

KAJIAN PENENTUAN BESAR DAN ARAH TEGANGAN
INSITU BATUAN DI BAWAH TANAH DENGAN
UJI TEKNIK HIDROLIK DAN
UJI EMISI AKUSTIK

DIMERTAM

Disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan
Gelar Doktor Teknik Bidang Ilmu Pengendalian Teknik
Di Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

PANTJAHITA NIVI HARTANI

NIM : 17130001

Program Studi Rekayasa Perminyakan



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

2005

**KAJIAN PENENTUAN BESAR DAN ARAH TEGANGAN
INSITU BATUAN DI BAWAH TANAH DENGAN
UJI REKAH HIDROLIK DAN
UJI EMISI AKUSTIK**

DISERTASI

**Dibuat untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh
Gelar Doktor dalam Bidang Ilmu Pengetahuan Teknik
Di Institut Teknologi Bandung**

Oleh

PANTIANITA NOVI HAKTAMI

NIM : 32100029

Program Studi Rekayasa Pertambangan



INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

2005

KINGKASAN

KAJIAN PENENTUAN BESAR DAN ARAH TEGANGAN INSITU BATUAN DI BAWAH TANAH DENGAN UJI REKAH HIDROLIK DAN UJI EMISI AKUSTIK

Oleh :

Pontjossita Novi Hartani

NIM : 52100029

Tegangan in situ sangat diperlukan dalam pemancangan pemukiman atau struktur bawah tanah lainnya, khususnya dikaitkan dengan kemampuannya. Pengukuran tegangan in situ secara realitas tidak dapat dipisahkan sebagai dasar pemancangan pada suatu kondisi. Perbedaan kondisi geologi daerah, tipe material dan peristiwa-peristiwa geologi yang terjadi membuat kondisi suatu daerah tidak dapat diuraikan. Karena itu diperlukan suatu pengukuran tegangan in situ untuk mendapatkan nilai yang lebih valid dan mewakili kondisi suatu daerah.

Di beberapa negara, penelitian mengenai pengukuran tegangan in situ telah banyak dilakukan. Namun, penelitian tersebut hanya terbatas pada penentuan tegangan in situ dengan menggunakan beberapa metode, tanpa adanya kondisi antara metode yang digunakan. Pengukuran tegangan in situ di Indonesia belum berkembang karena faktor mahalnya biaya pembuatan dan pengukuran, serta tidak praktis untuk daerah yang sulit.

Kegiatan penelitian terdiri dari eksperimentasi laboratorium yang mencakup pembuatan alat rekah hidrolik dan uji laboratorium, kegiatan lapangan dan penafsiran rumus. Beberapa kegiatan merupakan kegiatan pertama yang dilakukan di Indonesia, yaitu :

1. Membuat peralatan uji rekah hidrolik dengan kapasitas *packer* 25 MPa
2. Menggunakan emisi akustik untuk menentukan tegangan in situ.

1. Membuat pendekatan empiris antara uji rekah hidrolik dan uji emisi akustik:

Hipotesis awal penelitian ini adalah bahwa pengukuran tegangan imita dengan metode rekah hidrolik digunakan sebagai acuan, karena mengikuti konsep teori elastisitas dan teori *brittle fracture* serta mengakomodasi kondisi alamiah baik geologi, struktur geologi dan penilai. Hipotesis kedua menyatakan bahwa besaran tegangan imita yang diperoleh dari metode langsung (uji rekah hidrolik), yang dinyatakan sebagai uji standar, dapat divalidasi oleh uji tidak langsung yang dalam hal ini adalah metode tidak langsung (uji emisi akustik). Hipotesis ketiga menyatakan bahwa metode tidak langsung dengan uji emisi akustik dapat dipengaruhi oleh waktu tunggu pengambilan contoh dan pengujian, mineralogi dan *pre-existing cracks* batuan itu.

Pembuatan peralatan uji rekah hidrolik dilakukan dengan bekerja sama dengan Pemahaman Daerah Industri Karet Bandung (INDARBA), pemahaman labrat, Laboratorium Kontrol Departemen Teknik Fisika ITS untuk perakitan sistem akuisisi data, dan Laboratorium Mekatronika Batuan Departemen Teknik Pertambangan ITS. Peralatan rekah hidrolik terdiri dari *straddle jacker*, *impression packer*, *zero test*, *inner tube*, perekam data elektronik dan kelengkapan alat. Kapasitas pembeban mencapai 25 MPa.

Penelitian dilakukan di tambang emas bawah tanah Pengkor di dua lokasi, yaitu di Ciang dan Panayuren. Hasil pengukuran tegangan imita dengan uji rekah hidrolik, uji emisi akustik dan pemodelan numerik di kedua lokasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Dalam perbandingan, terdapat perbedaan hasil yang cukup besar antara uji emisi akustik (AE) dan uji rekah hidrolik (HP). Seperti disebutkan pada hipotesis awal, perbedaan tersebut diduga karena pengaruh waktu tunggu. Pembuktian dilakukan dengan melakukan uji emisi akustik dengan waktu tunggu yang berbeda-beda sehingga diperoleh suatu grafik hubungan antara tegangan dan waktu tunggu.

Gratit ini digunakan sebagai pendekatan pada hasil uji emisi akustik. Persebaran terhadap hasil uji emisi akustik (AE kodeksi) menghasilkan hasil yang mendekati hasil uji rekah hidrolik (lihat Tabel 1). Tabel 1 menunjukkan tegangan arah utama (σ_1), tegangan arah timur (σ_2), tegangan vertikal (σ_v), tegangan arah utara - timur (σ_{ut}), tegangan arah timur - vertikal (σ_{tv}) dan tegangan arah vertikal - utara (σ_{vu})

Tabel 1. Kompilasi tegangan utama hasil pengujian dengan uji rekah hidrolik, dan uji emisi akustik.

Tegangan (MPa)	Charing			Panggajene		
	HF	AE	AE kodeksi	HF	AE	AE kodeksi
σ_1	3,62	23,17	3,04	2,49	16,83	4,34
σ_2	0,61	16,15	3,64	4,41	20,44	6,50
σ_3	3,88	11,67	2,77	4,50	21,87	4,68
σ_v	-0,73	-2	-6,67	-0,55	-3,76	-0,8
σ_{ut}	0,83	2,14	0,51	3,44	5,30	1,78
σ_{tv}	-0,79	0,57	0,13	-0,073	-1,97	-0,48

Pemrosesan numerik dilakukan sebagai analisis balik untuk mendapatkan gambaran distribusi tegangan di lokasi penelitian. Tegangan yang didefinisikan adalah tegangan asli (*virgin stress*) dan tegangan terangsang (*induced stress*) karena pengaruh pemrosesan. Pemrosesan dibuat dalam kondisi ideal, yaitu batuan dianggap homogen, isotrop dan kontinu.

Nilai tegangan pada Tabel 1, menjadi tensor tegangan untuk perhitungan tegangan principal. Perhitungan nilai eigen dan vektor eigen dari tensor tersebut menghasilkan nilai tegangan seperti yang tercantum dalam Tabel 2.

Verifikasi arah tegangan dilakukan dengan mengacu pada analisis struktur geologi di lokasi pengujian. Hasilnya menunjukkan bahwa arah tegangan hasil uji rekah hidrolik sesuai dengan kajian struktur geologi di daerah tersebut.

Tabel 2. Tegangan prinsipal hasil pengukuran dengan metode langsung dan metode tidak langsung di Ciang dan Panayaman

Tegangan Prinsipal (MPa)	Ciang		Panayaman	
	HP	AE Terlokalisasi	HP	AE Terlokalisasi
σ_1	4,83 (9148/96)	5,2 (9200/17)	1,94 (3896/43)	7,46 (14080/38)
σ_2	3,95 (941/42)	3,9 (9706/22)	3,22 (9294/34)	4,17 (91700/67)
σ_3	0,12 (82/6/11)	2,51 (9253/95)	2,25 (9171/7)	3,88 (9198/9)

Dengan melihat hasil pengukuran tegangan in situ menggunakan uji rekah hidrolik dan uji emisi akustik di atas serta didukung oleh pemodelan numerik, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Pemetaan rekah hidrolik yang berhasil dibuat dalam pemetaan ini dapat digunakan untuk pengujian dan aplikasi di lapangan dengan kekuatan packer mencapai 25 MPa.
2. Tegangan in situ hasil uji rekah hidrolik dapat digunakan sebagai acuan pemetaan tegangan in situ dalam pemetaan ini. Hal ini didukung dengan nilai tegangan vertikal hasil pemodelan numerik yang mendekati nilai yang mendekati nilai tegangan vertikal uji rekah hidrolik.
3. Besaran yang diperoleh dari metode langsung / uji rekah hidrolik yang dinyatakan sebagai uji standar dapat diwakili oleh uji indeks yang dalam hal ini metode tidak langsung emisi akustik dengan menggunakan pendekatan empirik.
4. Pendekatan empirik yang dilakukan terhadap hasil uji emisi akustik merupakan fungsi waktu tanggu yang sangat berpengaruh terhadap hasil uji.
5. Secara umum, besaran tegangan in situ hasil uji rekah hidrolik dapat dideteksi

dengan uji emisi akustik dengan pendekatan $\sigma_{in} = \frac{\sigma_{ak}}{f(t)}$ dengan σ_{in} adalah

tegangan hasil uji rekah hidrolik, dalam arah yang sama dengan uji emisi akustik, σ_{ak} adalah tegangan hasil uji emisi akustik dan $f(t)$ merupakan persamaan fungsi waktu tanggu untuk bahan tersebut.

6. Pendekatan yang diperoleh hanya berlaku pada daerah dan kondisi batuan yang sama. Hal ini sudah ditunjukkan pada daerah Panoyan yang mempunyai karakteristik batuan yang sama dengan di Chong.
7. Kombinasi metode pengukuran langsung dan metode pengikatan tidak langsung dapat diaplikasikan di lapangan untuk mendapatkan nilai tegangan in situ yang lebih representatif dengan menggunakan pendekatan empiris di antara kedua metode tersebut. Dengan demikian dapat mengurangi jumlah pengujian metode pengukuran langsung, namun hasilnya tetap akurat.
8. Pengukuran tegangan in situ tidak dapat dipisahkan dari profil struktur geologi di daerah penelitian. Verifikasi arah tegangan in situ hasil pengujian langsung pada struktur geologi daerah tersebut.

Akhirnya, dapat disimpulkan bahwa dari uji koefisien dan torques, penelitian ini dapat dijadikan acuan pembuatan profilan pengujian untuk mengukur tegangan in situ dengan uji relaks hidrolik. Selain itu penelitian ini diharapkan dapat memberikan acuan rekomendasi tentang metode dan prosedur pemetaan tegangan in situ dengan kombinasi metode langsung dan tidak langsung sehingga dapat diterapkan untuk memetakan tegangan in situ di suatu lokasi dengan hasil yang lebih akurat namun dengan biaya yang relatif murah.

ABSTRACT

STUDY OF ESTIMATION OF MAGNITUDE AND DIRECTION OF INSITU STRESS OF ROCK BY MEANS OF THE HYDRAULIC FRACTURING TEST AND THE ACOUSTIC EMISSION TEST

By

Pantjuna Navi Hartono

NIM : 32100029

In-situ stress is one of the important parameters in tunnel design, especially in its stability. The theoretical approaches give relatively good results for some cases, but there are some conditions, like geological condition, material type, and activities of geology that different in each area, that make the approaches impracticable. However, in-situ stress measurement is needed to obtained the results that more representative.

In many countries, the research about in-situ stress measurement using many method of measurement already have developed, but there are no researches that studied correlation between the methods. In Indonesia, in-situ stress measurement is not popular yet. The problems so far have been associated with technology availability and cost efficiency.

The research activities included the manufacturing of hydraulic fracturing apparatus, laboratory experimentation, field activities and numerical modeling. Some activities that the firstly research activities in Indonesia are :

1. Manufacturing of hydraulic fracturing apparatus with the packer capacity of 25 MPa.
2. Using acoustic emission method to estimate in-situ stress.
3. Finding the empirical approaches between hydraulic fracturing method and acoustic emission method.

The hypotheses of research are: firstly, the in situ stress measurement by means of hydraulic fracturing can be used as standard, because the hydraulic fracturing method follows the elasticity theory, the brittle fracture theory, and accommodate the real condition. Secondly, the magnitude of in situ stress using hydraulic fracturing, as standard test, can be represented by means of the acoustic emission method, as index test. Thirdly, the acoustic emission method is very influenced by the time lagging between mining process and laboratory testing, mineralogy and pre-existing cracks of intact rock.

The hydraulic fracturing apparatus was manufactured in collaborative works between Bandung Rubber Industry (PNEBAR), Laboratory Control of Department of Physics Engineering, ITB for preparing data acquisition, and Laboratory of Geomechanics of Department of Mining Engineering, ITB. The apparatus include saddle packer, impension packer, zone test, inner tube, recording data and supporting apparatus.

The field tests were carried out in Pangkajene underground gold mine at 2 locations, Gunung and Pannoyanan. Table 1 shows the results of measurement by means of hydraulic fracturing test, and acoustic emission test. The table shows stress in north direction (σ_N), stress in east direction (σ_E), vertical stress (σ_V), stress in north – east direction (τ_{NE}), stress in east – vertical direction (τ_{VE}) and stress in north – vertical direction (τ_{NV})

Table 1. The compilation of in situ stress measurement by means of hydraulic fracturing test (HF) and acoustic emission tests (AE).

Stress (MPa)	Gunung			Pannoyanan		
	HF	AE	AE corrected	HF	AE	AE corrected
σ_N	3,62	21,17	5,04	2,49	16,83	6,14
σ_E	0,61	16,15	3,84	4,41	26,65	6,50
σ_V	3,10	11,63	2,77	4,50	19,87	6,80
τ_{NE}	-0,75	-2	-0,47	-0,55	-3,25	-0,8
τ_{VE}	0,83	3,14	0,51	1,44	5,20	1,20
τ_{NV}	-0,78	0,57	0,13	-0,023	-1,93	-0,48

The magnitude of initial stress calculated using the hydraulic fracturing method and the acoustic emission method are different. As mentioned before, the acoustic emission test is very influenced by the time lagging between sample coring and laboratory testing. This hypothesis is proven by doing the acoustic emission tests in many samples with different time lagging. The test results were the curve between time lagging and stress when the Kaiser effect appeared. The curve was used to correct initial stress from the acoustic emission. The magnitude of the initial stress using acoustic emission test after being corrected using the curve are closer to the one of that hydraulic fracturing tests.

Numerical modeling was performed as back analysis to obtain the state of stress in the research location. The stresses that were modeled are *virgin stress* and *induced stress* because of excavation. The modeling are ideal, homogen, isotrop and continuous.

The initial stresses, as shown in Table 1, are stress tensor to calculate principal stress by determine the Eigen vector and the Eigen value. Table 2 shows principal stresses in Cikrag and Panayutan.

Table 2. Principal stresses obtained from direct method and indirect method in Cikrag and Panayutan

Principal Stress (MPa)	Cikrag		Panayutan	
	IDF	AE Corrected	IDF	AE Corrected
σ_1	4.81 (8118/28)	5.2 (9208/1)	3.94 (6995/45)	3.66 (60482/28)
σ_2	3.95 (666/42)	3.9 (6306/25)	3.22 (6244/44)	4.17 (67382/6)
σ_3	0.42 (63605/11)	2.31 (9233/33)	2.25 (6175/7)	3.88 (6166/4)

The directions of initial stress are verified by analyzing structural geology of location. The results shows that the principal stress direction (Table 2) is relatively in line with the analysis of geological structure.

Having analyzed the results of the hydraulic fracturing test, acoustic emission test and numerical modeling, it can therefore be concluded the following:

1. Hydraulic fracturing test apparatus have been successfully manufactured in this research with packer capacity of 25 MPa. This apparatus has also been used to estimate in situ stress in Pongkot.
2. In situ stress using acoustic emission test can used as a standard method measurement. This is supported by vertical stress of numerical modeling that is closed with the one of that hydraulic fracturing test.
3. The magnitude of in situ stress using hydraulic fracturing, as standard test, can be represented by means of the acoustic emission method, as an index test, using empirical approach.
4. The empirical approaching to acoustic emission tests is a function of time lagging that is very affected in tests results.
5. Generally, the empirical approaching $\sigma_{AE} = \frac{\sigma_{HF}}{f(t)}$ can be used to estimate the in situ stress using acoustic emission test. σ_{HF} is in situ stress using hydraulic fracturing tests in the same direction with AE, σ_{AE} is in situ stress using acoustic emission test and $f(t)$ is function of time lagging for sample.
6. This empirical approaching only works in same location and same type of rock. This is proven with apply $f(t)$ curve in Permijuan that have same rock type with Cikurug.
7. Estimation of in situ stress by means of combination of indirect and direct methods can be applied in field using the empirical approach, so it can minimize the use of direct method and the results are more representative.
8. The directions of in situ stress are verified by structural geology in location.

Contributions of this research in science and engineering are manufacturing of hydraulic fracturing test apparatus, giving new horizon that estimation of in situ stress using the direct method can be approached by indirect method, and finally, this research give recommendation to estimate in situ stress using combination of direct and indirect method with low cost but the results are more representative.

**KAJIAN PENENTUAN BESAR DAN ARAH TEGANGAN
INSITU BATUAN DI BAWAH TANAH DENGAN
UJI REKAH HIDROLIK DAN
UJI EMISI AKUSTIK**

Oleh
Pantjariha Nael Hartami
NIM : 32109029

Program Studi Rekayasa Perminyakan
Institut Teknologi Bandung

Menyetujui
Tia Purbawati

Tanggal Juli 2025

Koran

Prof.Dr.Ir. Andhyo S. Mangarwidjaja

Anggota

Anggota

Prof.Dr.Ir. Made Antwa Rai

Dr.Ir. Susanto Kusumadibata

PEDOMAN PENGGUNAAN DISERTASI

Disertasi Doktor yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Institut Teknologi Bandung, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada pengarang dengan mengikuti aturan HAKI yang berlaku di Institut Teknologi Bandung. Referensi kepustakaan diperkenankan disertai, tetapi pengutipan atau penyalinan hanya dapat dilakukan dengan seizin pengarang dan harus disertai keterangan lisan untuk menyebutkan sumbernya.

Menyerahkan atau menerbilkan sebagian atau seluruh disertasi haruslah seizin Direktur Program Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung.

*Dijerumuskan kepada Tuhan, bangsa, alamater, dan pengetahuan,
(dan) berada di atas orang-orang berakal*

Ucapan Terima Kasih

Penulis sangat berterima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Andhyo S. Mangrowidjaya, sebagai Ketua Tim Promotor atas perhatian dan usahanya selama penelitian dan penulisan disertasi ini.

Penulis sangat berterima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Made Astawa Rai, Anggota Tim Promotor atas segala perhatian, kesabaran, bimbingan, saran dan nasehat dari awal penelitian hingga selesainya penulisan disertasi ini.

Penulis juga berterima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dr. Ir. Sumono Kusnadinata sebagai anggota Tim Pembimbing atas perhatian, bimbingan, saran, nasehat serta kesabaran mengikuti kemajuan di setiap tahap penelitian maupun dalam penulisan disertasi ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih atas kesediaan beliau memberikan dana penelitiannya untuk penelitian ini.

Pada kesempatan ini penulis juga ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dr. Ir. Budi Sufitianto atas kesediaannya untuk memberikan arahan baik dalam pengujian di lapangan maupun dalam pemodelan statistik serta masukannya bagi penyusunan disertasi ini. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Dr. Ir. Rofiq K. Watiwena atas kesediaan berdiskusi dan memberikan pandangan serta masukan dalam penelitian ini.

Penulis juga berterima kasih kepada Prof. Kikuo Matsui dan Dr. Nakagawa dari Kyushu University Jepang, atas kibul penelitian awal statistik dan metode cennere yang digunakan dalam penelitian ini.

Penulis berterima kasih kepada Universitas Triukti yang memberikan kesempatan kepada Penulis untuk melanjutkan pendidikan Program Doktor serta bantuan dana selama Penulis mengikuti pendidikan ini. Terima kasih juga kepada Direktorat Pendidikan Tinggi atas bantuan beasiswa BPPS yang diterima selama 7 semester.

Pencetus juga menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Eddy Agus Basuki dan Dr. Ir. Badi Sulistianto selaku Ketua dan Sekretaris Departemen Teknik Pertambangan.
2. Ir. Djundjungan Simanungkalir, Ir. Iwan Irawan, Ir. Edi Kasmudi dan Ir. Eko Wawan, Ketua Diekai dan Asisten Ketua Diekai Unit Bina Pemertambangan Liris (UBPL) Pengkor PT. Anika Tambang yang telah berkenan menyediakan lokasi penelitian serta memberikan bantuan finansial, pengurusan maupun fasilitas selama melakukan penelitian.
3. Staf PT. Anika Tambang UBPL Pengkor, khususnya Ir. Herlan Sudirman, Ir. Iwan Darmasli, Ir. Ady Taufik, Ir. Dedi Soelawati, Ir. Eko Jono, semua staf eksplorasi dan pengkoran serta staf lain yang namanya tidak dapat kami sebutkan satu per satu. Terima kasih atas semua bantuan dan masukan selama penelitian di lapangan.
4. Pimpinan dan staf Fakultas Teknologi Mineral Universitas Trisakti khususnya Jurusan Teknik Pertambangan yang telah memberikan dukungan dalam penyelesaian Program Doktor ini.
5. Ir. Dedi Gunilaw, Kepala Riset dan Pengembangan Industri Karet Bandung (INKABA) beserta staf yang telah banyak membantu dalam pembuatan dan pengembangan packer.
6. Dr. Ir. Kasmayanto K., Dr. Ir. Purnulim, beserta seluruh staf Laboratorium Kontrol Departemen Teknik Fisika ITB, terutama Raimon dan Denny FT'95, Yusei, dan Denny yang telah banyak membantu dalam pembuatan dan pengembangan *electronic reading device*.
7. Pimpinan URGE atas bantuan dana penelitian melalui Proyek Penelitian DCRG URGE 2000.
8. Pimpinan Anabi Foundation Glan 2001 atas bantuan dana penelitian melalui Penelitian Dr. Ir. Suseno Kusradibrata.
9. Bapak Sudibyo dan Iwan Sofyan, selaku Laboratorium Geomekanika Departemen Teknik Pertambangan ITB, atas kesediaan dan bantuannya selama penelitian ini.

10. Bapak Bapak Komang A, bapak Ibu Henry, Bapak Dedi, dan Bapak Garben yang banyak membantu dalam pembuatan laporan-laporan penelitian.
11. Ir. Darlas D, teman seperjuangan yang telah memberikan dukungan moral selama penelitian dan penyusunan disertasi ini.
12. Nuhindo PW, Gisda MS, dan Ginting JK, Ruby H, M.Safindin S, Carlen IS, Darna Sayoga, Beni MH, Sadja Gustia, Irena, Lobi, Riki R, Dausang, Nyoman AA, Mirfa Y dan teman-teman di Laboratorium Geomorfika yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah banyak memberikan dukungan baik moral maupun materiil selama penelitian dan penulisan disertasi.
13. Staf Departemen Teknik Pertambangan ITB yang telah banyak membantu demi kelancaran penelitian ini.
14. Penulis sangat berterima kasih kepada keluarga, khususnya untuk ibu (ibu) yang telah banyak memberikan dukungan dan dorongan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan Program ini. Terima kasih untuk dua dan keseluruhannya.

Daftar Isi

Bab	Halaman
RINGKASAN	i
ABSTRACT	vi
PEDOMAN PENGGUNAAN DESKRIPSI	xi
PERUNTUKAN	xii
UCAPAN TERIMA KASIH	xiii
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
DAFTAR LAMPIRAN	xxv
 I. PENDAHULUAN	 1
1.1. Keistimewaan Pergetahuan Tegangan Injeksi	1
1.2. Latar Belakang Penelitian	4
1.3. Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian	8
1.4. Hipotesis	8
1.5. Tujuan Penelitian	9
1.6. Metodologi Penelitian	9
 II. LATAR BELAKANG TEORI	 12
II.1. Tegangan Injeksi	12
II.2. Metode Rekah Hidrolik	14
II.3. Metode Emisi Akustik	21
 III. GEOLOGI DAERAH PENELITIAN	 29
III.1. Lokasi Kegiatan Lapangan	29
III.2. Kondisi Umum	29
III.3. Kondisi Batuan Daerah Pengkot	30
III.4. Georesa Daerah Pengkot	32

III.5. Geologi Daerah Pengkajian.....	33
III.6. Dst Utama Timan Pengkajian.....	37
IV. PERSIAPAN, PERANCANGAN DAN UJI COBA PERALATAN.....	43
IV.1. Penakutan Uji Rekah Hidrolik.....	43
IV.2. Penakutan Emisi Akustik.....	59
V. UJI REKAH HIDROLIK DI LAPANGAN.....	67
V.1. Prosedur Uji Rekah Hidrolik.....	68
V.2. Prosedur Penakutan Rekahan di Dalam Lubang Bor.....	69
V.3. Mekanisme Uji Rekah Hidrolik.....	70
V.4. Pembuatan Data Uji Rekah Hidrolik.....	72
V.5. Lokasi Pengujian Rekah Hidrolik dan Pemboran Inti.....	79
V.6. Tegangan Inti Hasil Uji Rekah Hidrolik.....	87
VI. PENENTUAN KARAKTERISTIK BATUAN DAN UJI EMISI AKUSTIK DI LABORATORIUM.....	89
VI.1. Penentuan Karakteristik Batuan.....	89
VI.2. Pengujian Emisi Akustik di Laboratorium.....	91
VI.3. Data Emisi Akustik Contoh Batuan dari Cikrag dan Pamoyanan.....	98
VI.4. Tegangan Inti Hasil Uji Emisi Akustik.....	98
VII. PERMODELAN NUMERIK UNTUK PENENTUAN TEGANGAN INSITU.....	100
VII.1. Macam Metode Numerik.....	100
VII.2. Permodelan untuk Penentuan Tegangan Inti.....	102
VII.3. Permodelan Numerik Tafap I (<i>Far-field Stress</i>).....	104
VII.4. Permodelan Numerik Tafap II (<i>Near-field Stress</i>).....	111
VIII. ANALISA HASIL UJI DAN PENENTUAN TERLANGKAN INSITU.....	116
VIII.1. Sifat Fisik dan Dinamik Batuan di Lokasi Penelitian.....	116

VIII.2. Sifat Mekanik	117
VIII.3. Perbandingan Hasil Pengujian	119
VIII.4. Pengujian untuk Mengetahui Pergerakan Waktu Tunggu	123
VIII.5. Tegangan Terkoreksi Hasil Uji Tensi Aksial	128
VIII.6. Perhitungan Tegangan Prinsipal	130
VIII.7. Kajian Area Tegangan	138
VIII.8. Usulan Pendekatan Inspirin	143
 IX. KESIMPULAN	 145
 DAFTAR PUSTAKA	 151
LAMPIRAN	158

Daftar Gambar

Gambar	Halaman
I.1. Skematik Akiri-Reaksi Tegangan Sebelah dan Samping Pengujian Terowongan.....	5
I.2. Bagas Alir Penelitian.....	11
II.1. (a) Pengukuran Tegangan Vertikal pada Poyek Sipil dan Tambang; (b) Perbandingan Tegangan Horizontal terhadap Tegangan Vertikal Hasil Pengukuran (Eloek & Brown, 1978).....	13
II.2. Skema Teknik Rekah Hidrolik (Haiman & Lee, 1984).....	15
II.3. Proses Uji rekah Hidrolik (Bosby & Brown, 1993).....	16
II.4. Rekahan Longitudinal (Mintu, 1987).....	19
II.5. Rekahan Transversal (Mintu, 1987).....	20
II.6. Skema Rangkaian Pengujian Energi Akustik.....	23
II.7. Noise pada grafik emisi akustik hit v.s geyx (hasil uji pada contoh batuan di Ciurug).....	27
II.8. Posisi Contoh Batuan Uji Energi Akustik dalam Sistem Koordinat ONUV.....	28
III.1. Lokasi Kuasa Pertambangan URPP Pengkor.....	29
III.2. Peta Geologi Daerah Pengkor dan Sekitarnya.....	31
III.3. Peta Struktur Daerah Tambang Pengkor (Geologi, UNPAD, 2001).....	33
III.4. Gambaran Bidang Diskontinu di Sepanjang Terowongan MBL, Tambang Emas Pengkor.....	39
III.5. Gambaran Bidang Diskontinu di daerah Kubung Cicus, Pengkor.....	40
III.6. Gambaran Bidang Diskontinu di daerah Ciputa, Pengkor.....	41
III.7. Gambaran Bidang Diskontinu di daerah Ciurug, Pengkor.....	42
IV.1. Sistem Alat Rekah Hidrolik.....	44
IV.2. <i>Straddle Packer</i>	45
IV.3. <i>Top Sub, Tail Sub, Bottom Sub dan Inner Tube</i>	46
IV.4. <i>Impression Packer</i>	47
IV.5. Kaset Pencetak Rekahan.....	47

IV.6.	Pompa Hidrolik Manual dan Elektrik	48
IV.7.	Selang Hidrolik dan Duam	49
IV.8.	Tangki Oli Hidrolik	49
IV.9.	Besi Pengantar dan Hagianya	50
IV.10.	Skema Sistem Perakitan Data Elektronik	51
IV.11.	Perakitan Data Elektronik Digger-02	51
IV.12.	Perangkat <i>Barcode Camera</i>	52
IV.13.	Kebocoran <i>Straddle Packer</i> pada Kopling Besi dan Karet	53
IV.14.	Uji Coba Rikah Hidrolik di Laboratorium pada beton 1	54
IV.15.	Grafik Tekanan Uji terhadap Waktu pada Contoh Beton (Pembacaan Secara Manual)	55
IV.16.	Pengamatan Pecahnya Beton pada Uji Coba Rikah Hidrolik dengan <i>Ultrasonic Felicity</i> pada beton 2	56
IV.17.	Grafik <i>Creep</i> pada Ultrasonik terhadap Tekanan Uji	57
IV.18.	Grafik Tekanan Uji terhadap waktu pada Beton (Pembacaan Secara Manual)	57
IV.19.	Grafik tekanan Uji terhadap Waktu pada Pipa Baja (Pembacaan dengan <i>Reading Device</i>)	58
IV.20.	Peralatan Pengujian Emisi Akustik	59
IV.21.	<i>Piezoelectric Transducer</i>	60
IV.22.	<i>Preamplifier</i> untuk emisi elastik	61
IV.23.	Skema Pengujian Emisi Akustik	62
IV.24.	Parameter Sinyal Emisi Akustik	66
V.1.	Lokasi Pengujian Rikah Hidrolik dan Pengambilan Contoh Beton untuk Pengujian Emisi Akustik	68
V.2.	Mekanisme Pecahnya Batuan dalam Mende Rikah Hidrolik	71
V.3.	Contoh Grafik Tekanan - Waktu Hasil Pengujian Rikah Hidrolik pada Lubang Bor N 243 E-5 Perovyanan kedalaman 815 cm	73
V.4.	Perhitungan <i>Shut-In Pressure</i> menggunakan Grafik d/dP - Tekanan	74
V.5.	Pemetaan <i>Responing Pressure</i> dengan Cara Superposisi Antara Grafik Siklus Pertama dan Siklus Terakhir	75

V.6.	(a) Posisi Relehan Transversal dalam Lubang Bor (b) Gambar Relehan Transversal pada Karet Pemasak	76
V.7.	(a) Posisi Relehan Longitudinal dalam Lubang Bor (b) Gambar Relehan Longitudinal pada Karet Pemasak	76
V.8.	Contoh Gambar Relehan yang Belum Digabung	77
V.9.	Contoh Gambar Relehan yang Sudah Digabung	77
V.10.	Contoh Penyimpangan Grafik Tekanan terhadap Waktu	79
V.11.	Asah Pemboran Inti untuk Uji Relehan Hidrolik 1 dan Pengambilan Contoh Batuan untuk Uji Emisi Akustik 1 di Cilug	81
V.12.	Stereonet Tiga Lubang Bor Uji Relehan Hidrolik di Cilug	82
V.13.	Contoh Ilustrasi hasil data Pemboran Relehan Longitudinal (a) Gambarkan 3 Dimensi; (b) Penampang Melintang Lubang Bor	83
V.14.	Contoh Ilustrasi Hasil Data Pemboran Relehan Transversal (a) Gambarkan 3 Dimensi; (b) Penampang Memanjang Lubang Bor	83
V.15.	Asah Pemboran Inti untuk Uji Relehan Hidrolik 2 dan Pengambilan Contoh Batuan untuk Uji Emisi Akustik 2 di Panayaman	83
V.16.	Stereonet Tiga Lubang Bor Uji Relehan Hidrolik di Panayaman	86
VI.1.	Grafik Kehadiran Program Minitan 2001	95
VI.2.	Pembinaan Efek Kaiser Secara Grafik	96
VI.3.	Contoh Grafik Hasil Pengujian Emisi Akustik pada Lubang Bor N 310 E/15, Cilug, Siklus 2	97
VI.4.	Contoh Grafik Hasil Pengujian Emisi Akustik pada Lubang Bor N 110 E/1, Panayaman, Siklus 5	97
VI.5.	Contoh Ilustrasi Asah Hasil Pemboran Uji Emisi Akustik	99
VII.1.	Bagan Alir Permodelan Nisematik Tahap I	104
VII.2.	Bagan Alir Permodelan Nisematik Tahap II	105
VII.3.	Peta Topografi Daerah Cilug	106
VII.4.	Peta Topografi Daerah Panayaman	107
VII.5.	Kondisi Batas Model Tiga Dimensi Tahap I	108
VII.6.	Kehadiran Model Tegangan Intiua Tiga Dimensi Cilug	110
VII.7.	Kehadiran Model Tegangan Intiua Tiga Dimensi Panayaman	110
VII.8.	Geometri dan Matrik Tersebutkan di Cilug	112

VII.9.	Geometri dan Mesh Terowongan di Panyaman.....	112
VII.10.	Kurva Tegangan Vertikal Hasil Permodelan BEM One Region di Claring	114
VII.11.	Kurva Tegangan Vertikal Hasil Permodelan BEM One Region di Panyaman.....	115
VIII.1.	Grafik Persentase Perbandingan Nilai Tegangan Muncanya Rik Kaiser terhadap Waktu Tunggu.....	126
VIII.2.	Distribusi jarak antar fragmen batuan sejajar horisontal.....	127
VIII.3.	Distribusi jarak antar fragmen batuan sejajar vertikal.....	127
VIII.4.	Posisi α , β , γ yang Dipelembarkan dalam Suatu Vektor.....	135
VIII.5.	Stressor Tegangan Isotis di Claring.....	137
VIII.6.	Stressor Tegangan Isotis di Panyaman.....	137
VIII.7.	Plotting Hasil Uji Ratak Hiseolik pada Grafik Heck dan Brown ...	139
VIII.8.	Penggambaran Arah Tegangan pada Struktur Regional Pengkar.....	140
VIII.9.	Penggambaran Arah Tegangan di Lokasi Pemboran.....	141
VIII.10.	Stressor Tegangan Isotis Hasil Uji Ratak Hiseolik di Claring dan Panyaman Terhadap Bidang Sesar.....	143

Daftar Tabel

Tabel	Halaman
IV.1. Perubahan Cepat Rambat Gelombang Ultrasonik terhadap Perubahan Tekanan di Dalam Lubang pada Uji Retak Hidrolik.....	56
V.1. Rencana Lubang Bor di Transiting South Citarug	80
V.2. Kompilasi Data Pengujian Retak Hidrolik di Citarug.....	82
V.3. Rencana Lubang Bor di Pamoyanan	84
V.4. Kompilasi Data Pengujian Retak Hidrolik di Pamoyanan	86
V.5. Tegangan In situ Hasil Uji retak Hidrolik di Citarug dan Pamoyanan	88
VI.1. Sistem Fink Beton dan Batuan dari Citarug dan Pamoyanan.....	90
VI.2. Cepat Rambat Gelombang Ultrasonik Contoh Batuan dari Citarug dan Pamoyanan	90
VI.3. Hasil Uji Kest Tekan Uniaxial dan Biaxial pada Contoh Beton dan Contoh Batuan dari Citarug dan Pamoyanan	92
VI.4. Arus, Kevirangan dan Nilai Tegangan pada Saat Piek Kaiser Muncul	98
VI.5. Tegangan In situ Hasil Uji Emisi Akustik di Citarug dan Pamoyanan	99
VII.1. Metode Numerik	102
VII.2. Data Matriks Permodelan Numerik	108
VII.3. Tegangan Asli Hasil Permodelan Numerik di Citarug dan Pamoyanan	109
VII.4. Tegangan Teranggu Hasil Permodelan Numerik di Citarug dan Pamoyanan	114
VIII.1. Klasifikasi Batuan Intak Menurut Kekuatan (Dressel&Miller, 1968) ..	117
VIII.2. Kriteria Batuan dari Brittleness Index-nya (Gehring, 1992).....	119
VIII.3. Kompilasi Tegangan In situ Hasil Pengukuran dengan Uji Retak Hidrolik, dan Uji Emisi Akustik	119

VIII.4.	Tegangan Hasil Permodelan Numerik di Lokasi Uji Rekah Hidrolik di Ciarug dan Pamoyanan	121
VIII.5.	Tegangan pada Saat Efek Kaiser Muncul pada Pengujian Emisi Akustik untuk Mengetahui Pengaruh Waktu Tunggu	124
VIII.6.	Normalisasi Tegangan pada Saat Efek Kaiser Muncul pada Pengujian Emisi Akustik untuk Mengetahui Pengaruh Waktu Tunggu	125
VIII.7.	Arah Lubang Bor dan Tegangan Tekanaksi Saat Efek Kaiser Muncul di Ciarug	129
VIII.8.	Arah Lubang Bor dan Tegangan Tekanaksi Saat Efek Kaiser Muncul di Pamoyanan	130
VIII.9.	Kompilasi Tegangan Prinsipal Hasil Uji Rekah Hidrolik dan Uji Emisi Akustik Tekanaksi	130
VIII.10.	Tegangan Normal Maksimum dan Minimum pada Pemangung Selatan - Utara	132
VIII.11.	Tegangan Normal dalam Pemangung Dua Dimensi Selatan - Utara di Ciarug dan Pamoyanan	132
VIII.12.	Tegangan Normal Maksimum dan Minimum pada Pemangung Barat - Timur	132
VIII.13.	Tegangan Normal dalam Pemangung Dua Dimensi Barat - Timur di Ciarug dan Pamoyanan	133
VIII.14.	Tegangan Prinsipal Tiga Dimensi di Ciarug dan Pamoyanan	136
VIII.15.	Kompilasi Tegangan Prinsipal Hasil Uji Rekah Hidrolik dan Uji Emisi Akustik Tekanaksi di Ciarug dan Pamoyanan	136
IX.1.	Kompilasi Tegangan Intim Hasil Uji Rekah Hidrolik dan Uji Emisi Akustik	143
IX.2.	Tegangan Prinsipal Hasil Pengukuran dengan Metode Langsung dan Metode Tidak Langsung di Ciarug dan Pamoyanan	146

Daftar Lampiran

Lampiran	Halaman
A Gambar Teknik Pocket, Top Sub, Test Sub dan Bottom Sub	158
B Kerenyogan Uji Coba Peralatan	164
C Data Pengujian Sifat Fisik	174
D Data Pengujian Sifat Mekanik	184
E Data Pengujian Rekah Hidrolik	187
F Data Pengujian Emisi Akustik	198
G Pembacaan Rekahan dan Data Rekahan	236
H Hasil Permodelan Numerik	241
I Prinsip Dasar Perhitungan Tegangan dalam Uji Rekah Hidrolik.	248
J Perhitungan Tegangan Prinsipal	254
K Riwayat Hidup	266

Bab I Pendahuluan

1.1 Konteks dan Permasalahan Tegangan Listrik

Penggunaan bawah tanah seperti terowongan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), subway, dan tambang bawah tanah merupakan struktur bawah tanah yang sedang dan akan berkembang di Indonesia. Pemakaian terowongan dan labang bukan bawah tanah baik terowongan sipil maupun tambang bawah tanah sangat diperlukan untuk penyelesaian beberapa masalah di Indonesia, di antaranya energi, transportasi dan lingkungan hidup.

Kebutuhan listrik di seluruh daerah di Indonesia merupakan suatu permasalahan hingga saat ini. Ketersediaan air yang melimpah membuat pemanfaatan air sebagai tenaga pembangkit listrik sangat banyak diperlukan. Hal ini menyebabkan meningkatnya kebutuhan untuk membuat struktur bawah tanah seperti terowongan air untuk PLTA. Saat ini beberapa PLTA yang beroperasi di Indonesia telah memanfaatkan struktur bawah tanah ini dalam logistiknya, antara lain PLTA Creta, PLTA Singkarak, dan PLTA Telin Bangorengan.

