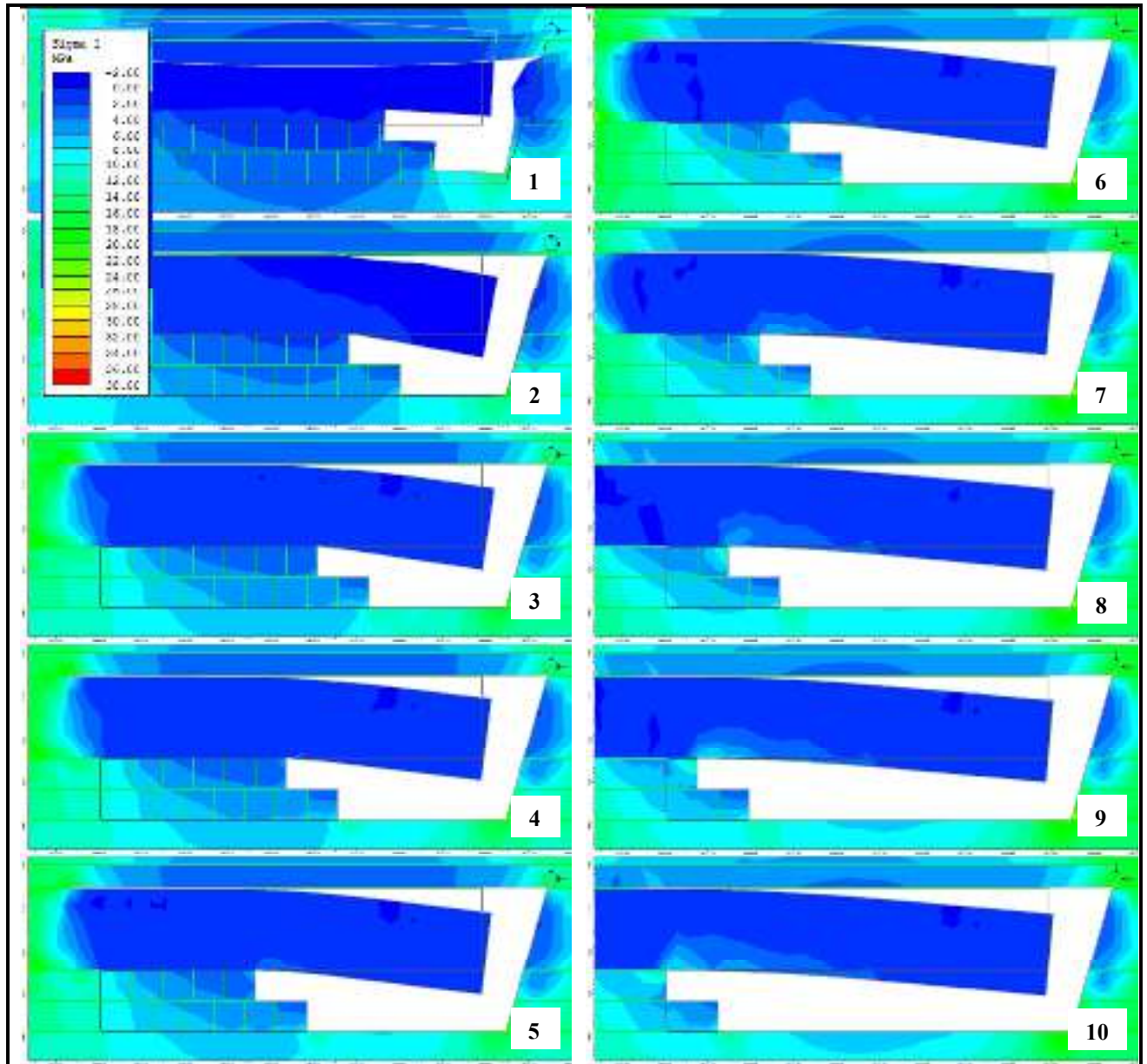


Gambar 4.11.

Sigma 3 Tahapan Ambrukan pada Seam E

Pada proses *excavation* dengan metode *multislicing* masing-masing *shearer* pada tiap layer akan mengekstraksi batubara. *Shearer* pada layer pertama akan mengekstraksi batubara hingga sejauh 6 m terlebih dahulu sesuai dengan lebar dari *setup room*. Setelah itu *shearer* pada layer kedua akan memulai

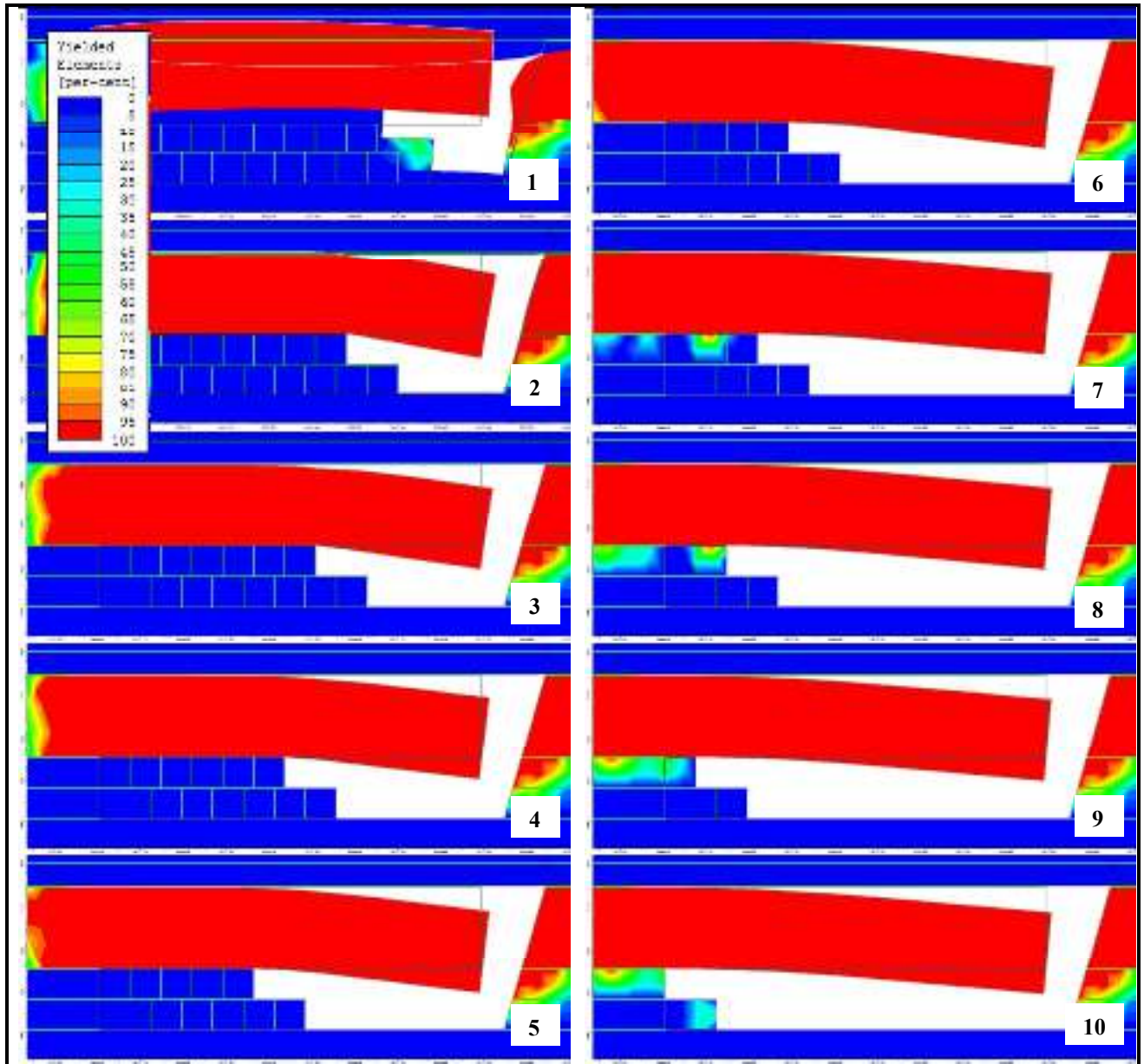
mengekstraksi batubara. Sama dengan prinsip *singleslicing*, *roof support* akan maju menuju ke *face* baru dan menyangga atap di atas untuk mencegah keruntuhan. *Roof* di belakang *face* yang aktif pada layer pertama dibiarkan runtuh.



Gambar 4.12.
Sigma 1 Tahapan Ambruk pada Seam E

Keruntuhan pada layer pertama akan ditahan oleh *powered roof support* layer kedua setelah *roof support* layer kedua maju menuju *face*, *roof* akan jatuh menyentuh *floor*. Nilai *first weighting interval* dilihat dari *immediate roof* runtuh

menyentuh *floor* dan disaat *main roof* runtuh menyentuh *immediate roof* yang telah runtuh. Nilai *periodic roof weighting interval* dilihat dengan hubungan antara nilai GSI dan parameter massa batuan.



Gambar 4.13.
Yielded Element Tahapan Ambrukan pada Seam E

4.7. Analisis *Abutment Pressure* Pada Panel Penambangan

Nilai *abutment pressure* muncul pada saat berlangsungnya kegiatan penambangan dan terjadi akibat sebagian beban dari *overburden* yang disangga

oleh batubara berpindah ke daerah sekitar panel penambangan. *Abutment pressure* yang akan dilakukan analisis yaitu *side abutment pressure*, *front abutment pressure* dan *back abutment pressure (gob pressure)*. Perhitungan dilakukan menggunakan *finite element method* dengan alat bantu pemodelan *Rocscience RS2 ver 9.016*. Parameter masukan yang digunakan dalam analisis yaitu bobot isi, *modulus young*, *poisson ratio*, nilai kuat tarik, kohesi dan sudut gesek dalam dengan tipe material plastis dimana nilai parameter puncak (*peak*) sama dengan nilai sisa (*residual*). Hasil dari perhitungan sigma 1 yang akan digunakan sebagai acuan nilai *abutment pressure*. Analisis *abutment pressure* secara numerik dilakukan pada model panel penambangan dengan *longitudinal section* dan *cross section* sebelum dan sesudah dilakukan penggalan.

4.7.1. Model Side Abutment Pressure Pada Panel Penambangan

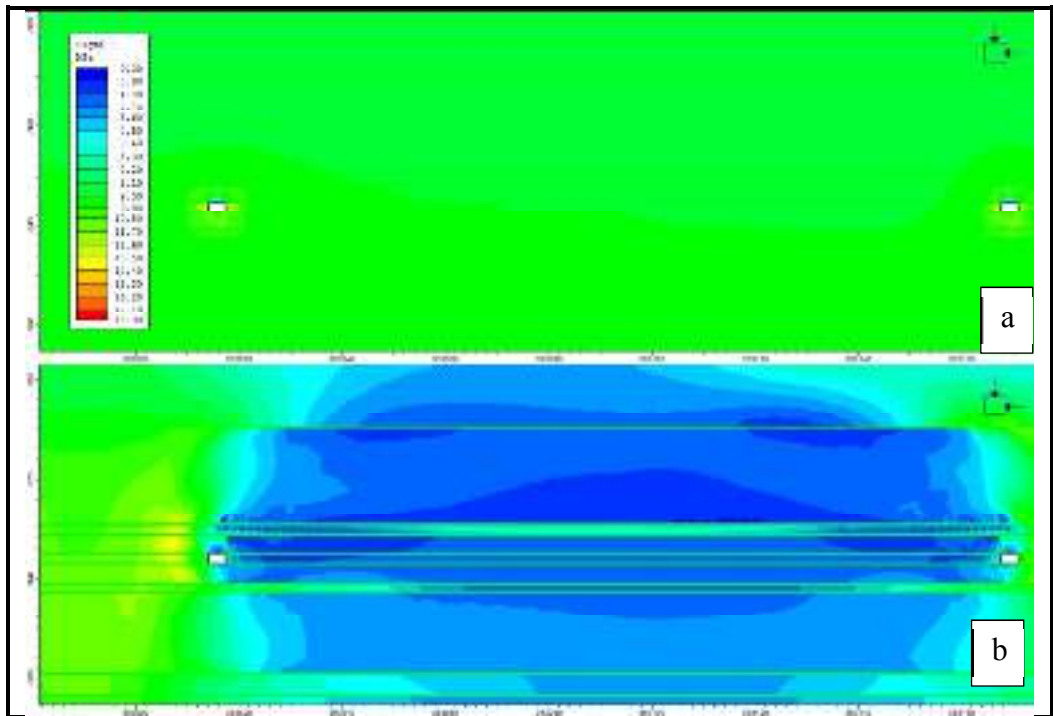
Analisis *side abutment pressure* yang dilakukan pada panel penambangan seam D dan seam E menggunakan model *cross section* tiap panel. Model *cross section* dapat dilihat seperti Gambar 4.6 dan Gambar 4.7.

Berdasarkan pendekatan Wilson panel penambangan seam D dan seam E masuk dalam jenis *Supercritical Panel* sehingga diperoleh lebar *side abutment load*. Hasil perhitungan sigma 1 yang digunakan untuk menganalisis *side abutment pressure* pada panel penambangan seam D dan seam E dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15.

4.7.2. Model Front Abutment Pressure Pada Panel Penambangan

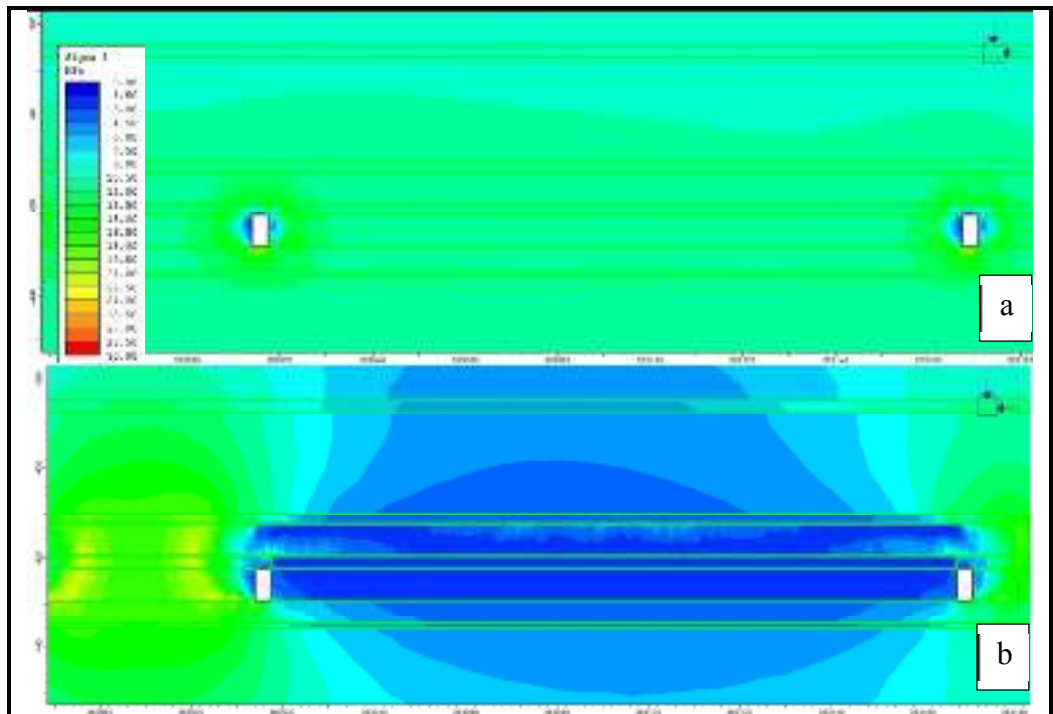
Analisis *front abutment pressure* yang dilakukan pada panel penambangan seam D dan seam E menggunakan model *longitudinal section* tiap panel. Model *longitudinal section* dapat dilihat seperti Gambar 4.15 dan gambar 4.16.

Dalam menganalisis *front abutment pressure* sama seperti *side abutment pressure* dengan acuan sigma 1 untuk metode *singleslicing* maupun *multislicing*. Lebar dari *front abutment* tidak hanya tergantung pada kedalaman *overvurben* tetapi juga pada posisi sepanjang *face*.



Gambar 4.14.

a) Nilai *Sigma 1 Side Abutment Pressure* Sebelum Penggalian b) Nilai *Sigma 1 Side Abutment Pressure* Sesudah Penggalian Seam D

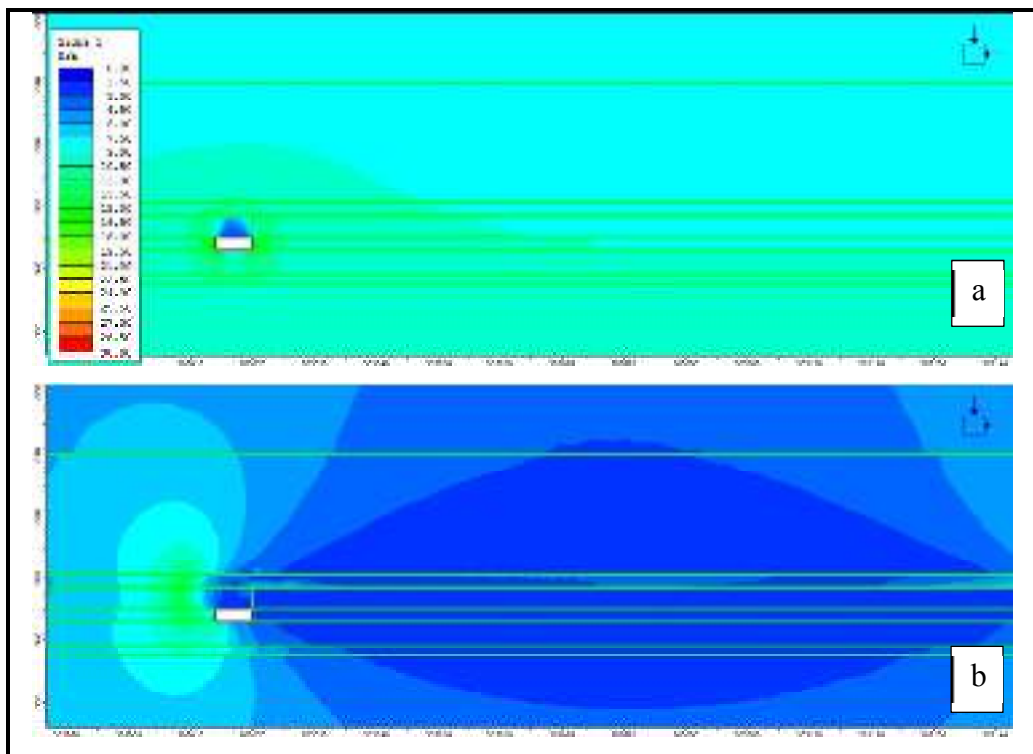


Gambar 4.15.

a) Nilai *Sigma 1 Side Abutment Pressure* Sebelum Penggalian b) Nilai *Sigma 1 Side Abutment Pressure* Sesudah Penggalian Seam E

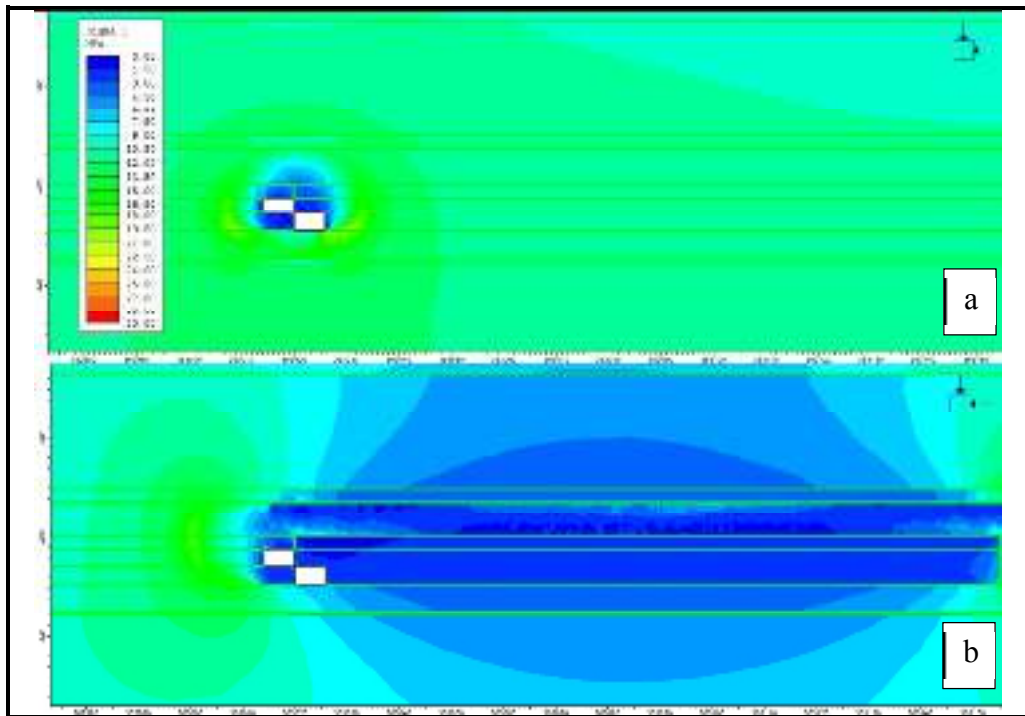
4.7.3. Model *Back Abutment Pressure (Gob Pressure)* Pada Panel penambangan

Analisis *back abutment pressure (gob pressure)* yang dilakukan pada panel penambangan seam D dan seam E menggunakan model *longitudinal section* tiap panel. Model *longitudinal section* dapat dilihat seperti Gambar 4.18 dan Gambar 4.19. Panjang model *longitudinal section* panel penambangan adalah 1.500 m sama dengan panjang panel penambangan. Interpretasi dari analisis dengan *finite element method* pada *back abutment pressure* berupa sigma 1.



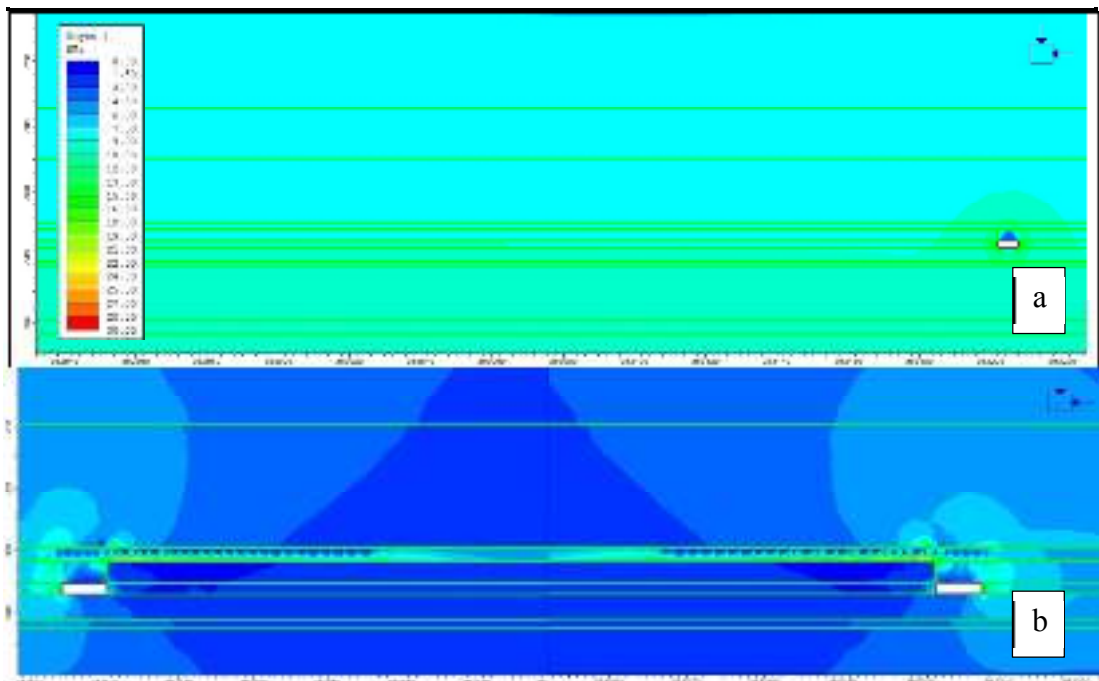
Gambar 4.16.

- a) Nilai *Sigma 1 Front Abutment Pressure* Sebelum Penggalian b) Nilai *Sigma 1 Front Abutment Pressure* Sesudah Penggalian Seam D



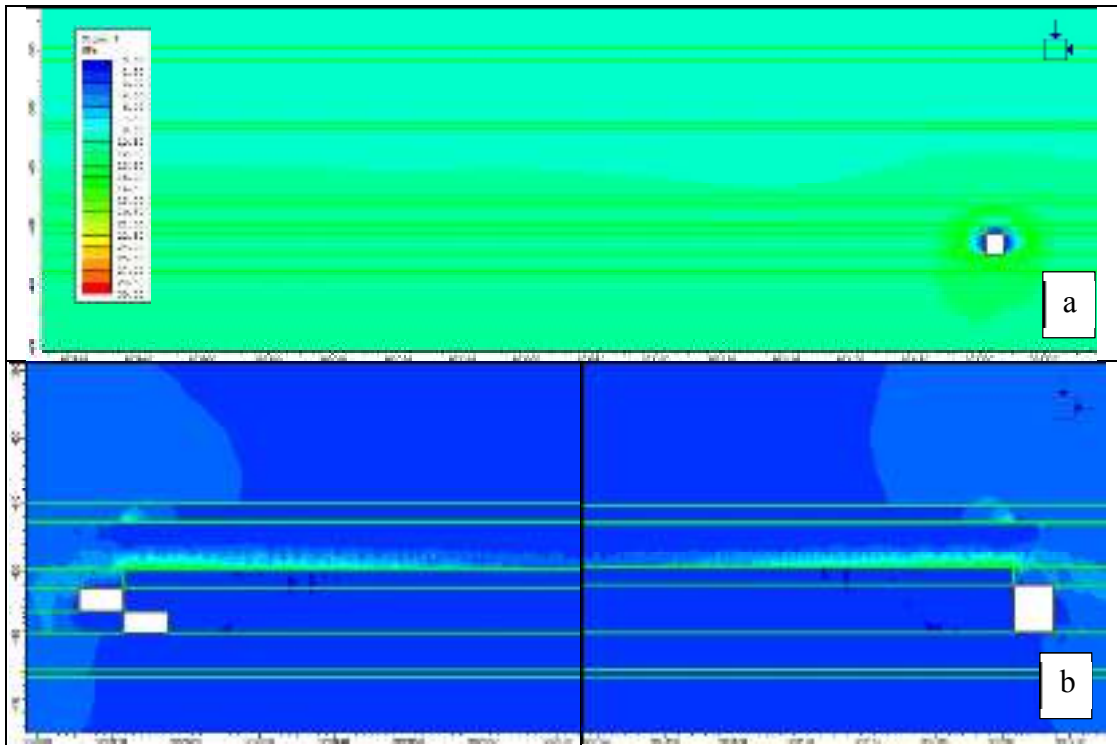
Gambar 4.17.

a) Nilai Σ 1 *Front Abutment Pressure* Sebelum Penggalian b) Nilai Σ 1 *Front Abutment Pressure* Sesudah Penggalian Seam E



Gambar 4.18.

a) Nilai Σ 1 *Back Abutment Pressure* Sebelum Penggalian b) Nilai Σ 1 *Back Abutment Pressure* Sesudah Penggalian Seam D



Gambar 4.19.

- a) Nilai *Sigma 1 BackAbutment Pressure* Sebelum Penggalan b) Nilai *Sigma 1 BackAbutment Pressure* Sesudah Penggalan Seam E

BAB V

PEMBAHASAN

5.1. Analisis *Overburden Movement*

Dimensi panel penambangan *longwall* yang akan direncanakan pada Tambang Airlaya adalah lebar 150 m dengan panjang panel 1500 m. Ketika panel penambangan *longwall* dilakukan penggalian, *immediate roof* dan *overburden* mengalami ketergangguan baik tegangan maupun *displacement*. Kondisi massa batuan pada *overburden* Tambang Airlaya masuk dalam katagori kelas buruk – sedang dengan nilai RMR 33 – 51. Pembagian zona gangguan menurut Peng dan Chiang (1984), zona gangguan pada Tambang Airlaya pada seam D diperoleh sebesar 4,16 – 16,64 m untuk *caving zone* dan 62,4 – 104 m untuk *fractured zone*. Sedangkan zona terganggu seam E sebesar 14 – 56 m untuk *caving zone* dan 210 – 350 m untuk *fractured zone*. Hasil perhitungan tinggi runtuh menurut Unal (1983) dengan parameter RMR diperoleh nilai sebesar 4,02 m untuk seam D maupun seam E. Nilai tinggi runtuh yang diperoleh dari pendekatan Unal lebih besar daripada tinggi penambangan sehingga karakteristik *roof caving* menurut Peng dan Chiang akan membentuk laminasi yang tipis dan menghasilkan zona runtuh yang lebih tebal.