Struktur bawah tanah juga bisa menjadi alternatif penyelesaian masalah transportasi di perkotaan. Kereta api sebagai angkutan massal dikawatirkan mampu mengatasi berbagai masalah kemacetan di kota-kota besar. Dengan demikian, kebutuhan akan subway sebagai pemenuhan untuk transportasi massal menjadi hal yang perlu untuk dipikirkan.

Kekayaan alam Indonesia yang beraneka ragam menimbulkan beberapa permasalahan antara lain mengenai lingkungan hidup kita guna lahan. Banyak hutan tambang yang terletak pada lokasi yang berdekatan atau merupakan kawasan hutan lindung maupun milik sektor lain. Sebagai contoh tambang emas bawah tanah Pangkor milik PT Aneka Tambang terletak di dekat Kawasan Lindung Gunung Halimun. Karena masalah lingkungan, maka saat ini Pangkor menggunakan metode penambangan bawah tanah sebagai alternatif

penyalutannya. Diharapkan kawasan hutan lindung tetap dapat berfungsi dan penambangan emas juga dapat dilakukan. Selain masalah tanggap tihidh tan juga lain, tambang bawah tanah juga bisa menjadi alternatif jika metode tambang terbuka sudah tidak ekonomis lagi. Berikut ini adalah contoh beberapa tambang bawah tanah, tambang batubara bawah tanah Ombilin milik PT. Tambang Batubara Bukit Asam, di Sawah Lunto, Sumatera Barat, tambang batubara bawah tanah milik PT. Tjaja Bumi Sakti di Los Uluw, Kalimantan Timur, tambang emas bawah tanah Pangkor dan Cikidang, keduanya milik PT. Aneka Tambang di dua Pangkor dan Cikidang, dan tambang tembaga emas bawah tanah Fajra milik PT. Prospect Indonesia. Beberapa pengembangan dan perubnggunaan tambang bawah tanah batubara juga sedang dilakukan oleh PT. Arutmin di Sitali, PT. Wahana Barisan, Kalimantan Selatan dan PT. Gunung Daput Pratama di Kalimantan Timur.

Perkembangan penggunaan struktur bawah tanah sangat memudahkan pengetahuan yang sangat baik dalam menentukan kestabilannya. Kestabilan struktur bekuan bawah tanah tidak hanya akan meningkatkan produktivitas tetapi juga menjamin keselamatan pekerja. Sebagai contoh, beberapa waktu lalu di sekitar tambang emas bawah tanah Pangkor, banyak penambang liar tanpa ijin (PETT) terus tertimbun runtuhan terowongan akibat penggalian secara sembarangan dan tidak memperhatikan kestabilan struktur labang bawah tanah (Kumoro, 1999).

Masalah keruntuhan struktur bawah tanah juga dapat diakibatkan oleh tegangan lasir yang akibatnya dapat bervariasi, mulai dari *slabbing* dan *overbreak* batuan di dinding terowongan hingga *rockburst*. Keadaaan di Collinville Coal Company, Australia, pada tahun 1983 diakibatkan oleh faktor tegangan yang relatif besar sehingga menyebabkan keruntuhan atap. Semacam itu, kondisi *rockburst* sering ditemukan pada tambang bawah tanah yang berada di kedalaman besar, seperti di Canadian Kirkland Lake District, tambang emas di South Afrika, dan Muho Coeur d'Alene District. Dalam pekerjaan sipil, runtuhan tegangan telah menimbulkan ketidakstabilan terowongan kereta api dan jalan raya yang

menembus pegunungan tinggi seperti terowongan Mont Blanc di Alpen (Goodman, 1989).

Dari keseluruhan keseluruhan tersebut dapat dikatakan bahwa pengetahuan dan pemahaman faktor penyebab keadukan sangat membantu analisa perancangan labang bukaan bawah tanah baik untuk perancangan maupun konstruksi sipil. Hoek dan Brown (1980) menyatakan bahwa ada empat hal penyebab ketidakstabilan labang bukaan bawah tanah, yaitu: struktur geologi, tegangan in situ, pelapukan, pengembangan (*swelling*) material dan air tanah.

Dari beberapa penyebab ketidakstabilan tersebut, faktor tegangan in situ memegang peranan sangat penting. Hargot (1988) mengatakan bahwa perancangan penggalian bawah tanah yang baik sangat memerlukan pemahaman dan pengetahuan tegangan in situ.

Pernyataan ini juga didukung oleh Goodman (1989) bahwa sangat untuk merancang struktur kompleks bawah tanah yang baik sangat memerlukan data kondisi tegangan in situ. Sebagai contoh, pada saat pemilihan orientasi dari labang bukaan akan lebih menguntungkan jika dimensi panjangnya tegak lurus dengan bidang tegangan prinsipal terbesar. Atau jika tegangan radially sangat tinggi, bentuk penampang (*shape*) labang bukaan harus dipilih yang dapat mengurangi konsentrasi tegangan.

Rai (1999) juga mengungkapkan bahwa dalam 2 dekade terakhir, pengukuran tegangan in situ merupakan hal yang sangat penting dalam mekanika batuan, khususnya di Indonesia, karena besar dan arah tegangan yang diperoleh dari pengukuran ini dapat digunakan sebagai masukan bagi ahli mekanika batuan untuk menganalisa kestabilan labang bukaan bawah tanah dengan tingkat kepercayaan yang lebih baik.

Dalam bangunan pembangkit listrik bawah tanah (*underground power house*), pengetahuan tegangan in situ akan sangat membantu dalam desain dan

pembangunannya. Konstruksi rumah pembangkit listrik bawah tanah dapat terdiri dari berbagai tipe terowongan dengan berbagai fungsi yang saling berhubungan. Jika terjadi rekahan pada satu lubang bukaan, maka rekahan itu tidak boleh menjalar ke lubang bukaan lain. Karena rekahan cenderung untuk berkembang tegak lurus dengan tegangan prinsipal minor, maka pengetahuan akan kondisi tegangan akan sangat diperlukan dalam penentuan layout rumah pembangkit listrik bawah tanah untuk mengurangi resiko.

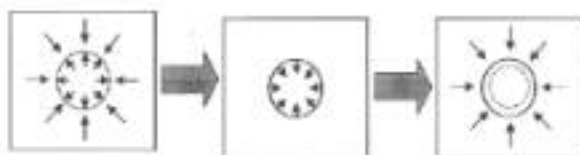
Di samping itu dengan mengetahui kondisi tegangan in situ di suatu daerah, maka desain dan pembangunan konstruksi rumah bawah tanah dapat lebih ekonomis. Sebagai contoh, *pressure tunnel* dan *penstock* pada rumah pembangkit listrik bawah tanah tidak perlu dipasang *diving* jika tegangan awal yang bekerja lebih besar daripada tekanan air internal (Goodman, 1989).

Dari berbagai contoh tersebut dapat dikatakan bahwa tegangan in situ merupakan parameter dasar yang berhubungan dengan karakteristik massa batuan, dan pengetahuan mengenai kondisi tegangan in situ di suatu daerah akan sangat diperlukan dalam kegiatan konstruksi bawah tanah.

1.2. Latar Belakang Penelitian

Sebelum penggalian struktur bawah tanah, massa batuan di alam mengalami tegangan yang disebut sebagai tegangan asli (*virgin stress*). Penggalian yang dilakukan menyebabkan massa batuan tersebut mengalami perubahan distribusi tegangan untuk mencapai kesetimbangan baru. Jika tegangan yang terjadi akibat penggalian melampaui kekuatan massa batuan maka akan terjadi ketidakstabilan pada terowongan tersebut (Gambar 1.1).

Selain struktur geologi, perubahan tegangan tersebut juga sangat dipengaruhi oleh besar, arah, nilai tegangan prinsipal minimum dan maksimum serta tegangan aslinya (*virgin stress*). Kondisi ini menyebabkan pendekatan teoritis tidak selalu dapat digunakan.



Gambar 1.1. Skematik Aksi-Reaksi Tegangan Sebelum dan Sesudah Pengalihan [Crowson (Bakewell, 1983)]

Kepentingan untuk pengukuran tegangan in-situ memerlukan meningkatnya upaya untuk mengembangkan peralatan dan prosedur pengukuran tegangan in-situ. Beberapa metode telah dikembangkan untuk mendapatkan prinsip pengukuran agar diperoleh hasil yang merepresentasikan kondisi sebenarnya.

Pemantauan tegangan in-situ dapat dilakukan secara langsung di lapangan ataupun tidak langsung di laboratorium. Hasil pengukuran tegangan in-situ langsung di lapangan lebih representatif karena pengujian dilakukan pada kondisi yang sebenarnya. Tetapi kelemahan metode ini adalah mahal dan tidak praktis dilakukan untuk daerah yang sulit dijangkau. Metode pengukuran secara tidak langsung di laboratorium lebih murah dan mudah, tetapi memerlukan koreksi agar dapat mewakili kondisi yang sebenarnya. Beberapa metode pengukuran tegangan in-situ langsung di lapangan adalah metode *Rametti deflection*, metode *flexlock*, metode *overcoring* dan metode *relax hidrolik*. Sementara itu pemantauan tegangan in-situ secara tidak langsung di laboratorium dapat dilakukan dengan menggunakan metode *strain akustik (acoustic emission)*, metode *Deformation Rate Analysis (DRA)*, metode *Differential Strain Curve Analysis (DSCA)* dan metode *Anelastic Strain Relaxation (ASR)*.

Menurut Fairman (1968), salah satu metode yang dapat dimanfaatkan untuk mengukur tegangan in-situ pada kedalaman besar, puluhan hingga ratusan meter, adalah metode *relax hidrolik*. Namun karena besarnya biaya yang diperlukan,

metode erosi akustik dapat digunakan sebagai alternatif pengukurannya (Vahikari & Katsiyannis, 1994).

Metode rekah hidrolik mengakomodasi kondisi rekahan dan struktur geologi, serta dapat dilaksanakan sebelum terowongan digali. Sedangkan metode erosi akustik mengukur tegangan in-situ secara tidak langsung di laboratorium yang memanfaatkan efek Kaiser. Menurut ASTM E 610-77, erosi akustik adalah suatu fenomena munculnya gelombang elastis frekuensi tinggi karena adanya pelepasan energi yang cepat dari suatu area lebih banyak pada saat material mengalami proses peretakan, sedangkan efek Kaiser adalah erosi akustik yang terdeteksi pada saat peretakan mendeteksi atau sebaliknya tingkat tegangan yang pernah dialami contoh batuan.

Salah satu kelemahan metode ini adalah tingkat kepekannya yang sangat tinggi sehingga gangguan suara (noise) terdapat dalam data erosi akustiknya. Hal itu tentunya menyulitkan perhitungan efek Kaiser. Namun, kelebihan metode erosi akustik selain mudah dan murah, mempunyai fungsi lain yang sangat untuk mendeteksi rekahan dalam batuan baik awal terjadinya rekahan maupun lokasi rekahan.

Meskipun sejumlah pendekatan dikembangkan untuk menentukan tegangan in-situ, namun tidak ada satupun metode yang dapat diplikasikan di semua batuan. Semua metode mempunyai kelemahan dan keterbatasan (Friedel & Thill, 1990). Sebagai contoh, menurut Kramadibata (2000), metode pengukuran tegangan in-situ secara langsung di lapangan yang ada sekarang seperti: *overcoring*, rekah hidrolik, dan *jackpot*, dapat mengubah kondisi tegangan asli pada proses pengukurannya, selain itu keterbatasan masalah biaya, waktu dan tipe batuan. Sementara Holcomb dan Tensel (1981) menyatakan bahwa selain erosi akustik, metode lain yang lain seperti analisis kurva tegangan diferensial dan *anelastic strain recovery* tidak mengukur tegangan melainkan hanya tegangan, dan tegangan in-situ diperoleh dengan model konstitutif. Karena itu, untuk mengatasi beberapa kelemahan dalam satu metode, penentuan tegangan in-situ

pada suatu daerah seloknya dilakukan dengan menggunakan lebih dari satu metode. Diturunkan kelemahan dari satu metode akan dapat diatasi oleh metode yang lain.

Meskipun pengetahuan tentang besarnya tegangan insitu yang bekerja pada suatu batuan sangat diperlukan, hingga saat ini perkembangan peralatan dan metode pengukuran untuk pafan bawah tanah dalam batuan belum berkembang di Indonesia. Belum tersediananya dengan baik pertama pemetaan tegangan insitu di penggalan bawah tanah. Serta relatif mahalnya biaya untuk peralatan dan pengukuran di lapangan merupakan salah satu sebab tidak berkembangnya pengukuran tegangan insitu di Indonesia. Mengingat pentingnya peranan tegangan insitu dalam merancang terowongan, maka perlu dikembangkan peralatan pengukuran tegangan insitu yang bisa dibuat di Indonesia dengan biaya yang relatif lebih murah. Penelitian ini dimulai dengan pembuatan peralatan rekam hidrolik sebagai suatu untuk melakukan pengukuran tegangan insitu secara langsung di lapangan.

Biaya pengukuran lebih murah merupakan salah satu keunggulan pengukuran tegangan insitu secara tidak langsung di laboratorium. Namun, hasil pengukurannya yang kurang mewakili kondisi lapangan membuat pengukuran tegangan insitu sebenarnya dilakukan dengan memperkirakan metode pengukuran langsung dan metode pengukuran tidak langsung.

Hasil pengukuran langsung dan pengukuran tidak langsung ini dikorelasikan sehingga didapatkan suatu hubungan empiris. Diperkirakan hubungan empiris ini dapat digunakan untuk pendugaan tegangan insitu pada daerah terestris. Sehingga untuk pemetaan tegangan insitu selanjutnya hanya perlu melakukan pengukuran tegangan insitu secara tidak langsung. Permodelan statistik dilakukan sebagai analisis lebih untuk mendapatkan gambaran kondisi tegangan di daerah penelitian.

Dengan penelitian ini diharapkan hasil pengukuran tegangan insitu akan dapat mewakili kondisi sebenarnya dengan biaya pengukuran yang lebih murah.

1.3. Ruang lingkup dan batasan penelitian

Penelitian ini difokuskan pada persoalan besar dan kecil tegangan insitu 3 dimensi dengan menggunakan metode rekah hidrolik, dan metode emisi akustik. Rencana pekerjaan yang akan dilakukan mencakup penentuan aksi rekah hidrolik, eksperimen laboratorium, pengujian lapangan dan pemodelan numerik.

Studi kawa lapangan dilakukan di tambang eren bawah tanah Perakur Bagor milik PT. Asika Tambang pada dua lokasi yaitu, di Ciarug dan di Panoyaman. Studi lapangan meliputi pengukuran tegangan insitu dengan menggunakan metode rekah hidrolik, pengambilan data struktur geologi dan pengambilan contoh batuan yang diuji di laboratorium.

Metode pengukuran tegangan insitu secara tidak langsung dilakukan dengan menggunakan metode emisi akustik. Uji emisi akustik ini dilakukan dengan menggunakan peralatan emisi akustik yang diperoleh dari *Faculty of Mining Engineering and Mineral Science, Kyushu University, Japan* (Matsumi, dkk, 2000), sedangkan uji rekah hidrolik dilakukan dengan menggunakan peralatan yang dirancang dan dibuat di Laboratorium Geomekanika, Departemen Teknik Pertambangan, ITB bekerjasama dengan Industri Kari Bandung (INKABA).

Pemodelan numerik dilakukan untuk mendapatkan gambaran distribusi tegangan insitu dengan menggunakan *finite element method* (FEM) dan *boundary element method* (BEM).

1.4. Hipotesis

Penelitian ini mempunyai hipotesis sebagai berikut :

1. Pengukuran tegangan insitu dengan metode rekah hidrolik digunakan sebagai referensi, karena memiliki kaidah teori elastisitas dan teori *brittle fracture* serta mengakomodasi kondisi alamiah baik geologi, struktur geologi dan penit.

2. Besaran yang diperoleh dari metode langsung / uji rekah hidrolik yang dinyatakan sebagai uji standar dapat diwakili oleh uji tidak yang dalam hal ini metode tidak langsung emisi akustik.
3. Bahwa metode tidak langsung dengan uji emisi akustik sangat dipengaruhi oleh waktu tunggu pengembilan contoh dan pengujian, *mineralogy dan pre-existing cracks* bahan uji.

1.5. Tujuan penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Merencanakan peralatan rekah hidrolik untuk mengukur tegangan insitu.
2. Melakukan pengukuran dan penentuan besar serta arah tegangan insitu dengan menggunakan metode langsung rekah hidrolik, dan metode tak langsung emisi akustik.
3. Mengkorelasikan antara metode pengukuran langsung rekah hidrolik dengan metode pengukuran tidak langsung.
4. Menghasilkan suatu pendekatan empiris yang mengakomodasi metode pengukuran tegangan insitu secara langsung dan tidak langsung.
5. Membandingkan metode dan prosedur penentuan tegangan insitu dengan kombinasi metode langsung dan tidak langsung sehingga dapat diterapkan untuk menentukan tegangan insitu di suatu lokasi.

1.6. Metodologi Penelitian

Berikut adalah metodologi penelitian yang dilakukan :

1. Studi pustaka.
2. Eksperimentasi laboratorium.
 - 2.1. Pembuatan peralatan rekah hidrolik, pemecangan dan pembuatan alat ini dilakukan dengan melibatkan Perusahaan Daerah Industri Karet Bandung (INKABIA), perusahaan beton, Laboratorium Kontrol

Departemen Teknik Fisika ITS untuk perbaikan sistem skidini dan serta Laboratorium Mekanika Batuan Departemen Teknik Pertambangan ITS.

- 2.2. Pengujian sifat fisik, mekanik dan dinamik, dilakukan untuk mengetahui sifat fisik, mekanik dan dinamik contoh batuan dari Pongkor.
- 2.3. Pengujian emisi akustik, merupakan uji untuk menentukan tegangan insitu secara tidak langsung di laboratorium.

3. Pengujian lapangan

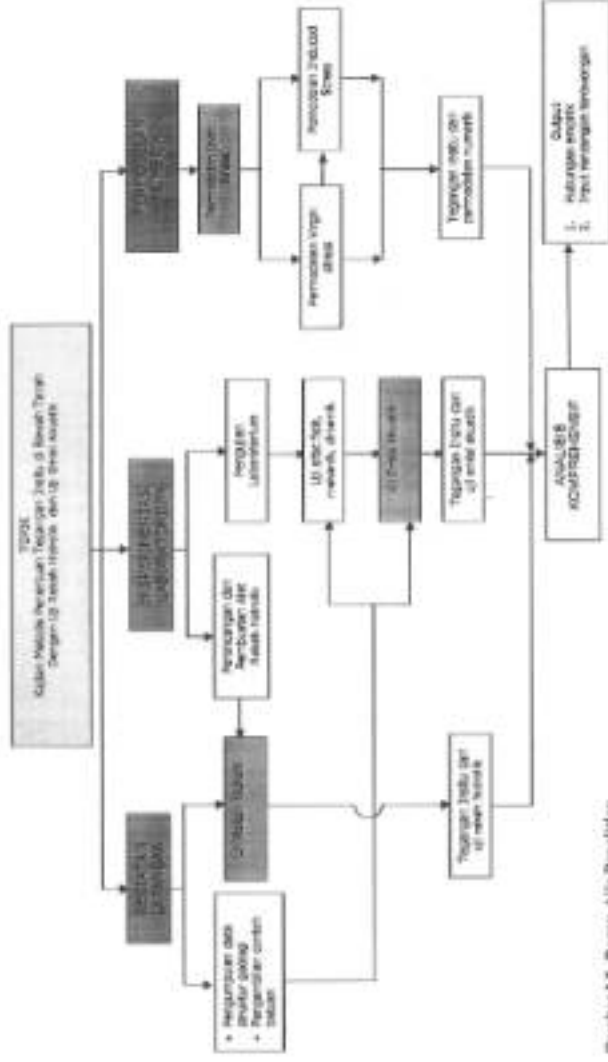
Kegiatan lapangan meliputi:

- 3.1. Pemboran isi, dilakukan untuk mempersiapkan lubang bor untuk uji relak hidrolik. Contoh ini batuan yang diperoleh dari pemboran isi digunakan untuk uji emisi akustik di laboratorium.
- 3.2. Pengumpulan data sekunder.
- 3.3. Uji relak hidrolik, dilakukan untuk menentukan tegangan insitu di lapangan.

4. Pemodelan numerik

Pemodelan numerik dilakukan untuk mengetahui gambaran distribusi tegangan insitu pada daerah penelitian serta digunakan sebagai analisis balik (back analysis)

Gambar 1.2 merupakan bagan alir penelitian yang dilakukan.



Gambar 1.1. Bagan Alir Penelitian

II.1. Tegangan Inisitu

Penyelidikan masalah kestabilan terowongan yang bisa dilakukan adalah berdasarkan hasil pengujian di laboratorium dan dengan melakukan perhitungan secara teoritis. Secara teoritis tegangan vertikal pada kedalaman tertentu (z meter) adalah sama dengan berat per satuan luas dari batuan yang ada di atasnya, yang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$\sigma_v = \rho g z \quad (II.1)$$

Keterangan :

ρ = densitas batuan (ton/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/det^2)

Penelitian Hoek dan Brown (1980) mengenai tegangan inisitu di beberapa lokasi baik tambang maupun sipil yang dilakukan dengan menggunakan beberapa macam metode pengukuran tegangan inisitu menunjukkan bahwa besar tegangan vertikal dapat diikuti dengan persamaan $\sigma_v = 0,027 \cdot z$ (Gambar II.1.a). Pendekatan teoritis untuk tegangan horizontal lebih sulit dilakukan daripada tegangan vertikal, namun tegangan horizontal pada beberapa kondisi dapat dinyatakan dengan persamaan (II.2).

$$\sigma_h = k \sigma_v = k \cdot \rho \cdot g \cdot z \quad (II.2)$$

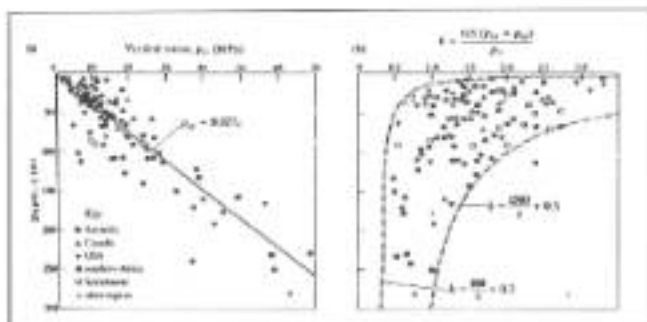
Keterangan :

$k = \rho g$

k = perbandingan antara tegangan horizontal terhadap tegangan vertikal.

Terzaghi dan Richart (1952) menyatakan bahwa untuk beban gravitasi di mana tidak terjadi regangan dalam arah lateral dan kondisi batuan elastik, nilai k tidak bergantung pada kedalaman tetapi dinyatakan sebagai $k = \nu/(1-\nu)$, dengan ν = nisbah Poisson massa batuan. Dengan menggunakan pendekatan ini nilai tegangan horizontal yang diperoleh akan selalu lebih kecil daripada tegangan

vertikal. Hasil pengukuran tegangan in situ yang telah dilakukan oleh Hoek dan Brown tersebut menunjukkan bahwa nilai tegangan horizontal tidak selalu lebih kecil dari tegangan vertikalnya. Sehingga dapat dikatakan bahwa pendekatan ini terbukti tidak valid lagi.



Gambar II.1. (a) Pengukuran tegangan vertikal pada proyek sipil dan tambang ;
(b) Perbandingan tegangan horizontal terhadap tegangan vertikal
hasil pengukuran (Hoek & Brown, 1978)

Pengukuran tegangan horizontal di beberapa negara menunjukkan bahwa nilai k sangat bervariasi dan cenderung tinggi pada kedalaman kurang dari 500 meter (lihat Gambar II.1.b). Dengan meningkatnya kedalaman, nilai k akan menurun dan mendekati nilai satu (Hoek dan Brown, 1978; Hargre, 1988).

Pendekatan teoritis tersebut hanya dapat memperkirakan tegangan in situ karena pengaruh gravitasi saja, namun pengaruh tegangan tektonik dan tegangan sisa tidak dapat diperkirakan secara teoritis. Dapat dikatakan bahwa sangat penting untuk melakukan pengukuran tegangan in situ, sehingga hasil yang diperoleh merupakan gambaran kondisi tegangan in situ yang sebenarnya.

Sebagai contoh, Hargre (1988) melakukan pengukuran tegangan in situ di daerah tambang McLeod di Wawa, Timur Laut Lake Superior, Ontario, Canada. Persebaran tegangan dilakukan di lapisan Archaen dengan tujuan menentukan

dinamisi pilar tumpang besi serta untuk pemecahan tumpang di kedalaman 600 meter (Hergert, 1984). Daerah ini sangat stabil dan hanya terkena pengangkatan dan erosi. Dengan mempelajari kondisi geologi dan bidang diskontinuitas setempat, dapat dikatakan bahwa tegangan horizontal di daerah ini cukup besar. Pengukuran tegangan in situ dengan sel CSIRO (the Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) dan USBM (United State Bureau of Mines) *overcoring* dengan menggunakan tegangan minimumnya relatif mendekati vertikal.

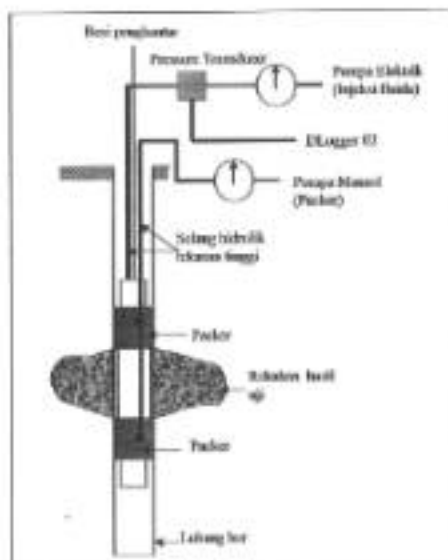
II.2. Metode Rekah Hidrolik

Di beberapa negara, peralatan dan metode pengukuran tegangan in situ telah banyak berkembang. Empat metode pengukuran tegangan in situ secara langsung di lapangan yang direkomendasikan oleh *International Society for Rock Mechanics (ISRM)* adalah *flat jack*, *overcoring* dengan sel USBM, *overcoring* dengan sel CSIRO dan rekah hidrolik.

Dari keempat metode tersebut, metode *overcoring* dan metode rekah hidrolik yang banyak digunakan. Dari segi peralatan, alat uji rekah hidrolik lebih sederhana dibandingkan dengan alat uji *overcoring*, sehingga untuk pengembangan peralatan di Indonesia, lebih memungkinkan untuk mengembangkan dan membuat alat uji rekah hidrolik.

II.2.1. Prinsip pengukuran metode rekah hidrolik

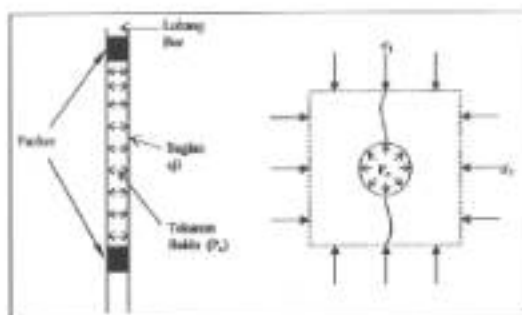
Pengukuran tegangan in situ dalam susut batuan dengan metode rekah hidrolik dilakukan dengan cara menyekat bagian tertentu dari lubang bor (sekitar 0.5 m – 2.5 m) dengan menggunakan *packer* kemudian menginjeksikan fluida (biasanya air atau oli) pada bagian tersebut dengan tekanan tertentu, sekitar 0.1 MPa/det – 1 MPa/det hingga batuan mengalami rekahan. Prinsip pengukuran tegangan in situ dengan metode rekah hidrolik dapat dilihat pada Gambar II.2.



Gambar II.2. Skema teknik rekah hidrolik (modifikasi Haimson & Lee, 1984)

Tekanan fluida yang cukup besar akan menyebabkan tegangan tarik di sekeliling lubang bor. Ketika tegangan tariknya melebihi kekuatan tarik batuan, rekahan akan terbentuk dan berpropagasi tegak lurus lubang bor dan sejajar dengan tegangan prinsipal mayor (σ_1), dan secara bersamaan, tekanan fluida akan turun (Gambar II.3).

Teknik rekah hidrolik pada umumnya dikembangkan untuk meningkatkan kapasitas produksi minyak atau gas di bawah tanah dengan jalan menyalurkan aliran minyak atau gas dari reservoir menuju ke sumbu bor dengan membentuk rekahan. Tetapi sejak dilakukan pengembangan metode ini di laboratorium (Haimson & Fairhurst, 1967) dan percobaan lapangan oleh Von Schoenfeld (1970), maka metode ini banyak digunakan untuk mengukur tegangan in-situ.



Gambar II.3. Proses uji rekah hidrolik (Brady & Brown, 1994)

Pada awal perkembangannya, penentuan tegangan in situ dengan uji rekah hidrolik dilakukan pada lubang bor vertikal, sehingga tegangan yang diperoleh adalah tegangan horizontal maksimum dan minimum. Banyak para peneliti juga melakukan pengukuran tegangan in situ dengan uji rekah hidrolik pada lubang bor vertikal. Berikut beberapa penelitian yang terkait dengan pengukuran tegangan in situ menggunakan metode rekah hidrolik.

Ito, Kawahara dan Nishimura (1997) melakukan pengukuran tegangan in situ dengan uji rekah hidrolik di daerah dekat sumber gempa di Hyogoken. Pengukuran dilakukan pada lubang bor vertikal, dan hasilnya menunjukkan bahwa tegangan vertikal adalah tegangan prinsipal minimum.

Choi dan Shin (1997) menggunakan tegangan in situ hasil uji rekah hidrolik untuk membangun *underground storage cavern* dan untuk perencanaan *adaway* di Korea. Pengukuran dilakukan tahun 1996 pada lubang bor vertikal untuk mendapatkan nilai tegangan vertikal, tegangan horizontal dan nilai k (perbandingan tegangan vertikal dan horizontal).

Ask dan Stephansen (2001) melakukan pengukuran tegangan di Bjorko Sweden pada tahun 1997 dengan menggunakan metode rekah hidrolik pada kedalaman 300 m. Pengukuran dilakukan pada lubang bor vertikal dan hasil pengukuran menunjukkan bahwa tegangan horizontal maksimum mempunyai arah NW – SE.

Song, Choi dan Park (2003) melakukan pengukuran tegangan pada tahun 1999 untuk analisis kestabilan lereng penyiapan minyak bumi di Korea dengan menggunakan metode rekah hidrolik dan *overcoring*. Uji rekah hidrolik dilakukan pada lubang bor vertikal dan tegangan yang diperoleh adalah tegangan horizontal dan tegangan vertikal. Sedangkan dari metode *overcoring* diperoleh tegangan horizontal, tegangan vertikal dan tegangan prinsipal.

Li, An dan Guo (2003) mengukur tegangan di Naozhadu Hydropower Station, di Cina dengan menggunakan metode rekah hidrolik. Uji rekah hidrolik dilakukan pada dua lubang bor vertikal, pada kedalaman sekitar 250 m. Hasil pengukuran menunjukkan tegangan horizontal maksimum sekitar 10 -13 MPa dengan arah NE – NNE.

Metode rekah hidrolik juga digunakan oleh Cravero, Ibbichino, dan Valerino (2007) untuk menentukan tegangan di kuarz marmar di Italia. Pengukuran dilakukan pada lubang bor vertikal dan horizontal. Dari pengukuran diperoleh besaran dan arah tegangan prinsipal.

Haimon dan Lee (2003) juga melakukan pengukuran tegangan insitu dengan uji rekah hidrolik di Yucca Mountain, Nevada. Pengukuran dilakukan pada lubang bor vertikal. Tegangan yang didapatkan dari pengukuran adalah tegangan horizontal dan tegangan vertikal pada kedalaman 250 m.

Dalam perkembangannya, uji ini telah dikembangkan untuk lubang bor miring. Metode ini memberikan peluang untuk melakukan pemetaan tegangan prinsipal dengan uji rekah hidrolik. Perhitungan untuk pemetaan tegangan insitu pada

lubang bor miring didasarkan pada perhitungan pada lubang bor vertikal (lihat Lampiran I).

Uji rekah hidrolik dalam penelitian ini dilakukan pada lubang bor miring yang dikembangkan oleh Mitsui dkk (1987). Dalam analisis hasil uji rekah hidrolik, Mitsui dkk (1987) menggunakan sistem sumbu ONEV (Origin, North, East, Vertical) dan transformasi tegangan.

II.2.2 Rekahan yang Terhentikan

Menkipun secara teoritis, uji rekah hidrolik akan menghasilkan rekahan dengan arah sejajar lubang bor, namun kenyataannya adanya bidang diskontinuitas di lokasi pengujian dapat menyebabkan rekahan yang terhentikan tidak sesuai dengan teori. Karena itu, secara garis besar, rekahan hasil pengujian rekah hidrolik dapat dikategorikan menjadi 2, yaitu rekahan yang sejajar lubang bor (*longitudinal*) dan memotong lubang bor (*transversal*).

II.2.2.1. Rekahan yang sejajar dengan sumbu lubang bor (*longitudinal*)

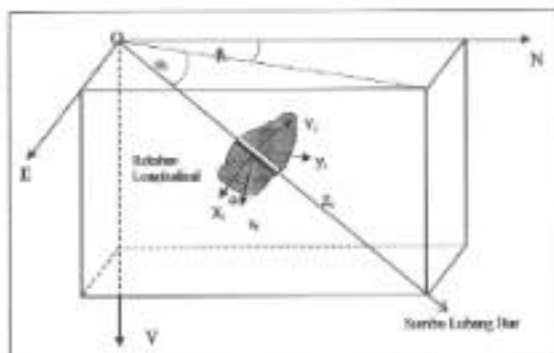
Gambar II.4 menunjukkan rekahan sejajar dengan sumbu lubang bor dalam kotak yang diletakkan oleh sumbu ONEV. Dari gambar tersebut dianggap bahwa sistem koordinat lubang bor adalah OX₁Y₁Z₁, dan sumbu lubang bornya merupakan sumbu Z₁. Lubang bor ini mempunyai azimuth sebesar β dengan kemiringan (dip) α . Sumbu X₁ menunjuk ke bawah, sedangkan arah sumbu Y₁ horizontal. Kedua sumbu tersebut tegak lurus terhadap sumbu Z₁.

Rekahan yang terbentuk mempunyai sistem sumbu O σ_1 σ_2 . Sumbu σ_1 rekahan terletak pada bidang rekahan dengan arah tegak lurus sumbu bor (sumbu Z₁), sementara sumbu σ_2 mempunyai arah yang tegak lurus dengan bidang rekahan. Tegangan yang bekerja pada sumbu rekahan adalah σ_x , σ_y , dan σ_z . Jika sumbu σ_1 pada bidang rekahan mempunyai sudut sebesar θ_1 dari sumbu X₁, maka tegangan yang bekerja pada rekahan adalah :

$$\sigma_{xx} = \sigma_{11} \cos^2 \theta + \sigma_{12} \sin^2 \theta + \sigma_{12} \sin 2\theta \quad (11.3)$$

$$\sigma_{yy} = \sigma_{11} \sin^2 \theta + \sigma_{12} \cos^2 \theta - \sigma_{12} \sin 2\theta \quad (11.4)$$

$$\sigma_{xy} = -0.5 (\sigma_{11} - \sigma_{12}) \sin 2\theta + \sigma_{12} \cos 2\theta \quad (11.5)$$



Gambar 11.4. Reaktor longitudinal (modifikasi Blumenthal, 1987)

Besarnya nilai σ_x dan σ_y yang merupakan tegangan maksimum dan tegangan minimum diperoleh dari data grafik pengujian reaktor hidrolik dan dapat dijabarkan sebagai berikut.

$$\sigma_x = 3 P_2 - P_1 \quad (11.6)$$

$$\sigma_y = P_1 \quad (11.7)$$

Dikarenakan σ_x dan σ_y adalah tegangan prinsipal maka,

$$\sigma_{xy} = 0 \quad (11.8)$$

Pada sistem koordinat ONUV, tegangan σ_{11} , σ_{12} dan σ_{13} dalam sistem koordinat XYZ dapat dinyatakan sebagai transformasi dari komponen tegangan σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{zz} , σ_{xy} , σ_{yz} dan σ_{zx} dan dinyatakan sebagai :

$$\begin{aligned} \sigma_{11} = & \sigma_{xx} \sin^2 \alpha \cos^2 \beta + \sigma_{yy} \sin^2 \alpha \sin^2 \beta + \sigma_{zz} \cos^2 \alpha + \\ & 2 \sigma_{xy} \sin^2 \alpha \sin 2\beta - 2 \sigma_{yz} \sin 2\alpha \sin \beta - \sigma_{zx} \sin 2\alpha \cos \beta \end{aligned} \quad (11.9)$$

$$\sigma_{y_1} = \sigma_N \sin^2 \beta_1 + \sigma_1 \cos^2 \beta_1 - \tau_{N1} \sin 2 \beta_1 \quad (11.10)$$

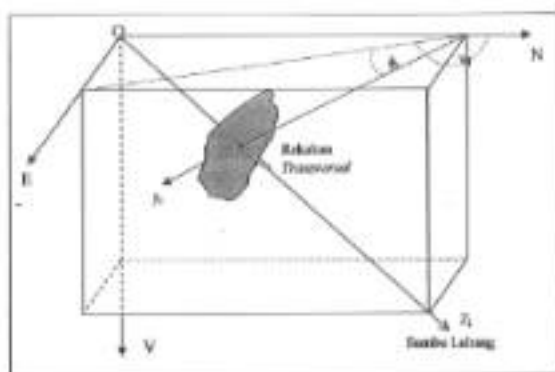
$$\begin{aligned} \sigma_{y_2} &= -0.5 (\sigma_N - \sigma_1) \sin \alpha_1 \sin 2 \beta_1 + \tau_{N1} \sin \alpha_1 \cos 2 \beta_1 - \\ &\tau_{xy} \cos \alpha_1 \cos \beta_1 + \tau_{N1} \cos \alpha_1 \sin 2 \beta_1 \end{aligned} \quad (11.11)$$

11.2.2.2. Rekahan yang melintang sumbu lubang bor (*transversal*)

Jika rekahan yang terbentuk adalah rekahan yang melintang sumbu lubang bor, maka sistem koordinat yang digunakan adalah xyz dengan Z adalah sumbu lubang bor. Seperti ditunjukkan pada gambar 11.5, sumbu y , tegak lurus terhadap bidang rekahan serta mempunyai arah (*arab*) ψ dan kemiringan (*plunge*) ϕ .

Tegangan pada rekahan adalah σ_N yang merupakan tegangan normal bidang rekahan. Dengan demikian dapat dikatakan besarnya tegangan ini adalah sama dengan tekanan penutupan rekahan sehingga,

$$\sigma_N = P_c \quad (11.12)$$



Gambar 11.5. Rekahan transversal (modifikasi Mintz,dkk, 1987)

Tegangan σ_N ini juga dapat dihitung dari sistem tegangan pada koordinat ONEV dengan cara melakukan transformasi seperti berikut.

$$\sigma_{ij} = \sigma_0 \cos^2 \phi \cos^2 \varphi_i + \sigma_1 \cos^2 \phi \sin^2 \varphi_i + \sigma_2 \sin^2 \phi + \tau_{22} \cos^2 \phi \sin 2\varphi_i + \tau_{23} \sin 2\phi \sin \varphi_i + \tau_{33} \sin 2\phi \cos \varphi_i \quad (B.13)$$

B.3. Metode Emisi Akustik

Penentuan tegangan imita secara tidak langsung di laboratorium dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode, antara lain metode emisi akustik (AE), *Deformation Rate Analysis* (DRA), *Differential Strain Curve Analysis* (DSCA), dan *Anelastic Strain Relaxation* (ASR).

Dibandingkan dengan metode lainnya, metode emisi akustik lebih banyak digunakan oleh banyak peneliti untuk menentukan tegangan imita. Metode ini cukup sederhana dan relatif murah, selain itu metode ini juga lebih seperti analisa kurva tegangan diferensial dan *anelastic strain recovery* tidak mengukur tegangan melainkan hanya tegangan, dan tegangan imitanya diperoleh dengan metode kuantitatif.

Menurut ASTM E 616-77, emisi akustik adalah suatu fenomena dimana gelombang elastis frekuensi tinggi karena adanya pelepasan energi yang cepat dari satu atau lebih sumber pada saat material mengalami proses perambatan. Metode emisi akustik umumnya digunakan dalam pengujian perilaku material, pertumbuhan perkembangan retakan, dan dalam uji ronyon (*creep*). Untuk penentuan tegangan imita, metode emisi akustik memanfaatkan fenomena yang disebut efek Kaiser (Kaiser, 1953), yaitu emisi akustik yang terdeteksi pada saat perambatan mendekati atau melampaui tingkat tegangan yang pernah dialami contoh bahan. Efek ini dinamakan pada penemuan Kaiser pada material logam yang menyatakan bahwa logam mempunyai kemampuan untuk menyimpan tegangan maksimum yang pernah dialaminya. Untuk mendapatkan efek Kaiser yang terbaik adalah dengan eksperimen sederhana di laboratorium di mana fenomena ini akan muncul.

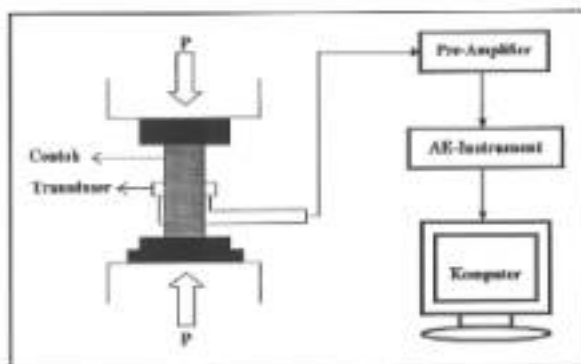
Kurita dan Fujii (1979) menemukan fenomena yang sama pada batuan. Batuan maksimum yang pernah dialami contoh batuan dapat dideteksi dengan memekan batuan sampai pada titik di mana terjadi kenaikan energi elastik yang substantif. Efek Kaiser yang diperoleh dari uji kuat tekan uniaxial (UCS) dapat menunjukkan tegangan yang pernah diterima batuan. Seto, dkk (1995) menyatakan bahwa hal ini dapat hubungannya dengan perkembangan rekahan mikro yang terbentuk pada kondisi tegangan sebelumnya.

Penditlan Jirgen, Karuping dan Rongren (1955) menunjukkan bahwa pada saat kurva diberikan kembali, pada awalnya aktivitas energi akustik terlihat lemah dan kemudian meningkat secara cepat pada beban maksimum yang pernah diterimanya yang dinyatakan sebagai efek Kaiser. Beberapa penelitian menunjukkan jika contoh batuan diberi beban secara siklik, maka efek Kaisernya tidak akan muncul jika pembebanan berikutnya berada di bawah tegangan yang pernah diterimanya.

II.3.4. Prinsip pengujian metode energi akustik

Secara umum energi akustik berhubungan dengan energi gelombang elastis yang timbul karena mekanisme pembentukan, perusakan, dan multiplikasi rekahan, proses fraksi selama pemrosesan dan pembebanan rekahan, transformasi fasa, propagasi rekahan mikro, deformasi material, tumbukan, dan pemadatan. Gelombang elastis inilah yang dinyatakan sebagai aktivitas energi akustik. Gelombang yang dihasilkan oleh mekanisme-mekanisme tersebut akan saling berinteraksi sehingga dapat terdeteksi.

Contoh batuan diberi beban uniaxial secara siklik. Gelombang akustik yang dihasilkan pada pengujian akan dideteksi dan ditangkap oleh transducer *piezoelectric* yang ditempelkan pada contoh batuan. Transducer ini berfungsi untuk mengubah sinyal mekanik menjadi sinyal listrik. Selanjutnya oleh pre-amplifier, sinyal ini diperkuat kemudian dibaca dengan instrument energi akustik dan selanjutnya dibaca oleh program komputer (Gambar II.6).



Gambar II.6. Skema rangkaian pengujian emisi akustik. (modifikasi Li dan Nordlund, 1993)

II.3.2. Faktor yang mempengaruhi munculnya efek Kaiser

Menurut Manjrez dan Hameiri (1992) memori tegangan dalam bahan yang muncul dalam efek Kaiser dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti berikut yaitu waktu, air dan suhu. Pengaruh variabel-variabel tersebut menjadi penting karena penentuan tegangan in situ yang didasarkan pada efek Kaiser berhubungan dengan batuan yang di-core di lapangan, dibawa ke laboratorium, dipreparasi, kemudian baru diuji. Dengan demikian ada jangkar waktu antara pengambilan contoh hingga pengujian dilakukan.

Sejumlah peneliti telah mempelajari efek Kaiser pada geomaterial sejak tahun 1970 dan mendiskusikan faktor-faktor yang mempengaruhi memori tegangan batuan di bawah kondisi pembebanan uniaxial (Kusugawa dkk, 1976; Kariu & Fujii, 1979; Hughes & Crawford, 1987; Seo dkk, 1999, 1997, & 1995; Helocomb, 1993; Udagawa dkk, 1995).

II.3.2.1. Perubahan sifat fisik batuan

Kurita dan Fujii (1979) menunjukkan bahwa kandungan air merupakan faktor penting dalam kaitannya dengan mekanisme Efek Kaiser. Hal ini ditunjukkan oleh contoh granit yang diberikan air selama sehari yang menunjukkan nilai akustik rendah pada daerah disekitarnya, di bawah tegangan maksimum yang pernah dialaminya.

Yoshikawa dan Mugi (1981) mempelajari pengaruh air dan suhu pada contoh andesit. Dari pengujian diperoleh kesimpulan bahwa tidak ada pengaruh air dan suhu pada materi tegangan. Royce (1981) juga melakukan hal yang sama pada contoh *dolomite*, *shale*, *micro schist* dan *micro gneiss* yang telah dipanaskan di oven 115°C selama dua hari. Hasilnya menunjukkan bahwa aktivitas erosi akustik hanya terpengaruh sedikit.

II.3.2.2. Jenis batuan dan sifat pembebanan uniaxial

Kanagawa, dkk (1976) memperkirakan tegangan yang pernah dialami batuan dengan menggunakan efek Kaiser dan dibandingkan dengan hasil dari metode *overcoring*. Hasilnya menunjukkan bahwa tegangan yang diperoleh dari efek Kaiser berhubungan dengan tegangan maksimum yang pernah diterima massa batuan selama umur geologi yang lama daripada tegangan imita saat ini.

Sondergeld dan Esrey (1981) memperkirakan keberadaan dan signifikansi efek Kaiser dalam pembebanan uniaxial batuan. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa selama waktu pembebanan contoh granit Westerly, aktivitas erosi akustik dideteksi dengan baik pada tingkat tegangan di bawah tingkat tegangan historisnya.

Houghen dan Crawford (1986) melaporkan keberadaan efek Kaiser di bawah kondisi pembebanan uniaxial pada material *amphibole*, andesit, *gneiss*, granit, *basaltic*, *diabase*, kuarsa, *recrit* dan *basaltic*.

Jirga, Kengring dan Ruggan (1995) menaruhakan bahwa tipe batuan sangat mempengaruhi aktivitas erosi akustik. Untuk batuan dengan butiran kasar, seperti batuan granit, efek Kaiser tidak dapat terlihat dengan jelas, sementara untuk batuan berbutir halus seperti pasir, gamping, *limestone* dan *marble*, efek Kaiser terlihat dengan jelas.

II.1.2.3. Arus pembebanan

Mishima, dkk (1985) mempelajari pengaruh tegangan prinsipal dalam arah berbeda terhadap munculnya efek Kaiser. Studi ini menunjukkan bahwa pada munculnya efek Kaiser pada satu arah tidak dipengaruhi oleh tegangan dalam arah yang lain, dan bahwa tegangan sebelumnya pada contoh jernih dapat ditentukan dengan metode efek Kaiser dengan tingkat kesalahan 2 %.

Watson dan Soltani (1985) berhasil mendapatkan aktivitas erosi akustik dari suatu batuan yang diberikan dengan menggunakan contoh dari lubang bor dalam arah utara – selatan dan timur – barat.

II.1.2.4. Tekanan pemampatan (Confining Pressure)

Holcomb (1983) mempelajari penentuan efek Kaiser pada contoh gamping Westerly pada kondisi triaksial. Dia menunjukkan bahwa pada saat tekanan pemampatan meningkat, beban yang diperlukan untuk mendapatkan efek Kaiser juga meningkat.

Hardy dkk (1985) melakukan pengujian pada contoh silinder di bawah kondisi pembebanan triaksial yang berbeda untuk meminimalisir beberapa macam kondisi tegangan. Hasilnya menunjukkan efek Kaiser muncul pada tingkat tekanan pemampatan dan beban aksial maksimum. Houghson dan Crawford (1987) mempelajari pengaruh tekanan pemampatan terhadap efek Kaiser pada contoh batupasir Berca dan hasilnya sama dengan Holcomb (1983).

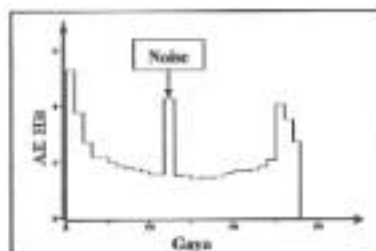
II.3.2.5. Waktu tunggu

Waktu tunggu merupakan hal yang sangat penting dalam pengujian erosi akustik karena sejak bahan diambil dari massa bahan, harus diberikan berupa lama waktu tersebut dapat menunggu sebelum pembebasan kembali dilakukan agar mendapatkan estimasi tegangan sebenarnya.

Sejauh ini peneliti melakukan penelitian mengenai hal ini, antara lain Goodman (1963) menyatakan efek Kaiser pada contoh batupasir dan kuarsa dapat diperoleh dalam beberapa jam, sementara Yoshikawa dan Mogi (1981) bisa mendeteksi efek Kaiser dari 1 – 5 hari. Hayes (1981) juga mendeteksi tegangan sebenarnya setelah 3 hari. Kurita dan Fuji (1979) menyatakan bahwa mereka bisa mendeteksi adanya efek Kaiser setelah periode 1 bulan. Sedangkan Michihiko dkk (1988) memproyeksikan bahwa estimasi tegangan awal menggunakan efek Kaiser pada massa bahan cenderung melesah sejalan dengan waktu tunggu setelah pembebas. Begitu pula Yoshikawa dan Mogi (1989) mengesahkan kesimpulan bahwa efek Kaiser semakin lemah pada saat waktu tenggangnya meningkat.

II.3.2.6. Noise

Salah satu kendala dan masalah dalam metode erosi akustik adalah timbulnya noise yang menyebabkan adanya perubahan aktivitas erosi akustik. Noise merupakan sinyal yang terdeteksi yang mengganggu eksperimentasi dan bekerja pada frekuensi rendah, sementara erosi akustik sendiri berada pada frekuensi antara 100 – 300 kHz. Yang termasuk sumber noise akustik adalah noise elektrik dan elektromagnetik seperti tifo, transmisi radio dan televisi serta petir. Aliran oli dalam pompa mesin tekan, gesekan pelat pemekan dengan contoh bahan, posisi kabel uji yang bergoyang juga bisa menimbulkan noise (Gambar II.7).



Gambar II.7. Noise pada grafik emisi akustik hit v.a gaya (hasil uji pada contoh busun di Cileug)

Peningkatan pulsa akustik selama perobekan ini sedikit berhubungan dengan perkembangan retakan dalam contoh busun. Goodenow (1963) menyatakan bahwa proses yang terjadi di dalam busun juga menyebabkan noise yang disebut sebagai rock noise.

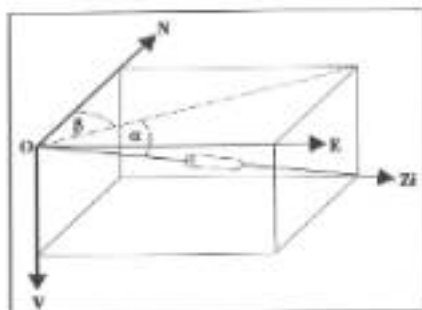
II.3.3. Prinsip dasar perhitungan tegangan dalam metode emisi akustik

Sistem koordinat yang digunakan sebagai dasar perhitungan adalah sistem koordinat ONEV (Origin, North, East, Vertical), dengan Z₀ adalah arah lubang bor (Gambar II.8). Dari Gambar II.8 dapat dilihat bahwa dalam pengujian emisi akustik, contoh busun akan diletakkan sesuai sumbu lubang bor Z₀ yang mempunyai kemiringan α dan azimuth β . Tegangan yang diperoleh pada pengujian merupakan tegangan sesuai lubang bor (σ_{L0}). Nilai σ_{L0} ini adalah tegangan pada sumbu efek Kaiser manual. Dengan demikian, tegangan ini merupakan hasil transformasi dari komponen tegangan dalam sumbu ONEV, sehingga akan didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$\sigma_{L0} = \sigma_{10} \cos^2 \alpha_0 \cos^2 \beta_0 + \sigma_{20} \cos^2 \alpha_0 \sin^2 \beta_0 + \sigma_{30} \sin^2 \alpha_0 + \tau_{10} \cos^2 \alpha_0 \sin 2\beta_0 + \tau_{20} \sin 2\alpha_0 \cos \beta_0 + \tau_{30} \sin 2\alpha_0 \cos \beta_0 \quad (II.14)$$

$$\sigma_{L0} = \sigma_{KL} \quad (II.15)$$

σ_{KL} adalah tegangan pada sumbu efek Kaiser manual (Gambar II.8).



Gambar II.8. Posisi contoh batuan uji emisi akustik dalam sistem koordinat OXYZ (modifikasi Mizota, dkk, 1987)

Berdasarkan persamaan (11.15), seperti halnya pada uji rekah hidrolik, untuk menentukan tensor tegangan diperlukan sedikitnya tujuh uji uniaxial dengan arah contoh yang berbeda (Holmberg, 1993).

III.1. Lokasi Kegiatan Eksplorasi

Lokasi Unit Usaha Pertambangan Emas (UPE) Pengkor, PT. Antam Tbk. terletak di daerah Gunung Pengkor tepatnya di Siringan, Desa Nanggal Kecamatan Nanggal Kabupaten Bener Propinsi Jawa Barat. Lokasi ini berjarak sekitar 55 km ke arah barat dari Kota Medan Bogor dan sekitar 130 km ke arah barat daya Jakarta. Pengkor merupakan kawasan Pertambangan seluas 6047 Ha (No. KW 58 PP 0114/1987), sedangkan KP Eksplorasi seluas 3870 Ha (No. KW 06 PP 0127 B / 1987).



Gambar III.1. Lokasi Kawasan Pertambangan UPE Pengkor (dikemas Departemen Eksplorasi, UPE Pengkor)

III.2. Kondisi Umum

Sistem garis besar geoteknik bentuk lahan daerah Pengkor merupakan pegunungan dan perbukitan yang termasuk akibat proses vulkanik. Daerah Pengkor merupakan jalur batas gunung api merapi yang dari barat ke timur yang lebarnya berkisar 30 km - 40 km dan merupakan jalur gunung api yang masih aktif. Daerah penyebaran gunung api merupakan suatu rangkaian pegunungan

yang relatif berlebar dengan ketebalan 500 m – 2200 m diatas permukaan laut, dan umumnya masih tertutupi hutan primer.

Topografi daerah Pangkor dan sekitarnya merupakan zona daerah perbukitan dengan puncak bukit masih tajam dan agak membulat, mempunyai sudut lereng antara 20° – 40° dengan komposisi 15% daerah datar naik turun, 60% daerah berbukit berbukit, dan 25% daerah berbukit bergunung. Pada daerah ini mengalir dua sungai utama yaitu Sungai Cikuniki dan Sungai Cigala yang terdapat di sebelah timur dan utara lokasi penambangan.

III.3. Kondisi Batuan Daerah Pangkor

Pengantar mengenai geologi dan batuan daerah Pangkor pada disertasi ini didasarkan pada hasil penelitian antara PT. Asoka Tambak UPE Pangkor dan Jurusan Geologi Universitas Padjadjaran Bandung pada tahun 2001 dengan judul penelitian *Studi Sistematis Geologi Daerah Pangkor dan Sekitarnya* serta disertasi Dugues, ITB (2005).

Secara keseluruhan Pangkor dan sekitarnya tersusun dari batuan gunung api plinoklinik bersifat andesitik sampai dasitik yang dapat dikelompokkan ke dalam satuan batuan tufa breksi, aglomerat, andesit, breksi andesitik dan dasit (Gambar III.2).

Satuan batuan tufa breksi menyebar dibagian selatan terutama di sepanjang Sungai Cikuniki. Satuan ini didominasi dari topotopong oleh urat karsa yang mengandung eras. Satuan batuan tufa breksi terutama disusun oleh tufa, tufa lapili, tufa breksi, aglomerat, dan sisipan lempung. Tufa breksi berwarna abu-abu kehijauan, masif, klastik dengan sortasi sedang sampai jekel. Fragmennya sub-angular berukuran kerikil-pebbles dengan komposisi 75 % tufa breksi dan sisinya silika hitam dan lempung silika. Dalam batuan ini terdapat sisipan andesit lava dan breksi polatik. Umumnya batuan terlapukkan sempurna dipermukaan dan derajat pelapukan menurut sesuai dengan kedalaman.

Batuam diorit adalah suatu ekstrusif dalam bentuk aliran lava. Ciri batuan diorit adalah berwarna abu-abu dengan butiran-butiran berwarna putih yang tersebar agak merata, porfiritik dan sedikit atau tidak mengalami alterasi.

III.4. Geomorfologi Daerah Pangkor

Van Bemmelen (1949) membagi Jawa Barat menjadi 5 zona yaitu, zona Dataran Rendah Pantai Jakarta, Zona Banteng, Zona Dugre, Zona Pegunungan Bayah dan Zona Pegunungan Selisiri. Posisi tambang emas Pangkor terletak di batas barat Zona Banteng berbatasan dengan Pegunungan Karuh Bayah, sehingga diperkirakan yang menjadi batuan dasarnya adalah formasi-formasi yang terdapat di Pegunungan Bayah. Batuan Pangkor yang mengandung seri-seri kuarsa dan emas diperkirakan berasal dari formasi Cempug yang membentang jauh di bagian tengah Pegunungan Bayah. Menurut Soeris-Artusdja dkk (1994) Formasi ini diperkirakan terjadi karena penunjaman lempeng Indo-Australia pada lempeng Eurasia yang terjadi pada periode Neogen.

Proses pembentukan emas di daerah Gunung Pangkor adalah proses pembentukan emas epitermal sulfida rendah. Mineralisasi emas dan perak di Gunung Pangkor ditemukan pada batuan yang diinvasi oleh aglomerat beksi polistik, tufa breksi dan lava andesit. Penelitian mengenai cadangan emas di Pangkor menyimpulkan bahwa cadangan bijih emas (Au-Ag) dalam konsentrasi tinggi di Pangkor baik yang berasal epitermal maupun taruannya terkait dengan peristiwa vulkanik (Mileni, dkk, 1999). Endapan epitermal emas-perak ini terletak pada dasar magmatik Sunda-Banda. Menurut Carfic dkk (1994) dalam disertasi Dugrew (2005) dikatakan bahwa dasar ini terbentuk oleh aktivitas magmatisme akibat penunjaman lempeng Indo-Australia pada lempeng Eurasia yang terjadi berturut-turut sejak Paleogen, Oligosen, Oligosen Akhir – Miocen Awal, Miocen Tengah-Pleosen, hingga Kuarter.

Dugrew (1994) juga menyatakan bahwa letusan magma yang berlandskali di Pangkor merupakan letusan *phreatomagmatic*, yaitu letusan yang terjadi karena

batu magma yang hampir mencapai permukaan bercampur dengan air tanah tanah dan mengakibatkan rekahan pada batuan di sekitarnya. Dengan letusan ini material magma dan fragmen letusan meringkuk dan beterbangan dan merendap kembali di permukaan. Peristiwa ini terjadi pada zaman Miosen Akhir – Pliosen, Soemba-Astradja (1994). Setelah aktivitas letusan diperkirakan terjadi pengangkatan dan deformasi tektonik yang mengakibatkan batuan ini patah karena pergeseran seam, yang terjadi pada zaman Miosen Akhir – Pliosen. Menurut Milne, dkk (1999), pada zaman Pliosen patahan utama menggores rekahan kecil yang terbentuk akibat aktivitas tektonik tumbuh kemudian diisi oleh runtuhan yang menghasilkan badan bijih utama di Pongkor dengan tebal 2 - 8 meter dan virelitas dengan ketebalan 2 - 20 cm.

Setelah pembentakan urat-urat utama diperkirakan terjadi vulkanisme akhir di Pongkor berupa pengisian silia pada aliran lava yang menghasilkan dasit dan adanya aktivitas hidrotermal yang menghasilkan bekitian hidrotermal yang diisi oleh silika (Kusnto, Daruki dkk, 1994).

III.5. Geologi Daerah Pongkor

III.5.1. Sistem tegangan

III.5.1.1. Tegangan regional

Daerah Pongkor berada dalam struktur Blok Banten yang bergerak ke Utara (pada zaman Paleozoikum) sesuai dengan arah pergerakan Blok Godwana (yang selanjutnya pecah menjadi Blok India dan Blok Australia). Pergerakan ini disertai dengan adanya pola-pola sesar transform yang berarah utara-selatan, sementara lempeng samudra Hindia mempunyai pola struktur Baris Daya – Timur Laut. Hal ini menunjukkan bahwa arah tegangan prinsipal maksimum (σ_1) regional pulau Jawa adalah utara-selatan.

III.5.1.2. *Tegangan daerah Pongkor*

Bentuk edungan Formasi Bojongsari sebagai pembentuk daerah Pongkor dipengaruhi oleh Pola struktur Sumatra (barat laut – tenggara) dan Pola struktur Meranti (timur laut – barat daya). Tegangan pada Formasi Bojongsari yang melibatkan Formasi Ciasag dan pembentukan gunung api juga berorientasi pada kedua pola struktur tersebut yang berarah relatif sama-selatan. Kedua struktur tersebut terbentuk bersamaan dengan proses sedimentasi yang terjadi pada Formasi Bojongsari.

III.5.2. *Struktur geologi*

III.5.2.1. *Struktur geologi umum daerah Pongkor*

Menurut Untung dan Wismahono (1975) pola struktur yang berkembang di Jawa Barat umumnya mengikuti pola Sumatra yaitu barat laut – tenggara. Selanjutnya Bernardin (1993) menyatakan bahwa daerah Banten Selatan, khususnya Kubah Bayah merupakan pertemuan Garutiklin Jawa dan Bukit Barisan sehingga terjadi beberapa deviasi struktur. Kubah Bayah sendiri telah mengalami dua kali periode tektonik yaitu pada zaman Intra-Miocen dan Plio-Pleistosen. Periode pertama menyebabkan terjadinya struktur sesar dan lipatan terumbu di bagian tengah dan utara Pulau Jawa sehingga menyebabkan terbentuknya kubah yang disertai dengan pemuatan. Pada periode tektonik kedua, tekanan gaya ke arah utara makin besar dan menyebabkan terbentuknya kubah dan sesar pada Komplek Bayah.

Katili dan Koesoemadinata (1962) menyatakan bahwa pada jalur erupsi tengah pada Banten Selatan telah terbentuk pola dengan arah utara selatan. Pola ini berhubungan dengan pembentukan kubah yang menunjang dengan arah barat laut – tenggara yang disebabkan oleh gaya vertikal. Hal ini terbukti dengan adanya urat bijih yang merupakan hasil pengisian rekahan *thermal fracture* dengan arah utara – selatan.

Daerah Pongkor dan sekitarnya telah mengalami pemusatan yang cukup intensif. Hal ini terlihat dari struktur sesar yang cukup kompleks dengan intensitas yang cukup rapat. Di daerah Pongkor terdapat sejumlah struktur sesar antara lain Sesar Cikariki, Sesar Ciarua, Sesar Cibulung, Sesar Cikurien, Sesar Candihibing, Sesar Cagiba, Sesar Pongkor, Sesar Ciarag, Sesar Gunung Siga, dan Sesar Teluk Wica (Gambar III.3).



Gambar III.3. Peta struktur daerah terbelah Pongkor (Geologi, UNPAD, 2001)

Dalam kajian Tinjauan Geologi Upad dan Pengkor, juga disebutkan bahwa pada umumnya, sesar yang terdapat di Pengkor adalah sesar normal dan sesar normal dan sesar gesir besar ada dua jalur sesar utama yaitu :

- Sesar utara barat laut – selatan tenggara, sesar ini tegak lurus dengan arah tegangan prinsipal dan berhubungan dengan antarbata di Cigaba, Kulseg, Cikara, dan Cikrag. Untuk sesar Cikrag, terdapat juga sistem tegangan yang mengarah utara.
- Sesar utara timur laut – selatan barat daya, sesar ini searah dengan tegangan prinsipal dan terkait dengan sesar Cikariki dan Cikara.

Selain kedua jalur sesar utama, terdapat sesar bersah utara – selatan yang terbentuk setelah kedua sesar utama tersebut dan terkait dengan anta Ponor Jawa. Pola persebaran kelas memperlihatkan arah utama sejajar dengan penyebaran urat dan bidang perlipatan batuan, yang umumnya terisi kuarsa, kempung, mangan oksida, pirit, dan hematit.

Jika dikaitkan dengan teori Griffith, tegangan prinsipal di daerah ini akan searah dengan arah tarik yang dalam hal ini searah sesar utamanya yang berarah Utara – Selatan. Kajian struktur dan tegangan di daerah ini menyatakan bahwa arah tegangan pada daerah ini pada umumnya berarah utara barat laut – tenggara dan timur laut – barat daya. Hal ini cukup sesuai dengan teori Griffith meskipun terdapat deviasi dari Utara – Selatan yang kemungkinan disebabkan oleh struktur lokalnya.

3.5.2.2. Struktur geologi daerah penelitian

Pengukuran tegangan in situ dilakukan di lokasi Cikrag dan Pamoyanan. Jika melihat Peta struktur daerah Pengkor pada Gambar 3.3 menunjukkan bahwa daerah penelitian terkait dengan sesar Cigaba, sesar Cikrag, dan sesar Cikariki.

Lokasi pengujian di Pamoyanan dipengaruhi oleh Sesar Cigaba. Sesar Cigaba merupakan kebaruan sesar Cigaba. Selain tegangan yang terjadi adalah

tegangan tekan dan tarik dengan sifat gesarnya mendatar. Tegangan prinsipalnya berasal atas berat laut – selatan tenggara. Dari rekonstruksi struktur disimpulkan bahwa pergerakan relatif sesar Ciguba adalah mendatar dengan bidang sesar $N 315^{\circ} E / 75^{\circ}$.

Lokasi pengujian di Cikung dipengaruhi oleh Sesar Cikung dan sesar Cikanki. Sesar Cikung merupakan kelanjutan arah Sesar Cikanki. Pada sesar ini ditemukan dua pola sistem tegangan, yaitu tegangan tekan berasal berat laut – tenggara hingga timur laut – selatan barat daya dan tegangan tarik berasal berat laut tenggara. Kedua pola sistem tegangan ini mengindikasikan bahwa sesar Cikung mempunyai dua komponen arah gerak, yaitu lateral dan normal. Hasil rekonstruksi struktur menghasilkan informasi bahwa pergerakan relatif sesar Cikung adalah sesar normal dengan bidang sesar $N 315^{\circ} E / 56^{\circ}$.

Sesar Cikanki merupakan kelanjutan aliran sesar Cikanki yang berasal timur laut – barat daya. Sistem tegangan yang terjadi menunjukkan sistem tegangan tekan dengan tegangan prinsipalnya berasal relatif atas timur laut – selatan barat daya. Analisa struktur menyimpulkan bahwa jenis sesar Cikanki adalah sesar mendatar dengan bidang sesar $N 207^{\circ} E / 76^{\circ}$.

Gambar III.4 sampai III.7 menunjukkan sketsa dari bidang diskontinuitas di sekitar lokasi penelitian di Pangkor. Gambar III.4 merupakan gambaran bidang diskontinuitas di sepanjang terowongan MBL (Mina Hurlag). Selanjutnya Gambar III.5 dan Gambar III.6 menunjukkan gambaran bidang diskontinuitas di daerah Ciguba dan Kubang Cina yang berdekatan dengan lokasi pengkuman di Panyaman, sedangkan Gambar III.7 menggambarkan kondisi bidang diskontinuitas di Cikung.

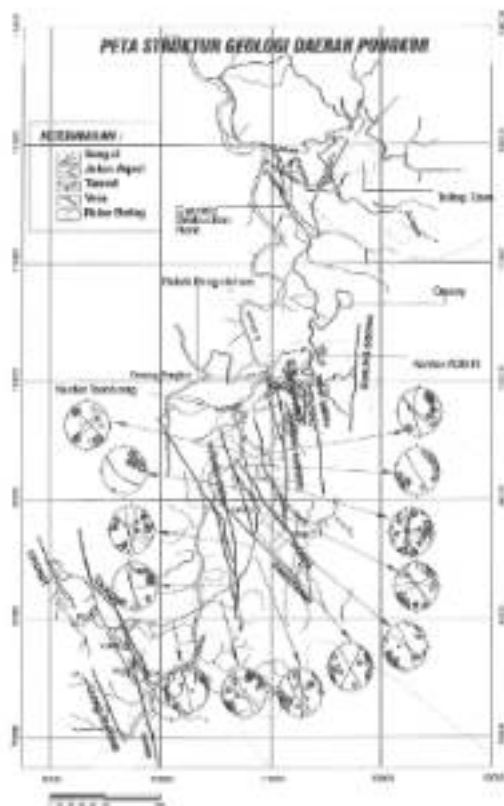
III.6. Urat Energi Utama Pangkor

Dari data eksplorasi dan penelitian, cebakan bijih emas Pangkor terdistribusi dalam 10 lokasi, antara lain Ciguba Utara, Ciguba Timur, Pasir Jawa, Kubang Cina,

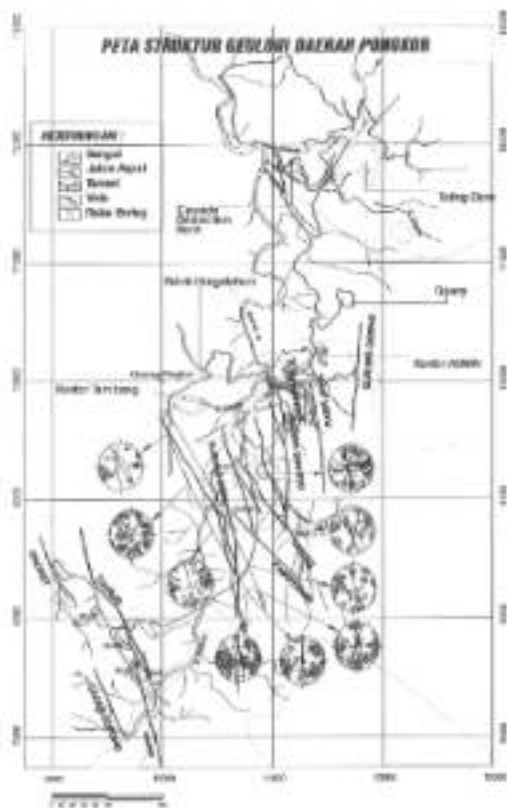
Ciurug, Caden Capong, Gunung Geong, Cindagat, Panyaman dan Gading Harauk. Menurut laporan *Eritmasi Cendogon Biji Tambang Emas Pangkor per 1 Juli 2002*, penyebaran urat mineralisasi pada sub paralel dengan arah timur Barat Laut – Tenggara dan Utara – Selatan. Ketebalan urat bervariasi antara 0,8 meter sampai 24 meter dengan kemiringan vein relatif tegak antara 55° sampai 90° ke dua arah, yaitu :

- ke arah Timur Laut di bagian Barat, meliputi Kelung Cien, Ciurug, Caden Capong dan Panyaman.
- ke arah Barat Daya di bagian Timur, meliputi Cigaba Utara, Cigaba Timur, Paur Jawa, Gunung Geong, Cindagat dan Gading Harauk.

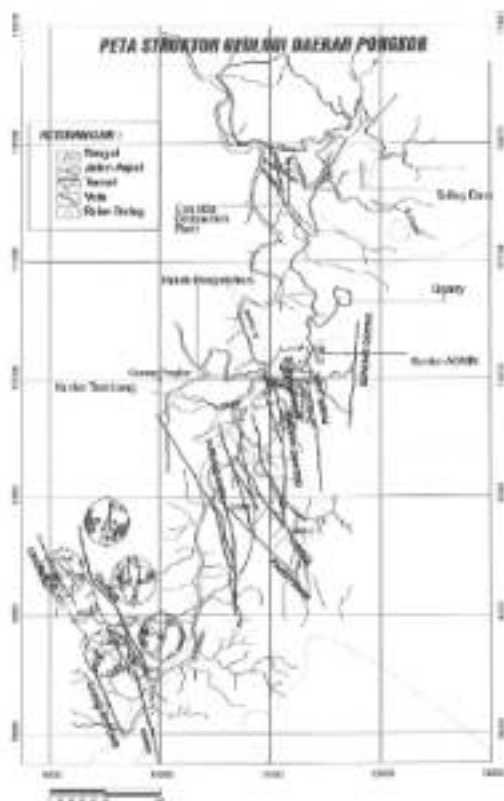
Pada pertengahan tahun 2002 telah ditemukan lagi urat lain di Ciurug yang relatif lebih kecil yang mineral pada level 570. Sebagian cadangan biji emas Pangkor terletak di kawasan Taman Nasional Gunung Halimau, sehingga sejak awal telah diterapkan sistem penambangan bawah tanah. Urat besar yang telah ditambang adalah Cigaba, Kelung Cien dan Ciurug. Pada tahun 2002 mulai ditambang urat Panyaman, dan pada tahun 2003 telah dilakukan persiapan pembuat portal untuk menambang urat Gading Harauk.



Gambar III.4. Garisbusan isohal kelutihan & separasi terintegrasi MHL-
tambang emas Pangloss (modifikasi Pengelaw dan Gendagi UNPAD
2000)



Gambar III.3. Cerdikan kalang disekornya di daerah Kalang Ciam Pengkon (modifikasi Pengkon dan Ginting UNPAD 2001)



Gambar 11.7. Perubahan indeks iklim di daerah Caring Pongkor (modifikasi Pongkor dan Garing UNPAD 2001)

Bab IV Persiapan, Perancangan dan Uji Coba Peralatan

IV.1. Peralatan Uji Rekah hidrolik

IV.1.1. Perancangan

Alat rekah hidrolik yang dirancang dan dibuat meliputi *stroke packer*, *impression packer*, *new test*, *lower tube*, perekam data elektronik dan kelengkapan alat (lihat Gambar IV.1, Kramadibharna,dkk 2003). Perancangan dan pembuatan alat rekah hidrolik direalisasikan dengan bahan baku dan kondisi di Indonesia dengan beberapa alasan sebagai berikut.

1. Kapasitas tekanan *stroke packer* hingga saat ini mencapai 25 MPa.
2. Bentuk *new test* yang awalnya lubang berflamintor tetap diubah menjadi kerucut dalam upaya mendapatkan laju aliran fluida yang lebih cepat pada saat penekanan fluida ke dinding lubang bor.
3. Kopling dan karet yang digunakan di dalam *stroke packer* dan *impression packer* dirancang sedemikian rupa sehingga jika terjadi kerusakan pada karet, maka bagian kopling masih bisa digunakan untuk pembuatan *packer* kembali. Dengan cara lain kopling dapat didaur ulang sehingga dapat menghemat biaya yang dikeluarkan.
4. Sistem pencetakan rekahan dengan *impression packer* dan karet pencetak rekahan mulai digantikan dengan *revoluise camera*. Hal ini untuk menghindari terangkurnya karet pencetak rekahan pada lubang bor. Dengan *revoluise camera* seluas waktu yang diperlukan untuk persiapan lebih cepat, hasil yang diperoleh juga lebih detail dan tefisi.
5. Pemasangan pompa, tangki, selang, dan sistem aliran data yang terpisah dilaksanakan agar pemasangan alat dapat lebih praktis, mudah diatur sesuai dengan kondisi daerah pengujian dan lebih ringkas.
6. Sistem pemompaan menggunakan pompa elektrik agar aliran oli lebih konstan dan stabil dibandingkan jika menggunakan pompa manual.

7. Sistem akuisisi data menggunakan perangkat data elektronik sehingga data dapat terkam langsung di komputer untuk selanjutnya dapat diolah dan dianalisis. Selain data numeriknya, grafik pengujian juga dapat langsung terlihat pada saat pengujian.
8. Biaya yang dikeluarkan untuk satu buah *stroke packer* adalah sekitar 4 juta rupiah. Ini jauh lebih murah jika dibandingkan dengan membeli dari luar negeri. Sebagai perbandingan, pembelian satu buah *packer* dari Australia atau Jepang adalah sekitar 15 juta – 20 juta rupiah.

Pembuatan alat rekah hidrolik melibatkan Perumahan Daerah Industri Karet Bandung (INKABA), perusahaan swasta, Laboratorium Kontrol Departemen Teknik Fisika ITB untuk perbaikan sistem akuisisi data, dan Laboratorium Mekanika Batuan Departemen Teknik Pertambangan ITB.



- Keterangan :
1. Packer
 2. Klem pemantau tekanan
 3. Pompa penghisap
 4. Pompa hidrolik
 5. Deas pengalir selang
 6. Tangki penampung

Gambar IV.1. Sistem alat rekah hidrolik

IV.1.1.1 *Stroke Packer*

Stroke packer merupakan alat yang digunakan untuk menyekat dinding lubang bor pada saat uji rekah hidrolik dilakukan. *Stroke packer* terdiri dari dua bagian, yaitu *kopling* dan *karet* (Gambar IV.2). *Kopling* terbuat dari *mandrel steel* sepanjang 130 mm, yang masing-masing dipotong di kedua ujung kawat. Sedangkan *karet* mempunyai panjang 430 mm yang terdiri dari 3 bagian

(Lampiran A), yaitu bagian *straddle packer* yang paling dalam merupakan karet yang tahan terhadap lapisan oli, bagian berikutnya adalah 3 silang lapisan kawat baja yang dischubungkan pada karet dalam, sedangkan bagian terluar merupakan lapisan karet. Diameter dalam dan luar *straddle packer* masing masing adalah 25 mm dan 57 mm.

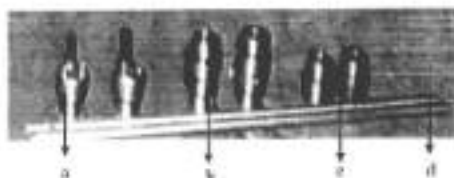


Gambar IV.2. *Straddle packer*

Pada awal penelitian, *straddle packer* hanya mampu menahan tekanan oli hidrolik 3 MPa. Kemudian, hasil kerja sama dengan INKAHA kinerja *packer* terus menerus diperbaiki hingga secara bertahap mampu mencapai tekanan 5 MPa, 10 MPa, 12 MPa dan 22 MPa. Hingga saat ini *straddle packer* yang berhasil dibuat telah mampu menahan tekanan hingga 25 MPa. Pemenuhan yang paling kritis dari kinerja *straddle packer* ini adalah kekuatan ikat dari karet dengan keping besi. Kronologis pengujian kinerja *straddle packer* dapat dilihat pada Lampiran B. Kinerja *packer* masih bisa ditingkatkan hingga *straddle packer* mampu menahan tekanan yang lebih tinggi.

IV.1.1.2. *Top Sub, Test Sub, Bottom Sub dan Inner Tube*

Top sub, test sub, bottom sub dan inner tube terbuat dari *stainless steel* (Gambar IV.3) yang berfungsi untuk menghubungkan *straddle packer*.



Gambar IV.3. *Top sub, test sub, bottom sub dan inner tube*

Top sub (Gambar IV.3.a) digunakan untuk menutup bagian atas *straddle packer*. Pada *top sub* terdapat 2 buah saluran yang masing-masing terhubung dengan pompa hidrolik. Satu saluran digunakan untuk mengembangkan *straddle packer*, sedangkan saluran lain digunakan untuk oli tekanan uji. Panjang *top sub* 63 mm dengan diameter 57 mm. *Test sub* (Gambar IV.3.b) mempunyai 4 buah lubang dengan diameter 10 mm yang berfungsi untuk menginjeksikan oli hidrolik bertekanan tinggi yang akan digunakan untuk merekamkan batuan. Panjang *test sub* 100 mm. *Bottom sub* (Gambar IV.3.c) digunakan untuk menutup lubang *straddle packer* bagian bawah. *Bottom sub* mempunyai panjang 63 mm dan diameter 57 mm. *Inner tube* (Gambar IV.3.d) digunakan untuk mengalirkan oli hidrolik uji dari pompa hidrolik hingga *test sub*. Panjang *inner tube* adalah 850 mm dengan diameter dalam 10 mm dan diameter luar 18 mm. Gambar teknis rancangan packer, *top sub*, *test sub* dan *bottom sub* dapat dilihat di Lampiran A.