5.1.1. Analisis *Immediate Roof*

Immediate roof merupakan bagian dari lapisan *overburden* yang terletak langsung diatas *roof line* yang akan mengalami keruntuhan setelah kemajuan dari *powered roof support*. Pada *immediate roof* terjadi keruntuhan di area gob sehingga tegangan horisontal tidak dapat menyebar secara merata sepanjang arah penambangan. Oleh karena itu fungsi dari *powered roof support* sebagai penyangga sementara untuk menahan beban dari *immediate roof*. Berdasarkan perhitungan analitik diperoleh tinggi *immediate roof* masing-masing seam sebesar 5,5 m untuk seam D dan 9,6 m untuk seam E. Dilihat dari hasil dan karakteristik material *overburden* tersebut *immediate roof* masing-masing seam masuk dalam

klasifikasi *Unstable Immediate Roof* menurut Peng dan Chiang (1982). Selain klasifikasi menurut Peng dan Chiang (1982), didapat nilai P atau *roof strength index* seam D dan seam E sebesar 0,22 dan 0,38. Hasil nilai tersebut menunjukkan klasifikasi berdasarkan kekuatan batuan dan *exposure time (Russian)* dan *bedding thickness (Polish)*, *immediate roof* seam D dan seam E masuk dalam tipe *Unstable*. Tipe *Unstable* menurut *Russian Classification* nilai C_a (rata-rata nilai kuat tekan uniaksial dari *core*) ≤ 1471 MPa. Setelah *shearer* melakukan penggalian, area yang telah terekspos dapat bertahan tanpa penyangga kurang dari 5 menit. Berdasarkan *Polish Classification* nilai P yang diperoleh 0 – 18 setelah adanya penggalian, material dari *immediate roof* akan segera runtuh dengan *short delay* sehingga bagian atap perlu adanya proteksi dengan penyangga *powered roof support*.

5.1.2. Analisis Main Roof

Main roof biasanya mengalami sedikit kerusakan dan berada dibawah *fractured zone*. *Main roof* akan runtuh secara berkala sepanjang arah penggalian dan mempengaruhi *periodic roof weighting* pada *face area*. Kestabilan dari *immediate roof* dan *face area* dipengaruhi oleh tebal *main roof*. Penentuan tebal *main roof* dapat dilihat dari stratigrafi diatas lapisan batubara. Selain itu dapat dilihat dengan adanya zona lemah yang memisahkan antara *immediate roof* dan *main roof*. Tebal *main roof* pada seam D dan seam E berdasarkan perhitungan diperoleh sebesar 16,64 – 62,3 m untuk seam D dan 57 – 209 m untuk seam E.

5.1.3. Analisis Sequences of Overburden Movement

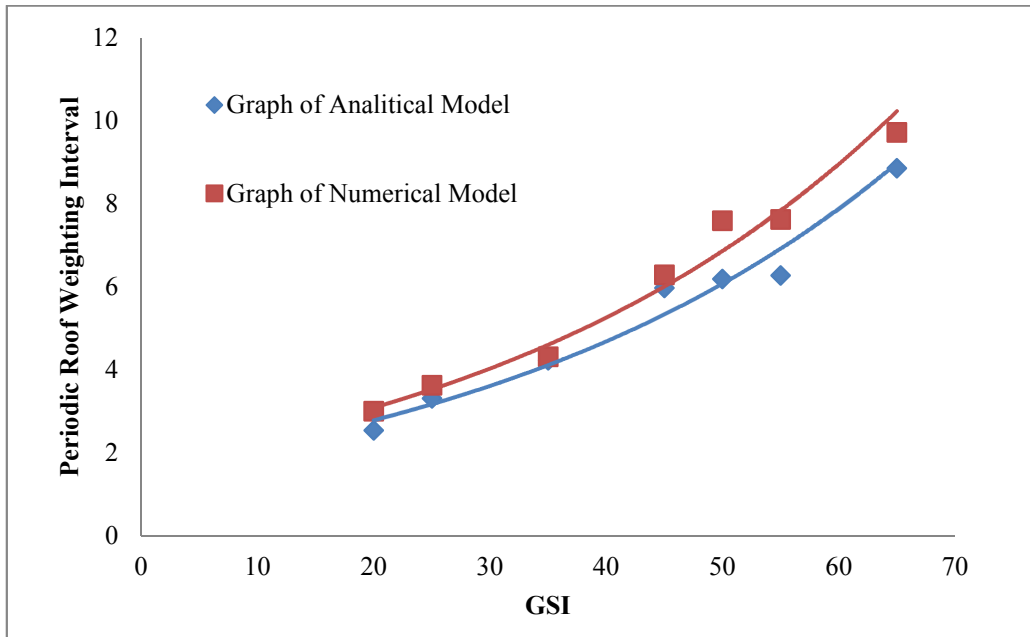
Pada saat *shearer* melakukan penggalian batubara sepanjang penambangan pada panel *longwall*, terdapat dua fase *overburden movement* yang terjadi. Fase pertama adalah adanya pergerakan *overburden* pada saat penggalian dimulai dari *setup room* sampai dengan ujung panel penambangan dimana pada saat tersebut merupakan daerah ambrukan dari *immediate roof* hingga *main roof*. Selama jangka waktu tersebut tekanan maksimum pada *roof* yang terukur diarea *face* akan membentuk *first weighting* dan *interval first weighting* yang merupakan jarak *first weighting* dari *setup room* hingga *face*. Jika tekanan yang terjadi akibat

kerusakan pada *main roof* tidak bernilai signifikan, *first weighting* dapat dilihat pada tekanan *immediate roof* pada saat sebelum dan sesudah ambruk dari *immediate roof*.

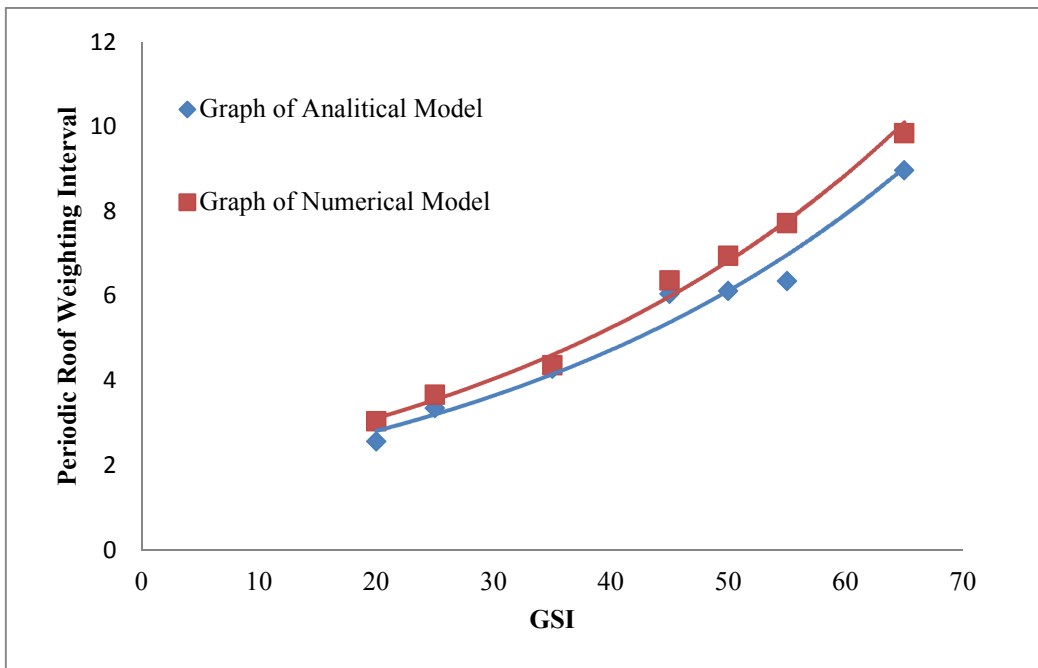
Berdasarkan perhitungan analitik estimasi *interval first weighting*, L_0 diperoleh nilai *interval first weighting immediate roof*, L_{0im} sebesar 13,17 m dan *interval first weighting main roof* L_{0m} sebesar 44,35 m untuk seam D. Pada seam E nilai *interval first weighting immediate roof*, L_{0im} sebesar 24,41 m dan *interval first weighting main roof* L_{0m} sebesar 81,36 m. Pada hasil perhitungan numerik dengan pemodelan *finite element* didapatkan nilai *interval first weighting immediate roof*, L_{0im} sebesar 12,51 m dan *interval first weighting main roof* L_{0m} sebesar 42,44 m untuk seam D. Pada seam E nilai *interval first weighting immediate roof*, L_{0im} sebesar 22,10 m dan *interval first weighting main roof* L_{0m} sebesar 80,50 m.

Fase kedua dimulai setelah *first weighting* dan berlanjut hingga selesai proses penambangan pada panel. Selama jangka waktu tersebut tekanan *roof* pada *face area* meningkat dan akan menurun secara bertahap karena adanya kerusakan siklik dari *immediate roof* atau *main roof* ataupun keduanya. Proses tersebut membentuk *periodic roof weighting*. Tekanan maksimum yang terjadi pada setiap periode merupakan tekanan pada *periodic roof weighting* dan menghasilkan *interval periodic roof weighting* yang merupakan jarak antar dua pembebanan pada *roof*. Nilai dari tekanan *first weighting* dan intervalnya lebih besar daripada nilai tekanan *periodic roof weighting* dan intervalnya.

Keadaan *immediate roof* digambarkan berdasarkan GSI. GSI merupakan salah satu parameter penting yang dapat menggambarkan perilaku dari massa batuan. Analisis *periodic roof weighting interval* (PRWI) dilakukan untuk menentukan pengaruh perubahan sifat mekanik pada *immediate roof*. Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 merupakan hasil komparasi perhitungan PRWI secara analitik dan numerik pada masing-masing seam.



Gambar 5.1
Perbandingan *Periodic Roof Weighting Interval* vs *GSI* Seam D.



Gambar 5.2
Perbandingan *Periodic Roof Weighting Interval* vs *GSI* Seam E.

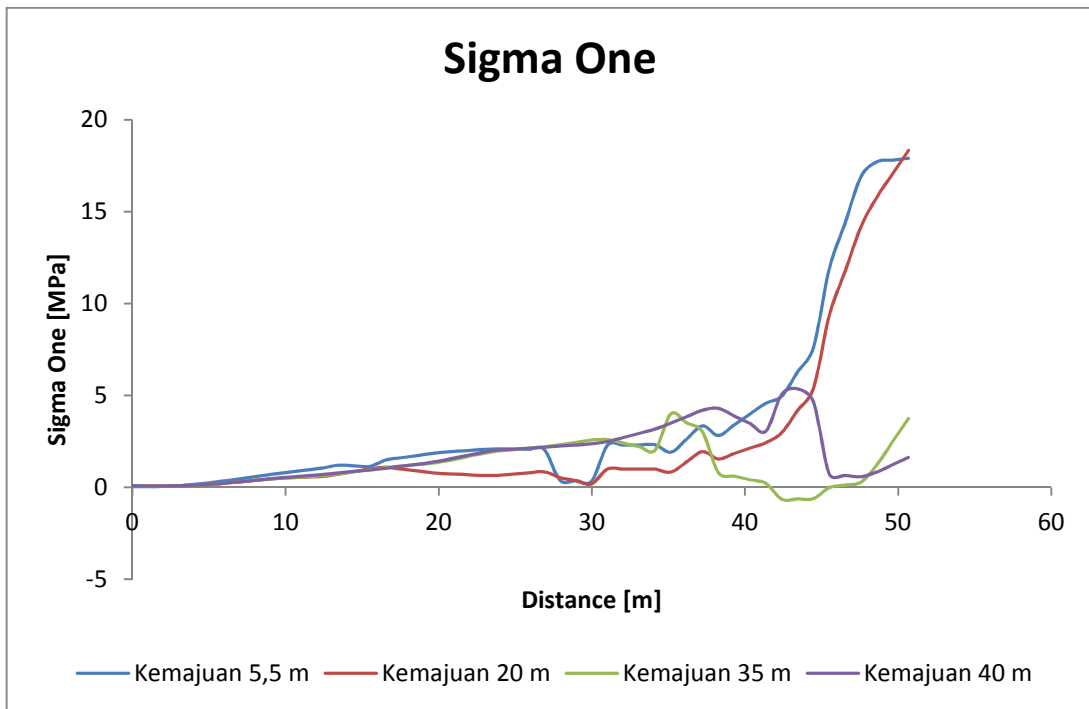
Berdasarkan Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 dapat dilihat bahwa hasil perhitungan analitik memiliki nilai lebih kecil daripada hasil permodelan numerik. Hasil dari kedua grafik juga menunjukkan bahwa seam batubara tambang Airlaya seam D dan seam E pada GSI kurang dari 20 *immediate roof* tidak stabil pada saat kemajuan *powered roof support* dan langsung mengalami keruntuhan. Namun pada GSI lebih dari 50 *immediate roof* dikatakan stabil dan menghasilkan nilai *interval periodic roof weighting* adalah 7,5 m. Semakin GSI meningkat maka PRWI akan meningkat pula hal ini menunjukkan bahwa *periodic roof weighting* bergantung dari sifat dan perilaku mekanik dari *immediate roof*.

5.2. Analisis Distribusi Tegangan Akibat Kegiatan Penambangan

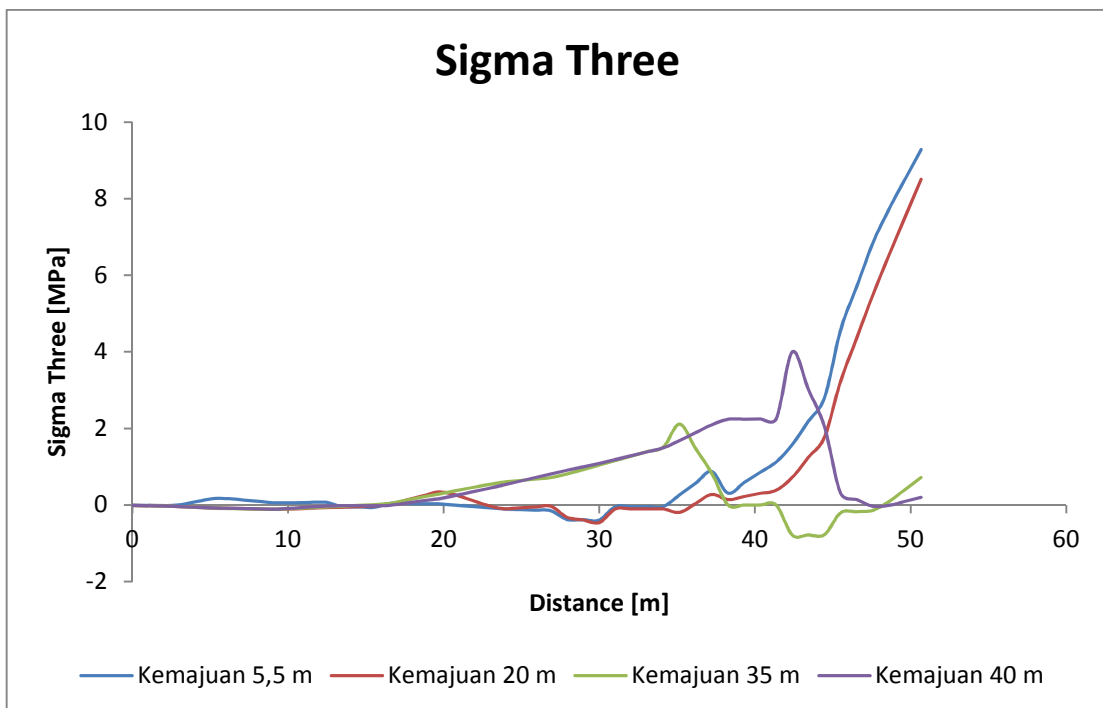
Selama dilakukan penggalian pada massa batuan kondisi tegangan akan berubah dikarenakan batuan yang pada awal memiliki tegangan secara merata kemudian diretribusi. Sebelum dilakukan analisis distribusi tegangan, perlu diketahui tegangan insitu vertikal (σ_v) dan tegangan insitu horizontal (σ_h). Hasil perhitungan tegangan insitu vertikal pada Tambang Airlaya diperoleh nilai sebesar 8,62 MPa dan tegangan insitu horizontal sebesar 2,21 MPa.

Perhitungan *finite elemen method* dilakukan pada kemajuan tertentu untuk mendapatkan nilai tegangan pada masing-masing seam batubara. Adanya kemajuan pada saat penggalian akan mengakibatkan besar tegangan pada *roof* mengalami perubahan. Tegangan yang dianalisis adalah sigma satu (σ_1), sigma tiga (σ_3) dan *yield*.

Gambar 5.3 dan Gambar 5.4 menunjukkan hasil dari sigma satu dan sigma tiga akibat kemajuan penggalian pada jarak tertentu untuk seam D. Jarak yang digunakan untuk mendapatkan nilai sigma satu dan sigma tiga pada seam D adalah 5,5 m, 20 m, 35 m dan 40 m. Penentuan jarak ini berdasarkan nilai dari *interval first weighting*. Sigma satu pada jarak kemajuan 5,5 m dan 20 m menunjukkan nilai yang cukup tinggi yaitu 17,90 MPa dan 18,33 MPa. Jarak kemajuan 35 m dan 40 m mengalami penurunan nilai sigma satu menjadi 3,74 MPa dan 1,62 MPa.



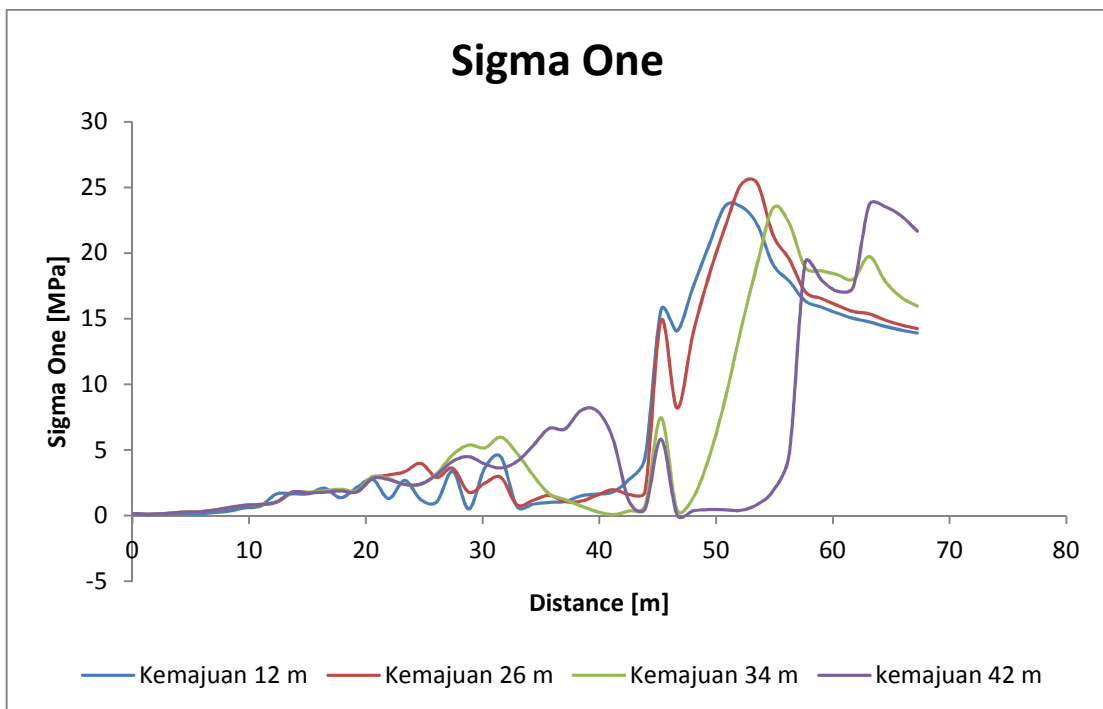
Gambar 5.3
 Nilai Sigma Satu Akibat Kemajuan Penggalian pada Jarak Tertentu untuk seam D



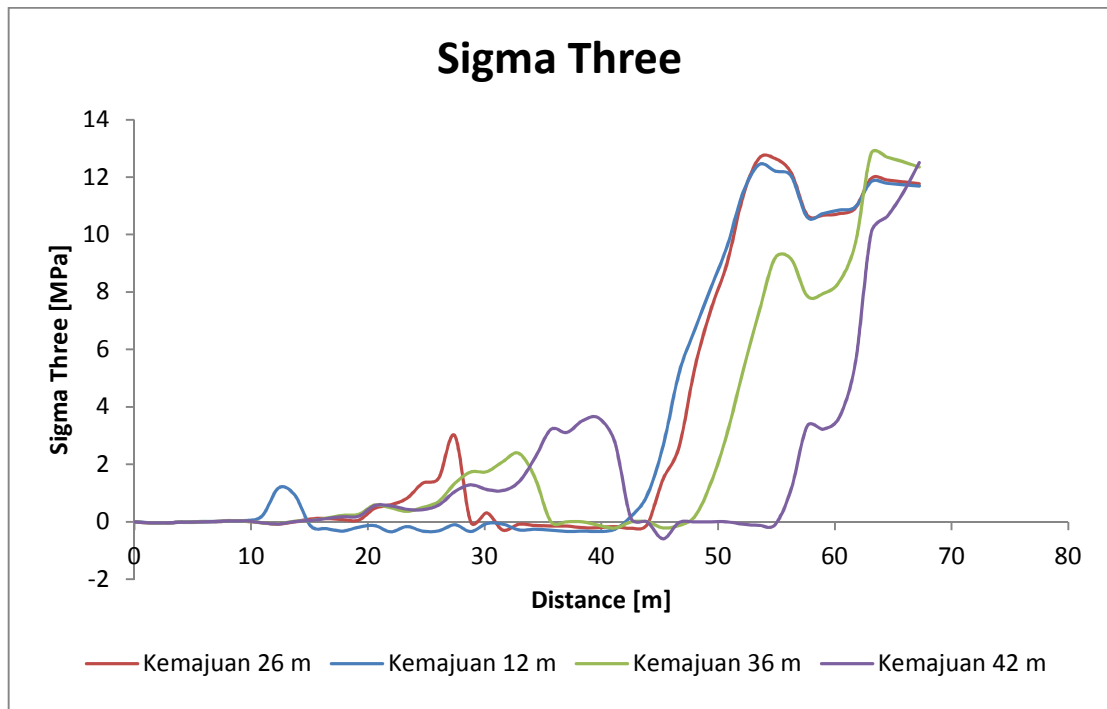
Gambar 5.4
 Nilai Sigma Tiga Akibat Kemajuan Penggalian pada Jarak Tertentu untuk seam D

Sigma tiga pada jarak kemajuan 5,5 m dan 20 m menunjukkan nilai yang cukup tinggi yaitu 9,28 MPa dan 8,51 MPa. Jarak kemajuan 35 m dan 40 m mengalami penurunan nilai sigma tiga menjadi 0,71 MPa dan 0,19 MPa.

Sigma satu dan sigma tiga pada seam E ditunjukkan pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6 yang merupakan hasil dari akibat kemajuan penggalian pada jarak tertentu untuk seam E. Tebal seam E yang memiliki tebal lebih dari 3 m yaitu 7 m direkomendasikan menggunakan sistem penggalian *multislicing*. Jarak yang digunakan untuk mendapatkan nilai sigma satu dan sigma tiga pada seam E adalah 12 m, 26 m, 34 m dan 42 m. Penentuan jarak ini berdasarkan nilai dari *interval first weighting*. Sigma satu pada jarak kemajuan 12 m dan 26 m menunjukkan nilai yang lebih rendah daripada jarak yang lain yaitu 13,89 MPa dan 14,23 MPa. Jarak kemajuan 34 m dan 42 m mengalami peningkatan nilai sigma satu menjadi 15,95 MPa dan 21,66 MPa. Sigma tiga pada jarak kemajuan 12 m dan 26 m menunjukkan nilai yang relatif sama yaitu 11,69 MPa dan 11,76 MPa. Jarak kemajuan 34 m dan 42 m memiliki nilai sigma tiga yang tidak jauh berbeda yaitu 12,35 MPa dan 12,50 MPa.



Gambar 5.5
Nilai Sigma Satu Akibat Kemajuan Penggalian pada Jarak Tertentu untuk seam E



Gambar 5.6

Nilai Sigma Tiga Akibat Kemajuan Penggalian pada Jarak Tertentu untuk seam E

Berdasarkan gambar grafik diatas dapat dilihat adanya perubahan nilai sigma satu dan sigma tiga pada masing-masing seam. Penurunan nilai sigma satu dan sigma tiga pada seam D ini disebabkan jarak kemajuan semakin menjauh dari *face* awal dan adanya keruntuhan pada *immediate roof* dibelakang *powered roof support* selama penggalian. Pada saat awal kemajuan material *immediate roof* masih merupakan massa batuan namun setelah mengalami kemajuan melewati *interval first weighting*, material gob yang dihasilkan dibelakang *powered roof support* langsung menyentuh *floor* bersifat residual. Selain itu sistem pengalihan juga mempengaruhi nilai dari sigma satu dan sigma tiga. Sistem penggalian pada seam D yang digunakan adalah *singleslicing* dikarenakan tebal batubara 2 m. Akibat langsung menyentuh *floor* nilai sigma satu dan sigma tiga mengalami penurunan.

Nilai sigma satu dan sigma tiga pada seam E justru mengalami kenaikan pada saat jauhnya jarak penggalian. Sistem penggalian yang digunakan pada seam E adalah *multislicing* sehingga pada saat *immediate roof* runtuh masih akan disangga oleh *powered roof support slice* kedua. Material gob dari *slice* pertama

akan menjadi *immediate roof* pada *slice* kedua, sehingga nilai sigma satu dan sigma tiga mengalami peningkatan. Hasil pemodelan dengan menggunakan *finite element* pada seam D dan seam E, sigma satu dan sigma tiga pada seam D menunjukkan nilai yang linier daripada nilai dari sigma satu dan sigma tiga pada seam E.

Selain nilai sigma satu dan sigma tiga, hasil pemodelan menggunakan *finite element* mendapatkan nilai *yield element*. *Yield element* terjadi pada material plastis. *Yield* dapat dilihat sebagai zona plastis pada bukaan dan unsur penting dalam menganalisis *yield* adalah *tension* dan *shear*. *Yield* menunjukkan batas perilaku elastis dan merupakan awal perilaku plastis hingga terjadinya *failure*. Pemodelan *finite element* pada seam D dan seam E menunjukkan *yield element* sebesar 100%, ini berarti pada *immediate roof* langsung mengalami keruntuhan disaat *powered roof support* tidak lagi menyangga *roof*.