IV.1.1.3 *Impression Packer*

Impression packer digunakan sebagai media untuk pencetakan rekaman (lihat Gambar IV.4). *Impression packer* terdiri dari dua bagian, yaitu kopling besi (*coupling - nut*) dan karet. Kopling besi terbuat dari *stainless steel* sepanjang 20 cm, yang masing-masing akan dipasang di kedua ujung karet, dan panjangnya karet adalah 110 cm. Gambar IV.4.a menunjukkan *impression packer* sebelum disekubangi oleh karet pencetakan rekaman, sedangkan Gambar IV.4.b. menunjukkan *impression packer* yang telah disekubangi karet pencetakan rekaman dan siap untuk digunakan.



Gambar IV.4. *Impression packer*

IV.1.1.4 Karet Pencetak Rekanan

Karet pencetak rekanan adalah karet yang digunakan untuk mencetak rekanan sebelum dan sesudah pengisian (Gambar IV.5). Karet ini dililitkan pada *impression packer* dengan menggunakan isolasi dan kawat. Dimensi karet pencetak rekanan lebar 15 cm dan tebal 2-3 mm serta berwarna biru cerah. Gambar IV.5.a menunjukkan karet pencetak rekanan setelah digunakan untuk mencetak rekanan dalam lubang bor, sedangkan Gambar IV.5.b adalah karet pencetak rekanan yang belum digunakan.



Gambar IV.5. Karet pencetak rekanan

IV.1.1.5 Pompa Hidrolik

Untuk pengisian rekah hidrolik diperlukan 2 pompa hidrolik, masing-masing digunakan untuk memberikan tekanan pada *straddle packer* dan untuk

memberikan tekanan uji. Pompa yang digunakan untuk memberikan tekanan pada *stroke packer* adalah pompa hidrolik manual dengan kapasitas 70 MPa (Gambar IV.6.b). Sedangkan pompa untuk tekanan uji merupakan pompa hidrolik elektrik dengan kapasitas 70 MPa (Gambar IV.6.a). Penggantian pompa elektrik dimaksudkan sebagai upaya agar aliran oli lebih kontinyu dan stabil. Hal ini diperlukan untuk memperoleh data penyalutan batuan yang lebih valid.



Gambar IV.6. Pompa hidrolik manual dan elektrik.

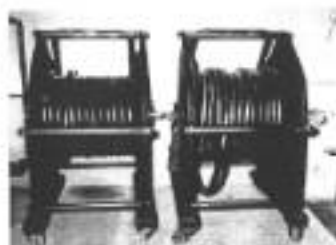
IV.1.1.6. Selang Hidrolik dan Drum

Selang hidrolik yang digunakan berdiameter $\frac{1}{4}$ inci dengan kekuatan hingga tekanan sekitar 70 MPa (10000 psi). Panjang selang hidrolik adalah 30 meter untuk masing-masing pompa hidrolik. Selang ini digabung pada drum yang terbuat dari besi dan berfungsi sebagai tempat gulungan kabel sehingga tidak krusut (lihat Gambar IV.7) dan dapat meningkatkan efisiensi waktu pengujian. Drum penggulung selang hidrolik ini juga merupakan bagian dari pemasangan sistem alat rekam hidrolik.

IV.1.1.7. Tangki Oli Hidrolik

Tangki oli hidrolik dengan kapasitas sekitar 25 liter digunakan sebagai wadah oli tambahan untuk uji rekam hidrolik karena kapasitas tangki pompa hanya 4 liter

(Gambar IV.4). Tangki oli hidrolik ini dihubungkan ke pompa listrik dengan menggunakan selang.



Gambar IV.7. Selang hidrolik dan drum



Gambar IV.8. Tangki oli hidrolik

IV.3.1.3. Bodi Penghantar

Bodi penghantar berfungsi sebagai penghantar besi *saddle packer* maupun *impression packer* ke dalam kantung besi (Gambar IV.9). Penghantar terbuat dari batang besi dengan penampang berbentuk kotak dan dipotong setiap 1 meter

sepanjang 21 buah. Untuk menyambungkanya digunakan pengunci berupa besi dan plastik.

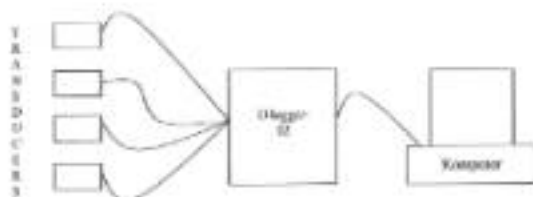


Gambar IV.9. Besi pengukur dan bagasinya

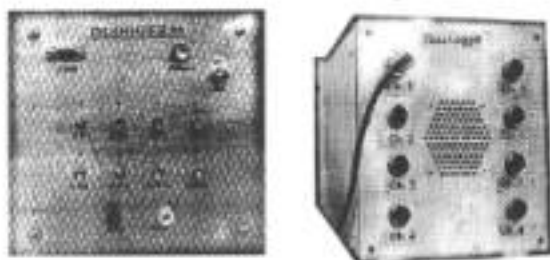
IV.1.1.9 Perangkat Data Elektronik

Dlogger-02 adalah piranti untuk merekam hasil pengukuran berbasis sinyal analog, yang data hasil rekamannya memungkinkan pengolahan lebih lanjut berbasis komputer (*data logging*). Untuk mengoptimasi berbagai kondisi seperti ketersediaan listrik di lokasi bawah tanah, keterbatasan komputer dan personal yang mempunyai basis sensor berbeda, Dlogger-02 dirancang dengan lingkup parameter yang luas antara lain jenis sinyal keluaran analog, besar sinyal keluaran sensor dan frekuensi sampling pengukuran. Dengan lingkup yang luas tersebut memungkinkan Dlogger-02 dapat dimanfaatkan untuk aplikasi lapangan bagi rekayasa pertambangan. Selain untuk pengukuran tegangan imita, DLogger-02 dapat juga digunakan untuk pengukuran modulus deformasi in situ dengan menggunakan *Goodman jack*. Dlogger-02 dilengkapi dengan software aplikasi Dlogger-02.

Sikema sistem Dlogger-02 dapat dilihat pada Gambar IV.10. Sistem ini terdiri dari tiga komponen utama, yaitu transducer, D-Logger 02 dan komputer. Dlogger-02 mempunyai 8 kanal yang dapat menerima sinyal dari *transducer* antara lain 5 kanal untuk *pressure transducer* dan *anal gage* elektronik, 2 kanal untuk LVDT dan 1 kanal dialokasikan untuk *flowmeter*. Gambar IV.11. adalah foto sistem perangkat data elektronik.



Gambar IV.10. Skema sistem perekam data elektronik



Gambar IV.11. Perangkat data elektronik DLlogger-62

IV.1.1.9. Borehole Camera

Fungsi *borehole camera* sama dengan karet pencetak rekaman, yaitu digunakan untuk merekam rekaman dalam lubang bor, baik sebelum maupun sesudah pengisian rekam hidrolik. Dibandingkan dengan karet pencetak rekaman, hasil rekaman *borehole camera* lebih jelas dan menggantikan arloji terjepitnya *packer* rekam karet pencetak rekaman yang tergelung. Hasil rekaman *borehole camera* dapat langsung ditransfer ke komputer untuk diolah lebih lanjut. Gambar IV.12 menunjukkan perangkat *borehole camera*.



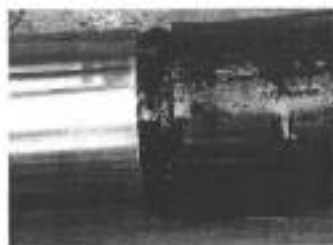
Gambar IV.12. Peralat borehole camera

Borehole camera yang digunakan merupakan pemroses Nakagawa (2002), saat itu mahasiswa program doktor dari Kyushu University, Jepang, yang selanjutnya digunakan untuk kepentingan riset ini sebagai suatu proses uji coba kehandalan alat ini pada aplikasi tersebut bawah tanah.

IV.1.2 Pengujian Kinerja Peralatan Rekam Hidrolik di Laboratorium

IV.1.2.1 Uji kebocoran dan kinerja *straddle packer*

Pengujian ini diperlukan untuk mengetahui kebocoran dan kemampuan *straddle packer* dalam menerima tekanan. Di samping itu juga untuk mengetahui fungsi *straddle packer* dalam menyekat lubang bor. Uji dilakukan pada pipa besi berdiameter 60 mm. *Straddle packer* tunggal dimasukkan ke dalam pipa besi tersebut, kemudian diberi tekanan oli. Tekanan oli terus dinaikkan hingga terjadi pecratan tekanan karena terjadi kebocoran *packer* pada bagian kasing besi dan kast. Gambar IV.13, menunjukkan sambungan pada *straddle packer* yang terlepas. Kronologi uji kebocoran dan kinerja *straddle packer* secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran B.



Gambar IV.13. Kebocoran *rib-side packer* pada kapling besi dan karet

IV.1.2.2. Uji *impression packer* dan karet pencetak rekahan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan *impression packer* dan karet pencetak untuk mencetak rekahan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa karet pencetak telah berfungsi. Hanya ada beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain pemasangan karet pencetak pada *impression packer* harus dipayatkan sekuat mungkin untuk menghindari tergelungnya karet pencetak yang dapat menyebabkan *packer* terkunci dan tidak bisa dikeluarkan dari lubang. Lampiran II memaparkan proses pengujian kinerja karet pencetak.

IV.1.2.3. Uji kinerja peredam data elektronik

Peredam data elektronik dibuat oleh Laboratorium Departemen Teknik Fisika ITB. Alat ini diuji coba di Laboratorium Mekanika Ritsan Departemen Teknik Pertambangan ITB. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat pengukur elektronik dan *pressure transducer*. Pengujian dilakukan berulang-ulang hingga didapatkan hasil yang diinginkan. Kronologi pengujian kinerja peredam data elektronik dapat dilihat pada Lampiran II.

IV.1.3. Uji Coba Retak Hidrolik pada Blok Beton di Laboratorium

Uji coba retak hidrolik di laboratorium dilakukan pada blok beton. Uji coba ini bertujuan untuk melihat apakah bagian-bagian perletakan yang dibuat dapat berfungsi dengan benar. Jika tidak akan dilakukan perbaikan sesuai teori sebelum hingga bagian tersebut dapat berfungsi.

Uji coba retak hidrolik dilakukan dalam skala laboratorium yaitu pada 4 buah contoh balok beton yang dicetak dengan lobang di bagian tengahnya. Balok beton berukuran 50 cm x 50 cm x 160 cm. Tiga buah beton mempunyai ukuran lobang di tengah sebesar 6 cm dan 1 buah beton mempunyai ukuran lobang tengah 6,4 cm. Komposisi semen : pasir : kerikil adalah sebesar 1 : 3 : 2.

Selama pengujian, dilakukan pemantauan kecepatan gelombang ultrasonik untuk mengamati retakan yang terjadi pada beton akibat pembebanan. Beton 1 dan beton 2 dibuat pada saat yang bersamaan dan material yang sama, begitu pula beton 3 dan beton 4 juga dibuat sama tapi materialnya berbeda dengan beton 1 dan 2.



Gambar IV.14. Uji Coba retak hidrolik di laboratorium pada beton 1

Pengujian menunjukkan bahwa beton 1 pecah karena tekanan *straddle packer* sebesar 5 MPa. Hal ini dapat diketahui dari kebocoran oli dari retakan yang terjadi pada beton sebelum tekanan uji diberikan.

Dari hasil pengujian rekah hidrolik pada beton 2, didapatkan data seperti tergambar pada Gambar IV.15. Pada pengujian beton 2, sebuah bejana diletakkan dan memberikan tekanan 0,00625 MPa di atas beton. Pemberian bejana ini dimaksudkan untuk memberikan beban vertikal sehingga tekanan yang terjadi bisa sesuai dengan lubang uji. Setelah terjadi rekahan pada beton pada tekanan pecah (P_b) = 1,9 MPa, tekanan oli hidrolik terus menjadi nol.



Gambar IV.15. Grafik tekanan uji terhadap waktu pada untuk beton (Pembesian secara manual)

Untuk mengamati pecahnya beton pada saat pemekannya, diberikan pengukuran kecepatan perambatan gelombang ultrasonik, yang tujuannya adalah untuk membuktikan bahwa beton pecah karena tekanan uji dan bukan karena tekanan *pascher*. Karena diameter lubang uji pada beton 6 cm, ini berarti bahwa dengan jari-jari lubang 3 cm, maka titik pengukuran kecepatan perambatan gelombang ultrasonik diletakkan 3 cm di atas lubang uji. Ini dimaksudkan untuk menghindari posisi rekahan yang diperkirakan terjadi di pusat lubang bor.

Setelah terjadi rekahan pada beton dengan tekanan pecah 1,9 MPa, tekanan oli hidrolik terus menjadi nol karena oli keluar pada dinding luar beton. Hasil pengukuran kecepatan rambat gelombang ultrasonik dapat dilihat pada tabel IV.1.

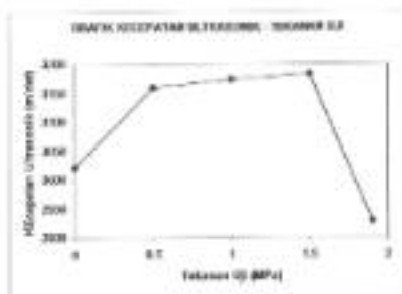


Gambar IV.14. Pengamatan pecahnya beton pada uji coba rekah hidrolik dengan ultrasonic velocity pada beton 2.

Dapat dilihat pada tabel IV.1 bahwa pada saat tekanan uji mulai naik, terjadi pula kenaikan kecepatan gelombang ultrasonik. Ketika tekanan uji mencapai 1,9 MPa, terjadi rekahan yang ditandai dengan mulai besarnya tekanan uji. Bersamaan dengan naiknya tekanan uji, kecepatan gelombang ultrasonik turun yang disebabkan karena terjadinya rekahan dalam beton. Hal ini membuktikan bahwa beton pecah karena tekanan uji dan bukan karena tekanan *packer*.

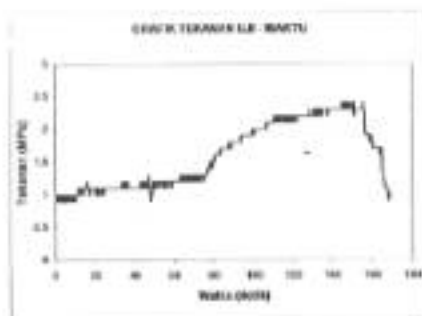
Tabel IV.1. Perubahan kecepatan merambat gelombang ultrasonik terhadap perubahan tekanan di dalam batang pada uji rekah hidrolik

Tekanan Uji (MPa)	Kecepatan, Vp (m/s)	Keterangan
0	3021.11	Sebelum pecah terjadi peningkatan waktu merambat gelombang, sehingga kecepatan merambat
0.5	3158.56	
1.0	3172.59	
1.5	3182.69	
1.9	2929.12	Beton pecah



Gambar IV.17. Grafik konsep ultrasonik – tekanan uji

Pengujian selanjutnya dilakukan menggunakan perikon data elektronik untuk mengetahui apakah alat tersebut sudah berfungsi. Grafik IV.18 merupakan pengujian pada beton 3. Terlihat bahwa pada tekanan sekitar 2,3 MPa beton pecah dan tekanan turun. Pada kondisi ini pengujian tidak bisa diteruskan pada siklus selanjutnya karena oli keluar dari sisi-sisi beton.

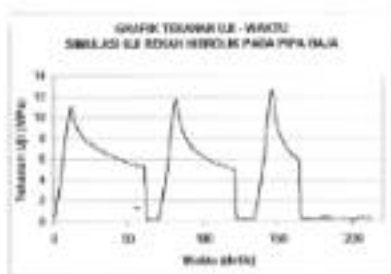


Gambar IV.18. Grafik tekanan uji – waktu pada beton (pembacaan secara manual)

Untuk mengetahui apakah perikon data elektronik dapat diterapkan pada uji rekah hidrolik, maka dibuat untuk memvisualisasikan uji rekah hidrolik pada pipa baja berdiameter 60 mm. Uji dilakukan dengan menggunakan *stroke punch* ke

dalam pipa baja, kemudian *stroke packer* tersebut dikendalikan rangkai tekanan tertentu untuk menyekat pipa baja. Setelah pipa baja sekup tersekat, tekanan uji diberikan dan diukur dengan pemakai data elektronik. Untuk meminimalkan pengaruhnya human, tekanan *stroke packer* diberikan perlahan agar tekanan uji terus sehingga didapatkan tekanan puncak (*breakdown pressure*) seperti Gambar IV.19.

Uji diulang 3 kali untuk meminimalkan sifar dalam uji ialah hidrofilik dan sekaligus untuk memastikan bahwa pemakai data elektronik dan sensor *pressure transducer* telah berfungsi. Selama simulasi uji ialah hidrofilik, data tekanan uji terus diukur oleh pemakai data elektronik dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar IV.19. Grafik yang diperoleh mengikuti grafik hasil uji ialah hidrofilik seperti pada Gambar II.16 yang menggambarkan tekanan puncak (*breakdown pressure*), tekanan penutupan saluran (*shut in pressure*) dan tekanan pembekuan saluran (*sealing pressure*) .



Gambar IV.19. Grafik tekanan uji – waktu pada pipa baja (pembekuan dengan pemakai data elektronik)

IV.2. Peralatan Emisi Akustik

IV.2.1. Persiapan Peralatan

Pengujian emisi akustik dilakukan di Laboratorium Akustika, Departemen Teknik Pertambangan IIB. Peralatan dalam pengujian emisi akustik ini terdiri dari beberapa bagian yang akan diuraikan berikut.

IV.2.1.1. Pemangkat uji emisi akustik

Pemangkat uji emisi akustik merupakan donasi dari Kyoto University, Jepang. Pemangkat uji ini terdiri dari pemangkat horok dan pemangkat korus MISTRAS 3001. Gambar IV.30 menunjukkan rangkaian pengujian emisi akustik di laboratorium.



Gambar IV.30. Peralatan pengujian emisi akustik

IV.2.1.1.1. Personal komputer

Komputer yang dapat digunakan dalam pengujian emisi akustik ini harus mempunyai spesifikasi minimal: 80486/33 MHz CPU, RAM 4 MB, free-space hardisk 230 MB, disk drive 1,44 MB, VGA card 1 MB, monitor VGA, mouse dan 2 serial port. Komputer ini dilengkapi pula dengan stabilizer yang berfungsi untuk

menstabilkan tegangan listrik. Perangkat keras dan lunak ini terdiri dari komponen eksternal dan internal, yang meliputi beberapa bagian.

IV.2.1.1.2. ADSP-3216 board dan kipas pendingin tambahan

ADSP-3216 *board* mempunyai 2 channel per board. Perangkat keras MISTRAS 2001 dibuat dengan memasang ADSP *board* dan kipas pendingin tambahan pada slot yang tersedia di *motherboard computer*.

IV.2.1.1.3. Sensor emisi akustik

Sensor emisi akustik ini biasa disebut sebagai transducer *piezoelectric* dan berfungsi untuk mengubah energi mekanik yang dibawa oleh gelombang elastik menjadi sinyal listrik (Gambar IV.21).



Gambar IV.21. Transducer *Piezoelectric*

Elemen aktif dalam transducer merupakan piringan dari material *piezoelectric*, yaitu suatu material yang mampu mengubah deformasi mekanik menjadi sinyal listrik. Piringan ini mempunyai bidang kontak dari logam pada kedua sisinya dan

dilapisi dengan silinder logam untuk mencegah interferensi elektromagnetik. Sensor mini akustik yang banyak digunakan merupakan *piezoelectric* resonansi yang terbuat dari kristal dan dan zircon yang disinter dengan material lain. Sensor mini akustik yang dimiliki ada dua buah dengan ukuran besar dan kecil yang masing-masing berdiameter 17,50 mm dan tinggi 17,23 mm serta berdiameter 4,60 mm dan tinggi 4,05 mm.

Sensor diletakkan di tengah-tengah contoh batuan (Gambar IV.21) dan ditutupi dengan semacam *contact paste*. Agar sensor dapat menempel pada contoh batuan dengan baik, maka titik dimana sensor akan ditutupi harus diratakan dan dibersihkan dahulu. Dengan demikian pemasangan sensor mini akustik yang simbol tetap dapat ditangkap dan diteruskan oleh sensor.

IV.2.1.1.4. Pre-amplifier mini akustik

Terdapat di dalamnya adalah kabel penghubung *pre-amplifier* dan komputer. *Pre-amplifier* ini berfungsi untuk memperkuat sinyal yang diperoleh dari sensor mini akustik sehingga bisa dibaca oleh komputer. *Pre-amplifier* pada output *line* pada *gain* 40 dB dan input *line* pada *single input*.



Gambar IV.22. Pre-amplifier sensor mini akustik

IV.2.1.2. Mesin kuat tekan triaksial

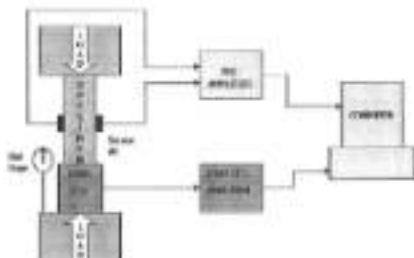
Mesin uji kuat tekan yang digunakan adalah mesin kuat tekan 'Control' Cat 25C yang mempunyai kemampuan 1500 kN (lihat Gambar IV.20).

IV.2.1.3. Load cell 300 kN dan pre-amplifier load cell

Load cell berfungsi untuk mentransfer data gaya dari mesin kuat tekan sehingga dapat dibaca komputer. Data yang dibaca oleh load cell diperkuat oleh pre-amplifier load cell kemudian dikirimkan ke komputer. Load cell yang digunakan adalah Control E 300 / II dengan kapasitas 300 kN (lihat Gambar IV.20).

IV.2.2. Sistem Transformasi Data

Dalam Gambar IV.23, data yang diperoleh dari pengujian mesin akustik terdiri dari 2 bagian yang berbeda, yaitu data tegangan dan data mesin akustik.



Gambar IV.23. Skema pengujian mesin akustik

IV.2.2.1. Data Tegangan

Pada saat pengujian mesin akustik, contoh batuan mengalami proses pemecahan oleh mesin kuat tekan. Besarnya tekanan yang diterima oleh contoh batuan

dialirasi oleh *load cell* kemudian diperkuat oleh *amplifier load cell* dan dibaca oleh komputer. Aliran data dapat dilihat pada Gambar IV.23.

IV.2.2.2. Data emisi akustik

Data emisi akustik yang terbuca oleh sensor emisi akustik akan proses pengujian akan diperkuat oleh *pre-amplifier* emisi akustik dan selanjutnya dibaca oleh komputer yang sama. Secara aliran data emisi akustik dapat dilihat dari Gambar IV.23.

IV.2.3. Setting perangkat emisi akustik

Sebelum digunakan dalam pengujian emisi akustik, perangkat lunak MESTRAS 2001 harus disetting sedemikian rupa sehingga tercipit dan data yang dihasilkan sesuai yang diharapkan serta memudahkan penggunaannya. Berikut adalah beberapa menu atau *setting program* yang biasa digunakan dalam akuisisi data emisi akustik.

IV.2.3.1. Channel Setting

Menentukan bagian yang sangat penting dalam mengatur *channel* dan sensor yang digunakan. *Emisi Akustik threshold*, *Peak Definition Time* (PDT), *Hil Definition Time* (HDT) maupun *Hil Lockout Time* (HLT) adalah variabel-variabel dalam proses pengukuran maupun kontrol sinyal emisi akustik yang dihasilkan yang bisa diatur dan disesuaikan dengan jenis material yang akan diuji.

PDT, HDT, dan HLT adalah parameter waktu dalam proses pengukuran sinyal yang nilainya bergantung kepada jenis material yang akan diuji. Untuk material komposit dan non logam PDT 20 – 50, HDT 100 – 200 dan HLT 100.

IV.2.3.2. *Signal Processing*

Proses ini mengatur gelombang selama pengujian dan memastikan feedback pemrosesan sensor terhadap gangguan noise pada saat pengujian berlangsung. *Sample rate, filter, pre-trigger* serta *panjang hit* untuk statistik merupakan variabel yang mengontrol bentuk gelombang selama proses pengujian.

Sample rate adalah laju A/DSP board menangkap gelombang per detik. *Filter* menetapkan batasan dalam menyaring gelombang akurat dari noise. *Pre-Trieger* mengatur berapa lama waktu pendataan data sebelum mencapai titik *trigger* (titik di mana *threshold* dilampaui). Sementara itu *panjang hit* berhubungan dengan ukuran gelombang.

IV.2.3.3. *Data Setting*

Data setting memberikan kemudahan untuk memilih data serta parameter-parameter yang akan diambil dan ditampilkan. *Hit setting dan time driven data* adalah parameter yang dapat diatur dalam *data setting*.

Hit setting berhubungan dengan variabel *hit event* statistik yang akan direkam selama pengujian, seperti *amplitude, energy, strain, count, locktime* serta waktu pengujian. Sedangkan *time driven data* mengontrol feedback perubahan data selama pengujian.

IV.2.3.4. *Parametric Setting*

Parametric setting digunakan untuk mengatur skala tegangan listrik yang diukur pada *input parametric*, seperti gaya atau tegangan yang bisa ditampilkan dalam besaran kN untuk gaya, maupun MPa atau psi untuk tegangan. Skala parametrik yang digunakan pada program ini adalah dengan menetapkan suatu nilai yang disebut sebagai *multipier* dan *offset*. Berikut rumusan yang digunakan dalam menetapkan *multipier* dan *offset*:

Nilai yang ditampilkan	= (volume yang diukur x Multiplier) + Offset	(IV-1)
Multiplier	= $(L1 - L2) / (V1 - V2)$	(IV-2)
Offset	= $(V1 \cdot L2 - V2 \cdot L1) / (V1 - V2)$	(IV-3)

Dengan L adalah level dan V adalah volume.

IV.2.3.5. *Graph Setting*

Data yang diperoleh dari uji emisi akustik dapat ditampilkan dalam bentuk grafik yang bisa ditampilkan 12 grafik dalam satu layar. Perambatan dan tampilan dalam masing-masing grafik dapat diatur pada grafik setiap.

IV.2.3.6. *Test Setting*

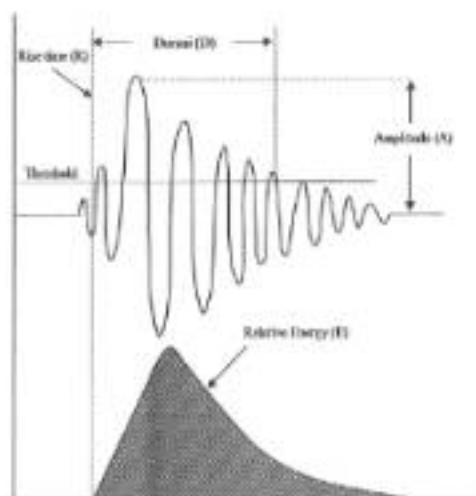
Test setting mengatur akuisisi data pengujian. Agar data yang diperoleh tersimpan dalam *hardisk*, maka harus mengaktifkan *mode* pada *test setting*. Selain itu data yang terakuisisi dapat diurut kembali setelah pengujian selesai dilakukan dengan menggunakan *replay data*.

IV.2.4. Parameter Sinyal

Sinyal yang terfusa pada pengujian emisi akustik mempunyai parameter-parameter yang biasa digunakan. Berikut adalah parameter sinyal emisi akustik (Garcia IV, 24).

1. Amplitudo, merupakan tegangan puncak tertinggi yang dicapai gelombang emisi akustik. Merupakan parameter yang sangat penting karena berhubungan langsung dengan besarnya sumber emisi.
2. Cosms (N) adalah *irradiasi* yang memotong gelombang emisi akustik.
3. *Mono*, merupakan jumlah energi atau jumlah total aktivitas emisi akustik
4. *Durasi*, adalah waktu yang dibutuhkan dari perpotongan gelombang emisi akustik yang pertama hingga yang terakhir. Parameter ini bergantung pada besarnya sumber dan dapat digunakan untuk menyaring noise.

5. *Rise time (R)*, adalah waktu yang diperlukan dari persilangan *threshold* pertama terhadap puncak sinyal.



Gambar IV.24. Parameter sinyal emisi akustik

Bab V Uji Rekah Hidrolik di Lapangan

Kegiatan lapangan di tambang emas bawah tanah Pengkor meliputi pemberian informasi, pengambilan contoh inti batuan, uji rekah hidrolik dan pengumpulan data sekunder. Pemberian informasi dilakukan untuk menyiapkan lubang bor yang akan digunakan untuk uji rekah hidrolik. Sedangkan contoh inti batuan dari lubang bor tersebut akan digunakan untuk pengujian di laboratorium seperti penentuan sifat fisik, mekanik dan awal statistik.

Uji rekah hidrolik memerlukan lubang bor berdiameter ± 60 mm dengan 3 arah pemberian yang berbeda. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat rekah hidrolik yang dirancang dan dibuat dalam penelitian ini.

Persentase lokasi pengujian didasarkan pada beberapa pertimbangan, antara lain :

1. Kondisi topografi dan struktur geologi di daerah pengujian, termasuk posisi vein. Posisi topografi dan struktur geologi tersebut dapat dijadikan dasar untuk memperkirakan kemungkinan arah tegangan prinsipal yang ada di daerah penelitian. Dengan demikian dibutuhkan agar arah lubang bor yang akan dibuat sesuai dengan perkiraan tegangan utamanya dan tidak harus tegangan minimalnya, sehingga diperoleh rekahan yang terbentuk akibat pengujian adalah rekahan longitudinal.
2. Jika memungkinkan lebih disarankan arah ketiga lubang bor yang dibuat untuk uji rekah hidrolik dapat membentuk suatu sistem sumbu yang saling tegak lurus atau dapat menuju pada satu titik pengujian.

Uji rekah hidrolik di tambang emas bawah tanah Pengkor dilakukan di dua lokasi yang berbeda (Gambar V.1), yaitu di Transwing South Caring (Lokasi rekah hidrolik I) dan di Panoyasan (Lokasi rekah hidrolik II).



Gambar V.1. Lokasi pengujian rekah hidrolik dan pengendalian outlet busan untuk pengujian outlet hidrolik

V.1. Prosedur Uji Rekah Hidrolik

1. Busan pengujian ditentukan dengan mencari bagian hilir kor yang masih ada ataupun bagian tengah yang relatif sedikit. Korder ini dapat ditentukan dari contoh ini busan hasil pemotongan dan inspeksi paku air juga dengan beberapa ukuran.
2. Tekanan di hidrolik diberikan pada *ventilasi paku*, hingga dalam hilir kor terakut dengan baik. Selama pengujian tekanan *ventilasi paku* harus lebih tinggi dari tekanan di hidrolik untuk mencegah kebocoran.

3. Port/bukaan tekanan tertutup waktu diisi/diisi dengan alat pemadam data elektronik.
4. Tekanan oli hidrolik dinaikkan secara kontinu sampai terjadi rekahan pada bukaan yang ditandai dengan penurunan tekanan secara cepat. Tekanan pecah ini adalah sebagai *breakdown pressure* (P_b – lihat Gambar V.2).
5. Pada saat terjadi penurunan tekanan, pemompaan harus dihentikan untuk mendapatkan *instantaneous Shut-In Pressure* (P_s – lihat Gambar V.2).
6. Jika grafik tekanan uji terhadap waktu telah stabil, lepaskan kembali tekanan oli hidrolik agar rekahan yang sudah terbentuk tertutup kembali.
Prosedur pada butir 4 sampai butir 6 merupakan siklus pertama.
7. Pemompaan oli hidrolik pada interval uji diulangi hingga rekahan yang sudah ada terbuka kembali, hal ini dimaksudkan untuk mencari tekanan yang melampaui tekanan yang membuat rekahan tertutup. Tekanan ini disebut sebagai *resurging pressure* (P_r – lihat Gambar V.2).
8. Setelah rekahan terbuka, tekanan oli hidrolik akan turun dengan cepat dan berhenti pemompaan untuk mendapatkan P_s .
9. Jika sudah stabil, tekanan oli hidrolik dilepaskan kembali.
Prosedur pada butir 7 sampai butir 9 merupakan siklus kedua.
10. Agar hasil rekahan dapat tercekam, sebaiknya jumlah siklus lebih dari lima kali.

V.2. Prosedur Perekaman Rekahan di Dalam Lubang Bor

V.2.1. Prosedur perekaman rekahan dengan uji *impression packer*

1. *Impression packer* ditandai dengan tanda panah yang menunjukkan arah keatas dan ke dalam lubang bor. Demikian juga ditandai bagian atas dan bawah *impression packer* serta posisi titik yang akan diuji.
2. *Impression packer* dimasukkan ke dalam lubang bor hingga daerah yang akan direkam, kemudian dipastikan posisi bagian atas dan bawah *packer* tidak berubah.

3. *Impression packer* dikembangkan pada tekanan tertentu (sekitar 3 MPa) selama 15 menit untuk mendapatkan cetakan arah rekahan.
4. Arah *impression packer* sesuai pada saat proses pencetakan (jika posisi *packer* mengalami perubahan).
5. Setelah proses pencetakan selesai, tekanan oli hidrolik dilepaskan dan *impression packer* ditarik keluar lubang bor.
6. Di permukaan, tempatkan *impression packer* sesuai arah pada waktu pencetakan. Ukur sudut yang terbentuk.

V.2.2. Prosedur perekaman rekahan dengan borehole camera

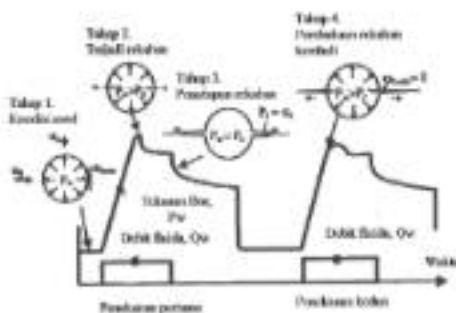
1. Setiap batang pengantar *borehole camera* ditandai dengan membuat tanda pada sudut-sudut tertentu. Dipestikan juga posisi atas dan bawahnya.
2. *Borehole camera* dimasukkan ke dalam lubang bor dengan posisi bagian atas dan bagian bawahnya tidak berubah.
3. Pada kedalaman yang diinginkan, batang pengantar *borehole camera* diputar sesuai arah yang diinginkan, kemudian data lubang bornya direkam dan posisi sudut dan arah petanya dicatat.

V.3. Mekanisme Uji Rekah Hidrolik

Seperti diketahui, teknik pengikatan tegangan in situ secara langsung dengan metode rekah hidrolik memanfaatkan rekahan yang terbentuk karena proses pemecahan hidrolik yang terjadi tepat hulu tegangan prinsipal minimum. Sebelum pemecahan, tegangan di dalam batuan berada dalam kondisi setimbang (Gambar V.2, tahap 1). Selama pengujian terjadi aliran oli hidrolik (Q_w) dan ketika terjadi pemecahan, tekanan oli hidrolik akan meningkat dan menekan dinding lubang bor secara merata hingga dinding lubang bor pecah pada bagian yang mempunyai kuat tarik paling lemah, kemudian oli hidrolik akan masuk ke dalam batuan dan mengisi rekahan yang terbentuk karena pemecahan (Gambar V.2, tahap 2). Tekanan pecah inilah yang disebut sebagai *breakdown pressure* (P_b).

Setelah selesai latihan pindah, tekanan oli hidrolik pada labang bor akan menurun dengan tajam karena perjalanan rekahan yang tidak stabil dan oli hidrolik mengisi rekahan yang terbentuk tersebut. Selanjutnya injeksi oli hidrolik difasilitasi dan alirananya ditutup dengan menutup katup pompa. Kondisi pompa diberikan tetap dalam keadaan tercekam hingga oli hidrolik mengisi rekahan yang terbentuk.

Pada saat rekahan sudah terisi penuh, tekanan mulai konstan dan disebut dengan *flow in pressure* (P_i) seperti yang terlihat pada Gambar V.2, tahap 3. Rekahan yang terbentuk dalam kondisi ini akan tetap dalam keadaan terbuka karena tetap dihisap oleh tekanan oli hidrolik dalam interval uji yang masih ada karena tekanan tidak dibebaskan. Selanjutnya katup pompa dibuka kembali untuk menambahkan tekanan sehingga tekanan turun hingga nol dan siklus pertama pengujian selesai.



Gambar V.2. Mekanisme pembaruan tekanan dalam metode rekah hidrolik.

Pada labang bor vertikal, diassumsikan tegangan vertikal adalah tegangan maksimum dan rekahan yang terbentuk tegak lurus tegangan maksimum. Dengan demikian, bidang rekahan yang terbentuk merupakan bidang normal dari tegangan horizontal minimum (σ_h), dan arahnya sama dengan tegangan horizontal maksimum (σ_H). Karena P_0 bekerja pada bidang rekahan yang terjadi, maka besarnya nilai P_0 sama dengan tegangan horizontal minimum.

Setelah siklus pertama selesai, siklus kedua dimulai untuk mendapatkan nilai *responing pressure* (P_r). Pada siklus ini, tekanan mulai berkurang, sehingga kuat tarik minimum di dinding lubang bor akan dengan nol. Oli hidrolik disuplai kembali seperti siklus sebelumnya, dan tekanan akan kembali meningkat hingga cukup tinggi untuk membuat kembali tekanan yang telah berkurang. Ketika tekanan mulai tumbuh dan bertambah panjang, tekanan akan turun dengan cepat karena oli hidrolik masuk ke dalam celahan (Gambar V.2, step 4). Tekanan pada saat kemiringan kawat mulai berubah disebut dengan *responing pressure* (P_r). Setelah beberapa saat, pemrosesan diberikan kembali untuk mendapatkan tekanan *shot in*.

Siklus-siklus selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama untuk memperoleh tekanan yang bisa direkam dengan menggunakan *barcode camera* maupun *impression packer*.

V.4. Pembuatan Data Uji Batas Hidrolik

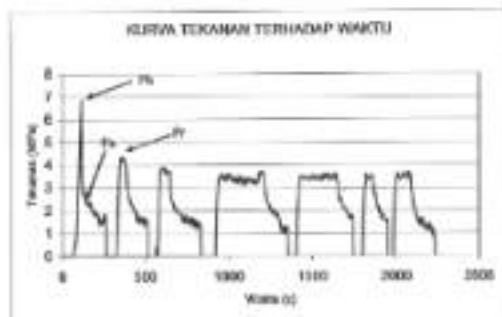
V.4.1. Kurva tekanan terhadap waktu

Dalam satu kali pengujian batas hidrolik dilakukan tujuh siklus pembebanan agar tekanan yang terbentuk cukup terlihat untuk direkam dengan *barcode camera* maupun dicetak dengan *impression packer*. Data yang diperoleh dari uji batas hidrolik adalah data tekanan uji dan waktu pengujian yang langsung dicatat secara elektrik oleh *Logger-01* selama uji berlangsung. Rekaman data ini kemudian diplot dalam bentuk grafik tekanan pengujian terhadap waktu, seperti contoh pada Gambar V.3. Nilai *breakdown pressure* (P_b), *shot-in pressure* (P_s), dan *responing pressure* (P_r) dapat ditentukan dari gambar tersebut.

V.4.2. Penentuan nilai *Breakdown Pressure* (P_b)

Breakdown pressure (P_b) adalah tekanan pada saat batuan pecah. Biasanya *breakdown pressure* merupakan tekanan tertinggi yang terjadi pada siklus pertama

yang menunjukkan bahwa rekahan telah terjadi. Tekanan ini sangat ditentukan dari grafik tekanan uji terhadap waktu, yaitu tekanan puncak pada siklus pertama pengujian (Gambar V.3).



Gambar V.3. Contoh grafik tekanan terhadap waktu hasil pengujian rekahan hidrolik pada lubang bor N 243⁰ E / S, Panyaman, kelurahan RT5an.

Haman, apabila dalam pengujian tekanan tertinggi tidak terlewat pada siklus pertama, maka harus dilakukan superposisi grafik untuk siklus yang mempunyai nilai tekanan tertinggi dan grafik siklus pertama. *Breakdown pressure* merupakan tekanan yang terjadi pada siklus yang mempunyai kemiringan lebih curam pada saat tekanan naik.

V.4.3. Penentuan Shut-in Pressure (P_s)

Shut-in Pressure (P_s) adalah tekanan penutupan rekahan yang dipertahankan agar rekahan tetap terbuka tanpa menyembuh rekahan. Dari grafik tekanan uji terhadap waktu, tekanan ini dapat ditentukan secara langsung yaitu pada titik belok saat tekanan mulai turun dengan cepat dan saat tekanan mulai konstan (Gambar V.2.). Tetapi penentuan titik belok ini sangat relatif dan berbeda-beda. Beberapa peneliti seperti Gruneth dan Kry (1981, 1982), Zoback dan Haimson (1982), Mc.Lennan dan Reegiers (1981), Doe dan Hamalid (1981), dan Mizuta (1987) menghasilkan

beberapa macam cara penentuan *shot-in pressure*. Pada akhirnya, penentuan tersebut berusaha untuk mendapatkan titik letak secara lebih akurat.

Cara penentuan yang dipakai dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan kurva tekanan terhadap waktu (dP/dt) seperti dapat dilihat pada Gambar V.4, kemudian membuat grafik dP/dt terhadap tekanan, sehingga diperoleh kurva kemiringannya. Dari kurva tersebut dibuat garis yang menunjukkan *penetration* untuk dua titik-titik hasil pemetaan. Titik letak pertama adalah nilai P_1 .

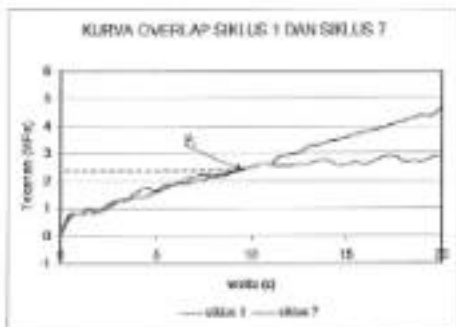


Gambar V.4. Penentuan *shot-in pressure* (P_1) menggunakan grafik dP/dt terhadap tekanan

V.4.4. Penentuan *Responing Pressure* (P_2)

Responing Pressure (P_2) adalah tekanan yang diperbelikan untuk membuka kembali rekaman. Jika ditentukan secara langsung, tekanan ini merupakan tekanan puncak pada siklus setelah siklus di mana *breakdown pressure* terjadi (Gambar V.5). Namun, seperti halnya *shot-in pressure*, ada beberapa pendapat dalam penentuan *responing pressure* ini.

Pemeriksaan *response pressure* dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan superposisi grafik pada satu skema mulai titik pada siklus di mana P_0 tercapai dengan siklus terakhir pengujian. P_0 merupakan titik dimana terjadi perbandingan antara kedua grafik tersebut (Gambar V.3).



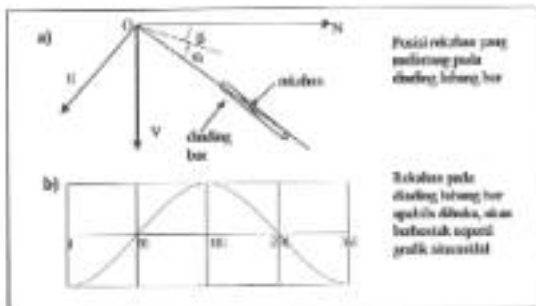
Gambar V.3. Pemeriksaan P_0 dengan cara superposisi antara grafik siklus pertama dan siklus terakhir

V.4.5. Pembahasan Relaksasi Hasil Pengujian

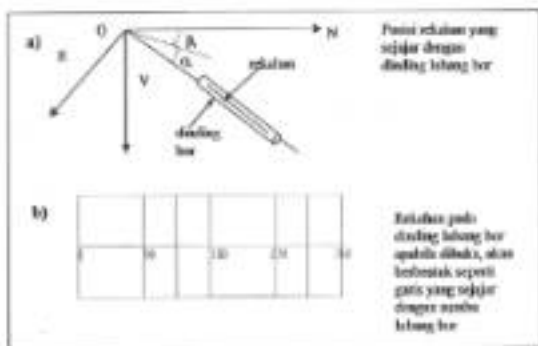
Seperti telah dijelaskan sebelumnya, relaksasi yang terbesar karena uji relaksasi hidrolik dapat dilihat dengan menggunakan *impression paper* atau *berchale camera*.

V.4.5.1. Pembahasan relaksasi dengan *Impression Paper*

Pembahasan relaksasi dengan menggunakan *impression paper* dilakukan dengan memotong lajur pemotretan yang telah ditempel pada atau bawahnya. Setelah lajur pemotretan tersebut dibuka dan dipaparkan gambar cetakan relaksasinya, maka akan terlihat gambar untuk relaksasi tersebut seperti Gambar V.6 dan untuk selakunnya terlihatlah seperti pada Gambar V.7.



Gambar V.6. a). Posisi retakan transversal di dalam lubang bus ; b). Gambar retakan transversal pada karet pemotong.



Gambar V.7. a). Posisi retakan longitudinal di dalam lubang bus; b). Gambar retakan longitudinal pada karet pemotong.

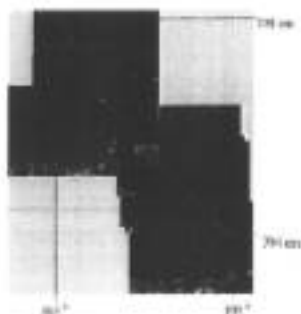
V.4.3.2. Pembacaan retakan dengan borehole camera

Selain dengan *impression plaster*, retakan dapat diukur dengan menggunakan *borehole camera*. Gambar yang terukur oleh *borehole camera* merupakan gambaran dinding lubang bus yang terukur dalam sebuah karet. Untuk

menentukan orientasi relatifnya, gambar tersebut harus disertai dengan program komputer. Pengolahan gambar dilakukan dengan menyalip gambar berskala standar. Gambar V.8. merupakan contoh hasil pengolahan gambar berskala. Potongan potongan gambar hasil pengolahan tersebut harus diarsir dan dituangkan sehingga menjadi satu gambar relatif. (Gambar V.9)



Gambar V.8. Contoh beberapa gambar relatif yang telah dipotong.



Gambar V.9. Gambar relatif yang telah digabung.

V.4.5.1. Penentuan orientasi rekahan

Setelah gambaran rekahan diperoleh secara utuh, baik dari *inspection packer* maupun dari *hardhole camera*, maka langkah selanjutnya adalah menentukan orientasi rekahannya. Pada rekahan transversal, orientasi rekahan digunakan untuk mencari arah normal bidang rekahan sehingga diperoleh arah (ψ) dan kemiringan (ϕ) normal dari bidang rekahan tersebut. Sedangkan pada rekahan longitudinal, orientasi rekahan digunakan untuk memperoleh θ , yaitu sudut yang dibentuk oleh bidang rekahan dengan sumbu yang tegak lurus terhadap sumbu bor dan mengarah ke bawah.

Gambar V.6.b menunjukkan bahwa pada rekahan transversal, jika dinding lubang bor tersebut dilukis maka gambaran yang diperoleh menyempai grafik sinusoidal. Dari grafik tersebut dapat ditentukan kemiringan serta arah rekahan relatif terhadap lubang bor. Dengan menggunakan *stereonet*, orientasi sebenarnya dari rekahan terhadap lubang bor dapat ditentukan. Sedangkan bila rekahan yang terbentuk adalah rekahan longitudinal atau rekahan yang terbentuk adalah sama dengan arah sumbu lubang bor (Gambar V.7.b), dan kemiringannya ditentukan dengan menghitung sudut rekahan tersebut terhadap lubang bor.

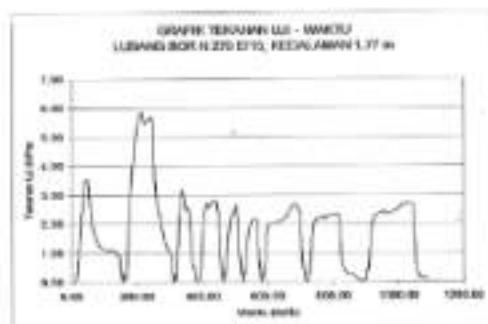
V.4.6. Data grafik tekanan terhadap waktu

Seperti telah disebutkan sebelumnya, data yang diperoleh dari pengujian rekah hidrolik adalah data grafik tekanan uji terhadap waktu pengujian. Secara tertulis, grafik hasil pengujian adalah seperti yang terlihat pada gambar V.1, dimana nilai tekanan tertinggi diperoleh pada siklus pertama, yaitu pada saat busur pecah.

Namun, dalam penelitian ini ada beberapa grafik yang menunjukkan penyimpangan dari kondisi tersebut. Dalam beberapa grafik pengujian, diperoleh tekanan tertinggi tidak terjadi pada siklus pertama, misalnya pada Gambar V.10. Kemungkinan hal ini disebabkan karena *modified packer* tidak menyekat dengan baik. Jika *modified packer* tidak menyekat dinding lubang bor dengan baik, maka

pada saat pembebanan bisa terjadi perubahan oil keluar dari interval uji. Jika ini yang terjadi, maka tekanan uji akan turun belum karena batuan pecah, namun karena oil yang memasuki keluar dari interval uji. Hal lain yang dapat terjadi adalah bahwa dinding labang dalam kawatannya tidak terlepas dari kekohesian *pre-existing cracks*, sehingga ternyata oil akan masuk ke dalam celah-celah tersebut hingga pecah sebelum masuk ke dinding hingga terbentuknya retakan yang dikehendaki.

Jika kekohesian tersebut terjadi pada siklus pertama, maka pada siklus tersebut batuan belum pecah, namun tekanan sudah turun. Pada siklus selanjutnya di mana tekanan maksimum dicapai, maka dapat dikatakan bahwa pada siklus tersebut terjadi *breakdown pressure*.



Gambar V.10. Contoh penyimpangan grafik tekanan – waktu

V.5. Lokasi Pengujian Rekah Hidrolik dan Pembooran Uji

V.5.1. Transmiring South Cikurug

Lokasi pengujian rekah hidrolik terletak di Transmiring South Cikurug. Pengujian dilakukan di Level 500 pada kedalaman sekitar 290 meter. Di Transmiring South Cikurug dilakukan pembooran uji sebanyak 7 buah labang dengan arah yang berbeda. Tabel V.1. menyajikan koordinat labang bor di lokasi Cikurug.

Uji rekah hidrolik I dilakukan pada 3 lubang bor dengan kedalaman pembooran 20 meter dan sempainya 3 arah yaitu, N 310° E /15; N 270° E /15 dan N 235° E /15. Sedangkan contoh buanyanya digunakan untuk uji erosi akustik ditambah dengan 4 lubang bor lain yaitu, N 310° E /0; N 270° E /0; N 235° E /0 dan vertikal. Gambar V.11, menunjukkan posisi dan arah pembooran yang dilakukan, sedangkan Gambar V.12 adalah sketsa alat yang menggunakan posisi 3 lubang bor.

Tabel V.1. Resume lubang bor di Tsunamiang South China

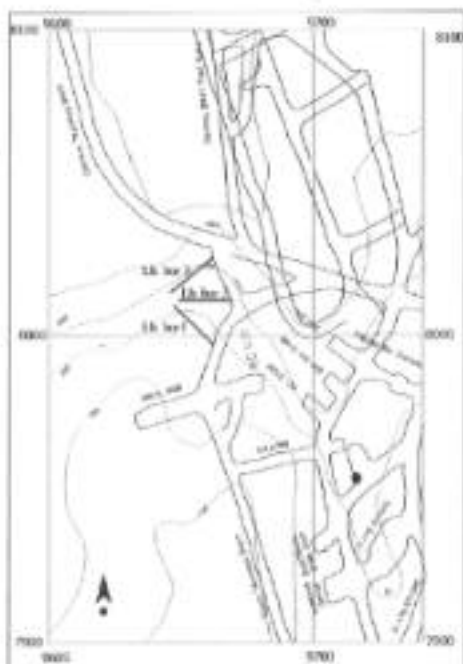
No. Lubang Bor	Arah	Koefisien			Panjang Lubang bor (m)	Keterangan
		X	Y	Z		
1	N 310 E /15	9662.396	7996.747	517.5	20	Uji HF & contoh AE
2	N 310 E /0	9662.396	7996.747	518.3	3	Contoh AE
3	N 270 E /15	9666.894	8012.679	518.2	20	Uji HF & contoh AE
4	N 270 E /0	9666.894	8012.679	517.5	3	Contoh AE
5	N 235 E /15	9662.370	8025.854	518.3	20	Uji HF & contoh AE
6	N 235 E /0	9662.370	8025.854	518.2	3	Contoh AE
7	Vertikal	9671.612	8011.288	520.3	3	Contoh AE

Keterangan: HF = rekah hidrolik
AE = erosi akustik

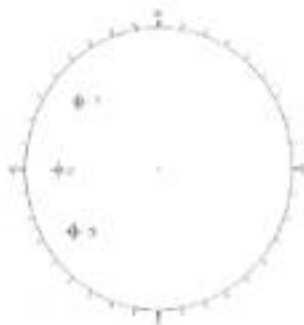
Dalam satu lubang bor, dilakukan pengujian rekah hidrolik pada 4 kedalaman yang berbeda. Namun pada lubang bor yang ke-3 (N 235 E /15) hanya bisa dilakukan satu kali pengujian pada kedalaman 1,7 meter saja karena implanisasi pener perkuasi dan tertinggal di dalam lubang bor sehingga menghalangi pengujian pada posisi selanjutnya pada lubang bor yang sama.

Data-data yang diperoleh dari uji rekah hidrolik merupakan rekaman grafik tekanan oli hidrolik terhadap waktu selama pengujian dan dari orientasi rekaman

yang diperoleh dari uji *compression jacket* dan *bursting column* Tabel V.2 memberikan hasil konversi data uji rekah hidrolik di Ciang



Gambar V.11. Arah pemukiman baru untuk uji rekah hidrolik 1 dan pengaliran untuk sistem untuk uji rekah hidrolik 1 di Ciang (modifikasi Dpt Ekspansi URPK Pengkaj)



Gambar V.12 Skematik penampang melintang weir tipe rekah hidrolik di Curing

Tabel V.2. Ringkasan data uji rekah hidrolik di Curing (Sulaksana, dkk, 2001)

Tipe Weir	Kedalaman (h_0) (m)	Orientasi Lubang (θ)		Pola dan Jenis Rekahan		Dimensi Rekahan			Tebakan Terukur (MPa)		
		α	β	L/T	R/A	h_1	h_2	h_3	P_1	P_2	P_3
1	1.3	15	110	T	R	-	25	20.1	0.51	1.30	1.01
	0.7	15	110	L	R	41.3	-	-	2.57	1.50	1.05
	7.7	15	110	T	R	-	3	117	4.51	1.50	1.01
	0.8	15	110	-	R	-	-	-	1.81	-	-
2	1.77	15	270	T	R	-	20	80	5.87	1.15	1.01
	1.91	15	270	T	R	-	33	80	4.57	1.00	2.15
	1.13	15	270	L	R	26.3	-	-	4.08	1.40	2.00
	11.3	15	270	-	R	-	-	-	4.11	0.12	2.01
3	1.7	15	225	T	R	-	33	240	1.97	1.15	2.50

Keterangan :

1 = Rekahan tegak lurus

2 = Rekahan horizontal

3 = Rekahan diagonal

4 = Rekahan lainnya

5 = Rekahan lainnya

P_1 = Tekanan positif

P_2 = Tekanan negatif (suction)

P_3 = Tekanan positif atau tidak

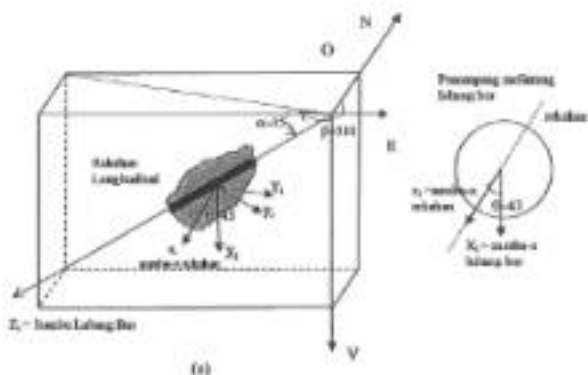
α = sudut horisontal terhadap hor

β = sudut vertikal hor

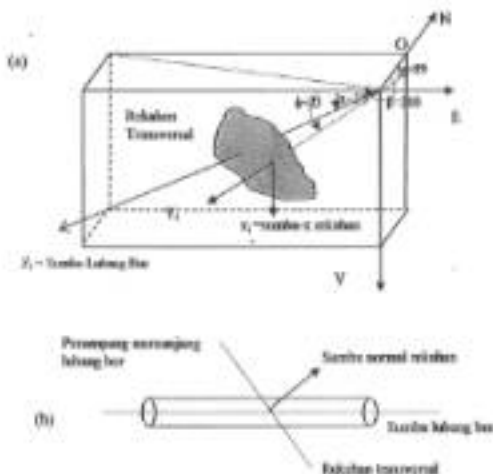
h_1 = jarak antara muka air terhadap hor dan muka rekahan

h_2 = muka muka air relatif terhadap permukaan

h_3 = jarak antara muka air relatif terhadap permukaan



Gambar V.13. Contoh ilustrasi hasil data pembacaan rakitan longitudinal
(a) gambaran 3 dimensi; (b) penampang melintang lubang bor



Gambar V.14. Contoh ilustrasi hasil data pembacaan rakitan transversal
(a) gambaran 3 dimensi; (b) penampang melintang lubang bor

V.5.2. Pameoyanan

Ukuran uji rekah hidrolik II berada di antara vein Cipaka dan vein Kelung Cima yaitu, di Pameoyanan. Seperti halnya di di Tranning South Ciang, di Pameoyanan juga dilakukan pembooran ini sebanyak 7 buah lubang dengan arah yang berbeda (Tabel V.3). Pengujian dilakukan pada kedalaman sekitar 275 m.

Tiga lubang hor digunakan untuk uji rekah hidrolik yaitu, N 160 E /-1; N 243 E /-5 dan N 247 E /-4 dan contoh batuan untuk uji erosi akustik diambil dari ketiga lubang hor tersebut di atas ditambah contoh lubang hor lain yaitu, N 160 E /10; N 243 E /10; N 247 E /10 dan vertikal. Gambar V.15 menunjukkan posisi dan arah pembooran di Pameoyanan, sedangkan Gambar V.16 adalah sketsa yang menggambarkan posisi 3 lubang bor uji rekah hidrolik.

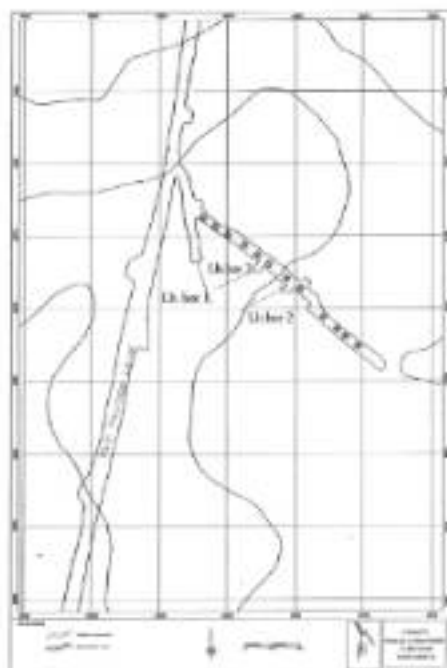
Tabel V.3. Rencane lubang bor di Pameoyanan

No. Lubang Bor	Arah	Koordinat			Panjang Lubang bor (m)	Keterangan
		X	Y	Z		
1	N 160 E /-1	10865,977	8619,929	508,851	20	Uji HF & contoh AE
2	N 160 E / 10	10865,977	8619,929	508,521	3	Contoh AE
3	N 243 E /-5	10894,887	8616,541	509,313	20	Uji HF & contoh AE
4	N 243 E / 10	10894,887	8616,541	509,013	3	Contoh AE
5	N 247 E /-4	10883,389	8663,627	508,312	20	Uji HF & contoh AE
6	N 247 E / 10	10883,389	8663,627	507,813	3	Contoh AE
7	Vertikal				3	Contoh AE

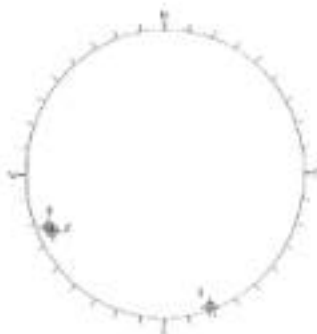
Keterangan: HF = rekah hidrolik
AE = erosi akustik

Sebagai halnya uji rekah hidrolik di Ciang, di Pameoyanan dilakukan juga beberapa uji rekah hidrolik dalam satu lubang bor. Pengambilan data di Pameoyanan juga dilakukan secara elektronik dan menghasilkan rekaman grafik

seluruh uji – waktu. Data orientasi rekahan di Panayaman semuanya dihilangkan dengan menggunakan *Aravakole* sesuai Tabel V.4. Penggambaran hasil kompilasi data uji rekah hidrolik di Panayaman.



Gambar V.13. Arah peredaran air untuk uji rekah hidrolik 2 dan penggambaran arah aliran untuk uji rekah hidrolik 2 di Panayaman (modifikasi Dep Eksplorasi UBPB Penglor)



Gambar V.16. Rencanan penampang Lubang bor uji rekah hidrolik di Purwokerto

Tabel V.1 Kumpulan data uji rekah hidrolik di Purwokerto
(Sudartono, dkk, 2004)

Lubang Bor	Koefisien K_p (m)	Orientasi Lubang Bor		Pola dan Jenis Debitasi		Orientasi Rotasi			Tekanan Terebut (MPa)		
		α	β	L/T	F/A	θ_1	θ_2	θ_3	P_1	P_2	P_3
1	1,18	-3	100	T	B	-	1	20	2,32	2,08	2,90
	1,40	-3	100	L	B	22	-	-	5,13	3,71	2,00
	10,87	-3	100	L	B	22	-	-	2,85	2,68	2,90
	11,32	-3	100	L	B	13	-	-	4,40	2,68	2,20
2	1,80	-3	240	T	B	-	23	113	2,96	2,08	1,80
	4,15	-3	240	T	B	-	23	25	4,80	3,08	2,90
	12,45	-3	240	T	B	-	51	213	5,66	3,08	2,00
	12,96	-3	240	L	B	43	-	-	3,82	2,90	2,00
3	3,25	-4	240	T	B	-	40	80	3,78	1,87	1,80
	4,90	-4	240	T	B	-	40	80	6,31	2,13	2,00
	7,95	-4	240	T	B	-	40	25	4,36	1,40	1,80
	9,80	-4	240	L	B	79	-	-	2,09	1,08	1,30

V.4. Tegangan Injeksi Hasil Uji Rekah Hidrolik

Persentase tegangan injeksi hasil uji rekah hidrolik dibandingkan dengan menggunakan persamaan II.3 hingga persamaan II.13 dalam Bab II. Data-data yang digunakan adalah data yang diperoleh dari grafik tekanan uji – waktu (P_u , P_k dan P_d) dan data rekahan (orientasi rekahan). Data rekahan yang digunakan merupakan kombinasi dari rekahan yang dihasilkan dalam uji rekah hidrolik. Hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan kombinasi rekahan adalah bahwa kombinasi yang diberikan sedapat mungkin melibatkan pengujian di tiga bidang hor yang berbeda; setiap rekahan longitudinal akan menghasilkan tiga persamaan dan setiap rekahan transversal menghasilkan satu persamaan rekahan. Menurut Minors (1987) untuk menentukan besarnya tegangan injeksi diperlukan minimal 7 persamaan yang diperoleh dari kombinasi rekahan-rekahan tersebut. Dari persamaan tersebut akan diperoleh nilai tegangan σ_{xx} , σ_y , σ_z , τ_{xy} , τ_{yz} , dan τ_{xz} yang merupakan tegangan pada arah selatan, timur, vertikal, selatan-timur, timur-vertikal dan vertikal-selatan.

Dengan menggunakan rekahan longitudinal dan rekahan transversal, dan dengan melakukan perkalian matrik berikut.

$$\{B\} = [A] \times \{\sigma\} \quad (V.1)$$

dengan matriks $\{B\}$ adalah matriks $n \times 1$ dan matriks $[A]$ adalah matriks $n \times 6$, serta $\{\sigma\}$ adalah vektor dengan matriks 6×1 , maka untuk mencari nilai matriks $\{\sigma\}$ diperlukan tahapan sebagai berikut.

$$\{\sigma\} = \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \end{bmatrix} = \frac{[A]^T [A]^{-1} \times [A]^T \times \{B\}}{[A]^T [A]} \quad (V.2)$$

Tabel V.5 merupakan nilai tegangan σ_{xx} , σ_y , σ_z , τ_{xy} , τ_{yz} , dan τ_{xz} di Caring dan Perenyatan sebagai hasil uji rekah hidrolik.

Tabel V.5. Tegangan hasil uji rekah hidrolik di Citarug dan Pamoyanan

Tegangan (MPa)	Lokasi	
	Citarug	Pamoyanan
σ_u	3,62	2,49
σ_v	0,61	6,41
σ_y	1,88	6,50
τ_{xy}	-0,73	-0,55
τ_{yx}	0,83	1,44
τ_{xy}	-0,79	-0,023

Bab VI Penentuan Karakteristik Batuan dan Uji Keras Akustik di Laboratorium

VI.1. Penentuan Karakteristik Batuan

Pengujian untuk penentuan karakteristik batuan yang dilakukan di laboratorium adalah sifat fisik dan sifat mekanik batuan. Contoh batuan hasil pengeboran inti baik dari lokasi Ciurug maupun Panayuran dibawa ke laboratorium Geoteknika Departemen Teknik Pertambangan ITS untuk dilakukan pengujian sifat fisik, dinamik, dan mekanik. Selain terhadap contoh batuan, pengujian juga akan dilakukan pada contoh beton yang dibuat di laboratorium.

VI.1.1. Sifat Fisik

Sifat fisik yang diuji dalam penelitian ini adalah bobot isi, kandungan air, derajat kejenuhan, porositas dan void ratio. Hasil pengujian sifat fisik beton dan batuan dari Ciurug dan Panayuran dapat dilihat pada Tabel VI.1.

VI.1.2. Sifat Dinamik

Uji sifat dinamik menggunakan cepat rambat gelombang ultrasonik dalam batuan. Jika batuan mempunyai porositas yang besar maka cepat rambat gelombangnya kecil. Karena pengaruh media penghantarnya cukup besar, maka agar hasil pengujian lebih akurat, bidang kontak antara transduser dan contoh batuan diusahakan rapat dan tidak menimbulkan rongga udara. Untuk mengatasi masalah ini, digunakan vaselin sehingga transduser benar-benar menempel pada contoh batuan.

Sifat dinamik batuan ditentukan dengan pengujian cepat rambat gelombang ultrasonik (*ultrasonic velocity*) dalam contoh batuan dengan alat PUNDIT (*portable ultrasonic non destructive test*). Uji ini dilakukan sebelum uji kuat tekan triaksial. Tabel VI.2 menunjukkan data kecepatan rambat gelombang hasil uji ultrasonik di Ciurug dan Panayuran. Data cepat rambat gelombang contoh

batuan yang diuji mempunyai perbedaan yang kecil (tidak signifikan). Hal ini menunjukkan bahwa contoh batuan tersebut relatif seragam.

Tabel VI.1. Sifat fisik beton dan batuan dari Curug dan Pamoyanan

No.	Contoh Uji	Densitas (gr/cm ³)	Kadar Air (%)	Porositas (%)	Void Ratio (%)
BETON					
1	Beton 1 dan 2	1,67	6,65	0,28	0,38
2	Beton 3 dan 4	1,79	10,65	0,32	0,47
BATUAN CURUG					
1	N 310 E / 0	2,28	0,41	0,33	0,18
2	N 270 E / 0	2,24	1,08	0,34	0,16
3	N 235 E / 0	2,18	0,67	0,34	0,16
4	Vertikal	2,29	0,65	0,33	0,13
5	N 200 E / 15	2,28	1,07	0,33	0,13
6	N 200 E / 15	2,32	0,34	0,33	0,13
7	N 235 E / 15	2,37	0,39	0,33	0,12
BATUAN PAMOYANAN					
1	N 160 E / -1	2,2	1,27	0,16	0,28
2	N 243 E / -3	2,15	0,73	0,15	0,18
3	N 247 E / -4	2,18	1,31	0,15	0,18
4	Vertikal	2,19	2,54	0,14	0,18
5	N 160 E / 10	2,19	4,28	0,13	0,18
6	N 243 E / 10	2,23	1,42	0,11	0,13
7	N 247 E / 10	2,06	3,18	0,14	0,18

Tabel VI.2. Cepat rambat gelombang ultrasonik contoh batuan Curug dan Pamoyanan

CURUG		PAMOYANAN	
Lubang Bor	Cepat rambat Ultrasonik (m/det)	Lubang Bor	Cepat rambat Ultrasonik (m/det)
N 310 E / 15	4068	N 160 E / -1	3990
N 310 E / 15	4029	N 160 E / 10	4700
Vertikal	4235	Vertikal	4220
N 270 E / 15	4075	N 243 E / -5	4112
N 270 E / 15	4543	N 243 E / 10	4930
N 235 E / 15	3930	N 247 E / -4	3744
N 235 E / 15	4227	N 247 E / 10	4402

VI.1.3 Sifat Mekanik

Pengujian yang dilakukan untuk menentukan sifat mekanik bahan sebelum pengujian kuat tekan uniaksial, uji tarikstat, dan uji Brazilien. Dalam kondisi ini uji kuat tekan uniaksial harus dilakukan sebelum uji ensai elastik. Selain untuk mengetahui kuat tekannya, uji ini dimaksudkan untuk mengetahui batas elastik rata-rata sehingga perbedaan tegangan dalam uji ensai elastik masih berada pada daerah elastiknya.

VI.1.3.1. Kuat Tekan Uniaksial

Dari uji kuat tekan uniaksial dengan mesin tekan 'Control' Cat 250C yang mempunyai kemampuan 1300 kN (Garber IV.20) akan diperoleh kurva tegangan-tegangan. Sifat mekanik yang didapat dari pengujian ini adalah kuat tekan uniaksial, batas elastik, Modulus Young dan nilai Poisson. Hasil uji kuat tekan uniaksial beton dan contoh batuan dari Cianjur dan Pangajenean dapat dilihat pada Tabel VI.3.

VI.1.3.2. Uji Brazilien

Uji Brazilien merupakan uji tarik tek langsung untuk menentukan kuat tarik suatu contoh batuan. Contoh batuan yang dapat berbentuk silinder dengan panjang silinder biasanya lebih kecil dari diameternya (Jaeger & Cook, 1971) yaitu tinggi : diameter = 0,5. Uji Brazilien dilakukan pada contoh beton dan contoh batuan dengan hasil seperti pada Tabel VI.3.

VI.2. Pengujian Ensil Akustik di Laboratorium

Uji ensai akustik merupakan pengujian untuk menentukan tegangan in situ secara tidak langsung. Pada saat contoh batuan diambil dari suatu batuan, terjadi proses pembebasan tegangan (*stress release*). Namun contoh batuan tersebut masih

menyimpan memori tegangan (*stress memory*) yang pernah diterimanya yang dapat dibandingkan kembali dengan uji erosi akustik. Uji dilakukan dengan memberikan beban secara siklik pada contoh beton dan dipantau dengan erosi akustik. Pembebanan dilakukan dalam 7 siklus yang bervariasi tergantung dari kekuatan beton pada masing-masing lobang bor.

Tabel VI.3. Hasil uji kuat tekan uniaxial dan uji Brizilian pada contoh beton dan contoh busan dari Curing dan Pemojangan

No	Contoh	Kuat Tekan Uniaxial (MPa)	Modulus Young (MPa)	Nisbah Poisson	Kuat Tarik (MPa)	Brittleness Index
BETON						
1	Beton 1 dan 2	11.12	2691	0.25	1.32	8.42
2	Beton 3 dan 4	9.24	1664	0.33	0.65	14.22
BATEAN CIURING						
1	N 310 E / 15	29.14	3910	0.23	4.97	5.90
2	N 270 E / 15	36.75	12547	0.34	4.11	13.81
3	N 235 E / 15	32.27	3957	0.29	3.88	8.32
4	Vertikal	29.89	10672	0.12	4.91	6.09
5	N 310 E / 102	37.12	6816	0.25	4.8	7.58
6	N 270 E / 102	43.84	8069	0.33	5.24	8.37
7	N 235 E / 102	26.88	5390	0.13	3.37	7.98
BATEAN PAMOJANGAN						
1	N 160 E / 1	39.75	10948	0.26	5.52	10.82
2	N 243 E / 3	54.52	13626	0.25	6.43	8.48
3	N 242 E / 4	34.72	6170	0.25	6.05	5.74
4	Vertikal	33.48	7282	0.27	6.36	5.26
5	N 160 E / 10	38.47	5336	0.23	8.72	3.47
6	N 243 E / 10	39.36	10799	0.25	4.72	8.38
7	N 242 E / 10	34.91	5917	0.24	5.18	6.74

VI.2.1. Prosedur pengujian erosi akustik

Prosedur pengujian erosi akustik terdiri dari beberapa tahapan yang meliputi persiapan contoh busan, persiapan peralatan, persiapan program komputer hingga kalibrasi. Berikut adalah uraian prosedur pengujian.

1. Contoh uji dipersiapkan dan diperiksa apakah memenuhi persyaratan dimana sebagai contoh uji ($L/D = 2$).

2. Persiapan pemasangan kerangka transducer-contoh dan penempelan transducer :
 - 2.1. Contoh busan dijepit dengan catok, kemudian persiapkan tempat menempelnya transducer diratakan dengan menggunakan kikir besi. Usahakan luas permukaan yang rata sama dengan luas permukaan transducer yang dipasukan.
 - 2.2. Solder dipanaskan, *contact paste* diberikan dan ditatakan pada permukaan kerangka dengan menggunakan solder, kemudian transducer ditempelkan selagi *contact paste* masih cair.
 - 2.3. Contoh busan dilepaskan dari catok untuk diletakkan pada mesin tekan.
3. Pelebaran contoh di mesin tekan.
 - 3.1. Contoh busan diletakkan tepat ditengah mesin tekan, kemudian mesin tekan dinyalakan.
 - 3.2. Contoh busan dipastikan telah menempel pada pelat penekan atas dengan sempurna.
 - 3.4. Mesin dimatikan pada saat pelat penekan sudah tidak dapat digoyangkan.
4. Persiapan uji mini akustik
 - 4.1. Peralatan yang akan digunakan dalam pengujian mini akustik dipersiapkan dan disetel seperti Gambar IV.26.
 - 4.2. Arus listrik dihubungkan ke komputer dan *load cell amplifier*, kemudian seluruh alat dinyalakan.
 - 4.3. Kalibrasi alat dilakukan dengan mengurut *Channel Signal Processing Parametric setup*.
 - 4.4. Kalibrasi harga busan *loadcell* dilakukan agar yang tampil di komputer sesuai dengan nilai tegangan yang dialami contoh busan. Kalibrasi dilakukan setiap kali perubahan. Cara mengkalibrasi dengan memberikan nilai *Multiplier* dan *Offset*. Awalnya diberikan nilai *multiplier* = 1 dan *offset* = 0. Mesin tekan dinyalakan dan nilai tegangan yang terbaca pada pressure gauge (I_0) dan tegangan yang terbaca pada Mintra 2001 (V_0) dicatat sebanyak minimal 4 tingkat tegangan, kemudian mesin tekan dimatikan. Nilai *Multiplier* dan *Offset*

dibitung, kemudian dimasukkan ke dalam parameter setiap. Pembahasan dilangi untuk memastikan nilai benar *loadcell* dan Mistra 2001 telah sama.

4.5. *Autolam pada start menu diaktifkan.*

5. *Akuisisi data*

5.1. *Format dan directory penyimpunan file data dan file gambar pada menu directory setting dibuat.*

5.2. *Tombol F9 ditekan, kemudian nama file dituliskan dan tombol OK ditekan sampai muncul tampilan grafik.*

5.3. *Biasan tegangan pada komputer dipantikan telah sama dengan beban tegangan pada pressure gauge.*

5.4. *Tombol start pada keyboard komputer ditekan bersamaan dengan menekan motor mesin kuat tekan.*

5.5. *Pembahasan dilakukan sampai pada tingkat torsirotasi yang tidak melewati batas elastik control.*

5.6. *Mein tekan dimatikan bersamaan dengan menekan tombol F9.*

5.7. *Tekanan diberikan dengan komputer sama dengan kecepatan pembahasan sampai tekanan kembali ke 0.*

5.8. *Pembahasan dilangi minimal 3 kali dengan tingkat pembahasan meningkat pada pembahasan selanjutnya.*

6. *Me-Display data*

6.1. *Tombol F10 ditekan, kemudian nama file yang akan display dipilih dan tombol ok ditekan.*

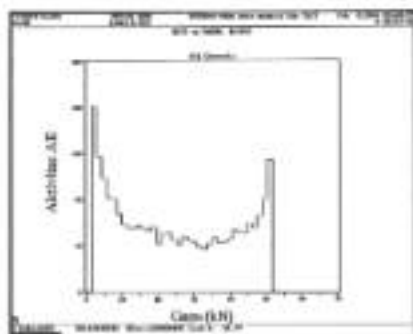
6.2. *Setelah me-display data, grafik yang akan diakuisisi dipilih dan diperbesar dengan mengaktifkan zoom tool menggunakan tombol kanan pada mouse. Lalu tombol F5 ditekan.*

6.3. *Tombol F10 ditekan untuk keluar dari menu display.*

VI.2.2. *Data Uji Rami Akustik*

Data yang dihasilkan dari uji rami akustik berupa grafik-grafik dan data yang menyatakan hubungan antara beban terhadap *cross*, beban terhadap *fat*, beban terhadap energi, *fat* terhadap waktu, dan lain-lain. Namun yang digambarkan dalam

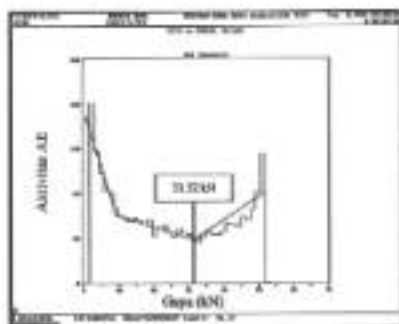
analisis tegangan listrik adalah grafik beban (kN) dan jumlah aktivitas emisi emisi akustik (kHz), seperti contoh grafik pada Gambar VI.1.



Gambar VI.1. Grafik keluaran program Misteis 2001

Dari grafik-grafik yang ada, dapat dilihat bahwa pada awal pembebanan, aktivitas emisi akustik terbaca sangat tinggi dan cenderung menurun dengan naiknya tingkat pembebanan. Tingginya aktivitas emisi akustik di awal pembebanan ini bisa disebabkan oleh besarnya kebisingan karena getaran alat kuat tekan yang cukup kuat, posisi kabel yang tidak stabil dan karena tidak stabilnya tegangan listrik yang digunakan.

Jika dibandingkan dengan kurva Boyce dan dengan mengabaikan aktivitas emisi akustik pada awal pembebanan, maka sebagian besar data emisi akustik (Lampiran F) menunjukkan bahwa kurva mengikuti pola Boyce tipe IV. Hal ini ditunjukkan dari kurva emisi akustik yang rata-rata hanya mempunyai dua kemiringan yang menggambarkan fase penstabilan rekahan dan propagasi rekahan stabil (Gambar VI.2). Karena pengujian tidak dilakukan hingga hancur penuh, maka fase runtuh tidak terlihat.



Gambar VI.2. Pembacaan efek Kaiser secara grafis

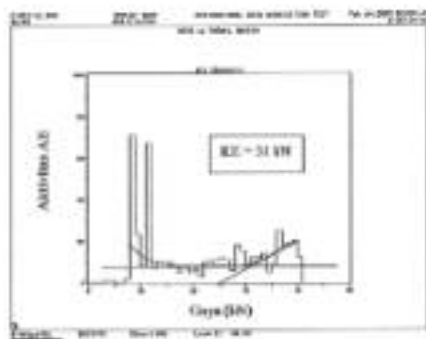
VI.2.3. Pembacaan Efek Kaiser

Peningkatan aktivitas emisi akustik dalam uji emisi akustik yang mengindikasikan tegangan yang pernah diterimanya disebut dengan efek Kaiser. Belum ada metode khusus untuk menentukan posisi efek Kaiser secara tepat. Pada saat ini metode yang digunakan untuk pembacaan efek kaiser dilakukan secara grafis. Biasanya tegangan pada saat efek Kaiser muncul diperoleh dari titik kelengkungan kurva pada saat terjadi kenaikan aktivitas emisi akustik. Namun bisa juga dilakukan dengan menentukan titik potong antara dua buah garis kemiringan.