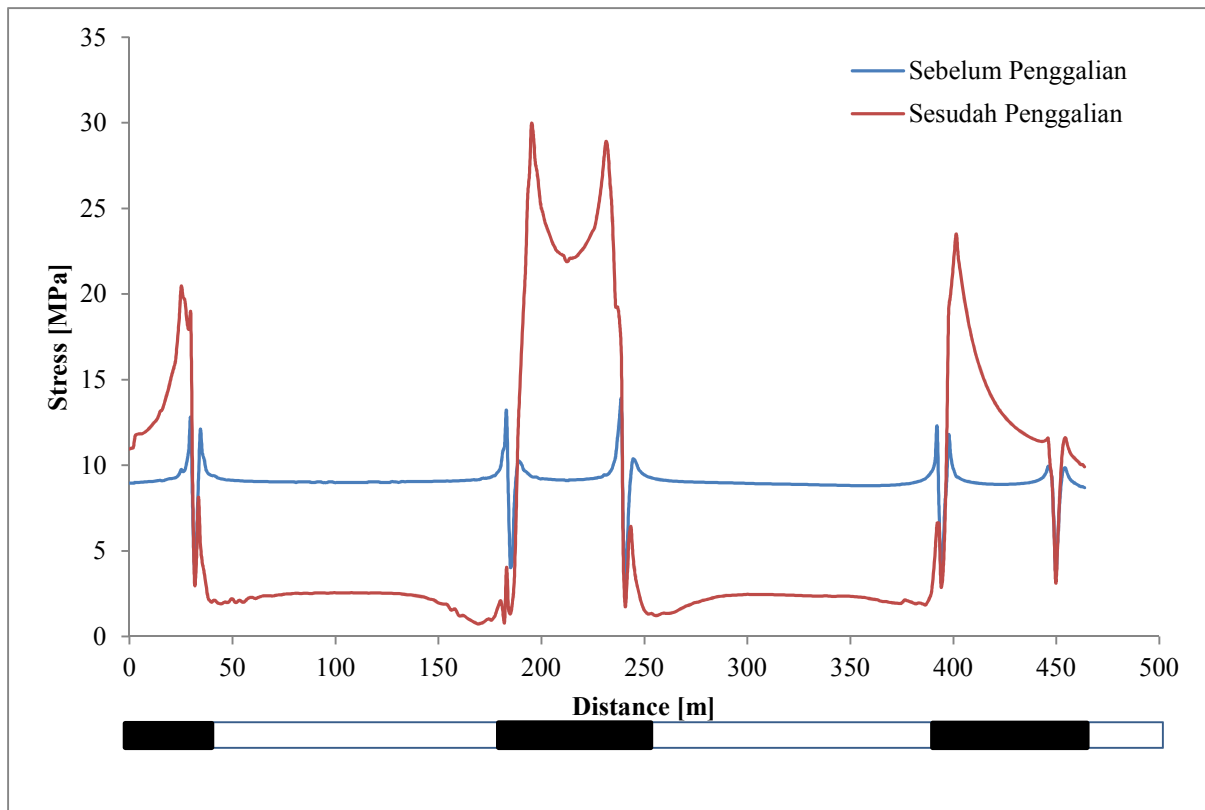
5.3. Analisis *Abutment Pressure* Pada Panel Penambangan

Pada penambangan batubara bawah tanah dengan menggunakan metode *longwall* terdapat tegangan tambahan yaitu tegangan pada ujung batas penambangan (*abutment pressure*). Ketika penambangan berlangsung, *abutment pressure* akan terbentuk pada tepi gob dan akan dibebankan dekat dengan *face*. *Abutment pressure* dipengaruhi oleh tegangan vertikal. Distribusi tegangan vertikal pada *roof* tergantung pada nilai modulus young pada *immediate roof*. Analisis *abutment pressure* terdiri dari *front abutment pressure*, *side abutment pressure* dan *back abutment pressure (gob pressure)*.

5.3.1. Analisis *Side Abutment Pressure*

Side abutment pressure terbentuk pada *rib* dari *headentry* dan *tailentry* pada saat bersamaan dengan *front abutment pressure*. Nilai maksimum *side abutment pressure* berkisar 0,4 sampai 3,5 σ_v menurut Peng and Chiang, 1984. Analisis *side abutment pressure* yang dilakukan pada panel penambangan seam D dan seam E menggunakan model *cross section* tiap panel dengan dimensi lebar panel 150 m dan lebar *rib* 54 m. Berdasarkan konsep *abutment angle*, panel penambangan seam D dan seam E masuk dalam klasifikasi *Supercritical*. Nilai

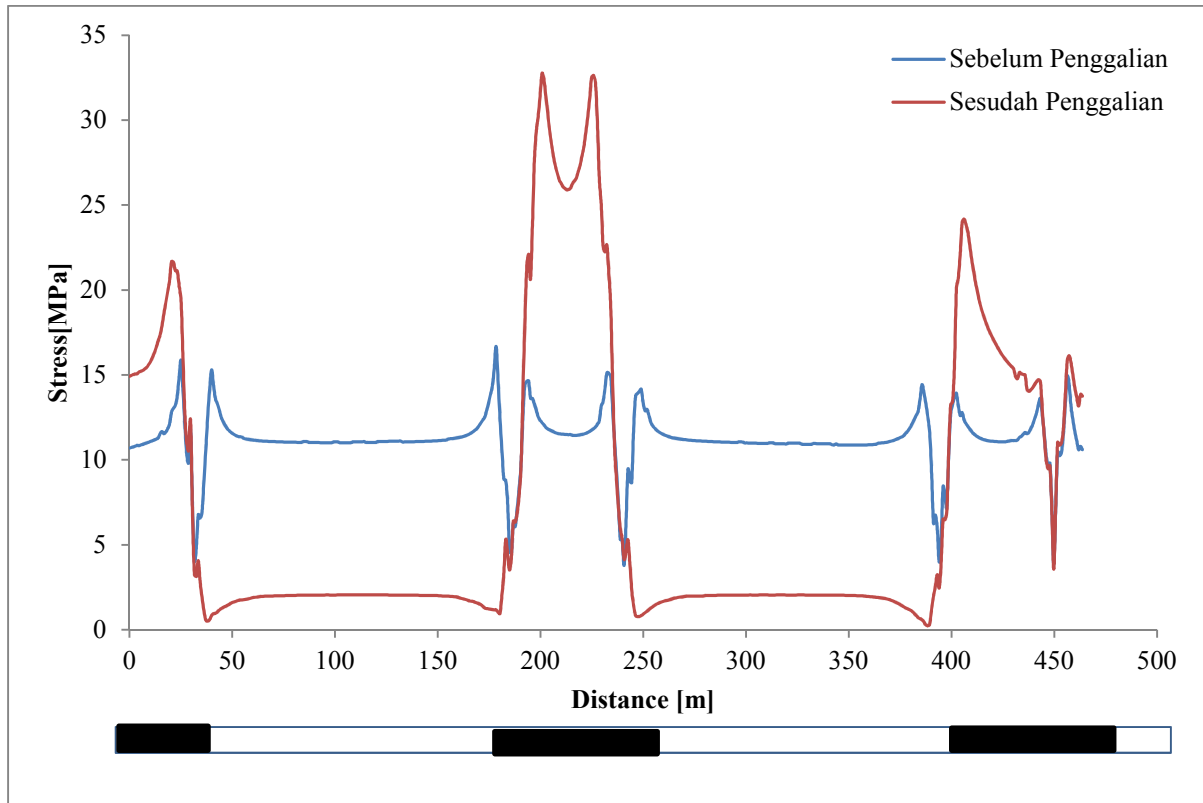
critical width dari *side abutment pressure* masing seam sebesar 407,62 m untuk seam D dan 494,23 m untuk seam E. Besaran nilai *side abutment load* berdasarkan hitungan analitik didapatkan nilai sebesar 179.352.958 kg/m dari *gateroad* untuk seam D dan 311.618.122 kg/m dari *gateroad* untuk seam E. Lebar zona *abutment* sebesar 102,69 m untuk seam D dan 113,07 m untuk seam E. Dari hasil pemodelan *finite element* pada panel penambangan seam D dan seam E didapatkan grafik *side abutment pressure* yang ditunjukkan pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8.



Gambar 5.7
Side Abutment Pressure pada Seam D

Berdasarkan Gambar 5.7 nilai maksimum *side abutment pressure* terbentuk setelah terjadi penambangan pada panel penambangan seam D sebesar 29,89 MPa dan 28,91 MPa yang terbentuk pada sisi kanan dan kiri *rib* pada jarak 8 m didalam *rib*. Sedangkan pada sebelum penambangan *side abutment pressure* pada panel penambangan seam D sebesar 13,13 MPa dan 10,24 MPa yang terbentuk pada sisi kanan kiri *rib* pada jarak 2 m. Setelah nilai maksimum *side*

abutment pressure mengalami penurunan drastis. Penurunan *side abutment pressure* pada *rib* dikarenakan setelah terjadi penurunan *stress* distribusi dianggap massa batuan.

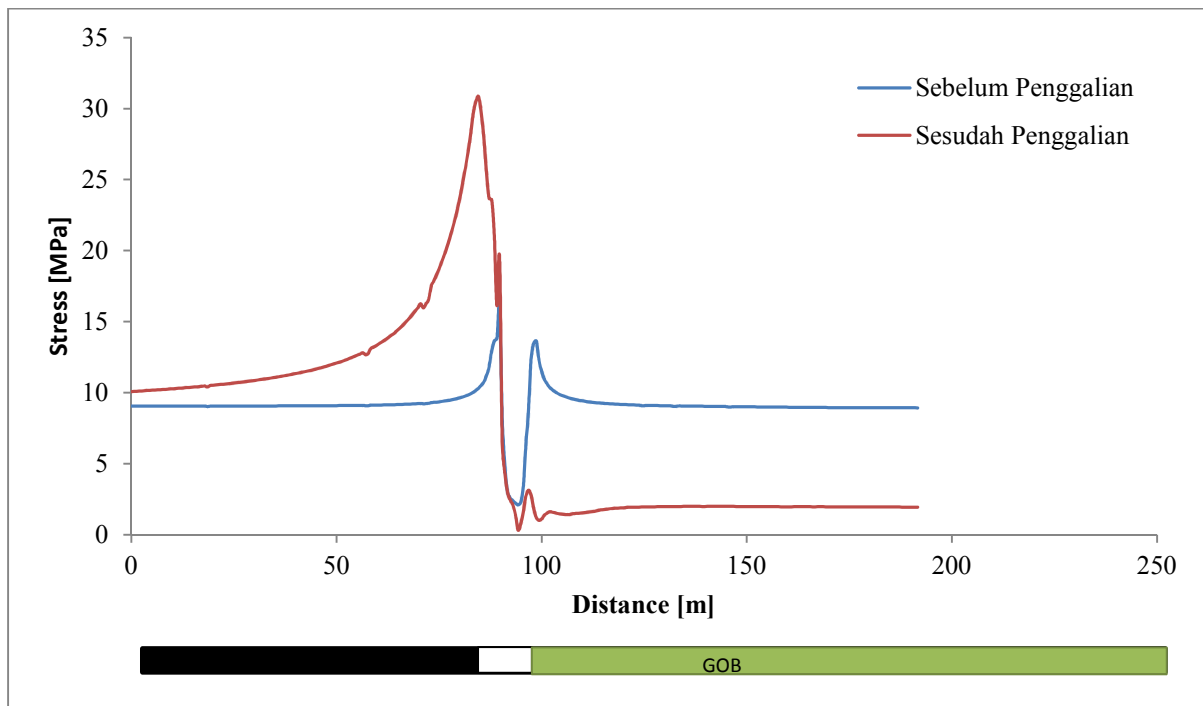


Gambar 5.8
Side Abutment Pressure pada Seam E

Berdasarkan Gambar 5.8 nilai maksimum *side abutment pressure* terbentuk setelah terjadi penambangan pada panel penambangan seam E sebesar 32,74 MPa dan 32,63 MPa yang terbentuk pada sisi kanan dan kiri *rib* pada jarak 14,3 m didalam *rib*. Sedangkan pada sebelum penambangan *side abutment pressure* pada panel penambangan seam D sebesar 16.66 MPa dan 14,62 MPa yang terbentuk pada sisi kanan kiri *rib* pada jarak 7 m. Setelah nilai maksimum *side abutment pressure* mengalami penurunan drastis. Penurunan *side abutment pressure* pada *rib* dikarenakan setelah terjadi penurunan *stress* distribusi dianggap massa batuan.

5.3.2. Analisis *Front Abutment Pressure*

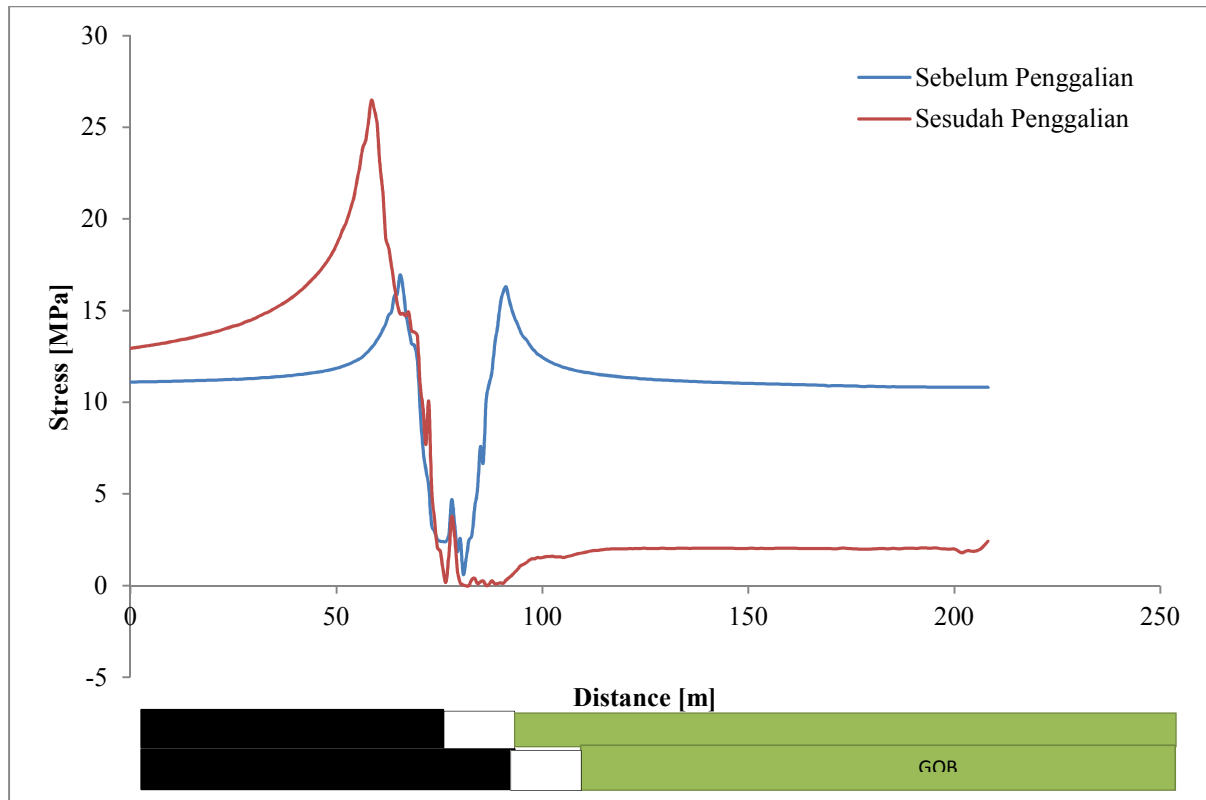
Secara umum, peningkatan *front abutment pressure* maksimum berkisar antara 0,2 – 6,4 σ_v . Lebar dari *front abutment* tidak hanya tergantung pada kedalaman *overvurben* tetapi juga pada posisi sepanjang *face*. Jika terdapat panel *mined-out* yang saling berdekatan, *front abutment pressure* maksimum berada pada sisi tersebut atau pada daerah persimpangan *tailentry*. Analisis *front abutment pressure* yang dilakukan pada panel penambangan seam D dan seam E menggunakan model *longitudinal section* tiap panel. Dari hasil pemodelan *finite element* pada panel penambangan seam D dan seam E diperoleh grafik *front abutment pressure* yang ditunjukkan pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10.



Gambar 5.9
Front Abutment pada Panel Penambangan Seam D.

Berdasarkan Gambar 5.9 nilai maksimum *front abutment pressure* terbentuk setelah terjadi penambangan pada panel penambangan seam D sebesar 30,84 MPa yang terbentuk didepan *face* pada jarak 5,5 m. Sedangkan pada sebelum penambangan *front abutment pressure* pada panel penambangan seam D sebesar 16,01 MPa yang terbentuk pada sisi *face*. Setelah nilai maksimum *front*

abutment pressure mengalami penurunan drastis. Penurunan *front abutment pressure* pada depan *face* dikarenakan setelah terjadi penurunan *stress* distribusi dianggap massa batuan. Namun pada panel penambangan hal ini disebabkan adanya keruntuhan pada *immediate roof* dan material gob menjadi kondisi residual.



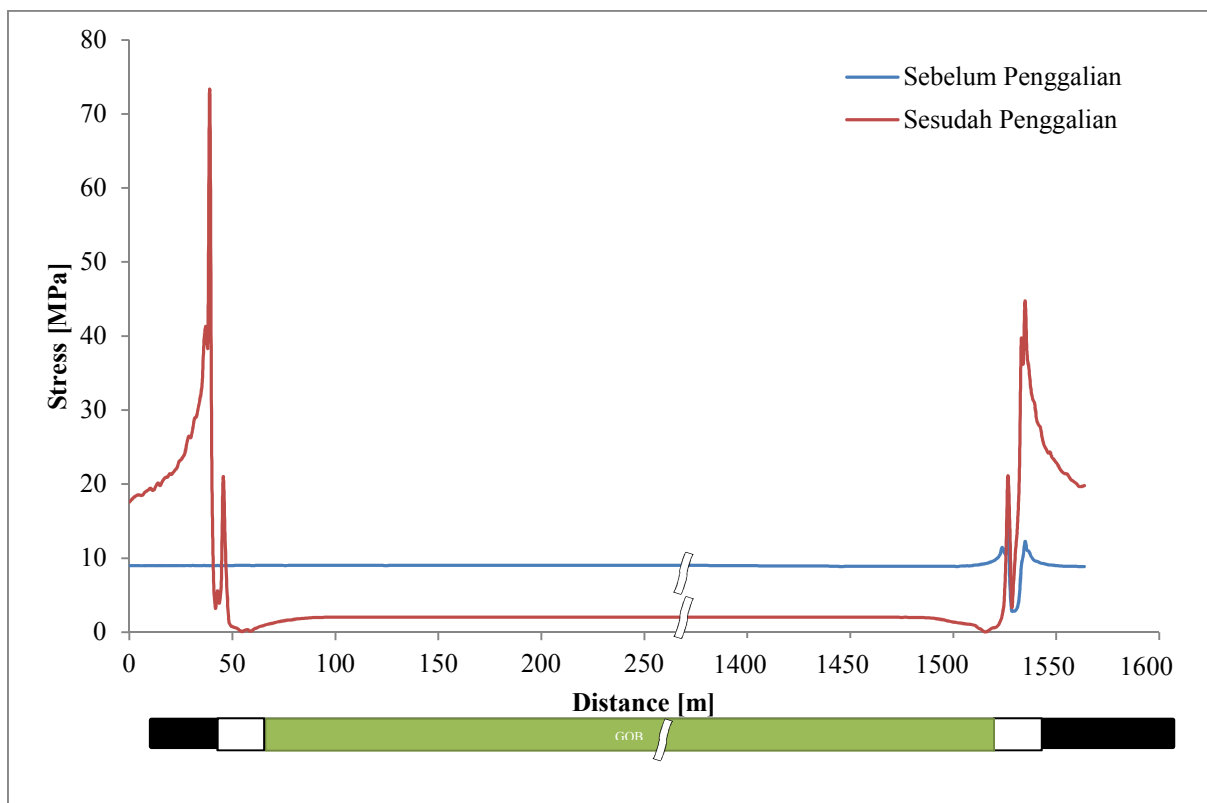
Gambar 5.10
Front Abutment pada Panel Penambangan Seam E.

Berdasarkan Gambar 5.10 nilai maksimum *front abutment pressure* terbentuk setelah terjadi penambangan pada panel penambangan seam E sebesar 26,42 MPa yang terbentuk didepan *face* pada jarak 13 m. Sedangkan pada sebelum penambangan *front abutment pressure* pada panel penambangan seam E sebesar 16,95 MPa yang terbentuk pada sisi *face*. Sistem penggalian yang dilakukan pada seam E adalah *multislicing* nilai *front abutment pressure* pada *slice* pertama dan *slice* kedua besaran nilai *front abutment pressure* tidak terlalu jauh berbeda. Setelah nilai maksimum *front abutment pressure* mengalami

penurunan drastis. Penurunan *front abutment pressure* pada depan *face* dikarenakan setelah terjadi penurunan *stress* distribusi dianggap massa batuan.

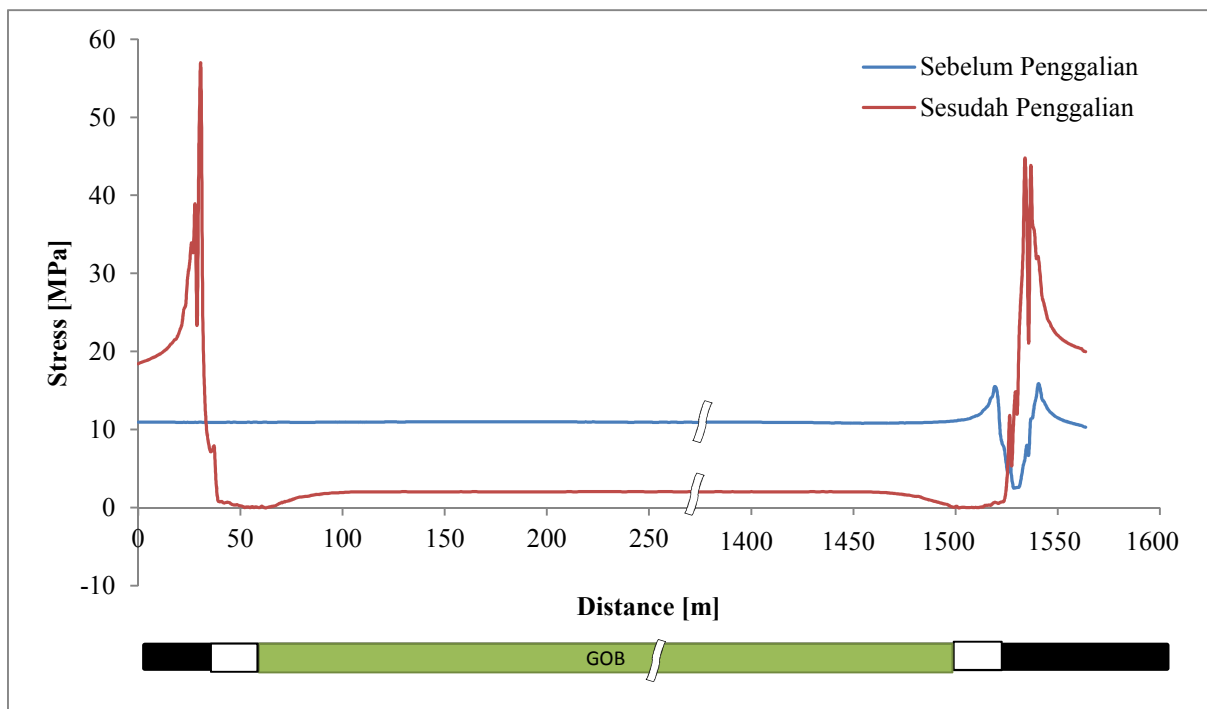
5.3.3. Analisis *Back Abutment Pressure (GOB Pressure)*

Ketika batuan pada atap pada gob, berat dari fragmen *caving* membentuk *gob pressure*. Ketika fragmen *caving* terus menumpuk maka *gob pressure* akan tertumpuk pula. *Gob pressure* maksimum adalah berat *overburden* yang terjadi ketika gob menahan beban penuh dari beban *overburden*. *Gob pressure* mencapai beban *overburden* bergantung pada lebar panel. Analisis *back abutment pressure (gob pressure)* yang dilakukan pada panel penambangan seam D dan seam E menggunakan model *longitudinal section* tiap panel dengan dimensi panjang panel 1500 m. Dari hasil pemodelan *finite element* pada panel penambangan seam D dan seam E didapatkan grafik *side abutment pressure* yang ditunjukkan pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12.



Gambar 5.11
Back Abutment pada Panel Penambangan Seam D.

Berdasarkan Gambar 5.11 nilai maksimum *back abutment pressure* terbentuk setelah terjadi penambangan pada panel penambangan seam D sebesar 73,22 MPa yang terbentuk didepan *face* dan 44,73 MPa yang terbentuk pada *mine out*. Sedangkan pada sebelum penambangan *front abutment pressure* pada panel penambangan seam D sebesar 12,25 MPa yang terbentuk pada sisi *face* pada *mine out*. *Back abutment pressure* dapat dilihat pada saat penambangan telah selesai dilakukan.



Gambar 5.12
Back Abutment pada Panel Penambangan Seam E.

Berdasarkan Gambar 5.12 nilai maksimum *back abutment pressure* terbentuk setelah terjadi penambangan pada panel penambangan seam E sebesar 56,23 MPa yang terbentuk didepan *face* dan 44,71 MPa yang terbentuk pada *mine out*. Sedangkan pada sebelum penambangan *front abutment pressure* pada panel penambangan seam E sebesar 14,19 MPa yang terbentuk pada sisi *face* pada *mine out*. Sistem penggalian yang dilakukan pada seam E adalah *multislicing* nilai *back abutment pressure* pada *slice* pertama dan *slice* kedua besaran nilai *back abutment pressure* yang dihasilkan sama karena dilihat setelah terjadi penambangan. Setelah nilai maksimum *back abutment pressure* mengalami

penurunan drastis. Penurunan *back abutment pressure* pada depan *face* dikarenakan setelah terjadi penurunan *stress* distribusi dianggap massa batuan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil analisis *strata control overburden* seam Airlaya adalah sebagai berikut:

1. Analisis *overburden movement* pada dimensi panel penambangan *longwall* yang akan direncanakan pada Tambang Airlaya adalah lebar 150 m dengan panjang panel 1500 m didapatkan zona gangguan pada seam D sebesar 4,16 – 16,64 m untuk *caving zone*. Sedangkan *caving zone* pada seam E sebesar 14 – 56 m untuk. Hasil perhitungan tinggi runtuh menurut Unal (1983) dengan parameter RMR diperoleh nilai sebesar 4,02 m untuk seam D maupun seam E.
 - Berdasarkan perhitungan analitik diperoleh tinggi *immediate roof* karakteristik material *overburden* tersebut *immediate roof* masing-masing seam masuk dalam klasifikasi *Unstable Immediate Roof*. Tipe *Unstable* menurut *Russian Classification* setelah *shearer* melakukan penggalian area yang telah terekspose dapat bertahan tanpa penyangga kurang dari lima menit. Berdasarkan *Polish Classification* $P = 0 - 18$ setelah penggalian, material dari *immediate roof* akan segera runtuh dengan *short delay*.
 - Estimasi nilai *interval first weighting immediate roof*, L_{0im} sebesar 13,17 m dan *interval first weighting main roof* L_{0m} sebesar 44,35 m untuk seam D. Pada seam E nilai *interval first weighting immediate roof*, L_{0im} sebesar 24,41 m dan *interval first weighting main roof* L_{0m} sebesar 81,36 m. Pada seam E nilai *interval first weighting immediate roof*, L_{0im} sebesar 22,10 m dan *interval first weighting main roof* L_{0m} sebesar 80,50 m. Hasil analisis *periodic roof weighting interval* (PRWI) didapatkan persamaan trend dengan GSI pada seam D adalah $PRWI = 1,81 e^{0,0267GSI}$ untuk numerik model dan $PRWI = 1,65 e^{0,0267GSI}$ untuk analitik model. Hasil analisis *periodic roof weighting interval* (PRWI) didapatkan persamaan trend

dengan GSI pada seam E adalah $PRWI = 1,85 e^{0,0262GSI}$ untuk numerik model dan $PRWI = 1,68 e^{0,0260GSI}$ untuk analitik model.

2. Nilai sigma satu pada seam D pada jarak kemajuan 5,5 m dan 20 m menunjukkan nilai yang cukup tinggi yaitu 17,90 MPa dan 18,33 MPa. Jarak kemajuan 35 m dan 40 m mengalami penurunan nilai sigma satu menjadi 3,74 MPa dan 1,62 MPa. Nilai sigma tiga pada jarak kemajuan 5,5 m dan 20 m menunjukkan nilai yang cukup tinggi yaitu 9,28 MPa dan 8,51 MPa. Jarak kemajuan 35 m dan 40 m mengalami penurunan nilai sigma tiga menjadi 0,71 MPa dan 0,19 MPa. Pada seam E sigma satu pada jarak kemajuan 12 m dan 26 m menunjukkan nilai yang lebih rendah daripada jarak yang lain yaitu 13,89 MPa dan 14,23 MPa. Jarak kemajuan 34 m dan 42 m mengalami peningkatan nilai sigma satu menjadi 15,95 MPa dan 21,66 MPa. Sigma tiga pada jarak kemajuan 12 m dan 26 m menunjukkan nilai yang relatif sama yaitu 11,69 MPa dan 11,76 MPa. Jarak kemajuan 34 m dan 42 m memiliki nilai sigma tiga yang tidak jauh berbeda yaitu 12,35 MPa dan 12,50 MPa. Pemodelan *finite element* pada seam D dan seam E menunjukkan *yield element* sebesar 100%, ini berarti pada *immediate roof* langsung mengalami keruntuhan disaat *powered roof support* tidak lagi menyangga *roof*.
3. Analisis *abutment pressure* terdiri dari *front abutment pressure*, *side abutment pressure* dan *back abutment pressure (gob pressure)*.
 - Nilai maksimum *side abutment pressure* terbentuk setelah terjadi penambangan pada panel penambangan seam D sebesar 29,89 MPa jarak 8 m dalam didalam *rib*. Nilai maksimum *side abutment pressure* terbentuk setelah terjadi penambangan pada panel penambangan seam E sebesar 32,74 MPa pada jarak 14,3 m didalam *rib*.
 - Nilai maksimum *front abutment pressure* terbentuk setelah terjadi penambangan pada panel penambangan seam D sebesar 30,84 MPa yang terbentuk didepan *face* pada jarak 5,5 m. Nilai maksimum *front abutment pressure* terbentuk setelah terjadi penambangan pada panel penambangan seam E sebesar 26,42 MPa yang terbentuk didepan *face* pada jarak 13 m.