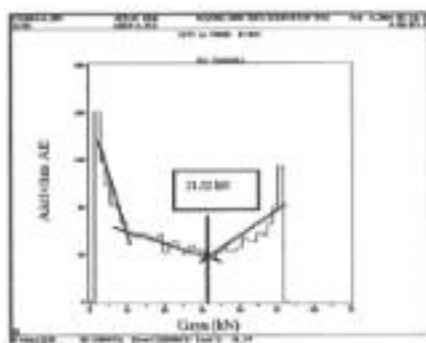
VI.2.4. Akuisisi Data Pengujian Emisi Akustik

Dari pengujian emisi akustik, akan diperoleh data-data antara lain *hit*, beban (tekanan), waktu, energi dan lain-lain. Data yang diperoleh dari pengujian tersebut berupa grafik-grafik, yang sebelumnya bisa diartikan terdapat di dalam, misalnya grafik *hit* terhadap beban, *hit* terhadap waktu, energi terhadap waktu dan lain-lain.

Gambar VI.3 dan Gambar VI.4 adalah salah satu contoh grafik hasil pengujian mini akustik yang berupa grafik antara beban dan *Acoustic Emission* dari contoh balok yang diambil dari Chang dan Panayiotou.



Gambar VI.3. Grafik hasil uji emisi akustik pada balok bar N 310/12 15 Chang, Siklus 2



Gambar VI.4. Grafik hasil uji emisi akustik pada balok bar N 160/8 4-1 Panayiotou, Siklus 5

Dalam pembuatan tegangan insitu, grafik yang berperan penting adalah grafik la emisi akustik terhadap pertambahan. Dari grafik ini akan diperoleh beberapa hal antara lain tegangan pada saat efek Kaiser muncul yang berarti menunjukkan apakah contoh beton tersebut masih mempunyai *stress memory*.

VL3. Data Emisi Akustik Contoh Batuan dari Ciurug dan Pamoyanan

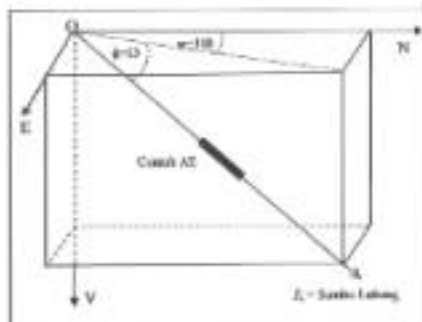
Pengujian emisi akustik contoh batuan Ciurug dilakukan terhadap 35 contoh batuan yang diambil dari 7 buah lubang bor dengan arah yang berbeda. Sedangkan uji emisi akustik pada contoh batuan dari Pamoyanan dilakukan pada 48 contoh batuan. Tabel VL4 berikut ini menunjukkan hasil uji emisi akustik di Ciurug dan Pamoyanan.

Tabel VL4. Arah dan kemiringan lubang bor serta tegangan pada saat efek Kaiser muncul (Hurtani, 2004; Rai, dkk, 2004)

Lubang Bor	CIURUG			PAMOYANAN		
	Kemiringan (°)	Arah (°)	$\sigma_k = KE$ (MPa)	Kemiringan (°)	Arah (°)	$\sigma_k = KE$ (MPa)
1	15	310	38,01	-1	160	19,97
2	0	310	19,71	10	160	21,74
3	15	270	13,02	-5	243	21,93
4	0	270	13,78	10	243	21,84
5	15	225	13,77	-4	247	23,75
6	0	225	14,84	10	247	20,40
7	90	8	11,66	90	0	19,18

VL4. Tegangan Insitu Hasil Uji Emisi Akustik

Perhitungan tegangan insitu dengan metode emisi akustik dilakukan dengan menggunakan persamaan (II.47) dan (II.48) pada Bab II. Data yang digunakan adalah data tegangan pada saat efek Kaiser muncul seperti yang ditunjukkan dalam Tabel VI.4.



Gambar VI.5. Contoh ilustrasi arah hasil perhitungan uji erosi akustik

Tabel VI.5 merupakan hasil perhitungan tegangan inersia dengan menggunakan uji erosi akustik di Corang dan Pameoyanan.

Tabel VI.5. Tegangan inersia hasil uji erosi akustik di Corang dan Pameoyanan

Tegangan (MPa)	Lokasi	
	Corang	Pameoyanan
σ_x	21,17	16,83
σ_y	16,15	26,44
σ_z	11,63	19,87
τ_{xy}	-2,88	-3,25
τ_{yz}	2,14	5,28
τ_{zx}	8,37	-1,97

Bab VII. Formulasi Numerik untuk Pemetaan Tegangan Injeksi

Metode numerik merupakan salah satu alternatif dalam penyelesaian masalah-masalah yang berhubungan dengan rekayasa bahan. Metode ini sudah berkembang dengan cepat selama tiga dekade terakhir sejalan dengan berkembangnya teknologi komputer. Sebelum perkembangan teknologi komputer, masalah-masalah yang berkaitan dengan struktur dan kestabilan bahan dianalisis hanya berdasarkan *rule of thumb*, beberapa empirik, metode analitis, metode observasi, model fisik dan prosedur *trial and error*.

Rule of thumb biasanya berdasarkan pengalaman engineer sebelumnya dan hasil analisisnya cenderung *average* serta pada dasarnya bisa diterapkan pada kondisi yang hampir sama (Boer, dkk, 1999). Karena itu, banyak masalah dapat terjadi jika kondisi yang dihadapi saat ini berbeda dengan kondisi sebelumnya. Prosedur *trial and error* adalah dengan mencoba menentukan nilai tertentu, kemudian program dieksekusi. Jika hasil yang diperoleh tidak sesuai, maka dicoba untuk menentukan nilai tertentu lagi. Dengan demikian, prosedur ini menjadi sangat tidak efisien dan bisa membutuhkan waktu yang sangat lama.

Berdasarkan hal itu, untuk menghasilkan pemecahan masalah yang lebih efektif dengan hasil yang mempunyai tingkat kepercayaan lebih tinggi maka metode numerik harus dikombinasikan dengan observasi dan pengukuran lapangan serta digabungkan dengan metode analitis.

VIII. Macam Metode Numerik

Salah satu metode yang digunakan dalam menyelesaikan masalah dengan permodelan numerik adalah Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*), Metode Elemen Batas (*Boundary Element Method*) dan Metode Elemen Diskrit (*Discrete Element Method*). Berikut penjelasan untuk metode elemen hingga dan metode elemen batas yang digunakan dalam penelitian ini.

VII.1.1. Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

Metode ini merupakan metode yang paling populer dan telah diaplikasikan pada sejumlah masalah pada bidang yang berbeda. Biasanya metode ini digunakan untuk menyelesaikan masalah beban – deformasi (*load – deformation*).

Pada dasarnya, metode ini membagi benda menjadi elemen-elemen yang lebih kecil dengan bentuk segitiga atau segiempat dalam kasus dua dimensi atau tetrahedron dan kotak pada kasus tiga dimensi. Elemen-elemen itu tetap terhubung pada titik (*nodes*) di setiap sudut elemen. Semakin banyak jumlah elemen yang digunakan, semakin bagus hasil aproksimasinya. Perpindahan dihitung pada titik, sedangkan tegangan dihitung pada satu atau atau lebih titik di dalam elemen. Setiap elemen dapat mempunyai sifat fisik dan sifat mekanik yang berbeda.

Kesulitan metode ini adalah memerlukan data yang detail khususnya pada problem tiga dimensi dan perhitungan matrik, dan dalam eksekusinya program ini memerlukan waktu yang lama. Kelebihan metode ini adalah sangat populer di kalangan ahli geoteknik, fleksibel dan dapat menangani semua tipe pembebanan, konstruksi dan penempatan penyangga.

VII.1.2. Metode Elemen Batas (*Boundary Element Method*)

Dibandingkan dengan metode elemen hingga, metode ini kurang fleksibel, tidak cukup mudah untuk dipahami dan memerlukan tingkat penalaran matematika yang cukup kompleks.

Dalam metode elemen batas, bagian yang dianalisis adalah permukaan benda atau massa bahan yang dibagi ke dalam bagian-bagian yang lebih kecil. Untuk kasus dua dimensi, elemennya berbentuk garis (*line element*), sedangkan untuk kasus tiga dimensi, diperlukan elemen bidang. Data yang diperlukan relatif sederhana, namun menjadi lebih rumit jika terdapat material yang berbeda. Di samping itu jika ada sejumlah lapisan dengan sifat fisik dan mekanik yang berbeda maka data

yang harus disiapkan menjadi lebih kompleks. Metode elemen basis sangat efisien untuk material yang homogen, dan elastik linear.

VII.2. Permodelan untuk Penentuan Tegangan Isotia

Permodelan numerik yang dilakukan dalam penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan besar dan arah tegangan asli (*virgin stress*) dan tegangan terangsang (*induced stress*) pada daerah penelitian, yang kemudian akan dibandingkan dengan hasil dari uji rekah hidrolik dan uji emisi plastik. Selain itu, distribusi tegangan di sekitar daerah penelitian juga akan dapat diketahui dengan permodelan numerik ini.

Tabel VII.1. Metode numerik

METODE	KETERIHATAN	KEKURANGAN
Metode Elemen Hingga (<i>Finite Element Method</i>)	• Fleksibel • Dapat menangani semua tipe pembebanan • Bisa digunakan dalam penyelesaian masalah beban - defleksi	• Memerlukan data yang cukup kompleks • Rumit dalam pembuatan mesh • Memerlukan waktu lama dalam klasifikasi program
Metode Elemen Batas (<i>Boundary Element Method</i>)	• Data cukup sederhana • Sangat efisien utk material yang homogen dan elastik linear • Lebih efektif untuk program tiga dimensi	• Kurang fleksibel • Memerlukan pemadanan matematika yang kompleks • Cukup rumit jika terdapat material berbeda
Metode Elemen Diskret (<i>Discrete Element Method</i>)	• Efektif untuk memodelkan bidang diskontinu	• Waktu untuk perhitungan sangat lama • Harus teliti dalam pemakaian data

Dengan mempertimbangkan kelebihan dan kekurangan dari masing-masing metode, maka digunakan metode elemen hingga untuk memodelkan tegangan asli dan metode elemen batas untuk memodelkan tegangan terangsang.

Permodelan numerik dalam penelitian ini dibagi menjadi 2 tugas permodelan.

1. Permodelan Tahap I. Merupakan permodelan untuk penentuan tegangan awal (*virgin stress*) yang menggambarkan distribusi tegangan inisial sebelum dilakukan penggalan. Metode yang digunakan dalam tahap ini adalah metode elemen hingga (FEM).

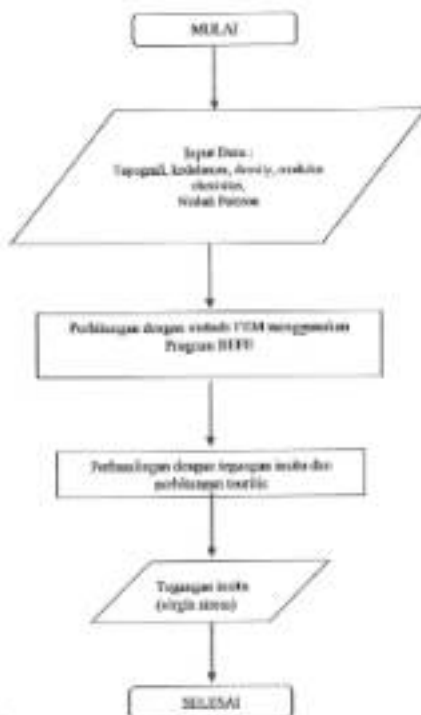
Pada permodelan ini, data standar merupakan data topografi daerah penelitian. Metode hingga dipilih karena cukup fleksibel. Meskipun cukup rumit dalam pembuatan mesh, namun karena model hanya berdasarkan kondisi topografi daerah tersebut, maka mesh yang dibuat juga akan cukup sederhana. Selain itu pembebanan yang dilakukan juga tidak rumit karena hanya dipengaruhi oleh lapisan batuan penutup di atasnya.

2. Permodelan tahap II dilakukan sebagai analisis balik (*back analysis*) dan untuk mendapatkan distribusi tegangan inisial karena pengaruh penggalan. Input yang digunakan adalah nilai tegangan awal yang diperoleh dari hasil pengukuran tegangan inisial menggunakan uji relak hidrolik di lokasi pengukuran. Pada tahap ini digunakan metode elemen batas (BEM).

Karena untuk mendapatkan tegangan terpasang memerlukan garbuan model yang cukup rumit, maka akan lebih efektif jika digunakan metode elemen batas karena penggambaran *mesh*-nya juga menjadi lebih sederhana. Selain itu metode ini dipilih karena lebih efektif untuk memodelkan tiga dimensi.

Program yang digunakan dalam permodelan numerik tegangan inisial ini adalah program BIFE (Beer, 1999). Program ini digunakan karena kemampuannya untuk memodelkan secara tiga dimensi. Selain itu, program ini juga dapat digunakan dengan metode elemen hingga (FEM) maupun elemen batas (BEM).

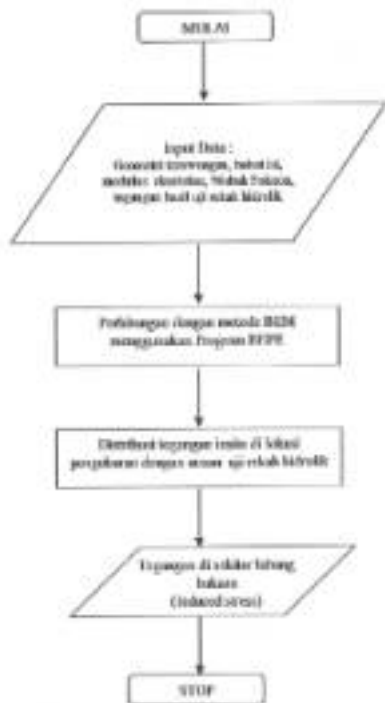
Gambar VII.1. dan Gambar VII. 2 adalah bagian awal permodelan numerik untuk model *virgin stress* (tahap I) dan memodelkan *isochron stress* (tahap II) yang dilakukan.



Gambar VII.1. Bagas alir permodelan numerik tahap I

VII.3. Permodelan Numerik untuk Penentuan Virgje Stress (Tahap I)

Permodelan numerik *virgje stress* dilakukan untuk memperkirakan besar dan arah tegangan in situ yang terjadi pada suatu titik di dalam massa butiran sebelum adanya gangguan aktivitas penggalian.



Gambar VII.2. Diagram alir penelitian menurut tahap II

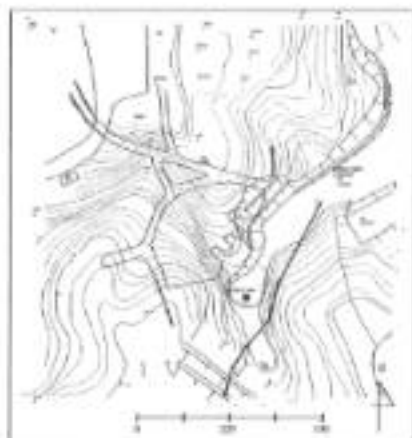
Perencanaan dilakukan pada dua lokasi penelitian di tambang emas bawah tanah Pengkon, yaitu di Ciang dan Panayawan. Pada lokasi tersebut juga telah dilakukan pengukuran tanggapan kritis dengan uji rekab hidrolik dan uji aerasi alamiah.

VIII.3.1. Input Perencanaan

Input yang digunakan dalam perencanaan adalah topografi daerah penelitian, kondisi tanah dan kondisi perkebunan, bobot isi, residual stabilitas dan residual Pemas

VIII.3.1.1. Topografi dan geometri areal

Topografi yang disediakan adalah topografi di area lokasi penelitian dengan luas wilayah yang disediakan adalah 900 m x 900 m (810 km²) untuk Ciang dan 800 m x 800 m (640 km²) untuk Pasayapan. Gambar VII.3 dan Gambar VII.4 menunjukkan gambaran peta kontur daerah yang akan disediakan.



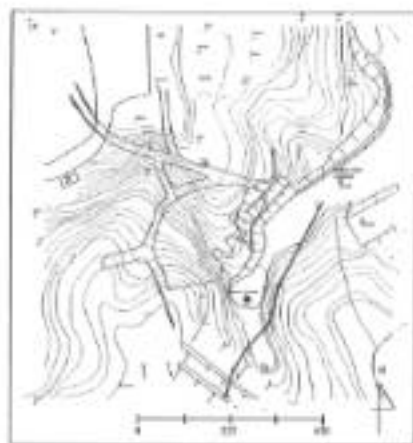
Gambar VII.3 Peta topografi daerah Ciang

VII.3.1. Input Permodelan

Input yang digunakan dalam permodelan adalah topografi daerah penelitian, kondisi batas dan kondisi penutupan, beban air, modulus elastisitas dan rasio Poisson.

VII.3.1.1. Topografi dan geometri mesh

Topografi yang dimodelkan adalah topografi di area lokasi penelitian dengan luas wilayah yang dimodelkan adalah $900 \text{ m} \times 900 \text{ m}$ ($0,81 \text{ km}^2$) untuk Caring dan $850 \text{ m} \times 850 \text{ m}$ ($0,7225 \text{ km}^2$) untuk Panoyanari. Gambar VII.3 dan Gambar VII.4 merupakan gambaran peta kontur daerah yang akan dimodelkan.



Gambar VII.3 Peta topografi daerah Caring

Penggambaran *mesh* dilakukan dengan membagi topografi tiga dimensi kebas daerah tersebut menjadi elemen-elemen segiempat yang lebih kecil. Penggambaran *mesh* dilakukan dari elevasi 0 m hingga elevasi tertinggi dalam wilayah yang dimodelkan. Kerapatan *mesh* semakin kecil ke arah permukaan.



Gambar VII.4. Peta topografi daerah Paramayana

VII.3.1.2. Sifat fisik dan mekanik material

Dalam pemodelan tegangan asli ini kondisi massa batuan dianggap homogen, elastik dan isotrop. Data yang menjadi masukan bagi pemodelan dapat dilihat dalam Tabel VII.2 berikut ini.

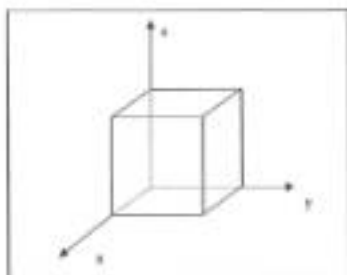
Tabel VII.1. Data masukan pemodelan numerik

SIFAT MATERIAL	LOKASI	
	CIBUG	PAMOVANAN
Bobot isi (ton/m^3)	3,270	2,179
Modulus Elastisitas (MPa)	6000	3500
Nisbah Poisson	0,25	0,23

VII.3.1.1. Kondisi Batas Model dan Kondisi Persebaran

Kondisi batas yang digunakan dalam pemodelan dapat dilihat pada Gambar VII.5 yaitu sebagai berikut:

- pada bidang $x-z$ diasumsikan tidak terjadi perpindahan horizontal ke arah y .
- pada bidang $y-z$ diasumsikan tidak terjadi perpindahan horizontal ke arah x .
- pada bidang $x-y$ diasumsikan tidak terjadi perpindahan vertikal ke arah $-z$.



Gambar VII.5. Kondisi batas model tiga dimensi

Pemodelan tahap 1 ini menggunakan kondisi persebaran gravitasi yang bergantung pada bobot isi dan topografi daerah model.

VII.3.2. Keluaran Model

Hasil keluaran proses perhitungan dari Program BEFE adalah tegangan, baik tegangan normal, geser maupun tegangan prinsipalnya. Dengan menggunakan transformasi tegangan, maka akan diperoleh tegangan dalam arah 0° sampai 90° seperti tercantum dalam Tabel VII.3. Tabel tersebut merupakan hasil pemodelan Tahap 1 di daerah Cirug dan Panoyanan yang menggambarkan kondisi tegangan asli di daerah tersebut.

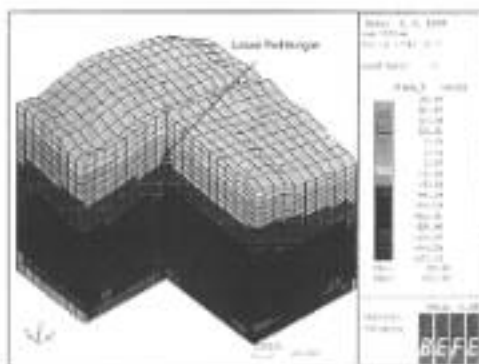
Tabel VII.3. Tegangan asli hasil pemodelan numerik di Cirug dan Panoyanan.

Tegangan (MPa)	Cirug	Panoyanan
σ_x	2,13	1,21
σ_y	1,92	1,34
σ_z	6,48	4,62
τ_{xy}	0,0048	0,00089
τ_{yz}	-0,32	-0,482
τ_{zx}	0,15	0,237

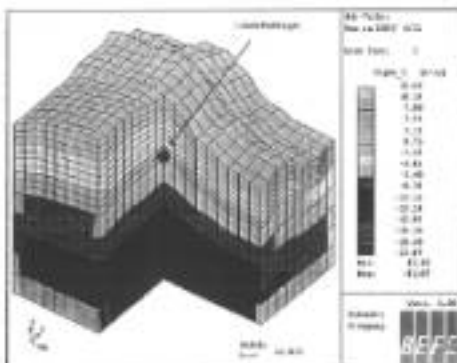
Catatan :

Dalam Program BEFE, tanda tegangan akan adalah positif, sedangkan tegangan tarik positif. Tegangan dalam Tabel VII.3 sudah dirombakkan menjadi tegangan tekan positif dan tegangan tarik negatif.

Grafik VII.6 dan Grafik VII.7 merupakan kontur tegangan pada arah sumbu-Z (tegangan vertikal) di Cirug dan Panoyanan.



Gambar VII.6. Model tegangan inersia tiga Dimensi 3D Gedung



Gambar VII.7. Model tegangan inersia tiga dimensi di Persegi panjang

VII.4. Permodelan Numerik Untuk Penentuan *Induced Stress* (Tahap II)

Permodelan numerik tahap II digunakan sebagai analisis lebih dan terperinci untuk mendapatkan gambaran mengenai distribusi tegangan di daerah penelitian akibat pengapalan. Hasil permodelan tegangan ini merupakan gambaran distribusi tegangan di lokasi pengapalan uji rekah hidrolik.

Permodelan tegangan tanggapi dilakukan dengan menggunakan metode elemen batas (*boundary element method*) tiga dimensi dengan model *BEM one region*, di mana tidak terdapat bidang diskontinuitas.

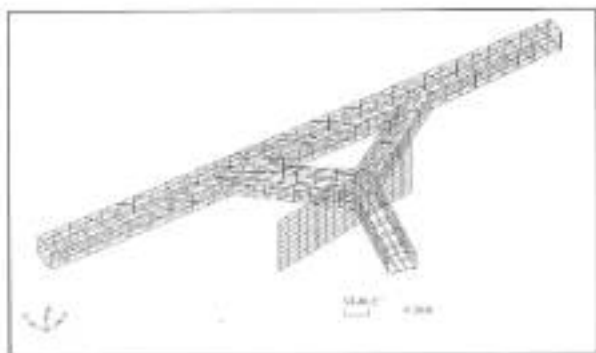
VII.4.1. Input Permodelan

Model yang digunakan dalam permodelan tegangan tanggapi adalah geometri terowongan tiga dimensi, kondisi pembebanan, beban isi, modulus elastisitas dan nilai Poisson.

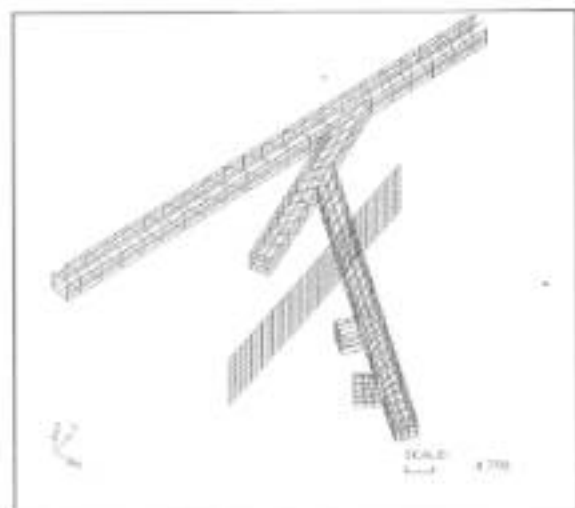
VII.4.1.1. Geometri model

Permodelan dimulai dengan pembuatan *mesh* dengan memodelkan geometri terowongan di lokasi penelitian. Dimensi terowongan dalam model adalah lebar 4 meter dan tinggi sekitar 4,3 meter. Penampang terowongan berbentuk trapzoidal. Terowongan yang digambarkan terdiri dari drift dan terowongan menerus yang menggunakan *Main Roadway* (MR).

Pada penggambaran terowongan yang menerus, digunakan *eight node boundary element* di ujung terowongannya. Element *eight* ini menggambarkan bahwa terowongan tersebut merupakan terowongan yang sangat panjang dan menerus. Gambar VII.8 dan Gambar VII.9 adalah mesh dari terowongan di Carang dan Peroyaman.



Gambar VII.8. Geometri dan mesh terowongan di Chirag



Gambar VII.9. Geometri dan mesh terowongan di Panayotis

VII.4.1.2. Data sifat fisik dan material batuan

Model elemen batuan yang digunakan adalah model DEM *one region* dengan asumsi kondisi massa batuan homogen, elastik dan isotrop. Seperti halnya model tegangan awal, model tegangan terganggu juga menggunakan data masukan dalam Tabel VII.2.

VII.4.1.3. Kondisi perbatasan dan tegangan awal

Kondisi perbatasan adalah *excavation* (penggalian) di sepanjang terowongan yang dimodelkan. Data masukan untuk tegangan awal (*virgin stress*) merupakan data yang diperoleh dari uji rekah hidrolik (Tabel V.5). Data tersebut dinormalisasikan terlebih dahulu dari nomor ONIV ke nomor x , y , z dalam model.

VII.4.2. Keluaran Model

Hasil keluaran model perhitungan merupakan gambaran tegangan di permukaan terowongan. Untuk mengetahui tegangan dalam massa batuan di sekitar terowongan, maka dibuat elemen *dummy* di daerah yang ingin diketahui kondisi tegangannya. Elemen *dummy* ini hanya membantu menggambarkan hasil perhitungan di daerah yang diinginkan dan tidak mempengaruhi hasil proses.

Pada model di Citarum dan Panoyaran, elemen *dummy* dibuat pada massa batuan di lokasi tempat dilaksanakan uji rekah hidrolik dan uji erosi akustik. Lokasi pengujian rata-rata di atas 3 kali jari-jari. Tabel VII.4 berikut ini adalah tegangan hasil pemodelan di lokasi pengujian rekah hidrolik.

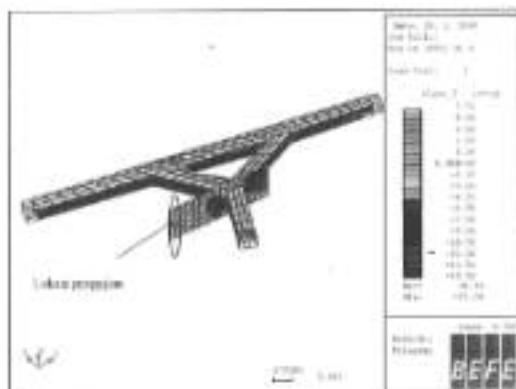
Gambaran distribusi tegangan di sekitar terowongan dan di dalam elemen *dummy* dapat dilihat pada Gambar VII.10 dan Gambar VII.11.

Tabel VIII.4. Tegangan benang pada pemrosesan tekstil di Caring dan Puncung.

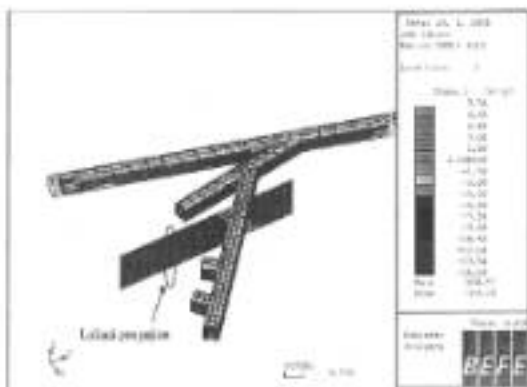
Tegangan (MPa)	Clamping	Posttension
σ_1	3.31	3.36
σ_2	0.34	0.28
σ_3	3.29	4.32
σ_4	0.32	-0.34
σ_5	1.01	1.22
σ_6	-0.41	-0.68

© 2004 Blackwell Publishing Ltd

Indeks Program BPP, maka program akan lebih unggul, sehingga program lebih profil. Program Indeks Tabel TET akan diberikan reward program akan profil dan akan lebih unggul.



Quadrat VII 11) Raster distribusi tegangan vertikal hasil pemrosesan DEM area sekitar di daerah Catur.



Geometrik VII.11. Kurva ditelaah tegangan normal hasil pemrosesan HCM dari region di dalam Permukaan

Bab VIII Analisa Hasil Uji dan Penentuan Tegangan Insitu

VIII.1. Sifat Fisik dan Dinamik Batuan di Lokasi Penelitian

Uji sifat fisik dilakukan untuk menentukan bobot isi asli, porositas, dan kadar air. Sifat fisik batuan dapat mempengaruhi perilaku batuan tersebut jika dikenai suatu uji tertentu. Sebagai contoh, kecepatan rambat gelombang dalam batuan dipengaruhi oleh porositas batuan tersebut. Batuan dengan porositas tinggi berarti mempunyai rongga rongga yang lebih banyak daripada yang berporositas rendah, sehingga rambatan gelombang akustik tertinggal karena gelombang akan melewati media yang berbeda. Maka, pada batuan yang berporositas tinggi, ada kemungkinan gelombang akustik yang dihamburkan (karena proses fisis selama penetrasi dan pembekuan rekahan, propagasi rekahan rekasi, deformasi material, tumbukan, dan pemadatan) tidak diterima dengan baik oleh sensor erisi akustik.

Hasil pengujian sifat fisik, batuan dari lokasi Ciurug dan Pamoyanan mempunyai bahwa bobot isi berkisar $2,2 \text{ ton/m}^3$ dan porositasnya sekitar $0,13 \% - 0,15 \%$. Meskipun porositas batuan Ciurug dan Pamoyanan hampir sama, namun rongga batuan di Pamoyanan lebih banyak diisi oleh air dibandingkan dengan di Ciurug. Hal ini dapat dilihat dari perhitungan kadar air di Ciurug rata-rata berada di bawah 1% sedangkan kadar air di lokasi Pamoyanan lebih tinggi daripada di Ciurug, yaitu rata-rata di atas 1% .

Uji sifat dinamik menunjukkan cepat rambat gelombang ultrasonik dalam batuan. Jika batuan mempunyai porositas yang besar maka cepat rambat gelombangnya kecil. Karena pengaruh media perambatannya cukup besar, maka uji hasil pengujian lebih akurat, bidang kontak antara transducer dan contoh batuan diusahakan rapat dan tidak membentuk rongga udara. Untuk mengatasi masalah ini, digunakan vaselin sehingga transducer benar-benar menempel pada contoh batuan.

Data output statistik golongkan contoh batuan yang diuji menunjukkan perbedaan yang kecil (tidak signifikan). Hal ini menunjukkan bahwa contoh batuan tersebut relatif seragam.

VIII.1. Sifat Mekanik

Hasil uji kuat tekan uniaxial contoh batuan menunjukkan bahwa batuan di lokasi pengujian Ciarug dan Pansoyan mempunyai kuat tekan berkisar antara 26 MPa – 39 MPa dan modulus elastisitas antara 5 GPa – 13 GPa. Menurut Deere dan Miller (1966) berdasarkan kuat tekannya, batuan dengan kuat tekan berkisar 26 MPa – 55 MPa termasuk dalam kategori D (*Low Strength*) yaitu batuan dengan kekuatan yang rendah (lihat Tabel VIII.1)

Tabel VIII.1. Klasifikasi batuan berdasarkan kekuatan (Deere & Miller, 1966)

Kelas	Deskripsi	Kuat Tekan Uniaxial (MPa)	Deskripsi Batuan
A	Very high strength	> 220	Kuarsa, diabase, ultragranit
B	High strength	110 – 220	batu metamorf krist., batu pasir, shale krist., serpentinit, basalt, diorit
C	Medium strength	55 – 110	Shale, konglomerat dan batu lain berpasir, batuan metamorf
D	Low strength	28 – 55	Batuan beku dan basaltoid muda, tufa, lempung, batuan terlapukan
E	Very low strength	< 28	

Kuat tekan uniaxial contoh batuan dipengaruhi oleh faktor internal (densitas, kadar air, porositas dan void ratio) dan faktor eksternal (perbandingan tinggi dan diameter contoh batuan, gesekan antara pelat perekam dan contoh batuan, laju perbetuan, dan suhu ruangan). Faktor internal seperti densitas, kadar air, porositas dan void ratio sangat mempengaruhi kuat tekan uniaxial dari contoh batuan. Densitas semakin besar akan meningkatkan nilai kuat tekannya, sedangkan

kuat tekan akan semakin kecil dengan meningkatnya kadar air, porosititas dan void ratio contoh batuan.

Contoh batuan dari Citarug dan Panayuan mempunyai *density* dan porosititas yang hampir sama, sedangkan kadar air di Panayuan lebih tinggi. Selain teori kuat tekan di Panayuan lebih kecil daripada di Citarug, namun hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan batuan di Panayuan lebih tinggi. Dengan materi laja pembersihan pada saat pengujian sama, maka kemungkinan tidak adanya perbedaan contoh batuan bisa menjadi penyebab mengapa kuat tekan batuan di Citarug lebih kecil.

Dalam penelitian isi uji kuat tekan triaksial harus dilakukan sebelum uji uniaxial. Selain untuk mengetahui kuat tekannya, uji ini dimaksudkan untuk mendapatkan batuan elastik rata-rata sehingga pemberian tegangan dalam uji uniaxial masih berada pada daerah elastiknya.

Selain uji kuat tekan triaksial, dilakukan pula uji kuat tarik tak langsung (Brazilian). Hasil uji ini berupa nilai kuat tarik tak langsung yang bisa dibandingkan dengan nilai kuat tarik langsung di lapangan yang diperoleh dari uji rekah hidrolik.

Nilai kuat tekan dan kuat tarik batuan bisa dibandingkan yang disebut dengan nilai *brittleness index* yang merupakan ke-*brittle-ness* suatu (*rock strength*). Semakin tinggi nilai *brittleness index* semakin *brittle* batuan tersebut dan semakin kecil kemampuan untuk menahan tekanan.

Hasil pengujian contoh batuan dari Citarug dan Panayuan menunjukkan *brittleness index* contoh batuan rata-rata berkisar di bawah 9. Hanya ada 2 lubang bor yang menunjukkan *brittleness index* di atas 9. Menurut kriteria *brittleness index* Gehring (1992) seperti pada Tabel VIII.2, batuan di kedua tempat tersebut dapat dikatakan sebagai batuan yang *weak*.

Tabel VIII.2. Kriteria batasan dari brittleness index (Gichang, 1992)

<i>Brittleness Index</i>	Kriteria
< 9	tough
9 – 15	normal
> 15	brittle

VIII.3. Perbandingan Hasil Pengujian

Dari pengikutan tegangan dengan menggunakan uji retak hidrolik, uji erosi akustik dan dari perbandingan numerik tegangan insitu, dapat diketahui nilai tegangan insitu di Clarang dan Panayuran untuk masing-masing metode. Tabel VIII.3 berikut ini merupakan kompilasi nilai tegangan yang diperoleh dalam arah Utara, Timor, Vertikal beserta tegangan gesernya. Tegangan hasil pengukuran tersebut akan dibandingkan tensor tegangan yang akan digunakan sebagai perhitungan tegangan prinsipal.

Tabel VIII.3. Kompilasi tegangan insitu hasil pengujian dengan uji retak hidrolik dan uji erosi akustik.

Tegangan (MPa)	Clarang		Panayuran	
	HF	AE	HF	AE
σ_x	3,62	21,17	2,49	16,83
σ_y	0,81	16,15	4,11	26,44
σ_z	3,48	11,63	4,5	19,87
τ_{xy}	-0,72	-2	-0,55	-1,25
τ_{yz}	0,83	2,14	1,44	5,28
τ_{zx}	-0,79	0,57	-0,023	-1,97

Dalam Tabel VIII.3 tersebut terlihat bahwa terdapat perbedaan nilai tegangan di antara metode langsung dan metode tidak langsung. Perbedaan tersebut dapat terlihat pada nilai tegangan insitu hasil uji erosi akustik.

Pada dasarnya metode retak hidrolik merupakan metode pengukuran secara langsung & lapangan. Sedangkan tegangan yang diindikasi dapat

merepresentasikan kondisi sebenarnya yang dialami oleh mata batuan akibat gaya-gaya yang bekerja di dalamnya antara lain adalah gaya tektonik, gaya akibat kehadiran bidang diskontinuitas, kondisi topografi, gravitasi, erosi dan sebagainya. Karena itu, hipotesis awal menyatakan bahwa nilai tegangan yang dihasilkan dari uji rekah hidrolik dimasukkan lebih mendekati kebenaran.

Pemodelan numerik terdiri dari dua bagian. Pada bagian pertama pemodelan numerik memodelkan tegangan asli (*virgile stress*). Pemodelan ini hanya memperhitungkan nilai tegangan yang bekerja pada suatu titik dalam mata batuan akibat gaya gravitasi dan kondisi permukaan topografi. Hasil pemodelan numerik bagian pertama menggambarkan distribusi tegangan asli di daerah pengukuran sebelum ada aktivitas penggalan.

Pada pemodelan numerik tahap I, nilai tegangan horizontal yang dihasilkan dari pemodelan numerik lebih kecil dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan uji rekah hidrolik dan uji erosi akurat. Kondisi ini bisa disebabkan bahwa pada pemodelan tegangan asli berlaku kondisi *lateral constraint* yang tidak memungkinkan bekerjanya gaya-gaya lateral pada pemodelan. Sebaliknya, pada kondisi sebenarnya gaya-gaya lateral ini cukup berpengaruh.

Pemodelan numerik tahap II dilakukan untuk mengetahui distribusi tegangan di sekitar lokasi pengukuran karena adanya aktivitas penggalan. Input model ini merupakan tegangan yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan uji rekah hidrolik yang telah ditransformasikan ke dalam sumbu x , y , z . Tabel VIII.4 berikut ini merupakan nilai tegangan yang dihasilkan dari pemodelan numerik di lokasi uji rekah hidrolik. Dari tabel tersebut terlihat bahwa tegangan vertikal dan tegangan arah timur yang dihasilkan oleh pemodelan mirip dengan hasil uji rekah hidrolik.

Tabel VII.4. Tegangan hasil pemodelan numerik di lokasi uji rekah hidrolik di Ciang dan Pameoyanan

Tegangan (MPa)	Ciang	Pameoyanan
σ_x	3,99	3,26
σ_y	0,54	4,28
σ_z	3,77	4,12
τ_{xy}	-6,32	-6,74
τ_{yz}	1,01	1,72
τ_{zx}	-6,67	-6,08

Pengukuran tegangan pada lokasi lokasi pengujian menunjukkan bahwa hasil emisi akustik sangat jauh berbeda dibandingkan dengan hasil pengukuran rekah hidrolik, pemodelan numerik dan perhitungan tegangan vertikal secara teoritis. Pada dasarnya emisi akustik merupakan rekaman pergeseran dari rekaman rekahan mikro yang ada di dalam batuan. Pada saat tegangan yang diberikan melebihi tegangan yang pernah diterimanya, maka akan terjadi pembentukan rekahan mikro baru yang menyebabkan meningkatnya aktivitas emisi akustiknya yang menunjukkan tegangan yang pernah diterimanya.