- Nilai maksimum *back abutment pressure* terbentuk setelah terjadi penambangan pada panel penambangan seam D sebesar 73,22 MPa yang terbentuk didepan *face* dan 44,73 MPa yang terbentuk pada *mine out*. nilai maksimum *back abutment pressure* terbentuk setelah terjadi penambangan pada panel penambangan seam E sebesar 56,23 MPa yang terbentuk didepan *face* dan 44,71 MPa yang terbentuk pada *mine out*.

6.2. Saran

Saran yang diperoleh dari analisis *strata control overburden* seam Airlaya adalah sebagai berikut:

1. Diperlukan pemboran geoteknik lebih banyak yang mewakili luasan Tambang Airlaya yang digunakan untuk pengujian dilaboratorium sehingga data yang didapatkan lebih informatif dalam menganalisis *strata control overburden*.
2. Adanya penelitian lebih lanjut mengenai tegangan abutment baik di area pilar maupun di area panel dengan variasi dimensi.
3. Diperlukan proses validasi lanjutan untuk secara empirik untuk memastikan hasil penelitian ini dengan konsidi serupa dengan seam Airlaya sebagai dasar pertimbangan dalam menganalisis *strata control overburden*.

DAFTAR PUSTAKA

Alehossein, Habib and Poulsen, Brett A.,2010,“Stress Analysis of Longwall Top Coal Caving”. International Journal of Rock Mechanics ang Mining Sciences, 47 1:30 – 41 Barczak (1992).

Arch Coal Inc,2010,“Annual Report Pursuant To Section 13 or 15(D) of The Securities Exchange Act of 1934, From 10-K.United States Securities and Exchange Commission.

Barczak, T.M.1992.”Examination of Design and Operation Practices for Longwall Shields”.U.S.Department of The Interior, Bureau of Mines, Information Circular/1992.

Bieniawski, Z. T.1984.”Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling”.A.A. Balkema. Boston.

Bieniawski, Z. T.1992.”A Method Revisited: Coal Pillar Strength Foemula Based on Field investigation”.Proceedings of the Workshop on Coal Pillar Mechanics and Design: 158-165.

Bieniawski, Z. T.1968.”The Effect of Specimen Size on The Strength of Coal”.Int. J. Rock Mech. And Min. Sci:325-335.

Bieniawski, Z. T.1975.”The Significance of In Situ Tests on Large Rock Specimens”. Int. J. Rock Mech. And Min. Sci:101-113.

Gaddy, F, L. 1956.”A Study of the Ultimate Compressive Strength of Coal”. Bulletin of the Virginia Polytechnic Institute Engineering Experiment Station, No.112:1-27

Galvin, J.M.2016.”Ground Engineering-Principles and Practices for Underground Coal Mining” Springer Cham Heidelberg.New York.

Gale, W. J.,1998,“Coal Pillar Design Issues in Longwall mining”.Coal98 Conference, University of Wollongong.

Goodman, Richard E.,1898,“Introduction to Rock Mechanics Scond Edition”,John Wiley & Sons,Canada,

Haijung, Jiang., Cao Shenggen., Zhang Yun and Wang Chen.2016.”Analytical Solutions of Hard Roof’s bending Moment, Deflection and Energy Under The Front Abutment Pressure Before Periodic Weighting”.Internasional Journal of Mining Science and Technology.pp175-181

- Hoek, E. Kaiser, P. K. and Bawden, W. F. 1993. "Support of Underground Excavations in Hard Rock". London. Istn Min. Metall.
- Holland, C. T. 1964. "The Strength of Coal in Mine Pillars". Paper in Proceedings of the 6th U.S. Symposium on Rock Mechanics. Univ, MO. Rolla:450-466.
- Hosseini, Navid., Kamran Goshtasbi., Behdeen Oraee-Mirzamani and Mehran Gholinejad. 2013. "Calculation of Periodec Roof Weighting Interval in Longwall Mining using Finite Element Method". Arab J Geosci. Springer.
- Hualei, Zhang., Wang Lianguo and Sun Jian. 2011. "Distribution of Lateral Floor Abutment Pressure in A Stope". International Journal of Mining Science and Technology. pp217-221
- Hudson, J. A., 1995, "comprehensive Rock Engineering", Pergamon Press.
- Hustrulid, W.A. 1976. "A Review of Coal Pillar Strength Formulas Rock Mechanics". v, 8:115-145
- Lehman, Chistian., and Heinz Konietzky, Habil. 2015. "Geomechanical Issues in Longwall Mining". TU Bergakademie Freiberg. Geotechnical Institute.
- Li, Chuanming. 2012. "The Research on Abutment Stress Distribution and Fracture Characteristics of coal Seam in Longwall Face". Advanced Material Research Vols 361-363 pp103-107.
- Lie, Wen-jie and Wang Guo-hua. 2012. "Failure Simulation in The Coal Seam Floor by FEM Strength Reduction". ARMS. Korea. 1417-1422.
- Manteghi, H., K. Shahriar and R Torabi. 2012. "Numerical Modeling for Estimation of First Weighting in Longwall Coal Mining – A Case Study". Coal Operator's Conference. The University of Wollongong
- Mark, C., and Bieniawski, Z. T. 1986. "An Empirical Method for the Design of Chain Pillars in Longwall Mining". Paper in Proceedings of the 27th U.S. Symposium on Rock Mechanics. New York:415-422
- Mark, C. 1987. "Analysis of Longwall Pillar Stability". Disertasi. The Pennsylvania State University.
- Metcalf, J. R. 1967. "The Front Abutment of A Longwall Face". Int J Rock Mech. Min Sci Vol 4 pp195-207
- Noroozi, Asghar., Kazem Oraee., Mehrdad Javadi., Kamran Goshtasbi., Hosein Khodadady. 2012. "A Model for Determining the Breaking Chacacteristics of Immediate Roof in Longwall Mines". Yerbilimleri 33(2). 193-204
- Obert, L., and W. I. Duvall. 1967. "Rock Mechanics and The Design of Structures in Rock". Wiley. New York:542-545

- Pati, Nishant Kumar,2011,"Evaluation of Underground Coal Pillar Design",National Institute of Technology Rourkela, Rourkela.
- Peng, Syd S. 1986. "Coal Mine Ground Control". John Wiley & Sons, Inc. Canada
- Peng, Syd S and Chiang, H. S.1984."Longwall Mining".John Wiley & Sons, Inc. Canada.
- Qiangling, Yao., et.al.2015."Distribution of Side Abutment Stress in Roadway Subjected to Dynamic Pressure and Its Engineering Application".Hindawi Publishing Corporation.
- Rai, Made Astawa. Kramadibrata, Suseno. And Wattimena, Ridho Kresna.2013."Mekanika Batuan".Bandung.ITB
- Robert A. Meyers.1981."Coal Handbook".Marcel dekker.inc.New York.
- S. M. Hsiung and S. S. Peng.1985."Chain Pillar Design for U.S. Longwall Panels".Mining Sci. Tech
- Salamon, M. D. G., and A. H. Munro. 1967."A Study of the Strength of Coal Pillars".J.S.Afr. Inst. Min:55-67
- Shen, Wen-Long.,Jian-biao Bai., Wen-feng Li., Xiang-yu Wang.2018."Prediction of Relative Displacement for Entry Roof with Weak Plane Under the Effect of Mining Abutment Stress".Tunneling and Underground Space Technology 71:309-317
- Singh, GSP and Singh UK.2010."Numerical Modeling Study of the Effect of Some Critical Parameters on Caving Behavior of Strata and Support Performance in a Longwall Working".Rock Mech Rock Eng 43(4):475-489
- Singh, Rajendra, Singh, Amit K.,Ram, Suhendra. 2012. "Some Practical Rock Mechanics Considerations During Underground Pillar Extraction from Deep Coal Seam".ARMS.Korea.1399-1408
- Van der Merwe, J. N. & Mathey, M. 2013,"Probability of Failure of South Africa Coal Pillars". The Jurnal of The South African Institute of Mining and Metallurgy:849-857
- Wagner, H.1974."Determination of the Complete Load Deformation Characteristics of Coal Pillars".Paper in Proceedings of the 3rd ISRM Congress on Rock Mechanics.Denver:1076-1081.
- Wang, Lian-guo.,Song Yang.,He Xing-hua.,Zhang Jian.2008."Side Abutment Pressure Distribution by Field Measurement".J China Univ Mining & Technol 18:0527-0530
- Wenzel, A.2012."Simulation Options for the Shield Support for Longwall Mining".TU Bergakademie Freiberg.Geothechnical Institute

LAMPIRAN A
HASIL UJI LABORATORIUM MATERIAL BATUAN

LAMPIRAN B

DATA PERHITUNGAN *PERIODIC ROOF WEIGHTING INTERVAL*

Perhitungan *periodic roof weighting interval* (PRWI) menggunakan pendekatan massa batuan dengan parameter GSI (Afsarinejad 1999; Hoek et al 1997; Peng).

Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai PRWI sebagai berikut

$$L = \sqrt{\frac{\left(\exp\left(\frac{GSI - 100}{9}\right)\right) h \sigma_c}{3 \gamma m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28}\right) \cos \alpha}}$$

Tabel B.1
Perhitungan analitik PRWI (Afsarinejad 1999; Hoek et al 1997; Peng).seam D

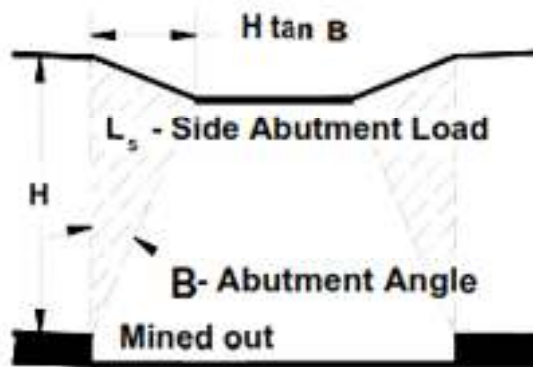
Hoek-Brown Criterion				Poisson's Ratio	Weight per unit volume (MN/m ³)	GSI	
a	S	m _b	m _i				
0,54	0,0001	0,35	6	0,3	0,022	20	
0,53	0,0002	0,41	6	0,3	0,022	25	
0,52	0,0007	0,88	9	0,3	0,022	35	
0,51	0,002	1,26	9	0,3	0,022	45	Roof
0,51	0,006	3,52	9	0,3	0,022	50	
0,5	0,007	4	13	0,3	0,022	55	
0,5	0,021	6,02	17	0,3	0,022	65	
0,52	0,0007	0,39	6	0,3	0,023		Floor
0,52	0,0007	1,37	14	0,31	0,022		Coal Seam

Tabel B.2
Perhitungan analitik PRWI (Afsarinejad 1999; Hoek et al 1997; Peng).seam E

Hoek-Brown Criterion				Poisson's Ratio	Weight per unit volume (MN/m ³)	GSI	
a	S	m _b	m _i				
0,54	0,0001	0,35	6	0,3	0,026	20	
0,53	0,0002	0,41	6	0,3	0,026	25	
0,52	0,0007	0,88	9	0,3	0,026	35	
0,51	0,002	1,26	9	0,3	0,026	45	Roof
0,51	0,006	3,7	11	0,3	0,026	50	
0,5	0,007	4	13	0,3	0,026	55	
0,5	0,021	6,02	17	0,3	0,026	65	
0,52	0,0007	0,39	6	0,3	0,026		Floor
0,52	0,0007	1,37	14	0,31	0,026		Coal Seam

LAMPIRAN C
PERHITUNGAN ANALITIK *SIDE ABUTMENT PRESSURE*

Abutment Load – beban yang dihasilkan oleh panel batubara yang kemudian berpindah kesekitar *rib* batubara



Gambar C.1
 Konsep *Abutment Angle Supercritical*

- *Critical Width* dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$W_c = 2H \tan\beta$$

Keterangan :

W_c = Lebar Kritical dari panel

H = Kedalaman

β = Sudut *Abutment*

- *Abutment Load – supercritical* dihitung dengan persamaan :

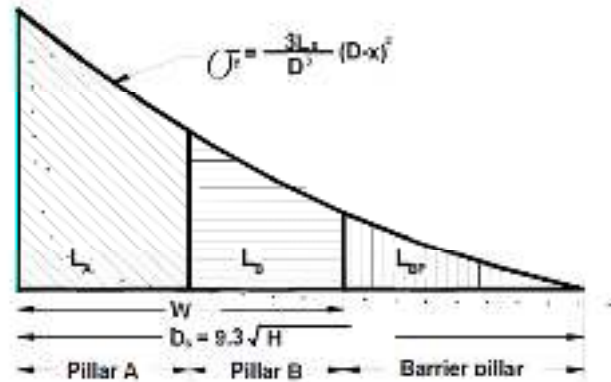
$$L_s = H^2(\tan\beta)(\rho/2)$$

Keterangan :

L_s = *Side Abutment Load*

H = Kedalaman

- β = Sudut *Abutment*
- ρ = Densitas *Overburden*



Gambar C.2
Distribusi *Side Abutment Load*

- *Abutment Zone Width* dihitung dengan persamaan

$$D = 9,3\sqrt{H}$$

Keterangan :

D = Lebar zona *abutment*

H = Kedalaman

- *Abutment Zone – Stress Distribution* dihitung dengan persamaan

$$\sigma_a = \left(\frac{3L_s}{D^3}\right) (D - x)^2$$

Keterangan :

σ_a = *Abutment pressure*

L_s = *Side Abutment Load*

D = Lebar zona *abutment*

x = Jarak Panel

- *Abutment Zone Load* dihitung dengan persamaan

$$R = 1 - \left(\frac{D - x}{D} \right)^3$$

Keterangan :

R = Presentase *Abutment pressure*

D = Lebar zona *abutment*

x = Jarak Panel

Berdasarkan persamaan diatas dapat dihitung besaran *abutment pressure* sebagai berikut

- *Critical Width*

Seam D

$$\begin{aligned} W_c &= 2 \cdot 400 \text{ m} \cdot \tan 27^\circ \\ &= 407,62 \text{ m} \end{aligned}$$

Seam E

$$\begin{aligned} W_c &= 2 \cdot 485 \text{ m} \cdot \tan 27^\circ \\ &= 494,23 \text{ m} \end{aligned}$$

- *Abutment Load – supercritical*

Seam D

$$\begin{aligned} L_c &= 400^2 \text{ m} \cdot (\tan 27^\circ)(2200 \text{ kg/m}^3/2) \\ &= 179.352.958 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Seam E

$$\begin{aligned} L_c &= 400^2 \text{ m} \cdot (\tan 27^\circ)(2200 \text{ kg/m}^3/2) \\ &= 311.618.122 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- *Abutment Zone Width*

Seam D

$$\begin{aligned} D &= 9,3 \sqrt{400} \text{ m} \\ &= 102,69 \text{ m} \end{aligned}$$

Seam E

$$\begin{aligned} D &= 9,3 \sqrt{485} \text{ m} \\ &= 113,07 \text{ m} \end{aligned}$$

- *Abutment Zone – Stress Distribution*

Seam D

$$\begin{aligned} \sigma_a &= \left(\frac{3 \cdot 179.352.958 \text{ kg/m}}{102,69 \text{ m}^3} \right) (102,69 \text{ m} - 54 \text{ m})^2 \\ &= 11,55 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Seam E

$$\begin{aligned} \sigma_a &= \left(\frac{3 \cdot 179.352.958 \text{ kg/m}}{102,69 \text{ m}^3} \right) (102,69 \text{ m} - 54 \text{ m})^2 \\ &= 22,13 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- *Abutment Zone Load*

Seam D

$$\begin{aligned} R &= 1 - \left(\frac{102,69 \text{ m} - 54 \text{ m}}{102,69 \text{ m}} \right)^3 \\ &= 89\% \end{aligned}$$

Seam E

$$\begin{aligned} R &= 1 - \left(\frac{113,07 \text{ m} - 54 \text{ m}}{113,07 \text{ m}} \right)^3 \\ &= 85\% \end{aligned}$$

LAMPIRAN D
DATA PERHITUNGAN NUMERIK *SIDE ABUTMENT PRESSURE*

Hasil analisis *side abutment pressure* berdasarkan pemodelan numerik diperoleh sebagai berikut :

Tabel D.1
 Hasil Perhitungan Numerik *Side Abutment Pressure Seam D*

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress[MPa]	Distance [m]	Stress[MPa]
0	8,9584	0	10,951
0,929252	8,95827	0,929252	10,9977
1,8585	8,95813	1,8585	11,0445
2,78776	8,99413	2,78776	11,7351
3,71701	8,99488	3,71701	11,8079
4,64626	8,99928	4,64626	11,8355
5,57551	9,00604	5,57551	11,8338
6,50476	9,01546	6,50476	11,8638
7,43402	9,02784	7,43402	11,9289
8,36327	9,03959	8,36327	12,013
9,29252	9,05033	9,29252	12,1277
10,2218	9,0584	10,2218	12,2478
11,151	9,06118	11,151	12,3787
12,0803	9,06843	12,0803	12,5075
13,0095	9,08496	13,0095	12,6319
13,9388	9,10289	13,9388	12,8249
14,868	9,12336	14,868	13,1426
15,7973	9,09594	15,7973	13,2291
16,7265	9,11315	16,7265	13,5565
17,6558	9,16026	17,6558	13,9467
18,585	9,19263	18,585	14,3247
19,5143	9,21306	19,5143	14,7654
20,4435	9,22764	20,4435	15,2368
21,3728	9,24821	21,3728	15,6389

Lanjutan Tabel D.1

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress[MPa]	Distance [m]	Stress[MPa]
22,3021	9,27327	22,3021	16,0788
23,2313	9,34761	23,2313	17,2382
24,1606	9,4832	24,1606	18,6069
25,0898	9,75218	25,0898	20,4314
26,0191	9,62886	26,0191	19,8466
26,9483	9,73778	26,9483	19,587
27,8776	10,2433	27,8776	18,4259
28,8068	10,9539	28,8068	17,9456
29,7361	12,7082	29,7361	18,8917
30,6653	7,43325	30,6653	8,82778
31,5946	3,90922	31,5946	3,1171
32,5238	5,66787	32,5238	4,53098
33,4531	9,04498	33,4531	8,1276
34,3823	12,0743	34,3823	5,5185
35,3116	10,7479	35,3116	4,34645
36,2408	10,3479	36,2408	3,74878
37,1701	9,75353	37,1701	3,03172
38,0993	9,53277	38,0993	2,27227
39,0286	9,44823	39,0286	2,08954
39,9578	9,39945	39,9578	2,00846
40,8871	9,3953	40,8871	2,12119
41,8163	9,34623	41,8163	2,08875
42,7456	9,26827	42,7456	1,96295
43,6748	9,23009	43,6748	1,9241
44,6041	9,20016	44,6041	1,90605
45,5334	9,19125	45,5334	1,97475
46,4626	9,15457	46,4626	2,01863
47,3919	9,13644	47,3919	1,98307
48,3211	9,14108	48,3211	2,02163
49,2504	9,13581	49,2504	2,18323
50,1796	9,12595	50,1796	2,18612
51,1089	9,11104	51,1089	2,01486
52,0381	9,10282	52,0381	1,99449

Lanjutan Tabel D.1

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress[MPa]	Distance [m]	Stress[MPa]
52,9674	9,10031	52,9674	2,10276
53,8966	9,09331	53,8966	2,09783
54,8259	9,08286	54,8259	2,00547
55,7551	9,07804	55,7551	2,02706
56,6844	9,07783	56,6844	2,14218
57,6136	9,07557	57,6136	2,22739
58,5429	9,07121	58,5429	2,28196
59,4721	9,06573	59,4721	2,29471
60,4014	9,05858	60,4014	2,24419
61,3306	9,05351	61,3306	2,21997
62,2599	9,05439	62,2599	2,27062
63,1891	9,05507	63,1891	2,31968
64,1184	9,05352	64,1184	2,35043
65,0476	9,05198	65,0476	2,38118
65,9769	9,04859	65,9769	2,38562
66,9062	9,0449	66,9062	2,38562
67,8354	9,04158	67,8354	2,38015
68,7647	9,03852	68,7647	2,37084
69,6939	9,03675	69,6939	2,37075
70,6232	9,0384	70,6232	2,39513
71,5524	9,04005	71,5524	2,41951
72,4817	9,03951	72,4817	2,43124
73,4109	9,03877	73,4109	2,44177
74,3402	9,03847	74,3402	2,45574
75,2694	9,0386	75,2694	2,47303
76,1987	9,03853	76,1987	2,48957
77,1279	9,03475	77,1279	2,4924
78,0572	9,03098	78,0572	2,49522
78,9864	9,03078	78,9864	2,50514
79,9157	9,03352	79,9157	2,52087
80,8449	8,99922	80,8449	2,53667
81,7742	9,03295	81,7742	2,52839
82,7034	9,02961	82,7034	2,52007

Lanjutan Tabel D.1

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress[MPa]	Distance [m]	Stress[MPa]
83,6327	9,02868	83,6327	2,51755
84,5619	9,03153	84,5619	2,52405
85,4912	9,03438	85,4912	2,53055
86,4204	9,0329	86,4204	2,52583
87,3497	9,02986	87,3497	2,51706
88,2789	8,9977	88,2789	2,5084
89,2082	8,99637	89,2082	2,52528
90,1375	8,99508	90,1375	2,54163
91,0667	9,03456	91,0667	2,55292
91,996	9,03361	91,996	2,54998
92,9252	9,03266	92,9252	2,54704
93,8545	8,98859	93,8545	2,54347
94,7837	8,98866	94,7837	2,53913
95,713	8,98874	95,713	2,53478
96,6422	9,0287	96,6422	2,53808
97,5715	9,03153	97,5715	2,54715
98,5007	9,03436	98,5007	2,55622
99,43	8,98913	99,43	2,55834
100,359	8,98926	100,359	2,55651
101,288	8,9894	101,288	2,55468
102,218	8,98956	102,218	2,55085
103,147	8,98974	103,147	2,54592
104,076	8,98992	104,076	2,541
105,005	8,99011	105,005	2,54319
105,935	8,99032	105,935	2,55016
106,864	8,99052	106,864	2,55712
107,793	8,99075	107,793	2,55777
108,722	8,99099	108,722	2,55177
109,652	8,99124	109,652	2,54576
110,581	8,9915	110,581	2,54382
111,51	8,99177	111,51	2,54927
112,44	8,99204	112,44	2,55472
113,369	8,99232	113,369	2,55666

Lanjutan Tabel D.1

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress[MPa]	Distance [m]	Stress[MPa]
114,298	8,99264	114,298	2,54889
115,227	8,99296	115,227	2,54112
116,157	9,03226	116,157	2,53644
117,086	9,0343	117,086	2,54178
118,015	9,03635	118,015	2,54712
118,944	9,03796	118,944	2,55032
119,874	9,03834	119,874	2,54755
120,803	9,03873	120,803	2,54477
121,732	8,9955	121,732	2,54158
122,661	8,99593	122,661	2,53761
123,591	8,99636	123,591	2,53363
124,52	8,99682	124,52	2,5314
125,449	8,99731	125,449	2,53092
126,378	8,9978	126,378	2,53044
127,308	9,04316	127,308	2,52532
128,237	9,04078	128,237	2,51817
129,166	9,03841	129,166	2,51101
130,095	9,00649	130,095	2,50825
131,025	9,00819	131,025	2,50572
131,954	9,04734	131,954	2,49798
132,883	9,04501	132,883	2,47536
133,812	9,04268	133,812	2,45274
134,742	9,0434	134,742	2,44084
135,671	9,04599	135,671	2,4355
136,6	9,04852	136,6	2,42973
137,529	9,04941	137,529	2,41148
138,459	9,0503	138,459	2,39322
139,388	9,05124	139,388	2,37567
140,317	9,05223	140,317	2,35886
141,246	9,05324	141,246	2,342
142,176	9,05591	142,176	2,32026
143,105	9,05859	143,105	2,29853
144,034	9,05859	144,034	2,2656

Lanjutan Tabel D.1

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress[MPa]	Distance [m]	Stress[MPa]
144,963	9,05658	144,963	2,22422
145,893	9,05582	145,893	2,18647
146,822	9,06079	146,822	2,16535
147,751	9,06575	147,751	2,14422
148,68	9,06504	148,68	2,07199
149,61	9,06319	149,61	1,98965
150,539	9,06432	150,539	1,93839
151,468	9,06802	151,468	1,91399
152,397	9,07197	152,397	1,89488
153,327	9,07656	153,327	1,88919
154,256	9,08076	154,256	1,87202
155,185	9,07987	155,185	1,70991
156,114	9,07899	156,114	1,5478
157,044	9,08595	157,044	1,57264
157,973	9,09372	157,973	1,61663
158,902	9,09567	158,902	1,45381
159,831	9,09601	159,831	1,23372
160,761	9,10022	160,761	1,19803
161,69	9,1061	161,69	1,24113
162,619	9,11215	162,619	1,20079
163,548	9,1183	163,548	1,11724
164,478	9,12495	164,478	1,03986
165,407	9,13187	165,407	0,965687
166,336	9,14495	166,336	0,903168
167,265	9,16073	167,265	0,84578
168,195	9,1415	168,195	0,789526
169,124	9,15461	169,124	0,733611
170,053	9,16966	170,053	0,753644
170,982	9,2272	170,982	0,784912
171,912	9,25	171,912	0,85061
172,841	9,23103	172,841	0,921056
173,77	9,25528	173,77	1,00839
174,699	9,28153	174,699	1,02491

Lanjutan Tabel D.1

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress[MPa]	Distance [m]	Stress[MPa]
175,629	9,31033	175,629	0,951693
176,558	9,37837	176,558	1,05178
177,487	9,40204	177,487	1,22699
178,416	9,55267	178,416	1,56393
179,346	9,68162	179,346	1,86591
180,275	9,94214	180,275	2,08656
181,204	10,7776	181,204	1,54842
182,133	11,1677	182,133	0,86952
183,063	13,1378	183,063	4,0398
183,992	7,96448	183,992	1,62146
184,921	4,0626	184,921	1,32095
185,85	4,32186	185,85	1,92231
186,78	7,60831	186,78	3,17977
187,709	9,31646	187,709	7,04145
188,638	10,2454	188,638	11,853
189,567	10,1917	189,567	14,5656
190,497	10,027	190,497	17,1187
191,426	9,71992	191,426	19,4671
192,355	9,64036	192,355	21,7312
193,284	9,54628	193,284	25,5996
194,214	9,42929	194,214	27,0728
195,143	9,34824	195,143	29,8967
196,072	9,30607	196,072	29,3027
197,001	9,30799	197,001	27,7047
197,931	9,29828	197,931	27,1093
198,86	9,22742	198,86	26
199,789	9,20545	199,789	25,1117
200,718	9,22091	200,718	24,733
201,648	9,20082	201,648	24,2235
202,577	9,19488	202,577	23,9142
203,506	9,18912	203,506	23,6111
204,435	9,17634	204,435	23,2979
205,365	9,16416	205,365	22,9914

Lanjutan Tabel D.1

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress[MPa]	Distance [m]	Stress[MPa]
206,294	9,15912	206,294	22,7663
207,223	9,15411	207,223	22,5503
208,152	9,14946	208,152	22,4514
209,082	9,14502	209,082	22,3535
210,011	9,14775	210,011	22,2878
210,94	9,15047	210,94	22,222
211,869	9,11034	211,869	21,9337
212,799	9,10958	212,799	21,9023
213,728	9,14477	213,728	22,0811
214,657	9,14287	214,657	22,084
215,586	9,14542	215,586	22,1113
216,516	9,15002	216,516	22,1499
217,445	9,15707	217,445	22,2455
218,374	9,16586	218,374	22,3818
219,303	9,1713	219,303	22,5149
220,233	9,17366	220,233	22,6449
221,162	9,18244	221,162	22,8072
222,091	9,1975	222,091	23,0011
223,021	9,20859	223,021	23,2114
223,95	9,21609	223,95	23,4366
224,879	9,2265	224,879	23,6627
225,808	9,23898	225,808	23,8893
226,738	9,26338	226,738	24,4098
227,667	9,29336	227,667	25,0678
228,596	9,30146	228,596	25,8437
229,525	9,33202	229,525	26,8038
230,455	9,44847	230,455	28,0259
231,384	9,42411	231,384	28,9128
232,313	9,47379	232,313	28,3716
233,242	9,60802	233,242	26,6808
234,172	9,77401	234,172	25,1203
235,101	10,1103	235,101	22,3885
236,03	10,5227	236,03	19,2436

Lanjutan Tabel D.1

Sebelum Penggalan		Setelah Penggalan	
Distance [m]	Stress[MPa]	Distance [m]	Stress[MPa]
236,959	11,6552	236,959	19,2462
237,889	12,7497	237,889	18,4728
238,818	13,7902	238,818	16,3224
239,747	6,17111	239,747	4,58702
240,676	3,33847	240,676	1,76192
241,606	5,21242	241,606	3,391
242,535	7,89471	242,535	5,78508
243,464	9,44146	243,464	6,41955
244,393	10,3567	244,393	4,85416
245,323	10,2989	245,323	3,73458
246,252	10,0564	246,252	3,09735
247,181	9,77196	247,181	2,61664
248,11	9,63311	248,11	2,16032
249,04	9,51847	249,04	1,78882
249,969	9,43765	249,969	1,53582
250,898	9,37838	250,898	1,39907
251,827	9,32852	251,827	1,31298
252,757	9,29055	252,757	1,3314
253,686	9,25506	253,686	1,34055
254,615	9,22927	254,615	1,26149
255,544	9,20587	255,544	1,21609
256,474	9,18744	256,474	1,24029
257,403	9,16896	257,403	1,28251
258,332	9,15043	258,332	1,34555
259,261	9,13408	259,261	1,36672
260,191	9,11941	260,191	1,35562
261,12	9,10714	261,12	1,35228
262,049	9,09629	262,049	1,35356
262,978	9,08686	262,978	1,37083
263,908	9,0782	263,908	1,39665
264,837	9,07088	264,837	1,44045
265,766	9,06433	265,766	1,4945
266,695	9,05811	266,695	1,55669

Lanjutan Tabel D.1

Sebelum Penggalan		Setelah Penggalan	
Distance [m]	Stress[MPa]	Distance [m]	Stress[MPa]
267,625	9,05213	267,625	1,62473
268,554	9,04661	268,554	1,68556
269,483	9,04156	269,483	1,73878
270,412	9,03669	270,412	1,78477
271,342	9,03215	271,342	1,81722
272,271	9,02784	272,271	1,8541
273,2	9,02472	273,2	1,91299
274,129	9,02159	274,129	1,97188
275,059	9,01799	275,059	1,99204
275,988	9,01436	275,988	2,00986
276,917	9,0113	276,917	2,04397
277,846	9,00852	277,846	2,08591
278,776	9,00564	278,776	2,12129
279,705	9,00257	279,705	2,14507
280,634	8,9995	280,634	2,16911
281,563	8,99699	281,563	2,20143
282,493	8,99449	282,493	2,23398
283,422	8,99237	283,422	2,26532
284,351	8,99051	284,351	2,29584
285,28	8,98858	285,28	2,32405
286,21	8,9862	286,21	2,33813
287,139	8,98383	287,139	2,35221
288,068	8,98141	288,068	2,36539
288,997	8,97894	288,997	2,37807
289,927	8,97649	289,927	2,39033
290,856	8,97415	290,856	2,398
291,785	8,9718	291,785	2,40567
292,714	8,96927	292,714	2,41211
293,644	8,96652	293,644	2,4172
294,573	8,96378	294,573	2,42229
295,502	8,96102	295,502	2,42878
296,431	8,95825	296,431	2,43558
297,361	8,95535	297,361	2,44274

Lanjutan Tabel D.1

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress[MPa]	Distance [m]	Stress[MPa]
298,29	8,95137	298,29	2,4528
299,219	8,9474	299,219	2,46286
300,148	8,94328	300,148	2,46678
301,078	8,93891	301,078	2,45934
302,007	8,93453	302,007	2,4519
302,936	8,93129	302,936	2,44895
303,865	8,92904	303,865	2,44994
304,795	8,92679	304,795	2,45093
305,724	8,92459	305,724	2,4516
306,653	8,92243	306,653	2,4521
307,582	8,92026	307,582	2,4526
308,512	8,91825	308,512	2,45198
309,441	8,91631	309,441	2,45094
310,37	8,91436	310,37	2,44989
311,299	8,91251	311,299	2,44815
312,229	8,9107	312,229	2,44617
313,158	8,90888	313,158	2,44418
314,087	8,90709	314,087	2,44182
315,016	8,90532	315,016	2,43929
315,946	8,90354	315,946	2,43676
316,875	8,90177	316,875	2,43358
317,804	8,9	317,804	2,42992
318,733	8,89823	318,733	2,42626
319,663	8,89644	319,663	2,4223
320,592	8,89462	320,592	2,41798
321,521	8,89281	321,521	2,41366
322,45	8,89092	322,45	2,40913
323,38	8,88891	323,38	2,40421
324,309	8,8869	324,309	2,3993
325,238	8,88476	325,238	2,39449
326,167	8,88237	326,167	2,38988
327,097	8,87998	327,097	2,38528
328,026	8,87747	328,026	2,38105

Lanjutan Tabel D.1

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress[MPa]	Distance [m]	Stress[MPa]
328,955	8,87473	328,955	2,37754
329,884	8,872	329,884	2,37402
330,814	8,86921	330,814	2,37089
331,743	8,86635	331,743	2,36824
332,672	8,86349	332,672	2,36559
333,602	8,86056	333,602	2,36292
334,531	8,85759	334,531	2,36026
335,46	8,85461	335,46	2,35759
336,389	8,85313	336,389	2,36301
337,319	8,85207	337,319	2,37066
338,248	8,85096	338,248	2,37757
339,177	8,84898	339,177	2,36612
340,106	8,847	340,106	2,35467
341,036	8,84488	341,036	2,34782
341,965	8,84247	341,965	2,34963
342,894	8,84006	342,894	2,35143
343,823	8,83726	343,823	2,35201
344,753	8,83431	344,753	2,3521
345,682	8,8314	345,682	2,35268
346,611	8,82878	346,611	2,35686
347,54	8,82616	347,54	2,36103
348,47	8,82352	348,47	2,35903
349,399	8,82088	349,399	2,35263
350,328	8,81826	350,328	2,34621
351,257	8,81597	351,257	2,33965
352,187	8,81367	352,187	2,33309
353,116	8,81145	353,116	2,32343
354,045	8,80926	354,045	2,31216
354,974	8,8076	354,974	2,30153
355,904	8,80734	355,904	2,29269
356,833	8,80708	356,833	2,28385
357,762	8,80724	357,762	2,25895
358,691	8,80744	358,691	2,23271

Lanjutan Tabel D.1

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress[MPa]	Distance [m]	Stress[MPa]
359,621	8,80851	359,621	2,21225
360,55	8,81011	360,55	2,19527
361,479	8,81185	361,479	2,17762
362,408	8,81384	362,408	2,15881
363,338	8,81584	363,338	2,13646
364,267	8,81796	364,267	2,09572
365,196	8,82009	365,196	2,05532
366,125	8,82394	366,125	2,05028
367,055	8,82781	367,055	2,04577
367,984	8,83226	367,984	2,02366
368,913	8,8368	368,913	1,99895
369,842	8,8423	369,842	1,98086
370,772	8,84807	370,772	1,96455
371,701	8,85517	371,701	1,95491
372,63	8,86271	372,63	1,94752
373,559	8,8731	373,559	1,93767
374,489	8,88446	374,489	1,92697
375,418	8,89648	375,418	2,01816
376,347	8,90868	376,347	2,13772
377,276	8,91766	377,276	2,11228
378,206	8,92611	378,206	2,06281
379,135	8,94634	379,135	2,02405
380,064	8,96716	380,064	1,98414
380,993	8,98966	380,993	1,93365
381,923	9,01508	381,923	1,91205
382,852	9,04705	382,852	1,95553
383,781	9,08118	383,781	1,95892
384,71	9,11725	384,71	1,92662
385,64	9,17162	385,64	1,8806
386,569	9,23442	386,569	1,84778
387,498	9,33902	387,498	2,02075
388,427	9,46248	388,427	2,25004
389,357	9,61424	389,357	2,56381

Lanjutan Tabel D.1

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress[MPa]	Distance [m]	Stress[MPa]
390,286	9,82226	390,286	3,67224
391,215	10,353	391,215	5,06507
392,144	12,2201	392,144	6,62758
393,074	7,31629	393,074	6,5956
394,003	4,02849	394,003	2,93782
394,932	4,79847	394,932	3,58019
395,861	7,59594	395,861	6,37114
396,791	9,07825	396,791	11,3701
397,72	11,7578	397,72	18,9903
398,649	10,6649	398,649	19,9583
399,578	9,96548	399,578	21,1192
400,508	9,62105	400,508	22,4542
401,437	9,34347	401,437	23,5081
402,366	9,30134	402,366	22,2119
403,295	9,22688	403,295	21,3556
404,225	9,16398	404,225	20,5518
405,154	9,11907	405,154	19,8296
406,083	9,08313	406,083	19,1703
407,012	9,05291	407,012	18,5511
407,942	9,02897	407,942	18,0036
408,871	9,00666	408,871	17,4746
409,8	8,98925	409,8	17,0107
410,729	8,9723	410,729	16,555
411,659	8,95831	411,659	16,1764
412,588	8,94487	412,588	15,8032
413,517	8,93511	413,517	15,4667
414,446	8,92571	414,446	15,1394
415,376	8,9182	415,376	14,8598
416,305	8,91099	416,305	14,5854
417,234	8,90535	417,234	14,339
418,163	8,89995	418,163	14,0967
419,093	8,89631	419,093	13,8861
420,022	8,89271	420,022	13,6766

Lanjutan Tabel D.1

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress[MPa]	Distance [m]	Stress[MPa]
420,951	8,89051	420,951	13,5001
421,88	8,88832	421,88	13,3236
422,81	8,88775	422,81	13,1691
423,739	8,88735	423,739	13,0169
424,668	8,88809	424,668	12,8781
425,597	8,88917	425,597	12,7432
426,527	8,89128	426,527	12,6204
427,456	8,89391	427,456	12,5035
428,385	8,89769	428,385	12,3948
429,314	8,90221	429,314	12,2914
430,244	8,90801	430,244	12,1959
431,173	8,91469	431,173	12,1061
432,102	8,92297	432,102	12,0223
433,031	8,93228	433,031	11,9425
433,961	8,94333	433,961	11,8683
434,89	8,95524	434,89	11,7968
435,819	8,96913	435,819	11,7323
436,748	8,98362	436,748	11,6699
437,678	9,00471	437,678	11,6105
438,607	9,0271	438,607	11,5522
439,536	9,05691	439,536	11,5045
440,465	9,09056	440,465	11,4599
441,395	9,13408	441,395	11,4232
442,324	9,19403	442,324	11,3979
443,253	9,26903	443,253	11,3832
444,183	9,40929	444,183	11,4223
445,112	9,58766	445,112	11,4795
446,041	9,94577	446,041	11,5755
446,97	9,77688	446,97	10,0687
447,9	9,22664	447,9	9,08772
448,829	6,63631	448,829	6,29895
449,758	3,61206	449,758	3,12567
450,687	5,58547	450,687	5,49983

Lanjutan Tabel D.1

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress[MPa]	Distance [m]	Stress[MPa]
451,617	7,81356	451,617	8,18029
452,546	9,12481	452,546	10,2257
453,475	9,77406	453,475	11,3301
454,404	9,84649	454,404	11,6146
455,334	9,52786	455,334	11,2132
456,263	9,27143	456,263	10,8699
457,192	9,12227	457,192	10,6366
458,121	9,02812	458,121	10,4959
459,051	8,95114	459,051	10,3825
459,98	8,88429	459,98	10,2757
460,909	8,8193	460,909	10,1651
461,838	8,75658	461,838	10,0497
462,768	8,7551	462,768	10,0396
463,697	8,69461	463,697	9,9096

Tabel D.2

Hasil Perhitungan Numerik *Side Abutment Pressure Seam E*

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
0	10,6914	0	14,9174
0,929252	10,7272	0,929252	14,9703
1,8585	10,763	1,8585	15,0231
2,78776	10,8058	2,78776	15,0499
3,71701	10,8521	3,71701	15,0631
4,64626	10,8359	4,64626	15,1725
5,57551	10,875	5,57551	15,217
6,50476	10,9142	6,50476	15,2646
7,43402	10,9541	7,43402	15,3526
8,36327	10,9941	8,36327	15,4405
9,29252	11,0377	9,29252	15,6065
10,2218	11,0818	10,2218	15,7858

Lanjutan Tabel D.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
11,151	11,1265	11,151	16,0222
12,0803	11,1713	12,0803	16,2853
13,0095	11,2266	13,0095	16,6165
13,9388	11,2901	13,9388	17,002
14,868	11,5331	14,868	17,334
15,7973	11,6617	15,7973	17,8977
16,7265	11,5397	16,7265	18,6185
17,6558	11,639	17,6558	19,2465
18,585	11,8291	18,585	19,8985
19,5143	12,1308	19,5143	20,58
20,4435	12,8086	20,4435	21,6634
21,3728	13,0348	21,3728	21,6322
22,3021	13,2143	22,3021	21,1406
23,2313	13,7585	23,2313	21,1163
24,1606	14,8977	24,1606	20,2333
25,0898	15,8633	25,0898	19,3675
26,0191	14,0921	26,0191	16,0681
26,9483	12,0445	26,9483	12,6999
27,8776	10,2693	27,8776	10,9995
28,8068	9,82722	28,8068	10,5442
29,7361	11,7462	29,7361	12,2942
30,6653	7,11992	30,6653	6,72587
31,5946	4,08825	31,5946	3,24574
32,5238	4,84757	32,5238	3,13668
33,4531	6,76833	33,4531	4,06042
34,3823	6,57871	34,3823	2,79706
35,3116	6,955	35,3116	1,91189
36,2408	8,7929	36,2408	1,11005
37,1701	10,6753	37,1701	0,553238
38,0993	12,6496	38,0993	0,503192
39,0286	14,1962	39,0286	0,597491
39,9578	15,2961	39,9578	0,842462
40,8871	14,3882	40,8871	0,944479

Lanjutan Tabel D.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
41,8163	13,597	41,8163	0,956052
42,7456	13,313	42,7456	1,04105
43,6748	12,9516	43,6748	1,15831
44,6041	12,5148	44,6041	1,23956
45,5334	12,256	45,5334	1,30783
46,4626	12,0539	46,4626	1,364
47,3919	11,8724	47,3919	1,41576
48,3211	11,7399	48,3211	1,48107
49,2504	11,6297	49,2504	1,55257
50,1796	11,5444	50,1796	1,60582
51,1089	11,476	51,1089	1,64664
52,0381	11,4172	52,0381	1,68488
52,9674	11,3699	52,9674	1,72007
53,8966	11,3645	53,8966	1,74785
54,8259	11,3292	54,8259	1,75608
55,7551	11,2585	55,7551	1,76475
56,6844	11,2328	56,6844	1,78298
57,6136	11,2071	57,6136	1,80122
58,5429	11,1884	58,5429	1,83344
59,4721	11,1718	59,4721	1,86998
60,4014	11,1574	60,4014	1,89669
61,3306	11,1459	61,3306	1,91058
62,2599	11,1345	62,2599	1,92441
63,1891	11,1251	63,1891	1,9373
64,1184	11,1157	64,1184	1,95018
65,0476	11,1075	65,0476	1,96086
65,9769	11,1	65,9769	1,97017
66,9062	11,0927	66,9062	1,97857
67,8354	11,0866	67,8354	1,98107
68,7647	11,0804	68,7647	1,98356
69,6939	11,0751	69,6939	1,98655
70,6232	11,0702	70,6232	1,98988
71,5524	11,0653	71,5524	1,99321

Lanjutan Tabel D.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
72,4817	11,0612	72,4817	1,99609
73,4109	11,0571	73,4109	1,99898
74,3402	11,0532	74,3402	2,00171
75,2694	11,0497	75,2694	2,00411
76,1987	11,0463	76,1987	2,00651
77,1279	11,0432	77,1279	2,00973
78,0572	11,0405	78,0572	2,0134
78,9864	11,0377	78,9864	2,01708
79,9157	11,0352	79,9157	2,01989
80,8449	11,0327	80,8449	2,02256
81,7742	11,0302	81,7742	2,02521
82,7034	11,0283	82,7034	2,02733
83,6327	11,0263	83,6327	2,02946
84,5619	11,0739	84,5619	2,03142
85,4912	11,0727	85,4912	2,03248
86,4204	11,0714	86,4204	2,03355
87,3497	11,02	87,3497	2,03433
88,2789	11,0188	88,2789	2,03394
89,2082	11,0175	89,2082	2,03354
90,1375	11,0164	90,1375	2,03355
91,0667	11,0154	91,0667	2,03554
91,996	11,0144	91,996	2,03754
92,9252	11,0134	92,9252	2,03949
93,8545	11,0129	93,8545	2,04099
94,7837	11,0124	94,7837	2,0425
95,713	11,0118	95,713	2,044
96,6422	11,0115	96,6422	2,04358
97,5715	11,0112	97,5715	2,04302
98,5007	11,0108	98,5007	2,04246
99,43	11,0631	99,43	2,04259
100,359	11,0632	100,359	2,043
101,288	11,0634	101,288	2,04342
102,218	11,0108	102,218	2,04377

Lanjutan Tabel D.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
103,147	11,0109	103,147	2,04402
104,076	11,011	104,076	2,04427
105,005	11,0111	105,005	2,04457
105,935	11,0113	105,935	2,04571
106,864	11,0116	106,864	2,04685
107,793	11,0119	107,793	2,04799
108,722	11,0664	108,722	2,04868
109,652	11,0669	109,652	2,04907
110,581	11,0675	110,581	2,04947
111,51	11,0681	111,51	2,04981
112,44	11,0689	112,44	2,04985
113,369	11,0697	113,369	2,0499
114,298	11,0705	114,298	2,04994
115,227	11,0173	115,227	2,04896
116,157	11,0182	116,157	2,04765
117,086	11,0191	117,086	2,04634
118,015	11,0202	118,015	2,04708
118,944	11,0214	118,944	2,05061
119,874	11,0226	119,874	2,05414
120,803	11,0793	120,803	2,05656
121,732	11,0808	121,732	2,05341
122,661	11,0823	122,661	2,05027
123,591	11,0838	123,591	2,04712
124,52	11,0857	124,52	2,04576
125,449	11,0875	125,449	2,04443
126,378	11,0894	126,378	2,04311
127,308	11,0915	127,308	2,0418
128,237	11,0936	128,237	2,04051
129,166	11,0957	129,166	2,03921
130,095	11,0993	130,095	2,03796
131,025	11,1033	131,025	2,03673
131,954	11,1072	131,954	2,03549
132,883	11,049	132,883	2,03542

Lanjutan Tabel D.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
133,812	11,0517	133,812	2,03562
134,742	11,0544	134,742	2,03582
135,671	11,0575	135,671	2,03482
136,6	11,0607	136,6	2,03369
137,529	11,0638	137,529	2,03252
138,459	11,0673	138,459	2,03015
139,388	11,0708	139,388	2,02779
140,317	11,0743	140,317	2,02543
141,246	11,0784	141,246	2,02308
142,176	11,0824	142,176	2,02073
143,105	11,0867	143,105	2,01857
144,034	11,0915	144,034	2,01661
144,963	11,0962	144,963	2,01465
145,893	11,1014	145,893	2,01227
146,822	11,1067	146,822	2,0098
147,751	11,1122	147,751	2,00768
148,68	11,1183	148,68	2,00713
149,61	11,1244	149,61	2,00658
150,539	11,1311	150,539	1,9998
151,468	11,1381	151,468	1,98906
152,397	11,1457	152,397	1,97917
153,327	11,1591	153,327	1,97714
154,256	11,1724	154,256	1,9751
155,185	11,2281	155,185	1,97088
156,114	11,2401	156,114	1,96542
157,044	11,2534	157,044	1,95888
157,973	11,2714	157,973	1,94874
158,902	11,2895	158,902	1,9386
159,831	11,3057	159,831	1,90483
160,761	11,3218	160,761	1,86765
161,69	11,3472	161,69	1,83721
162,619	11,3798	162,619	1,81187
163,548	11,4173	163,548	1,78057

Lanjutan Tabel D.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
164,478	11,4657	164,478	1,73611
165,407	11,5169	165,407	1,69462
166,336	11,5924	166,336	1,67853
167,265	11,6679	167,265	1,66244
168,195	11,7579	168,195	1,61522
169,124	11,8488	169,124	1,56615
170,053	12,0103	170,053	1,52145
170,982	12,1863	170,982	1,47766
171,912	12,3529	171,912	1,38465
172,841	12,5164	172,841	1,27608
173,77	12,894	173,77	1,24111
174,699	13,3489	174,699	1,23272
175,629	13,8321	175,629	1,21132
176,558	14,3246	176,558	1,18565
177,487	15,4272	177,487	1,1748
178,416	16,6695	178,416	1,16734
179,346	14,7195	179,346	1,02985
180,275	12,4983	180,275	0,95031
181,204	10,6425	181,204	1,99839
182,133	8,88565	182,133	3,28193
183,063	8,79364	183,063	5,30777
183,992	7,44959	183,992	4,42437
184,921	4,6482	184,921	3,50961
185,85	4,50008	185,85	4,32415
186,78	6,28218	186,78	6,39673
187,709	6,07043	187,709	6,33223
188,638	7,15246	188,638	6,86071
189,567	8,27882	189,567	7,88935
190,497	9,72522	190,497	9,55694
191,426	12,5392	191,426	13,8835
192,355	14,3818	192,355	17,8639
193,284	14,6233	193,284	21,2736
194,214	14,6447	194,214	22,0923

Lanjutan Tabel D.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
195,143	13,6228	195,143	20,6485
196,072	13,6164	196,072	23,7846
197,001	13,2859	197,001	27,5911
197,931	12,9218	197,931	29,3347
198,86	12,5434	198,86	30,2081
199,789	12,337	199,789	31,4139
200,718	12,1947	200,718	32,7435
201,648	12,0527	201,648	32,399
202,577	11,9107	202,577	31,3731
203,506	11,8226	203,506	30,3788
204,435	11,7636	204,435	29,4016
205,365	11,7056	205,365	28,5792
206,294	11,6485	206,294	27,8879
207,223	11,5993	207,223	27,3
208,152	11,5623	208,152	26,8746
209,082	11,5305	209,082	26,4905
210,011	11,5205	210,011	26,2841
210,94	11,5105	210,94	26,0777
211,869	11,4991	211,869	25,9831
212,799	11,4876	212,799	25,8955
213,728	11,4844	213,728	25,9179
214,657	11,4858	214,657	25,9996
215,586	11,4358	215,586	26,2747
216,516	11,4407	216,516	26,4255
217,445	11,4467	217,445	26,6057
218,374	11,4606	218,374	26,9833
219,303	11,4744	219,303	27,361
220,233	11,4981	220,233	27,9155
221,162	11,5223	221,162	28,481
222,091	11,565	222,091	29,315
223,021	11,6122	223,021	30,2158
223,95	11,677	223,95	31,3182
224,879	11,749	224,879	32,5047

Lanjutan Tabel D.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
225,808	11,837	225,808	32,6309
226,738	11,9334	226,738	32,1999
227,667	12,0963	227,667	29,9064
228,596	12,2952	228,596	26,6058
229,525	13,1361	229,525	25,0503
230,455	13,4345	230,455	22,5389
231,384	14,2069	231,384	22,2427
232,313	15,1257	232,313	22,631
233,242	15,0981	233,242	20,9849
234,172	14,8711	234,172	18,9631
235,101	13,0002	235,101	14,5685
236,03	11,1564	236,03	10,7707
236,959	9,39728	236,959	8,83695
237,889	7,45522	237,889	7,22842
238,818	5,31507	238,818	5,97193
239,747	5,34304	239,747	5,32371
240,676	3,79786	240,676	4,14785
241,606	6,25879	241,606	4,5842
242,535	9,40776	242,535	5,29744
243,464	8,72264	243,464	3,88088
244,393	8,66546	244,393	2,33248
245,323	11,8425	245,323	1,40301
246,252	13,7632	246,252	0,83303
247,181	13,9047	247,181	0,772163
248,11	14,0308	248,11	0,777812
249,04	14,1456	249,04	0,832179
249,969	13,3305	249,969	0,914286
250,898	12,8902	250,898	1,00826
251,827	12,9708	251,827	1,09836
252,757	12,6238	252,757	1,1874
253,686	12,2032	253,686	1,27261
254,615	12,0041	254,615	1,35699
255,544	11,8689	255,544	1,43175

Lanjutan Tabel D.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
256,474	11,7478	256,474	1,5044
257,403	11,6629	257,403	1,55983
258,332	11,5886	258,332	1,61024
259,261	11,5268	259,261	1,6517
260,191	11,471	260,191	1,68901
261,12	11,422	261,12	1,71755
262,049	11,3787	262,049	1,73881
262,978	11,3406	262,978	1,76749
263,908	11,3117	263,908	1,80919
264,837	11,284	264,837	1,84832
265,766	11,2643	265,766	1,87049
266,695	11,2445	266,695	1,89265
267,625	11,2281	267,625	1,91101
268,554	11,2122	268,554	1,9287
269,483	11,1981	269,483	1,94489
270,412	11,1858	270,412	1,95971
271,342	11,1737	271,342	1,97249
272,271	11,1635	272,271	1,9729
273,2	11,1533	273,2	1,97331
274,129	11,1438	274,129	1,97528
275,059	11,1344	275,059	1,97791
275,988	11,1255	275,988	1,97969
276,917	11,1178	276,917	1,97858
277,846	11,1102	277,846	1,97746
278,776	11,1035	278,776	1,98609
279,705	11,0972	279,705	1,99924
280,634	11,091	280,634	2,01148
281,563	11,0852	281,563	2,01415
282,493	11,0794	282,493	2,01682
283,422	11,0738	283,422	2,01893
284,351	11,0685	284,351	2,02034
285,28	11,0631	285,28	2,02175
286,21	11,0584	286,21	2,02728

Lanjutan Tabel D.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
287,139	11,0539	287,139	2,03438
288,068	11,0494	288,068	2,04149
288,997	11,0452	288,997	2,04097
289,927	11,0409	289,927	2,04009
290,856	11,0366	290,856	2,0391
291,785	11,0324	291,785	2,03739
292,714	11,0283	292,714	2,03567
293,644	11,0241	293,644	2,03422
294,573	11,0198	294,573	2,03364
295,502	11,0155	295,502	2,03306
296,431	11,0569	296,431	2,03297
297,361	11,0533	297,361	2,03417
298,29	11,0497	298,29	2,03537
299,219	10,999	299,219	2,03693
300,148	10,9952	300,148	2,03953
301,078	10,9914	301,078	2,04214
302,007	10,9877	302,007	2,0437
302,936	10,9843	302,936	2,04025
303,865	10,9809	303,865	2,03679
304,795	10,9775	304,795	2,03351
305,724	10,9745	305,724	2,03909
306,653	10,9715	306,653	2,04468
307,582	10,9685	307,582	2,05026
308,512	10,9657	308,512	2,04912
309,441	10,963	309,441	2,04627
310,37	10,9603	310,37	2,04341
311,299	11,0087	311,299	2,0418
312,229	11,0065	312,229	2,04141
313,158	11,0043	313,158	2,04102
314,087	10,9502	314,087	2,04126
315,016	10,948	315,016	2,04535
315,946	10,9457	315,946	2,04944
316,875	10,9435	316,875	2,05354