Banyak faktor yang mempengaruhi hasil uji emisi akustik, di antaranya adalah,

a. Kondisi contoh batuan

Kondisi contoh batuan dapat mempengaruhi pembentukan gelombang. Selain bentuk, ukuran, dan ketebalan contoh, yang dapat digabungkan dalam kondisi contoh batuan antara lain kondisi permukaan kontak antara contoh batuan dan transduser emisi akustik yang relatif kasar. Permukaan kontak yang kasar dapat mengurangi energi yang ditransmisikan ke transduser sehingga mengurangi akurasi pengukuran.

b. Laju pembebanan

Hasil uji emisi akustik akan lebih akurat jika laju pembebanan yang diberikan konstan. Untuk itu dalam pengujian diperlukan *servo control* untuk mengatur laju pembebanan. Dalam pengujian ini laju pembebanan

dilakukan secara manual sehingga tidak dapat dipastikan apakah injeksi kawat atau tidak. Kondisi ini menyebabkan kurang akuratnya hasil uji cinkin akustik.

a. **Medan kontak**

Perjalanan gelombang ultrasonik dari cangkuk ke transduser akan sangat terbantu jika antara cangkuk busan dan transduser diberi suatu medium kontak (cairan pembersih) untuk menutupi rongga-rongga udara yang ada. Jika diantara transduser dengan busan diberikan tumpukan kontak (terbapat rongga udara), maka energi yang ditransmisikan akan berkurang, sehingga tidak mampu dideteksi oleh transduser. Karena itu dibutuhkan transduser ditempatkan secara tepat untuk mengurangi rongga udara. Dalam penelitian ini digunakan semacam pasta khusus untuk menempelkan transduser ke permukaan cangkuk.

d. **Posisi transduser**

Agar rekaman mikro yang terbentuk dapat tertangkap dengan baik oleh transduser, maka dibutuhkan kedua transduser diletakkan lebih dekat terhadap lokasi rekaman mikro yang akan terjadi. Posisi yang digunakan adalah kedua transduser terletak pada satu garis dalam sel yang busan dan di tengah-tengah cangkuk. Dengan posisi dalam satu garis busan maka transduser dapat mendeteksi ultrasonik dalam jarak yang terdekat dan efek Kaiser yang muncul lebih jelas terlihat dalam grafik aktivitas emisi akustik.

e. **Gedaran**

Gedaran mesin tekan yang digunakan dalam pengujian ini sangat besar sehingga menimbulkan kebisingan yang cukup besar. Gedaran tersebut sangat mempengaruhi hasil yang didapatkan karena efek Kaiser yang terjadi tidak dapat terlihat dengan jelas. Untuk mencegah ini perlu mengalihbenai filter yang sesuai pada pre-amplifier dan perangkat lainnya.

f. *Latensi waktu tunggu*

Waktu tunggu adalah waktu yang dihitung sejak batuan diambil dari lubang bor hingga dilakukan uji emisi akustik. Penelitian Nakamura dkk. (2003) di tambang Kamatah, Jepang, menemukan bahwa pengujian emisi akustik yang dilakukan 5 hari setelah pengambilan contoh batuan akan menghasilkan nilai tegangan in situ yang berbeda jauh dibandingkan dengan pengujian yang dilakukan 60 hari setelah pengambilan contoh batuan.

Dari beberapa faktor yang mempengaruhi hasil uji emisi akustik tersebut, faktor (a) hingga faktor (e) merupakan faktor yang berhubungan dengan aksi pengujian, sedangkan faktor waktu tunggu merupakan faktor yang berhubungan langsung dengan kondisi batuan. Setiap batuan mempunyai karakteristik yang berbeda dan akan mempunyai waktu tunggu yang berbeda pula. Karena itu penting dilakukan pengujian emisi akustik untuk waktu tunggu yang berbeda-beda untuk mendapatkan karakteristik pengaruh waktu tunggu pada batuan di lokasi pengujian.

VIII.4. Pengujian untuk mengetahui pengaruh waktu tunggu

Untuk mengetahui pengaruh waktu tunggu terhadap uji emisi akustik pada batuan tufi breksi, maka dilakukan uji emisi akustik dengan waktu tunggu yang berbeda-beda, yaitu waktu tunggu 2, 5, 14, 30, 45 hari. Contoh batuan diambil dari lokasi pengujian Ciang dengan arah lubang bor $N 341^{\circ} E / 1^{\circ}$. Hasil pengujian emisi akustik pada contoh batuan tersebut dengan waktu tunggu yang ditetapkan dapat dilihat pada Tabel VIII.5. Dalam tabel tersebut ditunjukkan bahwa nilai efek Kaiser rata-rata muncul setelah siklus 1. Nilai inilah yang dicatat sebagai nilai tegangan yang dirasakan oleh batuan.

Nilai tegangan pada sumbu efek Kaiser muncul digambarkan dalam sebuah grafik terhadap waktu tenggunya. Agar grafik tersebut dapat digunakan sebagai referensi, maka nilai tegangan pada sumbu efek Kaiser muncul dinormalisasi dengan membaginya dengan nilai tegangan pada waktu tunggu 2 hari. Penelitian waktu

waktu 2 hari ini didasarkan pada pertimbangan bahwa waktu tunggu 2 hari merupakan waktu tunggu yang paling cepat dan paling mungkin dilakukan untuk mengambil orotek batang di lapangan dan membawanya ke laboratorium untuk pengujian orotek akustik. Hasil normalisasi tegangan hasil pengujian dapat dilihat pada tabel VIII.6, sedangkan Gambar VIII.1 menunjukkan grafik normalisasi tegangan terhadap waktu tunggu.

Tabel VIII.5. Tegangan pada saat efek Kaiser muncul pada pengujian orotek akustik untuk mengetahui pengaruh waktu tunggu

Waktu tunggu (hari)	Nilai tegangan maksimum KD Ciriak Satuan (MPa)							
	ujian 1	ujian 2	ujian 3	ujian 4	ujian 5	ujian 6	ujian 7	ujian 8
2			6,06					
4					3,86		3,83	
5			3,55			3,39		
		4,38			4,18			
7			6,96	8,36		7,68		
10	8,64	8,86						
12					9,4			
14			10,21	9,32				
15			11,35					

Data pengujian pada waktu tunggu 140 hari, diperoleh dari pengujian orotek akustik di Ciurug. Dari grafik tersebut ditarik regresi yang menghubungkan antara waktu tunggu dan tegangan pada saat efek Kaiser muncul. Terlihat bahwa pengaruh waktu tunggu mengikuti persamaan logaritmik sebagai berikut :

$$y = 95,599 \ln(x) + 33,207 \quad (\text{VIII.15})$$

Keterangan :

- y = Persentase perbandingan tegangan maksimumnya efek Kaiser waktu tunggu x hari dengan tegangan maksimumnya efek Kaiser waktu tunggu 2 hari
- x = waktu tunggu

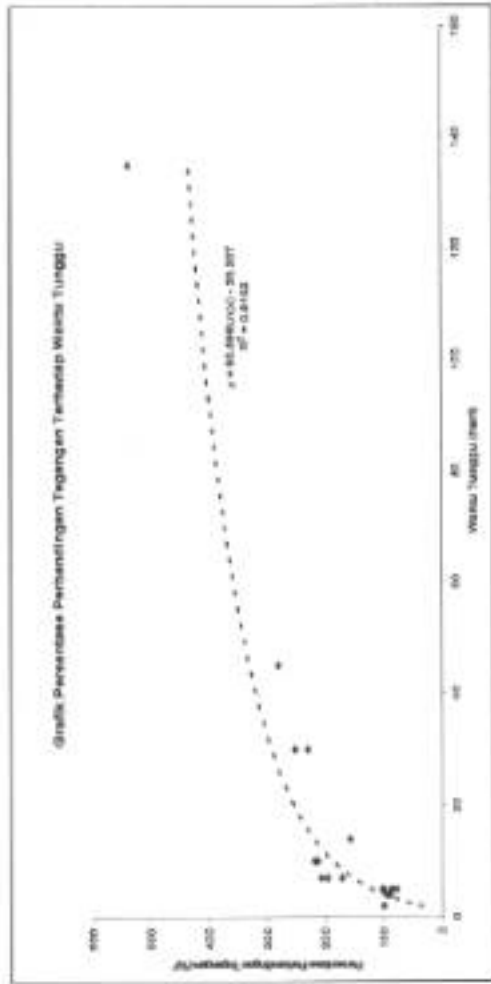
Tabel VIII.6. Normalisasi tegangan pada saat efek Kaiser muncul pada pengujian erosi akustik untuk mengetahui pengaruh waktu tunggu

Waktu tunggu (hari)	Persen Perbandingan Tegangan pada Contoh Batuan (%)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2			100,00					
4					94,58		83,41	
5			87,44			78,37		
7		100,49			102,86			
10	212,81	218,23	171,43	206,63		196,55		
14					137,64			
30			251,48	229,58				
43			279,56					

Pengujian untuk mengetahui pengaruh waktu tunggu ini menunjukkan bahwa *stress memory* tidak hanya ada ketika relatif singkat. Untuk mengetahui berapa lama *stress memory* ada ketika masih terespon, maka dilakukan transformasi tegangan hasil uji erosi hidrolik ke arah baris $N \ 341 \ \text{N} / \text{cm}^2$. Untuk pengontrolan kontrol, tegangan sampai waktu tunggu 5 hari dibandingkan dengan tegangan tegangan awal yang diperoleh dari uji erosi hidrolik. Dari hasil transformasi tegangan ini dari uji erosi hidrolik didapatkan hasil sebesar 3,73 MPa. Hal ini mendekati nilai yang diperoleh dari uji erosi akustik hingga waktu tunggu 5 hari.

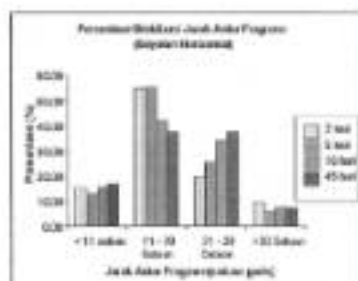
Sampai waktu tunggu 5 hari, efek Kaiser muncul pada saat contoh batuan diberi tegangan sebesar 3,18 MPa sampai 4,19 MPa. Dari persentase terhadap waktu tunggu 2 hari terlihat bahwa tegangan pada saat efek Kaiser muncul masih berkisar 100 %. Ini berarti bahwa bisa dikatakan sampai waktu tunggu 3 hari, tegangan yang diterapannya masih merupakan *stress memory*-nya.

Pada waktu tunggu lebih dari 5 hari, efek Kaiser muncul pada tegangan yang semakin lama semakin tinggi. Dari persentase terhadap nilai tegangan pada waktu tunggu 2 hari diperoleh hasil lebih besar dari 100 %. Persentase ini semakin lama semakin besar hingga bisa mencapai 400 %.

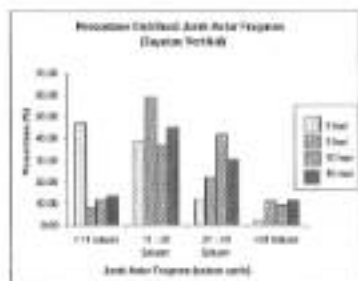


Gambar VIII.1. Grafik persentase perbandingan nilai tegangan menurutnya efek Kalser terhadap waktu tinggi

Untuk mengetahui proses yang terjadi dalam contoh batuan karena uji erosi akustik, maka dilakukan analisa sebaran tipis pada contoh batuan setelah dilakukan uji erosi akustik. Analisa ini dilakukan untuk contoh dengan waktu tengg 1, 5, 10 dan 45 hari. Sebaran tipis dilakukan secara vertikal dan horisontal. Foto tersebut menunjukkan batuan jarak antar fragmen berubah dengan bertambahnya waktu tengg. Untuk melihat distribusi jarak antar fragmen, maka dibuat grafik distribusi jarak terhadap besar persentasenya. Gambar VII.2 dan Gambar VII.3 menunjukkan distribusi jarak untuk sebaran tipis horisontal dan vertikal.



Gambar VII.2. Distribusi jarak antar fragmen batuan sebaran horizontal



Gambar VII.3. Distribusi jarak antar fragmen batuan sebaran vertikal

Dari kedua gambar tersebut dapat dilihat bahwa terjadi korelasikan peningkatan jarak antar fragmen dengan meningkatnya waktu tunggu. Untuk sayatan horizontal (Gambar VIII.2) selang jarak < 11 satuan dan jarak $11 - 20$ didominasi oleh contoh dengan waktu tunggu 2 – 3 hari. Sedangkan untuk jarak antar butir yang lebih besar, yaitu $21 - 30$ satuan dan > 30 satuan, waktu tunggu 10 hari dan 45 hari mempunyai persentase lebih besar.

Hasil sayatan tipis secara vertikal menunjukkan korelasikan yang terlihat lebih jelas (Gambar VIII.3). Semakin besar waktu tunggu, maka persentase untuk jarak yang lebih besar akan semakin besar. Secara berurutan dapat dikatakan bahwa pada jarak fragmen < 11 satuan, waktu tunggu 2 hari mempunyai persentase paling besar, kemudian pada jarak fragmen $11 - 20$ satuan, persentase terbesar didominasi oleh waktu tunggu 5 hari. Untuk jarak fragmen $21 - 30$ satuan, contoh dengan waktu tunggu 10 hari mempunyai distribusi paling besar, sedangkan jarak fragmen > 31 satuan didominasi oleh contoh batuan dengan waktu tunggu 45 hari.

Pemrosesan jarak antar fragmen dalam contoh batuan tersebut dapat menyebabkan naiknya tegangan pada saat efek Kaiser muncul. Dengan semakin bertambahnya waktu tunggu, maka akan terjadi proses relaksasi pada contoh batuan karena terbebas dari tegangan pada saat benda dalam matrik batuan. Proses relaksasi tersebut menyebabkan jarak antar fragmen semakin lama semakin besar dengan bertambahnya waktu. Semakin besar jarak antar fragmen, maka tegangan yang dibutuhkan untuk membuat rekahan mikro baru akan lebih besar. Sedangkan awal perkembangan rekahan mikro baru tersebut merupakan saat munculnya efek Kaiser. Hal ini menjelaskan proses bertambah besarnya tegangan pada saat efek Kaiser muncul dengan bertambahnya waktu tunggu.

VIII.5. Tegangan terkoreksi hasil uji emisi akustik

Setelah diperoleh grafik koreksi (Gambar VIII.1) untuk batuan tuf bekas di daerah Ponglar, hasil uji emisi akustik akan dikoreksi dengan menggunakan grafik ini.

VIII.5.1. Koreksi tegangan sisa hasil emul akustik di Ciarug

Rata-rata pengujian emul akustik di daerah Ciarug dilakukan antara waktu 100 – 150 hari. Dari grafik terlihat bahwa pada hari ke 100 – 150, normalisasi tegangannya menjadi lebih dari 400 %. Dengan menggunakan grafik koreksi ini, maka tegangan pada saat efek Kaiser muncul akan dikoreksi sehingga menjadi seperti tercantum dalam Tabel VIII.7

Tabel VIII.7. Arah lahang bor dan tegangan terkoreksi saat efek Kaiser muncul di Ciarug (Hutarni, 2004)

Lahang Bor	Tegangan saat Efek Kaiser Muncul (MPa)	
	Sebelum Koreksi	Setelah Koreksi
N 510 E / 15	20,01	4,26
N 510 E / 0	19,21	4,57
N 270 E / 15	11,02	3,10
N 270 E / 0	17,78	4,23
N 235 E / 15	15,71	3,15
N 235 E / 0	14,84	3,53
Vertical	11,08	2,76

VIII.5.2. Koreksi tegangan sisa hasil emul akustik di Pamoyanan

Grafik koreksi yang diperoleh merupakan grafik yang dibuat untuk batuan tuf beku di Tumpang South Ciarug, Pengkor. Dari hasil pengamatan lapangan, uji seoran tipis, uji sifat fisik dan sifat mekanik menunjukkan bahwa kondisi batuan di Pamoyanan sama dengan batuan Ciarug yaitu tuf beku yang mempunyai sifat fisik dan UCS yang hampir sama (Tabel V.5 dan Tabel V.6). Dengan pertimbangan kedua lokasi mempunyai karakteristik batuan yang sama, maka grafik koreksi ini digunakan untuk mengoreksi hasil dari Pamoyanan.

Uji emul akustik contoh batuan Pamoyanan dilakukan antara waktu 80 – 100 hari setelah pengambilannya contoh. Jika mengacu pada grafik koreksi, maka normalisasi tegangannya mencapai nilai sekitar 400 %. Setelah dikoreksi, tegangan saat efek Kaiser muncul dapat dilihat pada Tabel VIII.8.

Tabel VIII.8. Amplitudo beban dan tegangan terkoreksi saat elik Kemer muncak di Pansoyan (Rai, dkk, 2004)

Layang Bay	Tegangan saat Elak Kemer Muncak (MPa)	
	Sebelum Koreksi	Setelah Koreksi
N 160 E / -1	19,31	4,91
N 160 E / 10	21,24	5,22
N 243 E / -5	21,93	5,39
N 243 E / 10	21,84	5,17
N 247 E / -4	23,71	5,44
N 247 E / 10	20,60	5,00
Vertikal	19,48	4,88

VIII.6. Perhitungan Tegangan Prinsipal

Setelah dilakukan koreksi terhadap hasil uji emsi akustik, maka akan terjadi perubahan tegangan dalam arah Utara, Timur, Vertikal dan tegangan geser. Tabel VIII.9 berikut ini adalah kompilasi tegangan setelah hasil uji emsi akustik dikoreksi.

Tabel VIII.9. Kompilasi tegangan emsi hasil pengujian setelah koreksi hasil emsi akustik

Tegangan (MPa)	Chang			Pansoyan		
	HF	AE	AE koreksi	HF	AE	AE koreksi
σ_x	3,61	21,77	5,08	2,89	16,81	4,14
σ_y	0,61	18,15	3,84	4,41	26,40	6,50
σ_z	3,88	11,63	2,77	4,3	19,87	4,88
τ_{xy}	-0,73	2	-0,67	-8,35	-1,21	-0,8
τ_{yz}	0,81	3,14	0,51	1,44	1,20	0,28
τ_{zx}	-0,79	0,57	0,13	-0,073	-1,97	-0,48

Setelah dikoreksi, hasil uji emsi akustik terlihat lebih mendekati nilai tegangan hasil uji rekab hidrolik. Hal ini membuktikan bahwa waktu tunggu memegang peranan yang sangat penting dalam uji emsi akustik. Nilai tegangan dalam Tabel VIII.9 tersebut akan digunakan untuk perhitungan tegangan prinsipal di lokasi penelitian.

VIII.6.1. Penentuan Tegangan Injeksi Dua Dimensi

Penggambaran tegangan injeksi secara dua dimensi dilakukan untuk melihat besar dan arah tegangan dalam suatu penampang dua dimensi. Dalam kasus ini, tegangan akan diperlihatkan dalam penampang 2 dimensi arah selatan-utara dan barat-timur. Matriks transformasi tegangan yang digunakan pada bidang 2 dimensi adalah,

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & \sin 2\theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & -\sin 2\theta \\ -\frac{1}{2} \sin 2\theta & \frac{1}{2} \sin 2\theta & \cos 2\theta \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} \quad (\text{VIII.1})$$

Tegangan yang dicari merupakan tegangan normal maksimum dan tegangan normal minimum pada penampang dua dimensi ($\sigma_{\max}$ dan $\sigma_{\min}$). Tegangan ini diperoleh jika nilai tegangan utamanya sama dengan nol ($\tau_{xy} = 0$). Sudut 0 adalah sudut perpotongan antara sumbu $x - y$ dengan sumbu prinsipal.

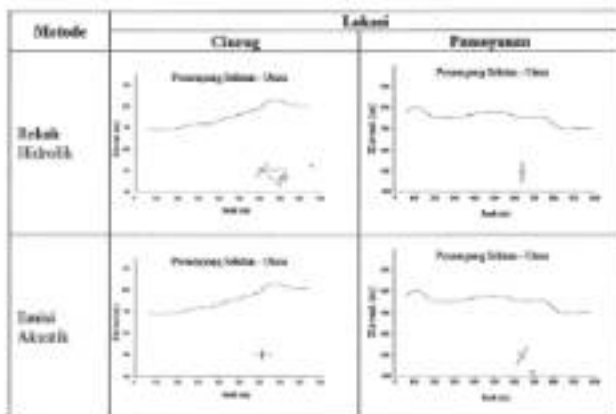
Untuk mencari tegangan pada penampang selatan - utara, perhitungan dilakukan dengan menggunakan komponen tegangan σ_{xx} , σ_{yy} , dan τ_{xy} sebagai σ_{xx} , σ_{yy} , τ_{xy} . Sedangkan pada penampang barat - timur, perhitungan tegangan menggunakan komponen tegangan σ_{xx} , σ_{yy} , dan τ_{xy} sebagai σ_{xx} , σ_{yy} dan τ_{xy} .

Tabel VIII.10 dan Tabel VIII.12 merupakan hasil transformasi tegangan yang diperoleh dari uji rekab hidrolik, uji uniaxial akurat dan dari pemodelan numerik untuk arah selatan - utara dan barat - timur. Sudut 0 digunakan untuk menggambarkan tegangan normal maksimum yang bekerja dalam penampang tegaperti selatan-utara dan barat-timur. Tabel VIII.11 dan Tabel VIII.13 merupakan gambaran secara visual tegangan injeksi yang bekerja pada bidang dalam penampang arah selatan - utara dan barat - timur yang diperoleh dari uji rekab hidrolik, uniaxial akurat dan pemodelan numerik.

Tabel VIII.10. Tegangan normal maksimum dan minimum pada arah selatan - utara di Ciurug dan Pameoyanan

Tegangan (MPa)	Ciurug		Pameoyanan	
	HF	AE	HF	AE
σ_x'	2,95	3,05	2,49	3,9
σ_y'	6,55	2,36	4,50	5,12
σ_z'	0	0	0	0
$\theta (^{\circ})$	49	3	0,65	26

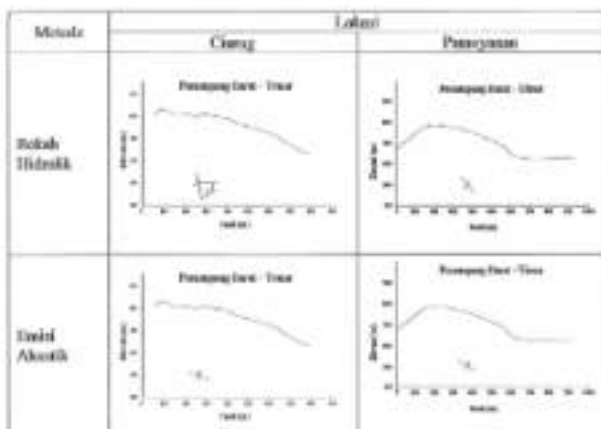
Tabel VIII.11. Tegangan normal dalam pemampangan dan dimensi arah Selatan - Utara di Ciurug dan Pameoyanan



Tabel VIII.12. Tegangan normal maksimum dan minimum pada arah barat - timur di Ciurug dan Pameoyanan

Tegangan	Ciurug		Pameoyanan	
	HF	AE	HF	AE
σ_x'	4,08	3,84	5,89	7,21
σ_y'	0,41	2,77	3,01	4,11
σ_z'	0	0	0	0
$\theta (^{\circ})$	77	23	46	29

Table VIII.13. Tegangan normal dalam pemanggang dan dimensi arah Bent - Timur di Ciarug dan Pameyanan



Tegangan pada pemanggang tersebut menggambarkan kondisi tegangan insitu yang bekerja pada lokasi titik uji. Sumbu panjang menunjukkan tegangan normal maksimum dan sumbu pendek menunjukkan tegangan normal minimum. Sudut θ menunjukkan arah tegangan normal maksimum atau minimum, yang merupakan perputaran sebesar 0 dari sumbu x . Sebagai contoh, pada pemanggang bent-timur di Ciarug dengan uji rekalah hidrolik, arah tegangan normal maksimumnya berputar 76° dari sumbu x arah juran jam.

VIII.6.2. Penentuan Tegangan Insitu Tiga Dimensi

Penentuan tegangan prinsipal dilakukan dengan menggunakan tensor tegangan. Dalam kasus pengujian dengan metode rekalah hidrolik dan Emisi Akustik, nilai komponen tensor tegangan tersebut ditentukan dari hasil pengujian rekalah hidrolik dan emisi akustik sehingga didapatkan tensor sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{bmatrix} \quad (\text{VIII.2})$$

Dapat dikatakan bahwa $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ merupakan tegangan yang bekerja pada arah sumbu Usum, Tsum dan Vsum. Sedangkan $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ adalah tegangan geser yang bekerja pada bidang yang dibentuk oleh dua sumbu yaitu Usum-Tsum, Tsum-Vsum, dan Usum-Vsum. Tegangan prinsipal tiga dimensi dihitung dengan menentukan nilai Eigen dan vektor Eigen dari tensor tegangan tersebut dengan menggunakan persamaan matriks sebagai berikut.

$$[\sigma][I] - [\sigma][A] = [0] \quad (\text{VIII.3})$$

Keterangan :

σ = tegangan yang dicari,

$[I]$ = matrik identitas, dan

$[c]$ = vektor eigen yang nilainya tidak sama dengan nol

$[A]$ = tensor tegangan

Dengan menganggap $[\sigma][I] - [A]$ merupakan matrik B, maka

$$[B] = \begin{bmatrix} \sigma - \sigma_x & -\tau_{xy} & -\tau_{xz} \\ -\tau_{xy} & \sigma - \sigma_y & -\tau_{yz} \\ -\tau_{xz} & -\tau_{yz} & \sigma - \sigma_z \end{bmatrix} \quad (\text{VIII.4})$$

$$[B][c] = [0] \quad (\text{VIII.5})$$

sehingga

$$[c] = [B]^{-1}[0] \quad (\text{VIII.6})$$

Agar $[c]$ tidak sama dengan nol, maka $[\sigma][I] - [A]$ harus tidak mempunyai invers, sehingga determinannya harus sama dengan nol.

$$\det([\sigma][I] - [A]) = \det[B] = 0 \quad (\text{VIII.7})$$

Persamaan determinan tersebut akan menghasilkan persamaan pangkat tiga sebagai berikut :

$$\sigma^3 + a\sigma^2 + b\sigma + c = 0 \quad (\text{VIII.8})$$

Penyelesaian persamaan pangkat tiga tersebut akan menghasilkan nilai σ_1 , σ_2 , σ_3 yang merupakan nilai Eigen yang mencerminkan besar tegangan prinsipalnya. Arah tegangan prinsipal dapat ditentukan dengan mencari vektor Eigen dari masing-masing nilai Eigennya menggunakan kaidah arah dari tegangan prinsipalnya (Gambar VII.4) dengan menyelesaikan persamaan simultan seperti di bawah ini :

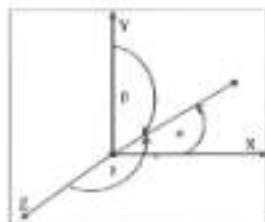
$$l (\sigma_x - \sigma_1) + m (\tau_{xy}) + n (\tau_{xz}) = 0 \quad \text{(VII.9)}$$

$$l (\tau_{xy}) + m (\sigma_y - \sigma_1) + n (\tau_{yz}) = 0 \quad \text{(VII.10)}$$

$$l (\tau_{xz}) + m (\tau_{yz}) + n (\sigma_z - \sigma_1) = 0 \quad \text{(VII.11)}$$

Persamaan tersebut akan menghasilkan nilai l , m , n yang merupakan $\cos \alpha$, $\cos \beta$, dan $\cos \gamma$. Satu hal yang harus diperhatikan, karena ketiga tegangan tersebut saling tegak lurus, maka :

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1 \quad \text{(VII.12)}$$



Gambar VIII.4. Posisi α , β , γ yang digambarkan dalam suatu vektor

Arah kemiringan dan kemiringan tegangan lintang yang bekerja dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Arah kemiringan} = \tan^{-1} \left(\frac{m}{l} \right) \quad \text{(VII.13)}$$

$$Kemiringan = (\cos^2 \alpha) - 90^\circ \quad \text{(VIII.14)}$$

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kondisi tegangan insitu tiga dimensi di Ciurug dan Pameoyanan adalah seperti yang tercantum dalam Tabel VIII.14.

Tabel VIII.14. Tegangan Prinsipal Tiga Dimensi di Ciurug dan Pameoyanan

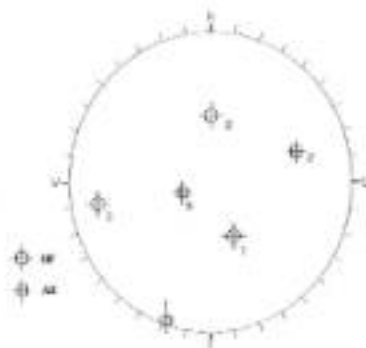
Tegangan Prinsipal (MPa)	Ciurug		Pameoyanan	
	HF	AE	HF	AE
σ_1	4,81 (N1581/44)	21,17 (N2000/71)	5,94 (N0995/45)	30,18 (N1030/28)
σ_2	3,95 (N057/41)	16,14 (N2007/27)	3,22 (N2940/44)	18,38 (N1780/67)
σ_3	0,32 (N2400/11)	8,32 (N2331/62)	2,25 (N172/7)	11,79 (N060/0)

Setelah dilakukan koreksi terhadap hasil pengujian erosi akustik, tabel VIII.14 berikut merupakan kompilasi akhir dari tegangan insitu dengan menggunakan metode langsung dan metode tidak langsung serta periodisasi monitoring.

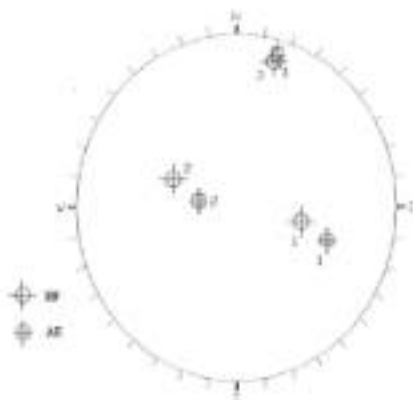
Tabel VIII.15. Kompilasi tegangan prinsipal hasil pengujian erosi hidrolik, erosi dan akustik terkoreksi di Ciurug dan Pameoyanan

Tegangan Prinsipal (MPa)	Ciurug		Pameoyanan	
	HF	AE Terkoreksi	HF	AE terkoreksi
σ_1	4,81 (N1581/44)	3,2 (N2000/71)	5,94 (N0995/45)	7,46 (N1030/28)
σ_2	3,95 (N057/41)	3,9 (N2007/27)	3,22 (N2940/44)	4,17 (N1780/67)
σ_3	0,32 (N2400/11)	3,33 (N2331/62)	2,25 (N172/7)	3,88 (N060/0)

Grafik dari tegangan tersebut dalam diagram dapat dilihat pada Gambar VIII.5 untuk kondisi Ciurug dan Gambar VIII.6 untuk lokasi Pameoyanan.



Gambar VII.5. Saranamet tegangan langit di Caring



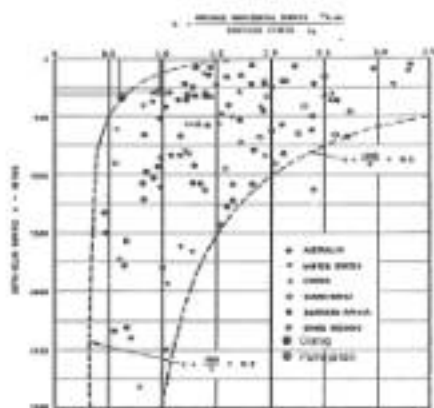
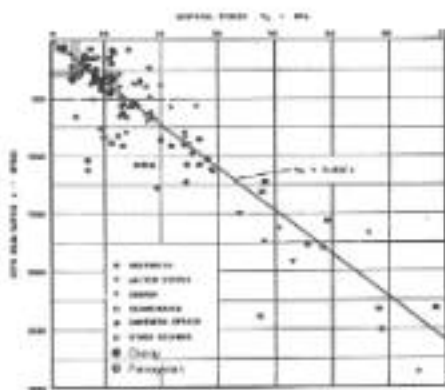
Gambar VIII.6. Saranamet tegangan langit di Pamaroran

Jika dihubungkan dengan pengukuran tegangan in situ di beberapa lokasi oleh Hock dan Brown, maka plotting hasil pengukuran tegangan in situ hasil uji rekah hidrolik pada grafik Hock dan Brown (Gambar E.3) dapat dilihat dalam Gambar VIII.7. Pada gambar tersebut terlihat bahwa hasil pengukuran tegangan in situ dalam penelitian ini berada dalam range hasil pengukuran Hock dan Brown pada beberapa lokasi. Gambar VIII.7.a menunjukkan hubungan tegangan vertikal yang diperoleh terhadap kedalaman yaitu 3,08 MPa pada kedalaman 290 m untuk Ciurug dan 4,5 MPa pada kedalaman 275 m untuk Pansoyasan. Pada Gambar VIII.7.b, menggambarakan nilai k hasil pengujian terhadap kedalaman. Nilai k untuk Ciurug adalah 0,58 dan untuk Pansoyasan 0,59.

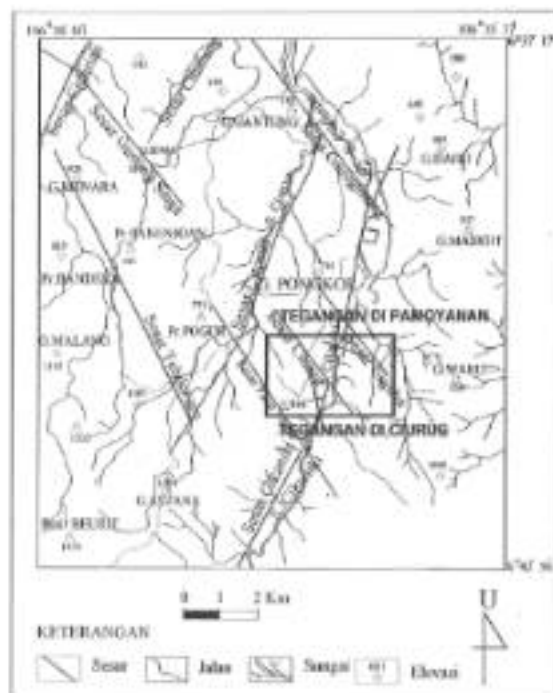
VIII.7. Kajian Arah Tegangan In situ

Arah tegangan in situ hasil uji diverifikasi melalui analisis struktur geologi di lokasi pengukuran dan juga dengan menghubungkannya terhadap kajian genesa dan arah tegangan hasil penelitian semen PT Asoka Tambora UMPE Pongkor dan Jurusan Geologi Universitas Padjadjaran (2001). Jika arah tegangan in situ hasil uji rekah hidrolik digambarkan dalam peta struktur tambang emas Pongkor, maka akan diperoleh gambaran seperti pada Gambar VIII.8 dan Gambar VIII.9.

Lokasi pengukuran di Ciurug dipengaruhi oleh sesar Ciurug yang berarah barat laut – tenggara (N 315 E / 75) dan berpotongan dengan sesar Cikuniki yang berarah Utara Timur Laut – Selatan Barat Daya (N 207 E / 78). Uji rekah hidrolik menghasilkan tegangan prinsipal in situ di Ciurug dengan arah barat laut – tenggara seperti yang tampak pada Gambar VIII.8. Lokasi pengujian di Ciurug berjarak sekitar 150 meter dari sesar Ciurug sedangkan dari sesar Cikuniki sekitar 500 meter, sehingga dapat dikatakan bahwa tegangan yang terakur lebih dipengaruhi oleh sesar Ciurug. Kajian struktur pada sub bab III.5.2.2 menjelaskan bahwa pada daerah Ciurug berlaku tegangan dalam kisaran arah barat laut – tenggara hingga timur laut – barat daya.



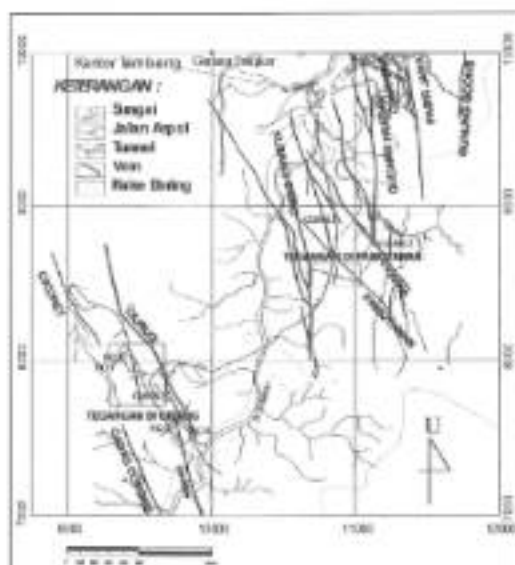
Gambar VIII.2. Plotting hasil uji t-test terhadap pada grafik Hosk dan Brown



Gambar VIII.8. Penggambaran arah tegangan pada struktur regional Pongkor

Seperti ditunjukkan pada Gambar VIII.8 (dalam kotak) bahwa sesar Cikanki yang berada di antara sesar Capiha dan sesar Puteh Pogor terpotong oleh sesar Caring sehingga terjadi pergeseran relatif pada sesar Cikanki. Pergeseran relatif ini membuat sesar Cikanki menjadi dua bagian yaitu bagian I dan bagian II. Dapat dikatakan tegangan prinsipal utama hasil uji rekah hidrolik yaitu N 150 k sesuai dengan arah pergeseran sesar Cikanki.

Lokasi pengaliran di Panayuan berada di antara zona Garag dan zona Cigala, tepatnya di antara area Kubang Cina yang berarah N 330 E / 30 dan area Panayuan yang berarah N 145 E / 85 (lihat Gambar VIII.9). Pada Gambar VIII.9 ini zona Cikandi digambarkan dengan warna Cikandi. Tegangan prinsipal maksimum hasil pengaliran tegangan ini di daerah Panayuan tersebut menunjukkan arah N 99 E / 45. Dalam kajian struktur geologi (sub bab 3.5.2.2) diberikan petakan tegangan prinsipal maksimum di sekitar area Cikandi adalah mendekati sejajar dengan zona Cikandi dan tegak lurus dengan zona Cigala. Uji nilai efektif di Panayuan menunjukkan arah tegangan prinsipal maksimum yang berarah N 99 E dan tegak tersebut (lihat Gambar VIII.8).

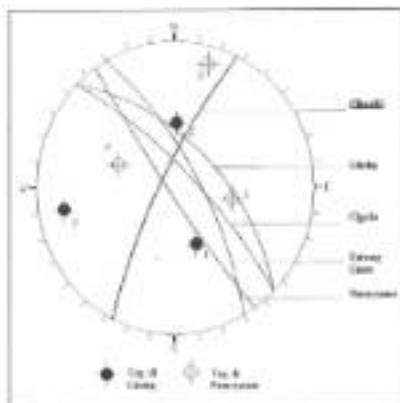


Gambar VIII.9 Penggambaran arah tegangan di lokasi pengaliran

Kajian geoma daerah Pangkor mengatakan bahwa sesar utama adalah sesar Cikariki. Aktivitas vulkanik yang terjadi pada jaman Masam Akhir – Pionon menyebabkan terjadinya pengangkatan dan deformasi tektonik yang mengakibatkan pergeseran sesar dan munculnya sesar baru. Teori Griffith menyatakan bahwa rekahan baru akan berkembang apabila tegak lurus terhadap rekahan yang telah ada. Fenomena ini ditunjukkan dengan munculnya sesar-sesar baru, seperti sesar Ciarug dan sesar Ciguba yang hampir tegak lurus dengan sesar Cikariki. Pada jaman Pionon, patahan dan sesar baru tersebut terus dan mengalami proses mineralisasi sehingga menjadi badan bijih utama di Pangkor antara lain urat Ciarug, urat Kubang Cina, urat Panyoyan, urat Ciguba dan

Aktivitas tektonik dan proses mineralisasi urat ini bisa menyebabkan berubahnya distribusi tegangan di daerah tersebut, sehingga menjadi hampir sama dengan urat-urat di Pangkor. Setelah mineralisasi tidak terdapat lagi peristiwa tektonik besar yang mengubah struktur sesar-sesar. Sehingga tegangan yang berlaku tidak banyak berubah hingga sekarang. Lokasi pengukuran tegangan in situ di Panyoyan berada sekitar 30 meter dari urat Panyoyan. Dapat dikatakan bahwa arah tegangan in situ yang terukur (N 99 E) dipengaruhi oleh urat Panyoyan.