Lanjutan Tabel D.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
317,804	10,9413	317,804	2,05159
318,733	10,939	318,733	2,04708
319,663	10,9368	319,663	2,04258
320,592	10,9879	320,592	2,03907
321,521	10,986	321,521	2,03869
322,45	10,9841	322,45	2,0383
323,38	10,9822	323,38	2,03791
324,309	10,9812	324,309	2,04162
325,238	10,9804	325,238	2,0461
326,167	10,9795	326,167	2,05057
327,097	10,9197	327,097	2,05045
328,026	10,9173	328,026	2,04593
328,955	10,9149	328,955	2,04142
329,884	10,9126	329,884	2,0381
330,814	10,9102	330,814	2,03831
331,743	10,9078	331,743	2,03852
332,672	10,9601	332,672	2,03862
333,602	10,9578	333,602	2,03717
334,531	10,9556	334,531	2,03573
335,46	10,9533	335,46	2,03428
336,389	10,9512	336,389	2,03262
337,319	10,9491	337,319	2,03095
338,248	10,947	338,248	2,02928
339,177	10,9452	339,177	2,02875
340,106	10,9434	340,106	2,02835
341,036	10,9415	341,036	2,02796
341,965	10,882	341,965	2,03033
342,894	10,8802	342,894	2,03299
343,823	10,9413	343,823	2,03558
344,753	10,8767	344,753	2,03261
345,682	10,8752	345,682	2,02943
346,611	10,8736	346,611	2,02649
347,54	10,8724	347,54	2,02531

Lanjutan Tabel D.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
348,47	10,8711	348,47	2,02412
349,399	10,87	349,399	2,02231
350,328	10,8695	350,328	2,01912
351,257	10,8689	351,257	2,01593
352,187	10,8687	352,187	2,01246
353,116	10,8688	353,116	2,00877
354,045	10,8689	354,045	2,00508
354,974	10,8699	354,974	1,99985
355,904	10,8709	355,904	1,99444
356,833	10,8725	356,833	1,98776
357,762	10,8754	357,762	1,97765
358,691	10,8783	358,691	1,96754
359,621	10,8823	359,621	1,95729
360,55	10,8867	360,55	1,94697
361,479	10,8925	361,479	1,93611
362,408	10,9043	362,408	1,92285
363,338	10,9161	363,338	1,90959
364,267	10,9776	364,267	1,89661
365,196	10,9897	365,196	1,88373
366,125	11,0013	366,125	1,86916
367,055	11,0115	367,055	1,85098
367,984	11,0218	367,984	1,83279
368,913	11,0482	368,913	1,80067
369,842	11,0753	369,842	1,76801
370,772	11,1071	370,772	1,72585
371,701	11,1414	371,701	1,67874
372,63	11,1817	372,63	1,63001
373,559	11,231	373,559	1,57885
374,489	11,2804	374,489	1,52283
375,418	11,33	375,418	1,44636
376,347	11,3817	376,347	1,37044
377,276	11,4979	377,276	1,31146
378,206	11,614	378,206	1,25248

Lanjutan Tabel D.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
379,135	11,7753	379,135	1,19896
380,064	11,9406	380,064	1,14594
380,993	12,1553	380,993	1,05354
381,923	12,3789	381,923	0,954071
382,852	12,625	382,852	0,835153
383,781	12,8758	383,781	0,712044
384,71	13,6039	384,71	0,644615
385,64	14,4224	385,64	0,587724
386,569	13,9335	386,569	0,443488
387,498	13,2982	387,498	0,289486
388,427	12,5518	388,427	0,229995
389,357	11,5811	389,357	0,307787
390,286	9,31918	390,286	1,18974
391,215	6,28605	391,215	1,97126
392,144	6,74635	392,144	2,54771
393,074	5,89909	393,074	3,23873
394,003	3,98224	394,003	2,46096
394,932	5,37394	394,932	3,92408
395,861	8,41877	395,861	6,50688
396,791	8,03084	396,791	6,47176
397,72	7,20934	397,72	6,93609
398,649	10,2873	398,649	10,5641
399,578	12,6721	399,578	13,2366
400,508	13,245	400,508	13,4115
401,437	13,6669	401,437	15,5714
402,366	13,9154	402,366	20,0101
403,295	13,1991	403,295	20,6926
404,225	12,6131	404,225	22,0779
405,154	12,7831	405,154	23,9686
406,083	12,3596	406,083	24,1748
407,012	12,1394	407,012	23,8592
407,942	11,973	407,942	23,4059
408,871	11,8172	408,871	22,6415

Lanjutan Tabel D.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
409,8	11,6637	409,8	21,8071
410,729	11,5498	410,729	21,1079
411,659	11,4459	411,659	20,4426
412,588	11,3689	412,588	19,8855
413,517	11,3015	413,517	19,367
414,446	11,2491	414,446	18,9406
415,376	11,2054	415,376	18,5682
416,305	11,1695	416,305	18,227
417,234	11,1419	417,234	17,9198
418,163	11,1183	418,163	17,6327
419,093	11,1052	419,093	17,3982
420,022	11,0921	420,022	17,1642
420,951	11,0817	420,951	16,9473
421,88	11,0712	421,88	16,7304
422,81	11,0671	422,81	16,5377
423,739	11,0653	423,739	16,3537
424,668	11,0645	424,668	16,1798
425,597	11,0649	425,597	16,0181
426,527	11,0698	426,527	15,8635
427,456	11,0913	427,456	15,7343
428,385	11,1126	428,385	15,6052
429,314	11,1281	429,314	15,479
430,244	11,1435	430,244	15,3527
431,173	11,1282	431,173	14,9045
432,102	11,1711	432,102	14,7777
433,031	11,3122	433,031	15,1386
433,961	11,3877	433,961	15,0693
434,89	11,4952	434,89	15,0249
435,819	11,6137	435,819	14,9891
436,748	11,5379	436,748	14,1551
437,678	11,6317	437,678	14,0299
438,607	11,8429	438,607	14,1185
439,536	12,0886	439,536	14,27

Lanjutan Tabel D.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
440,465	12,4234	440,465	14,4371
441,395	12,7736	441,395	14,6069
442,324	13,2782	442,324	14,719
443,253	13,5959	443,253	14,6042
444,183	12,6427	444,183	12,9939
445,112	11,5655	445,112	11,4407
446,041	10,2365	446,041	10,0032
446,97	9,71067	446,97	9,47676
447,9	9,7962	447,9	9,64386
448,829	7,12331	448,829	6,91253
449,758	3,86156	449,758	3,56265
450,687	7,07182	450,687	7,19509
451,617	10,466	451,617	11,0213
452,546	10,2393	452,546	10,8653
453,475	10,4238	453,475	10,9931
454,404	11,5188	454,404	11,7497
455,334	13,2178	455,334	13,7285
456,263	14,9112	456,263	15,7995
457,192	14,4925	457,192	16,1315
458,121	13,1794	458,121	15,7272
459,051	12,3855	459,051	15,0235
459,98	11,6914	459,98	14,2624
460,909	11,141	460,909	13,7077
461,838	10,6008	461,838	13,1674
462,768	10,7902	462,768	13,843
463,697	10,5963	463,697	13,7507

LAMPIRAN E

DATA PERHITUNGAN NUMERIK *FRONT ABUTMENT PRESSURE*

Hasil analisis *front abutment pressure* berdasarkan pemodelan numerik diperoleh sebagai berikut :

Tabel E.1
Hasil Perhitungan Numerik *Front Abutment Pressure Seam D*

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
0	9,04784	0	10,0778
0,641089	9,04801	0,641089	10,0887
1,28218	9,04818	1,28218	10,1002
1,92327	9,04834	1,92327	10,1119
2,56436	9,0485	2,56436	10,1236
3,20544	9,04866	3,20544	10,1354
3,84653	9,04884	3,84653	10,1478
4,48762	9,04901	4,48762	10,1602
5,12871	9,04918	5,12871	10,1726
5,7698	9,04936	5,7698	10,1852
6,41089	9,04955	6,41089	10,1978
7,05198	9,04973	7,05198	10,2105
7,69307	9,04992	7,69307	10,2231
8,33416	9,05011	8,33416	10,2366
8,97524	9,05031	8,97524	10,2501
9,61633	9,0505	9,61633	10,2636
10,2574	9,05072	10,2574	10,2776
10,8985	9,05094	10,8985	10,292
11,5396	9,05117	11,5396	10,3065
12,1807	9,0514	12,1807	10,321
12,8218	9,05163	12,8218	10,3357
13,4629	9,05186	13,4629	10,3504
14,104	9,05209	14,104	10,3651
14,745	9,05233	14,745	10,381

Lanjutan Tabel E.1

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
15,3861	9,05259	15,3861	10,3975
16,0272	9,05284	16,0272	10,4139
16,6683	9,0531	16,6683	10,4306
17,3094	9,05337	17,3094	10,4477
17,9505	9,05365	17,9505	10,4648
18,5916	9,01616	18,5916	10,4015
19,2327	9,05422	19,2327	10,5005
19,8738	9,05451	19,8738	10,519
20,5148	9,0548	20,5148	10,5375
21,1559	9,0551	21,1559	10,5569
21,797	9,05542	21,797	10,5766
22,4381	9,05573	22,4381	10,5962
23,0792	9,05607	23,0792	10,6159
23,7203	9,05643	23,7203	10,6358
24,3614	9,0568	24,3614	10,6556
25,0025	9,05716	25,0025	10,6763
25,6436	9,05754	25,6436	10,6986
26,2846	9,05792	26,2846	10,7209
26,9257	9,0583	26,9257	10,7434
27,5668	9,05872	27,5668	10,7667
28,2079	9,05913	28,2079	10,79
28,849	9,05956	28,849	10,8137
29,4901	9,06002	29,4901	10,8389
30,1312	9,06048	30,1312	10,8642
30,7723	9,06095	30,7723	10,8898
31,4134	9,06145	31,4134	10,9172
32,0544	9,06196	32,0544	10,9446
32,6955	9,06247	32,6955	10,9718
33,3366	9,063	33,3366	10,9987
33,9777	9,06353	33,9777	11,0255
34,6188	9,06409	34,6188	11,0535
35,2599	9,0647	35,2599	11,0851
35,901	9,06531	35,901	11,1166

Lanjutan Tabel E.1

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
36,5421	9,06594	36,5421	11,1488
37,1832	9,06662	37,1832	11,1825
37,8242	9,06729	37,8242	11,2162
38,4653	9,06802	38,4653	11,2519
39,1064	9,06879	39,1064	11,2898
39,7475	9,06955	39,7475	11,3277
40,3886	9,07034	40,3886	11,364
41,0297	9,07113	41,0297	11,3995
41,6708	9,07193	41,6708	11,4351
42,3119	9,07283	42,3119	11,477
42,953	9,07374	42,953	11,5195
43,594	9,07467	43,594	11,5626
44,2351	9,0757	44,2351	11,608
44,8762	9,07673	44,8762	11,6534
45,5173	9,07781	45,5173	11,7006
46,1584	9,07897	46,1584	11,75
46,7995	9,08013	46,7995	11,7994
47,4406	9,08144	47,4406	11,8551
48,0817	9,08279	48,0817	11,9122
48,7228	9,08416	48,7228	11,9692
49,3638	9,08561	49,3638	12,0256
50,0049	9,08705	50,0049	12,082
50,646	9,0886	50,646	12,1411
51,2871	9,09022	51,2871	12,2021
51,9282	9,09186	51,9282	12,2639
52,5693	9,09384	52,5693	12,3399
53,2104	9,09582	53,2104	12,416
53,8515	9,09791	53,8515	12,4915
54,4926	9,10009	54,4926	12,5666
55,1336	9,10228	55,1336	12,6421
55,7747	9,10477	55,7747	12,7247
56,4158	9,10725	56,4158	12,8074
57,0569	9,07579	57,0569	12,6707

Lanjutan Tabel E.1

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
57,698	9,0785	57,698	12,7511
58,3391	9,11592	58,3391	13,0952
58,9802	9,11928	58,9802	13,1999
59,6213	9,12264	59,6213	13,3045
60,2624	9,12647	60,2624	13,4217
60,9034	9,13038	60,9034	13,541
61,5445	9,1346	61,5445	13,6642
62,1856	9,1391	62,1856	13,791
62,8267	9,14377	62,8267	13,9207
63,4678	9,14902	63,4678	14,0609
64,1089	9,15427	64,1089	14,201
64,75	9,16041	64,75	14,3665
65,3911	9,1666	65,3911	14,5334
66,0322	9,17349	66,0322	14,7117
66,6732	9,18065	66,6732	14,8947
67,3143	9,1885	67,3143	15,0941
67,9554	9,19701	67,9554	15,3095
68,5965	9,20608	68,5965	15,5299
69,2376	9,21626	69,2376	15,7604
69,8787	9,22681	69,8787	15,9974
70,5198	9,23893	70,5198	16,262
71,1609	9,21767	71,1609	15,9657
71,802	9,23216	71,802	16,2548
72,443	9,24665	72,443	16,5437
73,0841	9,2975	73,0841	17,5072
73,7252	9,31475	73,7252	17,8642
74,3663	9,33542	74,3663	18,2971
75,0074	9,35629	75,0074	18,7344
75,6485	9,38089	75,6485	19,217
76,2896	9,4058	76,2896	19,7034
76,9307	9,4369	76,9307	20,2671
77,5718	9,46848	77,5718	20,8367
78,2128	9,50505	78,2128	21,5057

Lanjutan Tabel E.1

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
78,8539	9,54196	78,8539	22,1802
79,495	9,58792	79,495	22,9905
80,1361	9,63539	80,1361	23,8181
80,7772	9,69492	80,7772	24,7895
81,4183	9,75816	81,4183	25,8063
82,0594	9,83341	82,0594	26,9704
82,7005	9,92017	82,7005	28,2333
83,3416	10,0257	83,3416	29,6572
83,9826	10,1562	83,9826	30,4902
84,6237	10,3071	84,6237	30,8444
85,2648	10,5228	85,2648	29,6552
85,9059	10,76	85,9059	27,9521
86,547	11,2052	86,547	25,5767
87,1881	11,8133	87,1881	23,6869
87,8292	12,9705	87,8292	23,5552
88,4703	13,6488	88,4703	21,0467
89,1113	13,8421	89,1113	16,13
89,7524	16,0136	89,7524	19,4551
90,3935	8,29428	90,3935	6,56012
91,0346	4,78075	91,0346	4,29994
91,6757	3,00273	91,6757	2,99513
92,3168	2,59585	92,3168	2,4451
92,9579	2,39584	92,9579	2,10555
93,599	2,22725	93,599	1,43052
94,2401	2,09851	94,2401	0,326381
94,8811	2,26309	94,8811	0,755772
95,5222	3,33193	95,5222	1,55952
96,1633	6,24285	96,1633	2,71182
96,8044	8,95375	96,8044	3,13359
97,4455	12,4508	97,4455	2,74991
98,0866	13,4857	98,0866	1,82163
98,7277	13,6194	98,7277	1,17986
99,3688	12,2808	99,3688	1,00626

Lanjutan Tabel E.1

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
100,01	11,4697	100,01	1,11268
100,651	10,9389	100,651	1,36798
101,292	10,6406	101,292	1,50975
101,933	10,3811	101,933	1,61852
102,574	10,2151	102,574	1,58209
103,215	10,0669	103,215	1,54197
103,856	9,9564	103,856	1,49404
104,497	9,86164	104,497	1,4576
105,139	9,78315	105,139	1,43305
105,78	9,71532	105,78	1,41728
106,421	9,65361	106,421	1,40653
107,062	9,60012	107,062	1,43575
107,703	9,54934	107,703	1,47805
108,344	9,50751	108,344	1,49432
108,985	9,46735	108,985	1,50575
109,626	9,43561	109,626	1,52819
110,267	9,40475	110,267	1,55178
110,908	9,37853	110,908	1,57045
111,549	9,35262	111,549	1,5888
112,191	9,33037	112,191	1,61463
112,832	9,30834	112,832	1,64089
113,473	9,28986	113,473	1,68564
114,114	9,27168	114,114	1,73197
114,755	9,25595	114,755	1,75819
115,396	9,2406	115,396	1,78139
116,037	9,22727	116,037	1,80639
116,678	9,21448	116,678	1,83188
117,319	9,2031	117,319	1,84968
117,96	9,19239	117,96	1,86376
118,601	9,18242	118,601	1,87533
119,243	9,17311	119,243	1,88468
119,884	9,16435	119,884	1,89607
120,525	9,15659	120,525	1,91116

Lanjutan Tabel E.1

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
121,166	9,14898	121,166	1,92399
121,807	9,14222	121,807	1,92408
122,448	9,13545	122,448	1,92417
123,089	9,12956	123,089	1,93303
123,73	9,12375	123,73	1,94273
124,371	9,08265	124,371	1,94674
125,012	9,0779	125,012	1,94757
125,653	9,1086	125,653	1,9489
126,295	9,10411	126,295	1,95121
126,936	9,09962	126,936	1,95351
127,577	9,09553	127,577	1,96034
128,218	9,09144	128,218	1,96717
128,859	9,08757	128,859	1,96955
129,5	9,08384	129,5	1,96933
130,141	9,08019	130,141	1,97073
130,782	9,07682	130,782	1,97768
131,423	9,07345	131,423	1,98463
132,064	9,03503	132,064	1,98526
132,705	9,03117	132,705	1,98418
133,346	9,0646	133,346	1,98433
133,988	9,0619	133,988	1,98722
134,629	9,05919	134,629	1,9901
135,27	9,05664	135,27	1,99044
135,911	9,05413	135,911	1,99014
136,552	9,05168	136,552	1,98986
137,193	9,04941	137,193	1,98966
137,834	9,04715	137,834	1,98946
138,475	9,04491	138,475	1,98909
139,116	9,04269	139,116	1,98863
139,757	9,04046	139,757	1,98826
140,398	9,03813	140,398	1,98953
141,04	9,0358	141,04	1,99081
141,681	9,03352	141,681	1,99334

Lanjutan Tabel E.1

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
142,322	9,03132	142,322	1,9979
142,963	9,02913	142,963	2,00245
143,604	9,02689	143,604	2,0036
144,245	9,02464	144,245	2,0032
144,886	9,02238	144,886	2,00279
145,527	8,98617	145,527	2,00105
146,168	8,9839	146,168	1,99924
146,809	9,01527	146,809	1,99609
147,45	9,01296	147,45	1,98629
148,092	9,01065	148,092	1,97649
148,733	9,0084	148,733	1,97096
149,374	9,00626	149,374	1,97334
150,015	9,00411	150,015	1,97572
150,656	9,002	150,656	1,97706
151,297	8,99992	151,297	1,9773
151,938	8,99784	151,938	1,97755
152,579	8,99584	152,579	1,97574
153,22	8,9939	153,22	1,97251
153,861	8,99195	153,861	1,96928
154,502	8,99005	154,502	1,96857
155,144	8,98816	155,144	1,96924
155,785	8,98628	155,785	1,9699
156,426	8,98443	156,426	1,96927
157,067	8,9826	157,067	1,96797
157,708	8,98077	157,708	1,96667
158,349	8,97899	158,349	1,96285
158,99	8,97724	158,99	1,95759
159,631	8,97549	159,631	1,95232
160,272	8,97384	160,272	1,9541
160,913	8,97227	160,913	1,9614
161,554	8,9707	161,554	1,9687
162,195	8,96914	162,195	1,97326
162,837	8,96759	162,837	1,9744

Lanjutan Tabel E.1

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
163,478	8,96604	163,478	1,97553
164,119	8,96451	164,119	1,97534
164,76	8,96304	164,76	1,97174
165,401	8,96157	165,401	1,96814
166,042	8,9601	166,042	1,96489
166,683	8,95869	166,683	1,96627
167,324	8,95727	167,324	1,96764
167,965	8,95585	167,965	1,96901
168,606	8,9546	168,606	1,96658
169,247	8,95338	169,247	1,9633
169,889	8,95216	169,889	1,96003
170,53	8,9511	170,53	1,95787
171,171	8,95019	171,171	1,95677
171,812	8,94929	171,812	1,95568
172,453	8,94842	172,453	1,95489
173,094	8,94776	173,094	1,95568
173,735	8,94709	173,735	1,95647
174,376	8,94642	174,376	1,95726
175,017	8,94589	175,017	1,9572
175,658	8,94539	175,658	1,95689
176,299	8,9449	176,299	1,95657
176,941	8,94438	176,941	1,95628
177,582	8,94381	177,582	1,95604
178,223	8,94323	178,223	1,9558
178,864	8,94265	178,864	1,95555
179,505	8,94205	179,505	1,95458
180,146	8,94144	180,146	1,95344
180,787	8,94082	180,787	1,9523
181,428	8,94021	181,428	1,95114
182,069	8,93958	182,069	1,94992
182,71	8,93896	182,71	1,9487
183,351	8,93834	183,351	1,94748
183,992	8,93769	183,992	1,94691

Lanjutan Tabel E.1

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
184,634	8,93703	184,634	1,94665
185,275	8,93637	185,275	1,94639
185,916	8,93571	185,916	1,94612
186,557	8,93502	186,557	1,94532
187,198	8,93432	187,198	1,94453
187,839	8,93363	187,839	1,94373
188,48	8,93293	188,48	1,94316
189,121	8,93221	189,121	1,94309
189,762	8,93149	189,762	1,94301
190,403	8,93078	190,403	1,94294
191,044	8,93006	191,044	1,9422
191,686	8,92935	191,686	1,94092

Tabel E.2

Hasil Perhitungan Numerik *Front Abutment Pressure Seam E*

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
0	11,1013	0	12,9418
0,696234	11,1042	0,696234	12,9647
1,39247	11,1073	1,39247	12,9877
2,0887	11,1101	2,0887	13,011
2,78493	11,1126	2,78493	13,0344
3,48117	11,1143	3,48117	13,0578
4,1774	11,1176	4,1774	13,0821
4,87364	11,1215	4,87364	13,1068
5,56987	11,1249	5,56987	13,1329
6,2661	11,1274	6,2661	13,1583
6,96234	11,1289	6,96234	13,183
7,65857	11,132	7,65857	13,2073
8,3548	11,1355	8,3548	13,2333
9,05104	11,1397	9,05104	13,2632

Lanjutan Tabel E.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
9,74727	11,1444	9,74727	13,2951
10,4435	11,1491	10,4435	13,3277
11,1397	11,1533	11,1397	13,3599
11,836	11,1564	11,836	13,3893
12,5322	11,1591	12,5322	13,4174
13,2284	11,163	13,2284	13,4477
13,9247	11,1663	13,9247	13,48
14,6209	11,1696	14,6209	13,5138
15,3171	11,1752	15,3171	13,5511
16,0134	11,18	16,0134	13,587
16,7096	11,1844	16,7096	13,6226
17,4058	11,1903	17,4058	13,6616
18,1021	11,1952	18,1021	13,7011
18,7983	11,1998	18,7983	13,7403
19,4945	11,205	19,4945	13,778
20,1908	11,2091	20,1908	13,8186
20,887	11,2139	20,887	13,8613
21,5832	11,2206	21,5832	13,9063
22,2795	11,2283	22,2795	13,9562
22,9757	11,2345	22,9757	14,0066
23,6719	11,2398	23,6719	14,0566
24,3682	11,2471	24,3682	14,1028
25,0644	11,2549	25,0644	14,1541
25,7606	11,2478	25,7606	14,1935
26,4569	11,2511	26,4569	14,2388
27,1531	11,2607	27,1531	14,2987
27,8493	11,2827	27,8493	14,3752
28,5456	11,2916	28,5456	14,4381
29,2418	11,2865	29,2418	14,4807
29,938	11,2951	29,938	14,5464
30,6343	11,3046	30,6343	14,6167
31,3305	11,3278	31,3305	14,7114
32,0267	11,3388	32,0267	14,7822

Lanjutan Tabel E.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
32,723	11,346	32,723	14,8563
33,4192	11,3485	33,4192	14,9194
34,1154	11,3602	34,1154	15,0037
34,8117	11,3817	34,8117	15,1011
35,5079	11,3951	35,5079	15,1893
36,2041	11,4041	36,2041	15,2747
36,9004	11,4107	36,9004	15,3679
37,5966	11,4329	37,5966	15,473
38,2928	11,4465	38,2928	15,5775
38,9891	11,4546	38,9891	15,682
39,6853	11,4776	39,6853	15,8018
40,3815	11,4945	40,3815	15,926
41,0778	11,5144	41,0778	16,0587
41,774	11,5258	41,774	16,1814
42,4702	11,5518	42,4702	16,3337
43,1665	11,5738	43,1665	16,4823
43,8627	11,5919	43,8627	16,6414
44,559	11,6157	44,559	16,8022
45,2552	11,6443	45,2552	16,9788
45,9514	11,6631	45,9514	17,1488
46,6477	11,6841	46,6477	17,3582
47,3439	11,7203	47,3439	17,5558
48,0401	11,7485	48,0401	17,7976
48,7364	11,7876	48,7364	18,0479
49,4326	11,8194	49,4326	18,3228
50,1288	11,8622	50,1288	18,6632
50,8251	11,9085	50,8251	19,0122
51,5213	11,9619	51,5213	19,4119
52,2175	12,015	52,2175	19,7301
52,9138	12,0725	52,9138	20,1789
53,61	12,1428	53,61	20,6955
54,3062	12,2224	54,3062	21,2668
55,0025	12,2906	55,0025	22,1341

Lanjutan Tabel E.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
55,6987	12,3784	55,6987	22,9284
56,3949	12,49	56,3949	23,9057
57,0912	12,6463	57,0912	24,2799
57,7874	12,7881	57,7874	25,3334
58,4836	12,9766	58,4836	26,4725
59,1799	13,1611	59,1799	25,956
59,8761	13,4106	59,8761	25,1549
60,5723	13,6431	60,5723	22,9121
61,2686	13,9727	61,2686	21,4351
61,9648	14,2812	61,9648	18,9911
62,661	14,7517	62,661	18,4312
63,3573	14,9363	63,3573	17,45
64,0535	15,7976	64,0535	16,377
64,7497	15,8991	64,7497	15,3999
65,446	16,9438	65,446	14,8284
66,1422	16,2597	66,1422	14,851
66,8384	14,8721	66,8384	14,7168
67,5347	14,0407	67,5347	14,911
68,2309	13,1995	68,2309	13,9116
68,9271	13,1054	68,9271	13,8305
69,6234	12,3219	69,6234	13,6316
70,3196	9,6208	70,3196	10,9716
71,0158	7,46133	71,0158	9,66844
71,7121	6,31334	71,7121	7,69691
72,4083	5,36752	72,4083	10,0331
73,1045	3,29571	73,1045	5,33574
73,8008	2,95265	73,8008	3,61744
74,497	2,52981	74,497	2,08157
75,1932	2,42008	75,1932	1,88376
75,8895	2,3981	75,8895	0,862489
76,5857	2,40916	76,5857	0,190591
77,2819	2,75576	77,2819	1,62826
77,9782	4,68378	77,9782	3,75541

Lanjutan Tabel E.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
78,6744	3,39136	78,6744	2,75782
79,3706	1,86969	79,3706	0,830217
80,0669	2,54873	80,0669	0,133086
80,7631	0,628451	80,7631	0,0427992
81,4593	1,43036	81,4593	-0,0127446
82,1556	2,46819	82,1556	-0,00233689
82,8518	2,72294	82,8518	0,331304
83,548	4,22497	83,548	0,395123
84,2443	5,28734	84,2443	0,105052
84,9405	7,56556	84,9405	0,209135
85,6367	6,72871	85,6367	0,25266
86,333	10,0924	86,333	0,00443257
87,0292	10,9749	87,0292	0,0569534
87,7254	11,6323	87,7254	0,263275
88,4217	13,1438	88,4217	0,0936332
89,1179	14,1339	89,1179	0,109942
89,8141	15,4066	89,8141	0,150673
90,5104	16,0284	90,5104	0,127266
91,2066	16,2903	91,2066	0,309261
91,9028	15,5915	91,9028	0,439301
92,5991	15,0426	92,5991	0,55852
93,2953	14,5761	93,2953	0,728537
93,9915	14,2474	93,9915	0,888609
94,6878	13,8408	94,6878	1,08074
95,384	13,5704	95,384	1,15393
96,0802	13,4198	96,0802	1,24988
96,7765	13,1697	96,7765	1,37735
97,4727	12,9491	97,4727	1,46173
98,1689	12,7791	98,1689	1,46362
98,8652	12,6172	98,8652	1,53608
99,5614	12,5191	99,5614	1,50888
100,258	12,4104	100,258	1,54818
100,954	12,3165	100,954	1,57965

Lanjutan Tabel E.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
101,65	12,2332	101,65	1,58025
102,346	12,1572	102,346	1,60594
103,043	12,0756	103,043	1,5646
103,739	12,0274	103,739	1,56743
104,435	11,9674	104,435	1,56994
105,131	11,8999	105,131	1,52564
105,828	11,8665	105,828	1,57658
106,524	11,8156	106,524	1,61296
107,22	11,7829	107,22	1,64548
107,916	11,7413	107,916	1,69487
108,612	11,7045	108,612	1,73732
109,309	11,6755	109,309	1,77051
110,005	11,647	110,005	1,798
110,701	11,6208	110,701	1,83098
111,397	11,6005	111,397	1,87185
112,094	11,5726	112,094	1,90314
112,79	11,5474	112,79	1,91708
113,486	11,5209	113,486	1,92115
114,182	11,5042	114,182	1,94483
114,879	11,4851	114,879	1,97002
115,575	11,466	115,575	1,98243
116,271	11,4469	116,271	1,99275
116,967	11,429	116,967	2,01025
117,663	11,4117	117,663	2,00734
118,36	11,3944	118,36	2,00713
119,056	11,3795	119,056	2,00903
119,752	11,3648	119,752	2,00975
120,448	11,3502	120,448	2,01092
121,145	11,3459	121,145	2,01512
121,841	11,3298	121,841	2,01242
122,537	11,3198	122,537	2,02326
123,233	11,2964	123,233	2,02636
123,93	11,2841	123,93	2,02649

Lanjutan Tabel E.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
124,626	11,2755	124,626	2,03795
125,322	11,264	125,322	2,02913
126,018	11,2638	126,018	2,02393
126,715	11,2419	126,715	2,0234
127,411	11,2308	127,411	2,02737
128,107	11,2208	128,107	2,02821
128,803	11,2237	128,803	2,03123
129,499	11,2	129,499	2,03199
130,196	11,206	130,196	2,02847
130,892	11,1967	130,892	2,0263
131,588	11,188	131,588	2,02332
132,284	11,1794	132,284	2,02542
132,981	11,1703	132,981	2,04003
133,677	11,1643	133,677	2,03649
134,373	11,1578	134,373	2,03309
135,069	11,1503	135,069	2,03151
135,766	11,1425	135,766	2,02978
136,462	11,1365	136,462	2,03081
137,158	11,1306	137,158	2,03393
137,854	11,1223	137,854	2,03949
138,55	11,1146	138,55	2,03709
139,247	11,108	139,247	2,03572
139,943	11,1035	139,943	2,04218
140,639	11,0977	140,639	2,04748
141,335	11,0917	141,335	2,04632
142,032	11,0858	142,032	2,03271
142,728	11,0812	142,728	2,03308
143,424	11,0761	143,424	2,0347
144,12	11,0692	144,12	2,03262
144,817	11,0635	144,817	2,03531
145,513	11,0585	145,513	2,03736
146,209	11,0541	146,209	2,03284
146,905	11,0487	146,905	2,0281

Lanjutan Tabel E.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
147,602	11,0431	147,602	2,02338
148,298	11,0395	148,298	2,0197
148,994	11,0355	148,994	2,02202
149,69	11,0313	149,69	2,02996
150,386	11,0277	150,386	2,03189
151,083	11,0241	151,083	2,0319
151,779	11,0204	151,779	2,02875
152,475	11,0168	152,475	2,02907
153,171	11,0133	153,171	2,03088
153,868	11,0085	153,868	2,02687
154,564	11,0036	154,564	2,02441
155,26	10,9989	155,26	2,02455
155,956	10,9957	155,956	2,02767
156,653	10,9931	156,653	2,03196
157,349	10,9894	157,349	2,03321
158,045	10,9857	158,045	2,03374
158,741	10,9821	158,741	2,03277
159,437	10,9783	159,437	2,03238
160,134	10,9743	160,134	2,03236
160,83	10,9702	160,83	2,03172
161,526	10,9661	161,526	2,03083
162,222	10,9621	162,222	2,02884
162,919	10,9581	162,919	2,02735
163,615	10,9543	163,615	2,02673
164,311	10,9507	164,311	2,02714
165,007	10,9471	165,007	2,02828
165,704	10,9425	165,704	2,02531
166,4	10,9377	166,4	2,02127
167,096	10,9332	167,096	2,01909
167,792	10,9288	167,792	2,01773
168,489	10,9254	168,489	2,02046
169,185	10,897	169,185	2,02023
169,881	10,8924	169,881	2,01377

Lanjutan Tabel E.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
170,577	10,9108	170,577	2,009
171,273	10,907	171,273	2,00615
171,97	10,9038	171,97	2,02046
172,666	10,9011	172,666	2,04654
173,362	10,8981	173,362	2,04432
174,058	10,8948	174,058	2,0302
174,755	10,8943	174,755	2,02073
175,451	10,8943	175,451	2,01242
176,147	10,8865	176,147	2,00121
176,843	10,8775	176,843	1,98958
177,54	10,8537	177,54	1,98687
178,236	10,8499	178,236	1,98474
178,932	10,8711	178,932	1,98922
179,628	10,8684	179,628	1,99371
180,325	10,866	180,325	2,00191
181,021	10,8635	181,021	2,00982
181,717	10,8604	181,717	2,01609
182,413	10,8572	182,413	2,02223
183,109	10,8524	183,109	2,01479
183,806	10,8477	183,806	2,00748
184,502	10,8481	184,502	2,0202
185,198	10,8486	185,198	2,03322
185,894	10,8404	185,894	2,02085
186,591	10,8317	186,591	2,00691
187,287	10,8344	187,287	2,01852
187,983	10,8386	187,983	2,03359
188,679	10,8383	188,679	2,0345
189,376	10,8368	189,376	2,0319
190,072	10,8363	190,072	2,03075
190,768	10,8361	190,768	2,0302
191,464	10,8348	191,464	2,04012
192,16	10,8326	192,16	2,05738
192,857	10,8307	192,857	2,05995

Lanjutan Tabel E.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
193,553	10,829	193,553	2,04481
194,249	10,8276	194,249	2,03777
194,945	10,8266	194,945	2,04961
195,642	10,8256	195,642	2,0564
196,338	10,8248	196,338	2,02879
197,034	10,8241	197,034	2,00118
197,73	10,8242	197,73	1,9956
198,427	10,8244	198,427	1,9915
199,123	10,8232	199,123	1,99442
199,819	10,8215	199,819	1,99999
200,515	10,8201	200,515	1,95241
201,212	10,819	201,212	1,85093
201,908	10,8181	201,908	1,78956
202,604	10,8177	202,604	1,8504
203,3	10,8173	203,3	1,90947
203,996	10,817	203,996	1,88784
204,693	10,8167	204,693	1,86254
205,389	10,8169	205,389	1,9011
206,085	10,8172	206,085	1,9685
206,781	10,8168	206,781	2,07686
207,478	10,8155	207,478	2,25211
208,174	10,8141	208,174	2,42163

LAMPIRAN F
DATA PERHITUNGAN NUMERIK *BACK ABUTMENT PRESSURE*

Hasil analisis *back abutment pressure* berdasarkan pemodelan numerik diperoleh sebagai berikut :

Tabel F.1
 Hasil Perhitungan Numerik *Side Abutment Pressure Seam D*

Sebelum Penggalian		Sesudah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
0	9,00527	0	17,5815
0,929252	9,0021	0,929252	17,8613
1,8585	8,99894	1,8585	18,1415
2,78776	8,99586	2,78776	18,3276
3,71701	8,99316	3,71701	18,5069
4,64626	8,99607	4,64626	18,5458
5,57551	8,96363	5,57551	18,4685
6,50476	8,96556	6,50476	18,5322
7,43402	9,00184	7,43402	18,876
8,36327	9,00102	8,36327	19,0533
9,29252	8,99954	9,29252	19,2422
10,2218	8,99695	10,2218	19,4507
11,151	8,96903	11,151	19,163
12,0803	8,96942	12,0803	19,2705
13,0095	9,00156	13,0095	19,8032
13,9388	8,99746	13,9388	20,1495
14,868	8,96987	14,868	19,8009
15,7973	9,00522	15,7973	20,2356
16,7265	9,001	16,7265	20,687
17,6558	9,00141	17,6558	20,9296
18,585	9,00652	18,585	20,9591
19,5143	9,00392	19,5143	21,391
20,4435	8,97336	20,4435	21,2954
21,3728	8,97383	21,3728	21,6162

Lanjutan Tabel F. 1

Sebelum Penggalan		Sesudah Penggalan	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
22,3021	8,97413	22,3021	21,9425
23,2313	8,97426	23,2313	22,2743
24,1606	9,0066	24,1606	23,0788
25,0898	8,97321	25,0898	23,2804
26,0191	8,97508	26,0191	23,6837
26,9483	8,97584	26,9483	24,1697
27,8776	9,00739	27,8776	25,5123
28,8068	9,00408	28,8068	26,4562
29,7361	8,97676	29,7361	26,2693
30,6653	9,01031	30,6653	27,2901
31,5946	9,00513	31,5946	28,8544
32,5238	8,97793	32,5238	29,0847
33,4531	8,97842	33,4531	30,3318
34,3823	8,97887	34,3823	31,6593
35,3116	8,97932	35,3116	33,5363
36,2408	9,01264	36,2408	39,391
37,1701	8,9783	37,1701	41,3169
38,0993	8,98002	38,0993	38,5889
39,0286	9,00162	39,0286	73,2252
39,9578	8,98147	39,9578	24,7305
40,8871	8,98247	40,8871	6,95129
41,8163	8,98407	41,8163	3,22119
42,7456	9,00948	42,7456	5,58915
43,6748	8,98448	43,6748	3,91433
44,6041	9,00915	44,6041	6,53891
45,5334	8,98344	45,5334	20,9317
46,4626	8,98375	46,4626	12,5052
47,3919	9,01454	47,3919	5,57363
48,3211	8,98417	48,3211	1,42032
49,2504	8,98458	49,2504	0,858408
50,1796	8,98481	50,1796	0,726824
51,1089	9,01642	51,1089	0,633166
52,0381	9,01673	52,0381	0,549817

Lanjutan Tabel F. 1

Sebelum Penggalian		Sesudah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
52,9674	9,01702	52,9674	0,369439
53,8966	9,01732	53,8966	0,185087
54,8259	9,01762	54,8259	0,0655269
55,7551	9,01789	55,7551	0,221926
56,6844	9,0182	56,6844	0,309818
57,6136	9,01851	57,6136	0,32888
58,5429	9,0188	58,5429	0,129614
59,4721	8,98535	59,4721	0,180932
60,4014	8,98722	60,4014	0,412698
61,3306	9,01966	61,3306	0,515774
62,2599	9,01995	62,2599	0,626317
63,1891	9,02022	63,1891	0,750989
64,1184	9,0205	64,1184	0,819434
65,0476	9,02078	65,0476	0,870796
65,9769	9,02107	65,9769	0,973286
66,9062	9,02136	66,9062	1,06055
67,8354	9,02165	67,8354	1,12121
68,7647	9,02193	68,7647	1,17238
69,6939	9,02221	69,6939	1,21814
70,6232	9,02249	70,6232	1,28741
71,5524	9,02276	71,5524	1,35742
72,4817	9,02304	72,4817	1,40482
73,4109	9,02331	73,4109	1,45158
74,3402	9,02358	74,3402	1,49671
75,2694	8,9899	75,2694	1,5396
76,1987	8,99116	76,1987	1,57961
77,1279	9,02437	77,1279	1,61769
78,0572	9,02461	78,0572	1,65424
78,9864	9,02488	78,9864	1,69358
79,9157	9,02515	79,9157	1,73439
80,8449	9,0254	80,8449	1,77031
81,7742	9,02563	81,7742	1,80427
82,7034	9,02588	82,7034	1,82884

Lanjutan Tabel F. 1

Sebelum Penggalian		Sesudah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
83,6327	9,02613	83,6327	1,85016
84,5619	9,02639	84,5619	1,87257
85,4912	9,02665	85,4912	1,89537
86,4204	9,0269	86,4204	1,91593
87,3497	9,02714	87,3497	1,93553
88,2789	9,02738	88,2789	1,95068
89,2082	9,02762	89,2082	1,96317
90,1375	9,02786	90,1375	1,97045
91,0667	9,02809	91,0667	1,9729
91,996	9,02832	91,996	1,97737
92,9252	9,02855	92,9252	1,98516
93,8545	9,02878	93,8545	1,99353
94,7837	9,02901	94,7837	2,00416
95,713	9,02924	95,713	2,0148
96,6422	9,02949	96,6422	2,01532
97,5715	9,02974	97,5715	2,0157
98,5007	9,02998	98,5007	2,01394
99,43	9,03022	99,43	2,01141
100,359	9,03044	100,359	2,00992
101,288	9,03066	101,288	2,00973
102,218	9,03088	102,218	2,00979
103,147	9,03109	103,147	2,01176
104,076	9,0313	104,076	2,01373
105,005	9,03151	105,005	2,01418
105,935	9,03172	105,935	2,01412
106,864	9,03194	106,864	2,01387
107,793	9,03216	107,793	2,01327
108,722	9,03238	108,722	2,01267
109,652	9,0326	109,652	2,01182
110,581	9,03283	110,581	2,01095
111,51	9,03305	111,51	2,01148
112,44	9,03325	112,44	2,01402
113,369	9,03345	113,369	2,01655

Lanjutan Tabel F. 1

Sebelum Penggalian		Sesudah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
114,298	9,03364	114,298	2,01804
115,227	9,03384	115,227	2,01939
116,157	9,03404	116,157	2,02
117,086	9,03424	117,086	2,01902
118,015	9,03445	118,015	2,01803
118,944	9,03465	118,944	2,01872
119,874	9,03485	119,874	2,02012
120,803	9,03506	120,803	2,02159
121,732	9,03525	121,732	2,02436
122,661	9,03545	122,661	2,02712
123,591	9,00024	123,591	2,02774
124,52	8,99635	124,52	2,02419
125,449	8,99247	125,449	2,02064
126,378	9,03617	126,378	2,02075
127,308	9,03638	127,308	2,02336
128,237	9,0366	128,237	2,02598
129,166	9,0368	129,166	2,02779
130,095	9,03699	130,095	2,02941
131,025	9,03718	131,025	2,03102
131,954	9,03735	131,954	2,03078
132,883	9,03752	132,883	2,03046
133,812	9,0377	133,812	2,03013
134,742	9,03787	134,742	2,02969
135,671	9,03804	135,671	2,02925
136,6	9,03821	136,6	2,02879
137,529	9,03838	137,529	2,02827
138,459	9,03855	138,459	2,02775
139,388	9,03871	139,388	2,02709
140,317	9,03889	140,317	2,02574
141,246	9,03907	141,246	2,02438
142,176	9,03925	142,176	2,02312
143,105	9,03942	143,105	2,02253
144,034	9,0396	144,034	2,02194

Lanjutan Tabel F. 1

Sebelum Penggalian		Sesudah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
144,963	9,03977	144,963	2,02144
145,893	9,03986	145,893	2,02203
146,822	9,03995	146,822	2,02262
147,751	9,04004	147,751	2,02359
148,68	9,04004	148,68	2,03077
149,61	9,04004	149,61	2,03795
150,539	9,04004	150,539	2,04438
151,468	9,04003	151,468	2,03824
152,397	9,04002	152,397	2,03209
153,327	9,04001	153,327	2,02648
154,256	9,04001	154,256	2,02774
155,185	9,04001	155,185	2,029
156,114	9,04001	156,114	2,03018
157,044	9,04001	157,044	2,03059
157,973	9,04	157,973	2,031
158,902	9,04	158,902	2,0314
159,831	9,03999	159,831	2,03173
160,761	9,03998	160,761	2,03207
161,69	9,03996	161,69	2,03228
162,619	9,03993	162,619	2,03201
163,548	9,03991	163,548	2,03174
164,478	9,03989	164,478	2,03149
165,407	9,03989	165,407	2,03126
166,336	9,03988	166,336	2,03103
167,265	9,03987	167,265	2,03112
168,195	9,03984	168,195	2,03179
169,124	9,03982	169,124	2,03245
170,053	9,03978	170,053	2,03257
170,982	9,03974	170,982	2,03203
171,912	9,0397	171,912	2,03148
172,841	9,03968	172,841	2,03078
173,77	9,03966	173,77	2,02996
174,699	9,03964	174,699	2,02913

Lanjutan Tabel F. 1

Sebelum Penggalian		Sesudah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
175,629	9,03962	175,629	2,02867
176,558	9,03959	176,558	2,02841
177,487	9,03956	177,487	2,02815
178,416	9,03952	178,416	2,02852
179,346	9,03948	179,346	2,02911
180,275	9,03944	180,275	2,02969
181,204	9,0394	181,204	2,0299
182,133	9,03936	182,133	2,03006
183,063	9,03931	183,063	2,03017
183,992	9,03927	183,992	2,0311
184,921	9,03923	184,921	2,03201
185,85	9,03919	185,85	2,03286
186,78	9,03913	186,78	2,03311
187,709	9,03908	187,709	2,03336
188,638	9,03902	188,638	2,03349
189,567	9,03897	189,567	2,03308
190,497	9,03891	190,497	2,03268
191,426	9,03885	191,426	2,032
192,355	9,03879	192,355	2,03071
193,284	9,03872	193,284	2,02941
194,214	9,03866	194,214	2,02867
195,143	9,03862	195,143	2,02868
196,072	9,03857	196,072	2,02868
197,001	9,03851	197,001	2,02806
197,931	9,03845	197,931	2,02689
198,86	9,03838	198,86	2,02571
199,789	9,0383	199,789	2,02519
200,718	9,03823	200,718	2,02507
201,648	9,03815	201,648	2,02495
202,577	9,03808	202,577	2,02531
203,506	9,03803	203,506	2,02585
204,435	9,03797	204,435	2,02639
205,365	9,0379	205,365	2,02702

Lanjutan Tabel F. 1

Sebelum Penggalian		Sesudah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
206,294	9,03783	206,294	2,02766
207,223	9,03777	207,223	2,02831
208,152	9,03769	208,152	2,02878
209,082	9,03761	209,082	2,02924
210,011	9,03753	210,011	2,02969
210,94	9,0374	210,94	2,03028
211,869	9,03726	211,869	2,03087
212,799	9,03713	212,799	2,03146
213,728	9,03692	213,728	2,03101
214,657	9,03672	214,657	2,03055
215,586	9,03652	215,586	2,03011
216,516	9,0363	216,516	2,03002
217,445	9,03608	217,445	2,02992
218,374	9,03587	218,374	2,02981
219,303	9,03565	219,303	2,02964
220,233	9,03543	220,233	2,02946
221,162	9,03521	221,162	2,02927
222,091	9,03499	222,091	2,029
223,021	9,03477	223,021	2,02873
223,95	9,03455	223,95	2,02836
224,879	9,03433	224,879	2,0277
225,808	9,03411	225,808	2,02704
226,738	9,03389	226,738	2,02665
227,667	9,03366	227,667	2,02673
228,596	9,03342	228,596	2,02682
229,525	9,03319	229,525	2,02722
230,455	9,03297	230,455	2,02798
231,384	9,03275	231,384	2,02874
232,313	9,03253	232,313	2,02989
233,242	9,03231	233,242	2,03133
234,172	9,03208	234,172	2,03277
235,101	9,03185	235,101	2,03202
236,03	9,0316	236,03	2,03023

Lanjutan Tabel F. 1

Sebelum Penggalian		Sesudah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
236,959	9,03136	236,959	2,02844
237,889	9,03112	237,889	2,02752
238,818	9,03089	238,818	2,02683
239,747	9,03065	239,747	2,02614
240,676	9,03041	240,676	2,02634
241,606	9,03017	241,606	2,02665
242,535	9,02992	242,535	2,02695
243,464	9,02958	243,464	2,02714
244,393	9,02925	244,393	2,02733
245,323	9,02891	245,323	2,02763
246,252	9,02852	246,252	2,02864
247,181	9,02814	247,181	2,02966
248,11	9,02776	248,11	2,03041
249,04	9,02736	249,04	2,03032
249,969	9,02697	249,969	2,03023
250,898	9,02658	250,898	2,03016
.	.	.	.
.	.	.	.
1400,633167	8,99887	1400,633167	2,02582
1401,562667	8,99791	1401,562667	2,02644
1402,492167	8,99695	1402,492167	2,02338
1403,421667	8,99599	1403,421667	2,02032
1404,351167	8,99503	1404,351167	2,03
1405,280667	8,99407	1405,280667	2,03033
1406,210167	8,99311	1406,210167	2,03173
1407,139667	8,99215	1407,139667	2,03328
1408,069167	8,99119	1408,069167	2,03483
1408,998667	8,99023	1408,998667	2,03024
1409,928167	8,98927	1409,928167	2,02537
1410,857667	8,98831	1410,857667	2,02078
1411,787167	8,98735	1411,787167	2,01928
1412,716667	8,98639	1412,716667	2,01778
1413,646167	8,98543	1413,646167	2,01772

Lanjutan Tabel F. 1

Sebelum Penggalian		Sesudah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
1414,575667	8,98447	1414,575667	2,02177
1415,505167	8,98351	1415,505167	2,02582
1416,434667	8,98255	1416,434667	2,02644
1417,364167	8,98159	1417,364167	2,02338
1418,293667	8,98063	1418,293667	2,02032
1419,223167	8,97967	1419,223167	2,01772
1420,152667	8,97871	1420,152667	2,02177
1421,082167	8,97775	1421,082167	2,02582
1422,011667	8,97679	1422,011667	2,02644
1422,941167	8,97583	1422,941167	2,02338
1423,870667	8,97487	1423,870667	2,02032
1424,800167	8,97391	1424,800167	2,03
1425,729667	8,97295	1425,729667	2,03033
1426,659167	8,97199	1426,659167	2,03173
1427,588667	8,97103	1427,588667	2,03328
1428,518167	8,97007	1428,518167	2,03483
1429,447667	8,96911	1429,447667	2,03024
1430,377167	8,96815	1430,377167	2,02537
1431,306667	8,96719	1431,306667	2,02078
1432,236167	8,96623	1432,236167	2,01928
1433,165667	8,96527	1433,165667	2,01778
1434,095167	8,96431	1434,095167	2,01772
1435,024667	8,96335	1435,024667	2,02177
1435,954167	8,96239	1435,954167	2,02582
1436,883667	8,96143	1436,883667	2,02644
1437,813167	8,96047	1437,813167	2,02338
1438,742667	8,95951	1438,742667	2,02032
1439,672167	8,95855	1439,672167	2,01772
1440,601667	8,95759	1440,601667	2,02177
1441,531167	8,95663	1441,531167	2,02582
1442,460667	8,95567	1442,460667	2,02644
1443,390167	8,95471	1443,390167	2,02338
1444,319667	8,95375	1444,319667	2,02032

Lanjutan Tabel F. 1

Sebelum Penggalian		Sesudah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
1445,249167	8,95279	1445,249167	2,03
1446,178667	8,95183	1446,178667	2,03033
1447,108167	8,95087	1447,108167	2,03173
1448,037667	8,94991	1448,037667	2,03328
1448,967167	8,94895	1448,967167	2,03483
1449,896667	8,94799	1449,896667	2,03024
1450,826167	8,94703	1450,826167	2,02537
1451,755667	8,94607	1451,755667	2,02078
1452,685167	8,94511	1452,685167	2,01928
1453,614667	8,94415	1453,614667	2,01778
1454,544167	8,94319	1454,544167	2,01772
1455,473667	8,94223	1455,473667	2,02177
1456,403167	8,94127	1456,403167	2,02582
1457,332667	8,94031	1457,332667	2,02644
1458,262167	8,93935	1458,262167	2,02338
1459,191667	8,93839	1459,191667	2,02032
1460,121167	8,93743	1460,121167	2,03
1461,050667	8,93647	1461,050667	2,03033
1461,980167	8,93551	1461,980167	2,03173
1462,909667	8,93455	1462,909667	2,03328
1463,839167	8,93359	1463,839167	2,03483
1464,768667	8,93263	1464,768667	2,03024
1465,698167	8,93167	1465,698167	2,02537
1466,627667	8,93071	1466,627667	2,02078
1467,557167	8,92975	1467,557167	2,01928
1468,486667	8,92879	1468,486667	2,01778
1469,416167	8,92783	1469,416167	2,01772
1470,345667	8,92687	1470,345667	2,02177
1471,275167	8,92591	1471,275167	2,02582
1472,204667	8,92495	1472,204667	2,02644
1473,134167	8,92399	1473,134167	2,02338
1474,063667	8,92303	1474,063667	2,02032
1474,993167	8,92207	1474,993167	2,028533333

Lanjutan Tabel F. 1

Sebelum Penggalian		Sesudah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
1475,922667	8,92111	1475,922667	2,025743333
1476,852167	8,92015	1476,852167	2,022953333
1477,781667	8,91919	1477,781667	2,020163333
1478,711167	8,91823	1478,711167	2,01772
1479,640667	8,91727	1479,640667	2,02177
1480,570167	8,91631	1480,570167	2,02582
1481,499667	8,91535	1481,499667	2,02644
1482,429167	8,91439	1482,429167	2,02338
1483,358667	8,91343	1483,358667	2,02032
1484,288167	8,91247	1484,288167	2,025743333
1485,217667	8,91151	1485,217667	2,022953333
1486,147167	8,91055	1486,147167	2,020163333
1487,076667	8,90959	1487,076667	2,0174
1488,006167	8,90863	1488,006167	2,01453
1488,935667	8,90767	1488,935667	2,01182
1489,865167	8,90673	1489,865167	2,01166
1490,794667	8,9058	1490,794667	2,0115
1491,724167	8,90498	1491,724167	2,01242
1492,653667	8,90435	1492,653667	2,01485
1493,583167	8,90372	1493,583167	2,01728
1494,512667	8,90315	1494,512667	2,01551
1495,442167	8,90259	1495,442167	2,01279
1496,371667	8,90205	1496,371667	2,01057
1497,301167	8,9016	1497,301167	2,00975
1498,230667	8,90115	1498,230667	2,00893
1499,160167	8,90072	1499,160167	2,01015
1500,089667	8,90031	1500,089667	2,01205
1501,019167	8,8999	1501,019167	2,0131
1501,948667	8,89955	1501,948667	2,0118
1502,878167	8,89919	1502,878167	2,01051
1503,807667	8,8989	1503,807667	2,01244
1504,737167	8,89862	1504,737167	2,01498
1505,666667	8,89835	1505,666667	2,01413

Lanjutan Tabel F. 1

Sebelum Penggalian		Sesudah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
1506,596167	8,8981	1506,596167	2,00906
1507,525667	8,89785	1507,525667	2,00466
1508,455167	8,89762	1508,455167	2,00699
1509,384667	8,89739	1509,384667	2,00932
1510,314167	8,89718	1510,314167	2,0069
1511,243667	8,89697	1511,243667	2,00311
1512,173167	8,89678	1512,173167	2,00301
1513,102667	8,8966	1513,102667	2,00663
1514,032167	8,89643	1514,032167	2,00802
1514,961667	8,89627	1514,961667	2,00305
1515,891167	8,8961	1515,891167	1,99801
1516,820667	8,89595	1516,820667	1,99183
1517,750167	8,8958	1517,750167	1,98565
1518,679667	8,89567	1518,679667	1,98035
1519,609167	8,89555	1519,609167	1,97516
1520,538667	8,89543	1520,538667	1,97402
1521,468167	8,8953	1521,468167	1,97416
1522,397667	8,89518	1522,397667	1,96546
1523,327167	8,89505	1523,327167	1,95228
1524,256667	8,89493	1524,256667	1,93647
1525,186167	8,8948	1525,186167	1,91894
1526,115667	8,89468	1526,115667	1,89885
1527,045167	8,89456	1527,045167	1,87686
1527,974667	8,89442	1527,974667	1,84713
1528,904167	8,89427	1528,904167	1,81183
1529,833667	8,8941	1529,833667	1,77517
1530,763167	8,89391	1530,763167	1,73766
1531,692667	8,89364	1531,692667	1,68547
1532,622167	8,89334	1532,622167	1,62669
1533,551667	8,89311	1533,551667	1,56278
1534,481167	8,89291	1534,481167	1,49753
1535,410667	8,89327	1535,410667	1,44043
1536,340167	8,89398	1536,340167	1,38582

Lanjutan Tabel F. 1

Sebelum Penggalian		Sesudah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
1537,269667	8,89772	1537,269667	1,34955
1538,199167	8,86967	1538,199167	1,31149
1539,128667	8,87639	1539,128667	1,26894
1540,058167	8,9199	1540,058167	1,23545
1540,987667	8,93033	1540,987667	1,21065
1541,917167	8,94249	1541,917167	1,1652
1542,846667	8,95531	1542,846667	1,11457
1543,776167	8,97073	1543,776167	1,08859
1544,705667	8,94902	1544,705667	1,05934
1545,635167	8,9665	1545,635167	1,02418
1546,564667	9,02875	1546,564667	0,966175
1547,494167	9,05317	1547,494167	0,888225
1548,423667	9,08264	1548,423667	0,657248
1549,353167	9,11555	1549,353167	0,488577
1550,282667	9,15258	1550,282667	0,394988
1551,212167	9,19724	1551,212167	0,173857
1552,141667	9,24681	1552,141667	0,0254516
1553,071167	9,30455	1553,071167	0,07352
1554,000667	9,37795	1554,000667	0,234179
1554,930167	9,4623	1554,930167	0,415459
1555,859667	9,56368	1555,859667	0,572294
1556,789167	9,70424	1556,789167	0,59982
1557,718667	9,88458	1557,718667	0,687815
1558,648167	10,1213	1558,648167	0,947536
1559,577667	10,5588	1559,577667	1,44195
1560,507167	11,448	1560,507167	2,23917
1561,436667	10,821	1561,436667	3,95517
1562,366167	10,5133	1562,366167	10,2036
1563,295667	15,7098	1563,295667	21,0568
1564,225167	6,73474	1564,225167	14,4291
1565,154667	2,88436	1565,154667	3,57894
1566,084167	2,83416	1566,084167	6,91545
1567,013667	2,92776	1567,013667	10,9476

Lanjutan Tabel F. 1

Sebelum Penggalian		Sesudah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
1567,943167	3,35548	1567,943167	14,3436
1568,872667	4,88927	1568,872667	21,1268
1569,802167	8,87737	1569,802167	39,4454
1570,731667	10,2842	1570,731667	36,2295
1571,661167	12,2545	1571,661167	44,735
1572,590667	11,0895	1572,590667	37,5816
1573,520167	10,9147	1573,520167	35,5931
1574,449667	10,328	1574,449667	32,9172
1575,379167	9,89324	1575,379167	31,4543
1576,308667	9,64331	1576,308667	30,8686
1577,238167	9,5837	1577,238167	28,7385
1578,167667	9,46333	1578,167667	28,0268
1579,097167	9,33745	1579,097167	27,6567
1580,026667	9,291	1580,026667	26,1822
1580,956167	9,23	1580,956167	25,2212
1581,885667	9,16735	1581,885667	24,7443
1582,815167	9,10602	1582,815167	24,2053
1583,744667	9,08652	1583,744667	24,3322
1584,674167	9,06836	1584,674167	23,6592
1585,603667	9,03159	1585,603667	23,3186
1586,533167	9,00071	1586,533167	22,9734
1587,462667	8,97496	1587,462667	22,6241
1588,392167	8,94895	1588,392167	22,1683
1589,321667	8,92394	1589,321667	21,7631
1590,251167	8,9016	1590,251167	21,5146
1591,180667	8,88941	1591,180667	21,3966
1592,110167	8,8838	1592,110167	21,3631
1593,039667	8,88584	1593,039667	20,9699
1593,969167	8,8883	1593,969167	20,5902
1594,898667	8,88925	1594,898667	20,4316
1595,828167	8,89024	1595,828167	20,2478
1596,757667	8,89127	1596,757667	20,0304
1597,687167	8,86578	1597,687167	19,7078

Lanjutan Tabel F. 1

Sebelum Penggalian		Sesudah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
1598,616667	8,8682	1598,616667	19,6455
1599,546167	8,86981	1599,546167	19,7118
1600,475667	8,87126	1600,475667	19,8044

Tabel F.2
 Hasil Perhitungan Numerik *Back Abutment Pressure Seam E*

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
0	10,9379	0	18,4207
0,929252	10,9384	0,929252	18,537
1,8585	10,9366	1,8585	18,6442
2,78776	10,9355	2,78776	18,7292
3,71701	10,9359	3,71701	18,81
4,64626	10,9371	4,64626	18,9095
5,57551	10,9376	5,57551	19,0142
6,50476	10,938	6,50476	19,1211
7,43402	10,938	7,43402	19,2317
8,36327	10,938	8,36327	19,3515
9,29252	10,9372	9,29252	19,4884
10,2218	10,9369	10,2218	19,626
11,151	10,9377	11,151	19,7667
12,0803	10,9381	12,0803	19,9424
13,0095	10,9365	13,0095	20,1479
13,9388	10,9366	13,9388	20,333
14,868	10,9373	14,868	20,5868
15,7973	10,9361	15,7973	20,9064
16,7265	10,9361	16,7265	21,135
17,6558	10,9373	17,6558	21,4665
18,585	10,9202	18,585	21,6076
19,5143	10,9194	19,5143	22,1265
20,4435	10,9193	20,4435	22,7986

Lanjutan Tabel F.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
21,3728	10,9193	21,3728	23,5378
22,3021	10,9371	22,3021	25,381
23,2313	10,9192	23,2313	26,0178
24,1606	10,9385	24,1606	29,5246
25,0898	10,9202	25,0898	31,1546
26,0191	10,9202	26,0191	33,9064
26,9483	10,9196	26,9483	32,7677
27,8776	10,9372	27,8776	38,6854
28,8068	10,9207	28,8068	23,4005
29,7361	10,9348	29,7361	46,8137
30,6653	10,9348	30,6653	56,2363
31,5946	10,9203	31,5946	24,5886
32,5238	10,9203	32,5238	14,2379
33,4531	10,9379	33,4531	10,0186
34,3823	10,9207	34,3823	8,30909
35,3116	10,9211	35,3116	7,1899
36,2408	10,9216	36,2408	7,35873
37,1701	10,9215	37,1701	7,85563
38,0993	10,9213	38,0993	3,12267
39,0286	10,9214	39,0286	0,879932
39,9578	10,9217	39,9578	0,758349
40,8871	10,9217	40,8871	0,79081
41,8163	10,9224	41,8163	0,598259
42,7456	10,9223	42,7456	0,636814
43,6748	10,9386	43,6748	0,693842
44,6041	10,9382	44,6041	0,638316
45,5334	10,923	45,5334	0,466388
46,4626	10,9404	46,4626	0,356091
47,3919	10,9419	47,3919	0,313499
48,3211	10,9241	48,3211	0,380075
49,2504	10,9237	49,2504	0,266807
50,1796	10,9236	50,1796	0,226363
51,1089	10,9239	51,1089	0,156141

Lanjutan Tabel F.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
52,0381	10,9245	52,0381	0,0135667
52,9674	10,9252	52,9674	0,0952228
53,8966	10,9418	53,8966	0,0765407
54,8259	10,9242	54,8259	0,00274519
55,7551	10,9225	55,7551	0,129539
56,6844	10,9435	56,6844	0,0110835
57,6136	10,9452	57,6136	0,106932
58,5429	10,9219	58,5429	0,0168874
59,4721	10,9239	59,4721	0,00291492
60,4014	10,9237	60,4014	0,186554
61,3306	10,9444	61,3306	0,0437054
62,2599	10,9459	62,2599	-0,0358488
63,1891	10,9234	63,1891	0,0351416
64,1184	10,9242	64,1184	0,0939534
65,0476	10,9248	65,0476	0,13138
65,9769	10,9259	65,9769	0,180132
66,9062	10,9244	66,9062	0,229174
67,8354	10,9252	67,8354	0,338177
68,7647	10,9484	68,7647	0,493184
69,6939	10,948	69,6939	0,595075
70,6232	10,9489	70,6232	0,664143
71,5524	10,9501	71,5524	0,733832
72,4817	10,9493	72,4817	0,814252
73,4109	10,9482	73,4109	0,863117
74,3402	10,9272	74,3402	0,950552
75,2694	10,9273	75,2694	1,0228
76,1987	10,9276	76,1987	1,10474
77,1279	10,9281	77,1279	1,20826
78,0572	10,9283	78,0572	1,29073
78,9864	10,9284	78,9864	1,34912
79,9157	10,9287	79,9157	1,37248
80,8449	10,9292	80,8449	1,38588
81,7742	10,9294	81,7742	1,42539

Lanjutan Tabel F.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
82,7034	10,9298	82,7034	1,44105
83,6327	10,93	83,6327	1,48953
84,5619	10,9302	84,5619	1,5493
85,4912	10,9304	85,4912	1,59452
86,4204	10,9309	86,4204	1,63842
87,3497	10,9586	87,3497	1,66998
88,2789	10,9541	88,2789	1,69623
89,2082	10,955	89,2082	1,74069
90,1375	10,956	90,1375	1,7683
91,0667	10,9567	91,0667	1,79171
91,996	10,9569	91,996	1,81658
92,9252	10,9325	92,9252	1,8295
93,8545	10,9585	93,8545	1,85126
94,7837	10,9596	94,7837	1,8848
95,713	10,959	95,713	1,87857
96,6422	10,9334	96,6422	1,87695
97,5715	10,9563	97,5715	1,88033
98,5007	10,9346	98,5007	1,92347
99,43	10,9611	99,43	1,9465
100,359	10,9535	100,359	1,94798
101,288	10,9352	101,288	1,96918
102,218	10,9654	102,218	1,98511
103,147	10,966	103,147	1,99123
104,076	10,966	104,076	1,99789
105,005	10,9661	105,005	2,00295
105,935	10,9669	105,935	2,00247
106,864	10,9683	106,864	2,00824
107,793	10,9699	107,793	2,01764
108,722	10,938	108,722	2,02153
109,652	10,9677	109,652	2,02285
110,581	10,968	110,581	2,01973
111,51	10,9392	111,51	2,02201
112,44	10,969	112,44	2,02619

Lanjutan Tabel F.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
113,369	10,9699	113,369	2,02233
114,298	10,9709	114,298	2,02156
115,227	10,9725	115,227	2,02683
116,157	10,9726	116,157	2,02871
117,086	10,9719	117,086	2,02857
118,015	10,9724	118,015	2,02558
118,944	10,9413	118,944	2,02358
119,874	10,9422	119,874	2,02966
120,803	10,9761	120,803	2,03213
121,732	10,9765	121,732	2,02846
122,661	10,9759	122,661	2,02751
123,591	10,9747	123,591	2,02855
124,52	10,9745	124,52	2,02704
125,449	10,9748	125,449	2,02477
126,378	10,9765	126,378	2,02688
127,308	10,9443	127,308	2,02936
128,237	10,9442	128,237	2,03252
129,166	10,944	129,166	2,03553
130,095	10,9428	130,095	2,03795
131,025	10,9753	131,025	2,03802
131,954	10,9753	131,954	2,03316
132,883	10,9756	132,883	2,03097
133,812	10,9761	133,812	2,03264
134,742	10,9768	134,742	2,03227
135,671	10,9778	135,671	2,02963
136,6	10,9791	136,6	2,0282
137,529	10,9808	137,529	2,0279
138,459	10,9822	138,459	2,02799
139,388	10,9832	139,388	2,02841
140,317	10,984	140,317	2,02833
141,246	10,9845	141,246	2,02783
142,176	10,9848	142,176	2,02825
143,105	10,9849	143,105	2,02953

Lanjutan Tabel F.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
144,034	10,9848	144,034	2,02974
144,963	10,9847	144,963	2,02876
145,893	10,9842	145,893	2,02871
146,822	10,9831	146,822	2,02999
147,751	10,9824	147,751	2,03034
148,68	10,9825	148,68	2,0287
149,61	10,9828	149,61	2,02801
150,539	10,9838	150,539	2,03096
151,468	10,9846	151,468	2,03368
152,397	10,9835	152,397	2,0333
153,327	10,9823	153,327	2,03292
154,256	10,982	154,256	2,03181
155,185	10,9818	155,185	2,03064
156,114	10,9817	156,114	2,03214
157,044	10,9818	157,044	2,03465
157,973	10,982	157,973	2,03508
158,902	10,9824	158,902	2,03359
159,831	10,9831	159,831	2,03265
160,761	10,9847	160,761	2,03304
161,69	10,9863	161,69	2,03349
162,619	10,9869	162,619	2,03476
163,548	10,9876	163,548	2,03604
164,478	10,9878	164,478	2,03588
165,407	10,9879	165,407	2,03543
166,336	10,9876	166,336	2,03492
167,265	10,987	167,265	2,03437
168,195	10,9861	168,195	2,03343
169,124	10,9846	169,124	2,032
170,053	10,9835	170,053	2,03091
170,982	10,9833	170,982	2,03069
171,912	10,9833	171,912	2,03064
172,841	10,9845	172,841	2,03177
173,77	10,9857	173,77	2,03296

Lanjutan Tabel F.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
174,699	10,9848	174,699	2,03207
175,629	10,984	175,629	2,03118
176,558	10,9841	176,558	2,03057
177,487	10,9844	177,487	2,03001
178,416	10,9854	178,416	2,03021
179,346	10,9866	179,346	2,03068
180,275	10,9871	180,275	2,03047
181,204	10,9872	181,204	2,02988
182,133	10,987	182,133	2,02921
183,063	10,9866	183,063	2,02847
183,992	10,9858	183,992	2,02699
184,921	10,9844	184,921	2,02472
185,85	10,9837	185,85	2,02371
186,78	10,9838	186,78	2,02444
187,709	10,9848	187,709	2,02559
188,638	10,9871	188,638	2,02743
189,567	10,9883	189,567	2,0285
190,497	10,9871	190,497	2,02801
191,426	10,9858	191,426	2,02762
192,355	10,9844	192,355	2,02749
193,284	10,9835	193,284	2,02806
194,214	10,9839	194,214	2,03037
195,143	10,9839	195,143	2,0316
196,072	10,9828	196,072	2,03015
197,001	10,982	197,001	2,02921
197,931	10,9817	197,931	2,0295
198,86	10,9817	198,86	2,02907
199,789	10,9823	199,789	2,02702
200,718	10,9822	200,718	2,02599
201,648	10,9807	201,648	2,02701
202,577	10,9797	202,577	2,02848
203,506	10,9797	203,506	2,03075
204,435	10,9802	204,435	2,03247

Lanjutan Tabel F.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
205,365	10,9816	205,365	2,03341
206,294	10,9824	206,294	2,03392
207,223	10,9824	207,223	2,03392
208,152	10,9822	208,152	2,034
209,082	10,9817	209,082	2,03415
210,011	10,981	210,011	2,03524
210,94	10,9801	210,94	2,03698
211,869	10,9784	211,869	2,03607
212,799	10,9763	212,799	2,03377
213,728	10,975	213,728	2,03331
214,657	10,9739	214,657	2,0335
215,586	10,9436	215,586	2,03526
216,516	10,9435	216,516	2,03735
217,445	10,9724	217,445	2,03717
218,374	10,9723	218,374	2,03677
219,303	10,9734	219,303	2,0371
220,233	10,9403	220,233	2,03777
221,162	10,9402	221,162	2,04122
222,091	10,9744	222,091	2,04295
223,021	10,9732	223,021	2,03844
223,95	10,9717	223,95	2,03557
224,879	10,9692	224,879	2,0361
225,808	10,9677	225,808	2,03656
226,738	10,9674	226,738	2,03695
227,667	10,9353	227,667	2,0374
228,596	10,9348	228,596	2,03789
229,525	10,9347	229,525	2,03777
230,455	10,9348	230,455	2,03735
231,384	10,9639	231,384	2,03766
232,313	10,963	232,313	2,03814
233,242	10,9626	233,242	2,03688
234,172	10,9623	234,172	2,0356
235,101	10,9635	235,101	2,03638

Lanjutan Tabel F.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
236,03	10,9645	236,03	2,03666
236,959	10,9643	236,959	2,0347
237,889	10,9637	237,889	2,03356
238,818	10,9625	238,818	2,03424
239,747	10,9288	239,747	2,03514
240,676	10,929	240,676	2,03633
241,606	10,9292	241,606	2,03781
242,535	10,9294	242,535	2,03951
243,464	10,96	243,464	2,03822
244,393	10,9596	244,393	2,03561
245,323	10,9602	245,323	2,03571
246,252	10,9609	246,252	2,03638
247,181	10,9595	247,181	2,03542
248,11	10,9582	248,11	2,03428
249,04	10,9583	249,04	2,03204
249,969	10,9586	249,969	2,03051
250,898	10,9603	250,898	2,0317
.	.	.	.
.	.	.	.
1400,5323	10,9026	1400,5323	2,03122
1401,4617	10,9003	1401,4617	2,03052
1402,3911	10,8986	1402,3911	2,0311
1403,3205	10,8974	1403,3205	2,03081
1404,2499	10,8969	1404,2499	2,02883
1405,1793	10,896	1405,1793	2,02746
1406,1087	10,8941	1406,1087	2,02849
1407,0381	10,8917	1407,0381	2,02945
1407,9675	10,8882	1407,9675	2,02906
1408,8969	10,8851	1408,8969	2,02868
1409,8263	10,8833	1409,8263	2,02708
1410,7557	10,8817	1410,7557	2,02532
1411,6851	10,8807	1411,6851	2,02604
1412,6145	10,8794	1412,6145	2,02771

Lanjutan Tabel F.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
1413,5439	10,8774	1413,5439	2,02836
1414,4733	10,8754	1414,4733	2,02828
1415,4027	10,8733	1415,4027	2,02791
1416,3321	10,8315	1416,3321	2,02723
1417,2615	10,8312	1417,2615	2,02809
1418,1909	10,8645	1418,1909	2,0315
1419,1203	10,8603	1419,1203	2,03391
1420,0497	10,8576	1420,0497	2,03409
1420,9791	10,8556	1420,9791	2,03485
1421,9085	10,8212	1421,9085	2,03728
1422,8379	10,8193	1422,8379	2,03835
1423,7673	10,8495	1423,7673	2,03506
1424,6967	10,8461	1424,6967	2,03283
1425,6261	10,8446	1425,6261	2,03402
1426,5555	10,8105	1426,5555	2,03497
1427,4849	10,8093	1427,4849	2,03524
1428,4143	10,9079	1428,4143	2,03522
1429,3437	10,9072	1429,3437	2,03449
1430,2731	10,9068	1430,2731	2,03457
1431,2025	10,9053	1431,2025	2,03604
1432,1319	10,9026	1432,1319	2,03547
1433,0613	10,9003	1433,0613	2,03237
1433,9907	10,8986	1433,9907	2,02988
1434,9201	10,8974	1434,9201	2,02788
1435,8495	10,8969	1435,8495	2,02668
1436,7789	10,896	1436,7789	2,02586
1437,7083	10,8941	1437,7083	2,02771
1438,6377	10,8917	1438,6377	2,03011
1439,5671	10,8882	1439,5671	2,02454
1440,4965	10,8851	1440,4965	2,01992
1441,4259	10,8833	1441,4259	2,01986
1442,3553	10,8817	1442,3553	2,02086
1443,2847	10,8807	1443,2847	2,02353

Lanjutan Tabel F.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
1444,2141	10,8794	1444,2141	2,02708
1445,1435	10,8774	1445,1435	2,02532
1446,0729	10,8754	1446,0729	2,02604
1447,0023	10,8733	1447,0023	2,02771
1447,9317	10,8315	1447,9317	2,02836
1448,8611	10,8312	1448,8611	2,02828
1449,7905	10,8645	1449,7905	2,02791
1450,7199	10,8603	1450,7199	2,02723
1451,6493	10,8576	1451,6493	2,02809
1452,5787	10,8556	1452,5787	2,0315
1453,5081	10,8212	1453,5081	2,03391
1454,4375	10,8193	1454,4375	2,03409
1455,3669	10,8495	1455,3669	2,03485
1456,2963	10,8461	1456,2963	2,03728
1457,2257	10,8446	1457,2257	2,03835
1458,1551	10,8105	1458,1551	2,03506
1459,0845	10,8093	1459,0845	2,03283
1460,0139	10,8315	1460,0139	2,03402
1460,9433	10,8312	1460,9433	2,03497
1461,8727	10,8645	1461,8727	2,03524
1462,8021	10,8603	1462,8021	2,03522
1463,7315	10,8576	1463,7315	2,03449
1464,6609	10,8556	1464,6609	2,03457
1465,5903	10,8212	1465,5903	2,03604
1466,5197	10,8193	1466,5197	2,03547
1467,4491	10,8495	1467,4491	2,03237
1468,3785	10,8461	1468,3785	2,02988
1469,3079	10,8446	1469,3079	2,02788
1470,2373	10,8105	1470,2373	2,02668
1471,1667	10,8093	1471,1667	2,02586
1472,0961	10,8315	1472,0961	2,02771
1473,0255	10,8312	1473,0255	2,03011
1473,9549	10,8645	1473,9549	2,02454

Lanjutan Tabel F.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
1474,8843	10,8603	1474,8843	2,01992
1475,8137	10,8576	1475,8137	2,01986
1476,7431	10,8556	1476,7431	2,02086
1477,6725	10,8212	1477,6725	2,02353
1478,6019	10,8193	1478,6019	2,02788
1479,5313	10,8495	1479,5313	2,02668
1480,4607	10,8461	1480,4607	2,02586
1481,3901	10,8446	1481,3901	2,02771
1482,3195	10,8105	1482,3195	2,03011
1483,2489	10,8093	1483,2489	2,02454
1484,1783	10,8446	1484,1783	2,01992
1485,1077	10,8105	1485,1077	2,01986
1486,0371	10,8093	1486,0371	2,02086
1486,9665	10,8105	1486,9665	2,02353
1487,8959	10,8401	1487,8959	2,01999
1488,8253	10,8367	1488,8253	2,01256
1489,7547	10,8343	1489,7547	2,01554
1490,6841	10,8007	1490,6841	2,01889
1491,6135	10,8002	1491,6135	2,01295
1492,5429	10,8294	1492,5429	2,01068
1493,4723	10,8303	1493,4723	2,01367
1494,4017	10,8316	1494,4017	2,01418
1495,3311	10,8329	1495,3311	2,0129
1496,2605	10,8317	1496,2605	1,98958
1497,1899	10,8316	1497,1899	1,97567
1498,1193	10,8334	1498,1193	1,97742
1499,0487	10,834	1499,0487	1,96249
1499,9781	10,8345	1499,9781	1,9441
1500,9075	10,8379	1500,9075	1,94715
1501,8369	10,8411	1501,8369	1,94033
1502,7663	10,8441	1502,7663	1,92376
1503,6957	10,8108	1503,6957	1,89631
1504,6251	10,8136	1504,6251	1,86926

Lanjutan Tabel F.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
1505,5545	10,8162	1505,5545	1,84491
1506,4839	10,8193	1506,4839	1,81839
1507,4133	10,8225	1507,4133	1,79148
1508,3427	10,8255	1508,3427	1,76509
1509,2721	10,8598	1509,2721	1,74129
1510,2015	10,8579	1510,2015	1,71606
1511,1309	10,8588	1511,1309	1,68294
1512,0603	10,8389	1512,0603	1,65132
1512,9897	10,8678	1512,9897	1,62174
1513,9191	10,8725	1513,9191	1,59621
1514,8485	10,8532	1514,8485	1,54516
1515,7779	10,8576	1515,7779	1,49016
1516,7073	10,8629	1516,7073	1,43799
1517,6367	10,8682	1517,6367	1,44581
1518,5661	10,8752	1518,5661	1,42618
1519,4955	10,8832	1519,4955	1,36919
1520,4249	10,8891	1520,4249	1,24499
1521,3543	10,8963	1521,3543	1,16675
1522,2837	10,9037	1522,2837	1,09623
1523,2131	10,9112	1523,2131	1,02032
1524,1425	10,9202	1524,1425	0,968564
1525,0719	10,9295	1525,0719	0,904472
1526,0013	10,9391	1526,0013	0,837171
1526,9307	10,9493	1526,9307	0,772309
1527,8601	10,961	1527,8601	0,714141
1528,7895	10,9728	1528,7895	0,646436
1529,7189	10,9847	1529,7189	0,575936
1530,6483	10,9977	1530,6483	0,510342
1531,5777	11,0133	1531,5777	0,45812
1532,5071	11,0311	1532,5071	0,407735
1533,4365	11,0446	1533,4365	0,270055
1534,3659	11,0616	1534,3659	0,147677
1535,2953	11,0823	1535,2953	0,0622938

Lanjutan Tabel F.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
1536,2247	11,104	1536,2247	0,0383895
1537,1541	11,1264	1537,1541	0,178552
1538,0835	11,1884	1538,0835	-0,0303419
1539,0129	11,2155	1539,0129	0,0187554
1539,9423	11,2534	1539,9423	0,0409943
1540,8717	11,2577	1540,8717	0,031324
1541,8011	11,3053	1541,8011	0,0153497
1542,7305	11,3585	1542,7305	-0,00147094
1543,6599	11,4129	1543,6599	0,00605512
1544,5893	11,5441	1544,5893	0,0393054
1545,5187	11,6283	1545,5187	0,000473615
1546,4481	11,7464	1546,4481	0,029209
1547,3775	11,7847	1547,3775	0,00391996
1548,3069	11,954	1548,3069	0,0403645
1549,2363	12,1082	1549,2363	0,0882195
1550,1657	12,4386	1550,1657	0,0938497
1551,0951	12,6393	1551,0951	0,298555
1552,0245	12,9047	1552,0245	0,280564
1552,9539	13,2499	1552,9539	0,34885
1553,8833	14,0012	1553,8833	0,292822
1554,8127	14,297	1554,8127	0,507088
1555,7421	15,499	1555,7421	0,683116
1556,6715	15,2499	1556,6715	0,641131
1557,6009	13,4545	1557,6009	0,526303
1558,5303	9,57619	1558,5303	0,684434
1559,4597	8,21613	1559,4597	0,733326
1560,3891	7,6934	1560,3891	0,844056
1561,3185	5,96171	1561,3185	2,12866
1562,2479	4,4831	1562,2479	5,50122
1563,1773	5,98829	1563,1773	11,7979
1564,1067	3,95372	1564,1067	5,31587
1565,0361	2,53046	1565,0361	10,9676
1565,9655	2,56525	1565,9655	14,8313

Lanjutan Tabel F.2

Sebelum Penggalian		Setelah Penggalian	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
1566,8949	2,60437	1566,8949	12,1973
1567,8243	2,64511	1567,8243	22,2806
1568,7537	3,75336	1568,7537	27,5307
1569,6831	5,2292	1569,6831	32,6947
1570,6125	6,23082	1570,6125	44,7165
1571,5419	7,99911	1571,5419	36,8685
1572,4713	6,77132	1572,4713	21,1376
1573,4007	11,2598	1573,4007	43,3414
1574,3301	11,4902	1574,3301	36,415
1575,2595	13,1598	1575,2595	35,4191
1576,1889	14,1976	1576,1889	31,919
1577,1183	15,8525	1577,1183	32,1548
1578,0477	15,2865	1578,0477	29,8942
1578,9771	13,9094	1578,9771	27,0788
1579,9065	13,604	1579,9065	26,1473
1580,8359	13,1184	1580,8359	25,0986
1581,7653	12,6381	1581,7653	24,1192
1582,6947	12,3321	1582,6947	23,7118
1583,6241	12,1044	1583,6241	23,1667
1584,5535	11,8748	1584,5535	22,7736
1585,4829	11,6774	1585,4829	22,3908
1586,4123	11,5567	1586,4123	22,1231
1587,3417	11,4159	1587,3417	21,9137
1588,2711	11,3036	1588,2711	21,675
1589,2005	11,2032	1589,2005	21,4843
1590,1299	11,1067	1590,1299	21,3218
1591,0593	11,026	1591,0593	21,1645
1591,9887	10,9521	1591,9887	21,0242
1592,9181	10,8756	1592,9181	20,9039
1593,8475	10,8055	1593,8475	20,7819
1594,7769	10,7418	1594,7769	20,6708
1595,7063	10,6799	1595,7063	20,5754
1596,6357	10,6147	1596,6357	20,4973

Lanjutan Tabel F.2

Sebelum Penggalan		Setelah Penggalan	
Distance [m]	Stress [MPa]	Distance [m]	Stress [MPa]
1597,5651	10,5526	1597,5651	20,4099
1598,4945	10,4863	1598,4945	20,3244
1599,4239	10,3742	1599,4239	20,0342
1600,3533	10,3063	1600,3533	19,981