Gambar VIII.14 berikut ini menunjukkan arah tegangan in situ hasil pengukuran dengan uji rekah hidrolik di lokasi pengukuran terhadap bidang sesar. Bidang yang tergambar dalam diagram tersebut merupakan bidang sesar utama Cikariki dan bidang-bidang sesar yang menjadi urat-urat seperti urat Ciguba, urat Panyoyan, urat Kubang Cina, dan urat Ciarug. Tegangan in situ hasil uji rekah hidrolik di Ciarug dan Panyoyan digambarkan dalam simbol * untuk uji di Panyoyan dan + untuk uji di Ciarug. Angka 1, 2, dan 3 menunjukkan tegangan prinsipal maksimum, intermediate dan minimum. Tampak dalam gambar bahwa arah tegangan di Ciarug dan di Panyoyan mendekati orientasi urat dan hampir tegak lurus terhadap sesar utama, yaitu sesar Cikariki.



Gambar VIII.13 Stereonet tegangan muka hasil uji schall berdekade di Caturug dan Panyaman terhadap bidang sumbu

VIII.5.1. Uraian Pendekatan Empiris

Dari beberapa pengukuran yang dilakukan, hasil uji schall berdekade yang telah ini sebagai uji standar, dapat dikaitkan dengan uji schall standar sebagai uji indikator dengan melakukan pendekatan terhadap waktu tanggap. Pengujian menempatkan bahwa hasil uji schall berdekade berbanding terbalik dengan lajunya waktu tanggap, sehingga dapat dilakukan:

$$\sigma_{sch} = \frac{1}{f(\sigma)}$$

Dengan hanya memperkecilkan parameter waktu tanggap, maka uji schall berdekade dapat dikaitkan dengan pendekatan empiris sebagai berikut:

$$\sigma_{sch} = \frac{W_{sch}}{f(\sigma)}$$

Keterangan:

Keterangan :

- σ_{gr} = tegangan hasil uji rekals hidrolik pada arah yang sama dengan arah tegangan uji emisi akustik
- σ_{ar} = tegangan hasil uji emisi akustik
- $f(t)$ = fungsi waktu tunggu untuk jenis batuan tertentu pada daerah tertentu
- t = waktu tunggu dari penyebaran hingga pengujian emisi akustik

Dalam penelitian ini, fungsi waktu tunggu yang didapatkan untuk batuan tufa breksi di daerah Pongkor adalah $f(t) = 95,599 \ln(t) - 33,207$ dengan $f(t)$ merupakan persentase perbandingan tegangan maksimum efek Kaiser dengan waktu tunggu x hari terhadap tegangan maksimum efek Kaiser dengan waktu tunggu 2 hari

Pendekatan ini dapat digunakan untuk menentukan tegangan imita pada lokasi yang sama dan jenis batuan yang sama. Jika kondisi batuan berbeda, maka harus ditentukan fungsi waktu tangganya sesuai dengan jenis batuan tersebut.

Bab IX Kesimpulan

Penelitian dilakukan dengan membuat pendataan pengukuran tegangan busu menggunakan metode rekah hidrolik. Selanjutnya penelitian ini digunakan untuk memantapkan tegangan busu dengan metode langsung rekah hidrolik di tambang emas bawah tanah Penglor di dua lokasi, yaitu di Cikung dan Pameoyanan. Kondisi busan di kedua lokasi mempunyai karakteristik yang sama, yaitu berat isi 2,17 – 2,27 tn/m^3 , kuat tekan uniaxial sekitar 26-50 MPa, modulus elastisitas 5000 – 6000 MPa, dan rielah Poisson 0,25. Hasil pengukuran tegangan busu dengan metode rekah hidrolik di kedua lokasi dapat dilihat pada Tabel IX.1.

Tabel IX.1. Komposisi tegangan busu hasil pengujian dengan uji rekah hidrolik dan uji emisi akustik.

Tegangan (MPa)	Cikung			Pameoyanan		
	HP	AE	AE berskal	HP	AE	AE berskal
σ_x	3,62	11,17	3,04	2,49	10,83	4,14
σ_y	0,61	16,15	3,84	4,41	26,44	6,50
σ_z	3,88	11,63	3,77	4,50	19,87	4,88
τ_{xy}	-0,73	-2	-4,67	-0,55	-5,25	-0,6
τ_{yz}	0,81	2,14	0,51	1,44	5,30	1,38
τ_{zx}	-0,78	0,73	0,11	-0,023	-4,97	-0,48

Uji emisi akustik di laboratorium dilakukan untuk memantapkan tegangan busu dengan metode tidak langsung. Hipotesis awal yang menyatakan bahwa hasil uji emisi akustik dipergesahi oleh waktu tunggu dibuktikan dengan melakukan pengujian emisi akustik dengan waktu tunggu yang berbeda-beda menggunakan contoh busan dari Cikung. Hasil pengujian menghasilkan data pendekatan empiris yang dapat diterapkan pada hasil uji emisi akustik sesuai dengan waktu tanggunya. Setelah dilakukan pendekatan dengan grafik pengesah waktu tunggu, hasil uji emisi akustik mendekati hasil uji rekah hidrolik (lihat Tabel IX.1). Dengan karakteristik busan yang sama, pendekatan ini diterapkan pada hasil uji emisi akustik di Pameoyanan. Hasilnya juga menunjukkan nilai yang mendekati uji rekah hidrolik.

Pemodelan numerik dilakukan sebagai analisis lebih untuk mendapatkan kondisi distribusi tegangan di lokasi penelitian. Tegangan yang dimodelkan adalah tegangan tali (*axial stress*) dan tegangan longgeng (*radial stress*) karena pengaruh kesegwangan. Pemodelan dibuat dalam kondisi ideal, yaitu beton dianggap homogen, isotrop dan linieritas.

Tegangan hasil pengukuran pada Tabel IX.1. merupakan tensor tegangan untuk perhitungan tegangan prinsipal di lokasi pengujian dengan menentukan nilai Eigen dan vektor Eigen tensor tersebut. Tegangan prinsipal hasil perhitungan dapat dilihat pada Table IX.2.

Tabel IX.2. Tegangan prinsipal hasil pengukuran dengan metode langsung dan metode tidak langsung di Ciarug dan Panayaman.

Tegangan Prinsipal (MPa)	Ciarug		Panayaman	
	HF	AE Terkoreksi	HF	AE terkoreksi
σ_1	4.83 (9158/96)	5.2 (9288/1)	5.91 (899/43)	3.46 (1108/58)
σ_2	3.91 (808/42)	3.9 (896/25)	3.22 (6298/14)	4.11 (6778/62)
σ_3	0.31 (1060/11)	2.51 (9113/67)	2.28 (1178/7)	3.88 (814/4)

Kajian struktur geologi yang telah dilakukan oleh Pongkor digunakan untuk memverifikasi arah tegangan prinsipal hasil pengukuran. Hasilnya menunjukkan bahwa kajian struktur tersebut mendukung arah tegangan prinsipal hasil uji relak hidrolik.

Sesuai hipotesis yang menjadi dasar penelitian ini dan dengan melalui pengujian, analisa dan kajian hasil pengukuran, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Perlatan relak hidrolik yang berhasil dibuat dalam penelitian ini dapat digunakan untuk pengujian dan aplikasi di lapangan dengan kekuatan packer mencapai 25MPa.
2. Tegangan insitu hasil uji relak hidrolik dapat digunakan sebagai acuan pemetaan tegangan insitu dalam penelitian ini. Hal ini didukung dengan

Parmodelan numerik dilakukan untuk mendapatkan kondisi distribusi tegangan di lokasi penelitian. Tegangan yang dimodelkan adalah tegangan aksi (*active stress*) dan tegangan tahanan (*inched stress*) karena pengaruh serowongan. Parmodelan dibuat dalam kondisi ideal, yaitu batuan dianggap homogen, isotrop dan kontinu.

Tegangan hasil pengukuran pada Tabel IX.1. merupakan tensor tegangan untuk perhitungan tegangan prinsipal di lokasi pengujian dengan memastukan nilai Eigen dan vektor Eigen tensor tersebut. Tegangan prinsipal hasil perhitungan dapat dilihat pada Table IX.2.

Tabel IX.2. Tegangan prinsipal hasil pengukuran dengan metode langsung dan metode tidak langsung di Caturg dan Panayaman.

Tegangan Prinsipal (MPa)	Caturg		Panayaman	
	HF	AE Terkoreksi	HF	AE terkoreksi
σ_1	4,83 (50,58/46)	3,2 (3700/1)	5,45 (5995/55)	3,46 (4100/38)
σ_2	2,45 (100/62)	1,9 (3700/25)	3,22 (52540/44)	4,17 (3770/37)
σ_3	0,32 (5040/11)	2,53 (54730/30)	3,25 (3078/7)	3,88 (5100/9)

Kajian struktur geologi yang telah dilakukan oleh Pengler digunakan untuk memverifikasi arah tegangan prinsipal hasil pengukuran. Hasilnya menunjukkan bahwa kajian struktur tersebut mendukung arah tegangan prinsipal hasil uji rekah hidrolik.

Sesuai hipotesis yang menjadi dasar penelitian ini dan dengan melalui pengujian, analisis dan kajian hasil pengukuran, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Perilaku rekah hidrolik yang berhasil dibuat dalam penelitian ini dapat digunakan untuk pengujian dan aplikasi di lapangan dengan tekanan pembebanan mencapai 25MPa.
2. Tegangan in situ hasil uji rekah hidrolik dapat digunakan sebagai acuan pemertaan tegangan in situ dalam penelitian ini. Hal ini dibuktikan dengan

nilai tegangan vertikal hasil pemodelan numerik yang menunjukkan nilai yang mendekati nilai tegangan vertikal uji rekah hidrolik.

3. Besaran yang diperoleh dari metode langsung / uji rekah hidrolik yang dinyatakan sebagai uji standar dapat diwakili oleh uji indeks yang dalam hal ini metode tidak langsung nilai akurat dengan menggunakan pendekatan empirik.
4. Pendekatan empirik yang dilakukan terhadap hasil uji mini akurat merupakan fungsi waktu tangga yang sangat berpengaruh terhadap hasil uji.
5. Secara umum, besaran tegangan isitru hasil uji rekah hidrolik dapat dideteksi dengan uji mini akurat dengan pendekatan $\sigma_{cr} = \frac{\sigma_c}{f(t)}$ dengan σ_{cr} adalah tegangan hasil uji rekah hidrolik dalam arah yang sama dengan uji mini akurat, σ_{cr} adalah tegangan hasil uji mini akurat dan $f(t)$ merupakan persamaan fungsi waktu tangga untuk batuan tersebut.
6. Pendekatan yang diperoleh hanya berlaku pada daerah dan kondisi batuan yang sama. Hal ini sudah diterapkan pada daerah Purabaya yang mempunyai karakteristik batuan yang sama dengan di Cierog.
7. Kombinasi metode pengukuran langsung dan metode pengukuran tidak langsung dapat diaplikasikan di lapangan untuk mendapatkan nilai tegangan isitru yang lebih representatif dengan menerapkan pendekatan empirik di antara kedua metode tersebut. Dengan demikian dapat mengurangi jumlah pengujian metode pengukuran langsung, namun hasilnya tetap akurat.
8. Pengukuran tegangan isitru tidak dapat dipisahkan dari analisa struktur geologi di dalam penelitian. Verifikasi arah tegangan isitru hasil pengujian mengacu pada struktur geologi daerah tersebut.

Keluaran dari penelitian ini mempunyai manfaat dari segi keilmuan dan terapan.

Dari segi keilmuan, penelitian ini mempunyai manfaat :

1. Mengembangkan pengetahuan mengenai pengukuran tegangan isitru tiga dimensi, khususnya di Indonesia, dengan menggunakan gabungan antara metode pengukuran langsung (uji rekah hidrolik) dan metode pengukuran tidak langsung (uji mini akurat).

2. Membuktikan bahwa kedua metode tersebut dapat dioperasikan
3. Membandingkan pengaruh waktu tunggu contoh batuan dalam uji erosi akustik ke dalam suatu bentuk grafik antara waktu tunggu contoh batuan dengan efek Kaiser yang muncul.
4. Mengembangkan penggunaan pendekatan empiris tersebut pada hasil uji erosi akustik selanjutnya pada batuan yang sama dan lokasi yang sama.

Dari segi penerapan dan pekleia, penelitian ini mempunyai kontribusi sebagai berikut:

1. Peralatan uji erosi hidrolik berdimensi dibuat dengan biaya yang relatif lebih murah daripada membeli dari luar negeri. Peralatan ini telah dapat digunakan untuk menentukan tegangan imits pada suatu daerah.
2. Hasil pengukuran tegangan imits yang diperoleh dalam penelitian ini dapat digunakan oleh PT. Asoka Tambang UHPF Pengkor untuk penentuan kewenangan dan kegiatan bawah tanah lainnya.
3. PT. Asoka Tambang UHPF Pengkor dapat melakukan pemetaan tegangan imits di lokasi lain di daerah Pengkor yang mempunyai kondisi batuan yang sama dengan kondisi batuan dalam penelitian ini dengan menggunakan pendekatan empiris uji erosi akustik.

Dari uji erosi hidrolik dan uji erosi akustik yang telah dilakukan baik di laboratorium dan lapangan ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu :

1. Peralatan erosi hidrolik perlu ditingkatkan dan diperbaiki, khususnya peningkatan kapasitas *packer*, sehingga dapat digunakan pada batuan yang lebih keras, dan perbaikan alat pembaca data elektronik sehingga mampu membaca volume cairn yang digunakan. Di samping itu berikut adalah hal-hal yang perlu ditanyakan selubung dengan peralatan :

a. Lubang bor

Lubang bor yang telah dipersiapkan untuk uji erosi hidrolik sebaiknya diperbesar (*reaming*) dahulu sebelum digunakan untuk pengujian.

b. *Saddle packer*

Bagian yang paling lemah dari *saddle packer* adalah bagian kopling besi. Dalam beberapa kali penggunaan ($\pm$ 5 kali) cenderung untuk bocor pada bagian koplingnya. Untuk itu perlu diperbaiki sistem kopling dan konstruksinya serta peningkatan kekuatan *packer*nya.

c. *Impression packer* dan karet pemotong

Karet pemotong mekanis cenderung tergesang, dan untuk memperbaiki resiko tergesangnya karet pemotong mekanis disarankan untuk menambahkan kawat dan kalis sebagai penguatan untuk mengikat karet pada *impression packer*. Selain itu, agar proses pemotakan lebih efektif oli yang berada di dalam lubang bor hendaknya diubahkan dengan.

d. Perekam data elektronik

Perekam data elektronik harus diletakkan di tempat yang stabil dan sebelum digunakan harus dikalibrasi dahulu untuk menyesuaikan nilai tekanan antara perekam data dan *pressure gauge*.

e. Besi penghantar

Besi penghantar perlu diperbaiki dengan ukuran yang sesuai dan sistem pengancian yang lebih praktis sehingga mempermudah pemasangan.

f. Penyambungan bagian sub-sub

Dalam merangkai *packer* dan bagian-bagiannya, penggunaan *O-ring* dan *seal tape* sangat penting untuk mencegah kebocoran.

g. Pompa

Meskipun tidak menimbulkan masalah, namun akan lebih baik jika untuk tekanan *saddle* dan *impression packer* juga digunakan pompa elektrik, sehingga aliran oli hidrolik lebih kuatnya dan stabil.

h. Penggunaan air dan oli bubut

Campuran oli bubut dan air dengan perbandingan 1 : 25 diharapkan masih memiliki sifat seperti oli, dan biayanya lebih murah daripada menggunakan oli seluruhnya. Disarankan untuk menghemahkan pembelian pengisian ulang hidrolik dengan menggunakan air.

1. *Borehole Camera*

Ditawarkan untuk menggunakan *borehole camera* sebagai alternatif pengganti *impression packer* dalam melihat posisi rekahan hasil pengujian.

2. Uji rekah hidrolik dan uji erosi statistik

Pada penelitian pendahuluan, Silalahi (2002) menemukan bahwa efek Kaiser tidak muncul pada batuan piroklastik dari Pegunungan Karaga. Karena itu, dalam menerapkan metode pengujian langsung dan metode pengukuran tidak langsung harus diperhatikan mengenai kondisi batuan di lokasi pengujian. Uji erosi statistik tidak berlaku pada batuan piroklastik, sehingga uji rekah hidrolik sebaiknya tidak dilakukan pada lokasi dengan jenis batuan piroklastik.

3. Penelitian ini bisa dikembangkan dan dilanjutkan dengan penelitian lainnya, seperti :

- Penelitian mengenai uji erosi statistik pada batuan lain dengan jenis batuan yang berbeda-beda.
- Penelitian untuk menentukan karakteristik material dari hasil uji rekah hidrolik, yang sangat berguna dalam bidang ilmu teknik sipil.
- Dalam bidang teknik perminyakan, penelitian bisa dikembangkan untuk mempelajari grafik hasil uji rekah hidrolik untuk menentukan dimensi rekahan yang terjadi dalam batuanannya dengan kemampuan batuan untuk mengalirkan fluida.

1. Aloni Sayed, A.S. (1982), The Influence of Subsurface Conditions on Hydraulic Fracturing Induced Fractures in Deep Rocks. *Proc. 1st Japan - USA Symp. on Fracture Mechanics Approach, Hydraulic Fracture and Geothermal Energy*. Sendai, Japan, dalam Whitaker, B.N, Singh, R.N, Sas, G. (1992) *Rock Fracture Mechanics, Principles, Design and Applications*. Development in Geotechnical Engineering, 71, Elsevier, Amsterdam.
2. Ask, D dan Stephansson, O. (2003), Hydraulic Rock Stress Measurement in The Hjoerko Meteoritic Impact Structure, Lake Malaren, Sweden. *Proc. of 1st Int. Symp. on Rock Stress*, IIS Karamoto'03, 4-6 November, Karamoto, Jepang.
3. ASTM E 610-77, dalam Kresoddhanta, S. (2000), *Review on The Use of Acoustic Emission Method for In-situ Stress Determination*. In collaboration between Dept of Mining Engineering, IIR, Indonesia dan Dept. of Earth Resources and Mining Engineering, Kyushu University, Japan.
4. Hassidi A., Samanagata D.A., dan Samudra D. (1996), The Gunung Pangket Gold-Silver Deposit, West Java. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 50 Nos. 1-3, Elsevier, Amsterdam, 371 - 391.
5. Rasmussen, J dan Zoback, M.D. (1989), Interpretation on Hydraulic Fracturing Pressure - Time Records Using Interaction Analysis Methods. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr.*, 26, 661-669.
6. Reet, G., BEPI, CSS. (1999), *User's and Reference Manual, Computer Software and Services International, Austria*. Website : <http://www.eis.tu.graz.at/ab>
7. Benardien, R.W Van. (1949), *The Geology of Indonesia*. The Hague Martinus Nijhoff, Vol. 1A.
8. Bieniawski Z.T. (1961), *Stability Concept of Brittle Fracture Propagation in Rock*. Engineering, Geology.
9. Bieniawski, Z.T. (1964), *Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling*, A.A. Balkema, Rotterdam.
10. Boyce, G.M., McCabe W.M, dan Koser H. (1981), Acoustic Emission Signatures of Various Rock Types in Unconfined Compression. ASTM STP, dalam Friedel, M.J, Thel, R.E. (1985), U.S. Bureau of Mines Research on the Kaiser Effect for Determining Stress in Rock. *Journal of Acoustic Emission*, Vol. 12, No. 34, 877-889.
11. Brady, B.H, dan Brown, E.T. (1993), *Rock Mechanics for Underground Mining*. George Allen dan Unwin (Publishers) Ltd, Park Lane, London.
12. Budavari, S. (1983), *Rock Mechanics in Mining Practice*. The South African Institute of Mining and Metallurgy Monograph Series M5.
13. Carfilo, M. (1994), Magmatic Arc and Associated Gold and Copper Mineralization in Indonesia. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 50 Nos. 1-3, Elsevier, Amsterdam, 91 - 142.
14. Choi, S.O, dan Shih, H.S. (1997), Application of In-situ Stresses Measured by Hydraulic Fracturing to a Tunnel Design in Korea. *Proc. of the Int. Symp. on Rock Stress*, 7-10 October, Karamoto, Jepang.

13. Hardy, H.R.Jr., Zhang,D, dan Zelinski,J.C. (1989), *Recent Studies the Kaiser Effect in Geologic Material*, *Proc. of 4-th Conference on Acoustic Emission/Microseismic Activity in Geologic Structure and Materials*, The Pennsylvania State University, 22-24 Oct., 1985, Trans Tech. Publication, Clausthal, West Germany, 27 – 55.
14. Hartono, P.N; Krasnadibata, S; Rai M.A; dan K. Matsui (2004), *Analisis Akustik Sebagai Metode Alternatif Pemantauan Tegangan In-situ Secara Tidak Langsung*, Seminar Perhimpunan Ahli Pertambangan Indonesia (PIRHAPI), Palembang
15. Hartono, P.N; (2004), *Determination of Three Dimensional In-situ Stress by Means of Acoustic Emission Method in Pongkor Underground Gold Mine, Bogor, Indonesia*, *Proc. of International Mining Student Conference*, Brisbane, Australia.
16. Hergert, G (1988), *Stresses in Rock*, A.A. Balkema, Rotterdam.
17. Hickman, S. H., dan Zoback, M. D. *Interpretation of Hydraulic Fracturing Pressure – Time Data for In-situ Stress Determination*, US Geological Survey, California, 103 – 146.
18. Heck, E., dan Brown, E.T (1986), *Underground Excavations in Rock*, The Institution of Mining and Metallurgy, London.
19. Heck, E, Kaiser, P.K., dan Hudson, W.B. (1993), *Support of Underground Excavations in Hard Rock*, Rotterdam, Balkema.
20. Holcomb,D.J. (1993), General Theory of the Kaiser Effect, *Int. J. Rock Mech. Sci. and Geomech. Abstr.*, Vol. 10, No. 7, 929 – 935.
21. Holcomb,D.J. (1993), Observation of the Kaiser Effect under Multiaxial Stress State : Implication for its use in Determining In-situ Stress, *Geophysical Research Letters*, Vol.20, No.19, 2199-2222
22. Holcomb,DJ dan Tazell,L.W. (1981), *Acoustic Emissions During Deformation of Jointed Rock*, *Proc. of 3-rd Conference on Acoustic Emission/Microseismic Activity in Geologic Structure and Materials*, The Pennsylvania State University, 5 – 7 Oct., Trans Tech. Publication, Clausthal, West Germany, 37 – 44.
23. Holcomb, dan D.J, Martin, R.J. (1985), Determining Peak Stress History Using Acoustic Emission, *Proc. of 26-th US Symposium on Rock Mechanics*, Rapid City, SD, 26-28 Juni, 715 – 722.
24. Hubbert, M.K. dan Willis,D.G. (1957), *Mechanics of Hydraulic Fracturing*, Trans.AIME 210, vol. 153 – 163, dalam Whitaker,J.N, Singh, R.N, Sun, G. (1992) *Rock Fracture Mechanics, Principles, Design and Applications*, Development in Geotechnical Engineering, 71, Elsevier, Amsterdam.
25. Haghon, D.R.; dan Cornsford, A.M. (1987), Kaiser Effect Gauging : The Influence of Confining Stress on Its Response, *Proc. of 4-th Int. Congr. on Rock Mech.*, 2, 981 – 985.
26. Hudson, J.A. dan Harrison, J.P. (2000), *Engineering Rock Mechanics : An Introduction to The Principles*, Pergamon.
27. Ishijima, Y. dan Roegiers, J.C. (1983), *Fracture Initiation and Breakdown Pressure – Are They Similar ?*, *Proc. 24th US Symp. on Rock Mechanics*, C.C. Matheson (Ed), Texas, A and M Univ, 761 – 772.

48. Ito, Koshihisa dan Nishizawa, (1997), *Stress Measurements by The Hydraulic Fracturing in the 1995 Hyogo-ken-nambu Earthquake Source Region*. Proc.of the 1st, Sympocon Rock Stress, 7-10 Oktober, Kuusatsu, Jepang.
49. Jaimeson, D.B. dan Cook, N.G.W. (1978), *An Analysis of Measured Value for the State of Stress in the Earth's Crust*. Int. Rep. Lawrence Berkley Laboratory and Univ. of California. LBL-7071, dalam Hegget, G. (1983) *Stresses in Rock*. A.A. Balkema, Rotterdam.
50. Jaeger J.C. dan Cook N.G.W. (1979), *Fundamentals of Rock Mechanics*. 3rd Edition, Chapman and Hall.
51. Fingers, D., Kanggring, W. dan Ronggita, H. (1995), *In-situ Stress Determination of Great Depth by Using Acoustic Emission Technique*. Rock Mechanics, Duzman and Scholz (eds), Balkema, Rotterdam, 245 - 250.
52. Jaubert, A.B. (1983), *Rock Mechanics*. 2nd ed, Trans Tech Publication, USA, U.S.
53. Kanggita, T., Hayashi, M. dan Nakata, H. (1976), Estimation of Spatial Geostress Components in Rock Samples Using the Kaiser Effect of Acoustic Emission. *Proc of the 3rd Acoustic Emission Symposium*, Tokyo, Japan.
54. Kariakia, M.O. (1986), A Critical Review of Fracture in Hydraulic Fracturing Stress Measurement. *Proc. SEM Spring Conf on Expt. Mech.*, Vol. 141 - 147, dalam Whitaker, B.N, Singh, R.N, Sun, G. (1992) *Rock Fracture Mechanics, Principles, Design and Applications*. Development in Geotechnical Engineering, 74, Elsevier, Amsterdam.
55. Kirsch, G. (1898), Die Theorie Der Elastizität und die Bedeutung der Festigkeitslinien. *Voll. Ver. Deut. Ing.*, 42, Vol 797 - 803, dalam Hoek, E. dan Brown, E.T. (1980) *Underground Excavations in Rock*. The Institution of Mining and Metallurgy, London.
56. Kusumadinata, R.P. (1962), *The Geology and Oil Possibilities of Northern West Java*. Departemen Geologi ITB, dalam Geologi UNPAD, PT. Amka Tambang. (2011) *Studi Sistematis Geologi Daerah Perangkap dan Sejahteranya*. Pongkor
57. Kusumayanti, S. (1999). *Ketidakepastian Struktur Terevangan pada Batuan Lemah di Area Tambang Berdahan Bawah Tanah Ombilin Sewak Lente, Sumatra Barat*. Disertasi Doktor, ITB.
58. Kurita, dan Fujii, N. (1979), Stress Memory of Crystalline Rocks in Acoustic Emission. *Geophysical Research Letters*, Vol.6, No.1, 9 - 12.
59. Kramadibrata, S. (2000), *Review on The Use of Acoustic Emission Method for In-situ Stress Determination*. In collaboration between Dept of Mining Engineering, ITB, Indonesia and Dept of Earth Resources and Mining Engineering, Kyushu University, Japan.
60. Kramadibrata, S. (2003), *Study of Estimation of Initial In-situ Stress using Acoustic Emission Method with cored rock samples for the purpose of designing stability of underground mines and tunnels*. Research Report of Aulhi, ITB, Bandung.
61. Kramadibrata, S.; Novi, Purjantia; Rai, M.A.; Sulisrianto, H.; Watiwana, R.K.; Murni, K. (2004), Determination of Three Dimensional In Situ Stress Regime Using Hydraulic Fracturing and Acoustic Emission Methods, *Proc. of ARMS 2004*, Kyoto, Japan.

62. Kuroki, S., Nishi, S., Nishida, K., Matsuoka, H., Matsuoka, K., Nakagawa, H. dan Gotoh, D. (2003), Development of Hydraulic Fracturing Test Apparatus in Indonesia. *Proc. of 3rd International Symposium on Rock Stress*, RS Kanamoto'03, Kanamoto, Japan.
63. Lee, M.Y. dan Harrison, J.C. (2003), Hydraulic Fracturing Stress Measurements at Yucca Mountain, Nevada. *Proc. of 3rd Inter. Symp. on Rock Stress*, RS Kanamoto'03, 4-6 November, Kanamoto, Jepang.
64. Li, C. dan Nordlund, E. (1993), Experimental Verification of The Kaiser Effect in Rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol. 26, No. 4, 333-351.
65. Li, H., An, Q. dan Gao, Q. (2003), In-situ Stress Measurement by Hydraulic Fracturing and Hydraulic Jacking Experiment at Nongda Hydro-power Station, China. *Proc. of 3rd Inter. Symp. on Rock Stress*, RS Kanamoto'03, 4-6 November, Kanamoto, Jepang.
66. Montoya, M. dan Hasan, F.P. (1992), *Application of Kaiser Effect to Measure In-situ Stress in Underground Mines*. Rock Mechanics, Tillerson and Wawerik (eds), Balkema, Rotterdam, 979 - 987.
67. Montoya, M., Hasan, F.P. dan Hardy, J.H. Jr. (1992), Minimum Curvature Method: A Technique to Estimate Kaiser Effect Load from Acoustic Emission Data. *Journal of Acoustic Emission*, Vol. 10, No. 3/4, 61 - 65.
68. Matsui, H., Sato, T., Sugihara, K., dan Nakamura, N. (1997), Comparison of the results of Stress Measurements Determined by Various Methods. *Proc. of the Inter. Symp. on Rock Stress*, Kanamoto, Japan, Oktober, 95-100.
69. McLennan, J.D. dan Rogers, J.C. (1982), Do Instantaneous Strain Pressure Accurately Represent the Minimum Principal Stress. *Proc. Workshop Hydraulic Fracture Stress Measurement*, Open File Report E2-1075, 01 - 207.
70. Miller, J.P., Marcoux, E., Sironi, T., Simeonov, M., Leroy, J., Bailly, L. (1999), Pangloss (West Java Indonesia) : a Pliocene Supergene-enriched Epithermal Au-Ag-(Mn) Deposit. *Mineralium Deposita* 34, 131 - 149.
71. Michihiro, K., Hara, T., Fujimori dan H. Yoshida. (1988), *Estimation of Initial Stress in Various Rock by Acoustic Emission*. Taiyo.
72. Minata, Y., Sano, O., Ogino, S. dan Takai, H. (1987), Three Dimensional Stress Determination by Hydraulic Fracturing for Underground Excavation Design. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr.*, Vol 24, No. 1, 15 - 29.
73. Mogi, K. (1962), Study of Elastic Shock Caused by The Fracture of Heterogeneous Materials and Its Relations to Earthquake Phenomena. *Bulletin of Earthquake*, Tokyo University, Julian Friedel, M.J., Thill, R.E. (1989) U.S. Bureau of Mines research on the Kaiser Effect for Determining Stress in Rock. *Journal of Acoustic Emission*, Vol.12, No.3/4, 577-589.
74. Naga, D.G. (2005), *Model Pengayaan Emas - Perak Supergen Pada Endapan Epitermal Tipe Ubat Pangloss, Area Barat*. Disertasi Doktor, ITB.
75. Nordlund, E. dan Li, C. (1990), *Acoustic Emission and the Kaiser Effect in Rock Materials*. Rock Mechanics Contributions and Challenges, Huströf dan Johansson (eds), Balkema, Rotterdam, ISBN 90 6191 1236, 1043 - 1056.
76. Obert, L. dan Dawid, W.I. (1967), *Rock Mechanics and The Design of Structures in Rocks*. John Wiley and Sons, Inc, 420 - 425.

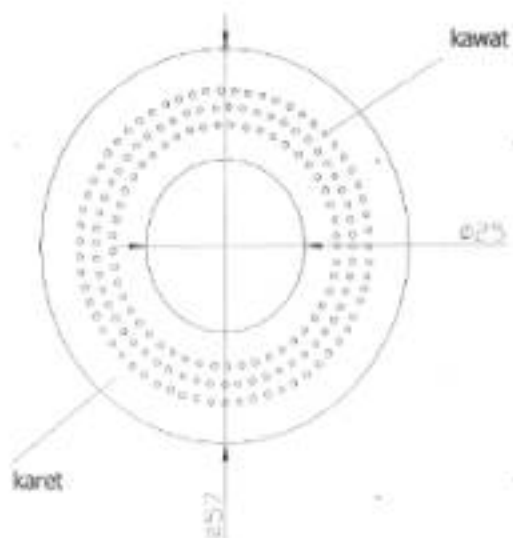
77. Pao, G.N., Beer, G dan Williams, J.R. (1990), *Numerical Methods in Rock Mechanics*, John Wiley and Sons.
78. Physical Acoustic Corporation. (1995), *Minstar 3001 AENIP-32/16 User's Manual*, Princeton, New Jersey.
79. P.T. Anzila Tambung, UBPE Pangkajene. (2002), *Estimasi Cadangan Dgib Tambang Emas Pangkajene per 1 Juli 2002*, Pengkajene.
80. Rai, M.A. (1999), On the Assessment of Tunnel Stability and Role of Field Measurements in Outcrop Undergroud Coal Mines, West Saxony. *Proc. of The '99 Asian-Korea Joint Symposium on Rock Engineering*, K. Matsui and H. Shirada (eds), Fukuoka, Japan.
81. Rai, M.A., Hartono, P.N., Kasandibento, S., Salotiantu, B., Matsui, K., Sudarman, H. dan Taufik, A. (2004), *Application Of Acoustic Emission Method To Determine In-situ Stress At Panyaman, Pangkajene Undergroud Gold Mine, Indonesia*. International Workshop on Earth Science and Technology, Kyushu University.
82. Sano, O. (1981), Technical Note : A Note on the Sources of Acoustic Emission Associated with Subcritical Crack Growth. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr.* Vol.18, 259 - 263.
83. Savin, G.N. (1961), *Stress Concentration Around Holes*, Pergamon, London, dalam Brady, B.H. dan Brown, E.T. (1993) *Rock Mechanics for Underground Mining*, George Allen and Unwin (Publishers) Ltd, Park Lane, London.
84. Schonfeld, H.V. (1970), *An Experimental Study of Open Hole Hydraulic Fracturing as a Stress Measurement Method with Particular Emphasis on Field Test*, Technical Report MRD-3-70, University of Minnesota, Minneapolis, dalam Whittaker, B.N., Singh, R.N., San, G. (1992) *Rock Fracture Mechanics, Principles, Design and Applications*, Development in Geotechnical Engineering, 71, Elsevier, Amsterdam.
85. Seto, M., Nag, D.K., dan Valsuki, V.S. (1999), In-situ Rock Stress Measurement from Rock Cores Using the Acoustic Emission Method and Deformation Rate Analysis. *Geotechnical and Geological Engineering*, 17, 1 - 26.
86. Seto, M., Udagawa, M., Katsuyama, K. dan Kiyama, T. (1997), *Application of Acoustic Emission Technique to Determination of In-Situ Stress*, Environmental and Safety Concerns in Underground Construction, Lee, Yung dan Chang (eds), Balkema, Rotterdam, 691 - 696.
87. Seto, M., Udagawa, M. dan Katsuyama, K. (1995), Application of Acoustic Emission technique to Determination of In-situ Stresses in Mines. *Proc. of 26th Int. Conf. Safety in Mines Research Institute*, Vol. 4, Central Mining Institute, Katowice, Poland, 95 - 109.
88. Soeria-Atrudjo R. (1994), Tertiary Magmatic Belts in Java, *Journal of Southeast Asian Earth Science*, Pergamon Press Ltd, Great Britain, Vol.9, No.1 / 2, hal. 13-27, dalam Naga, D.G. (2005), *Model Pengayaan Emas - Perak Supergen Pada Endapan Epitermal Tipe Urot Pangkajene, Jawa Barat*, Disertasi Doktor, ITB.
89. Sondergeld, C.H. dan Estey, J.H. (1981), Acoustic Emission Study of Microfracturing during the Cyclic Loading of Westerly Granite. *J. Geophys. Res.*, V 86, 2915 - 2924.

90. Song, W.K; Choi, S.O; dan Pak, C. (2003), Comparison of In-situ Stress Measured by Hydro-fracturing and Overcoring Method. *Proc. of 3rd Intern. Symp. on Rock Stress*, RS Kumamoto'03, 4-6 November, Kumamoto, Jepang.
91. Sulistiono B; Hartono P.N; Rai, M.A., Kramadibrata, S., Matsui, K., Sulaiman, M.S, Sudirman I.E. dan Taufik, A. (2004), *In-situ Stress Measurements in Pangloss Underground Gold Mine, West Java, Indonesia*. International Workshop on Earth Science and Technology, Kyushu University.
92. Sulistiono, B; Novi, Pantjanto; Rai, M.A; Kramadibrata, S.; Matsui, K.; Nakagawa, H; Setiawan, ID; Jena, E; dan Riono. (2003), Determination of In-situ Stress Using Hydraulic Fracturing Method at Pangloss Underground Gold Mine, West Java, Indonesia. *Proc. of 3rd International Symposium On Rock Stress*, RS Kumamoto'03, Kumamoto, Japan.
93. Terzaghi, K dan Richart, F.E. (1952), Stresses in Rock About Cavities. *Geotechnique*, 3, hal 57- 90, dalam Hoek, E. dan Brown, E.T. (1980), *Underground Excavations in Rock*. The Institution of Mining and Metallurgy, London.
94. Utami; dan Wicandarma. (1975), Di dalam Laporan Studi Statewark Geology Daerah Pangloss dan Sekitarnya. Geologi UNPAD, PT. Aneka Tambang, 2001.
95. Udagawa, M, Sato, M, dan Katayama, K. (1997), Determination of In-situ Stress Using BHA and AE Techniques. *Environmental and Safety Concerns in Underground Construction*, Lee, Vang dan Chung (eds), Balkema, Rotterdam, 743 - 750.
96. Von Jaef, Kelmser. (1953), *Erkenntnisse und folgerungen aus der Messung von Gesteinsdrücken bei Zugbeanspruchung von Metallischen Werkstoffen*. Anhang zur Eisenhüttenwesen Gruppe E, Nr. 1335, hal.3, dalam Kramadibrata, S., (2000) *Review on The Use of Acoustic Emission Method for In-situ Stress Determination*. In collaboration between Dept of Mining Engineering, ITB, Indonesia dan Dept of Earth Resources and Mining Engineering, Kyushu University, Japan.
97. Yashiro, V.S, dan Katayama, K. (1994), *Introduction to Rock Mechanics*, Industrial Publishing dan Consulting, Inc., Tokyo.
98. Whitaker, B.N, Singh, R.N, dan Sun, G. (1992), *Rock Fractures Mechanics, Principles, Design and Applications*. Development in Geotechnical Engineering, 71, Elsevier, Amsterdam.
99. Yoshikawa, S; dan Mogi, K. (1981), *A New Method for Estimation of the Crustal Stress from Cored Rock Samples. Laboratory Study in The Case of Uniaxial Compression*, Tectonophysics.
100. Zoback, M.D., dan Hinson (eds). (1982), *Workshop on Hydraulic Fracturing Stress Measurements*. Vol. I, Menlo Park, California, 141 - 207.
101. Zoback, M.D., dan Pollard, D.D. (1978), Hydraulic Fracture Propagation and the Interpretation of Pressure - Time Records for In-situ Stress Determinations. *Proc. 19th Mining US Symp. On Rock Mech.*, 14 - 22, dalam Whitaker, B.N, Singh, R.N, Sun, G. (1992), *Rock Fractures Mechanics, Principles, Design and Applications*. Development in Geotechnical Engineering, 71, Elsevier, Amsterdam.

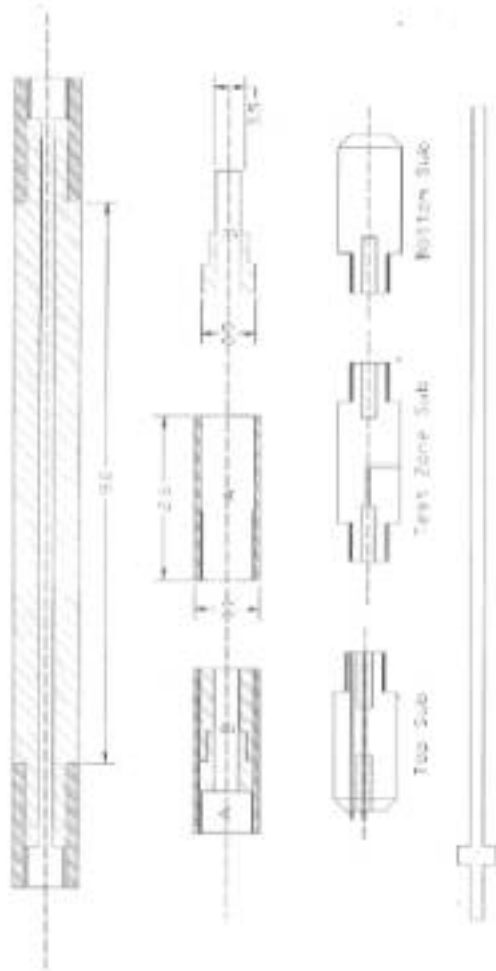
LAMPIRAN A

**Gambar Teknik Packer, Tops Sub, Test Sub
dan Bottom Sub**

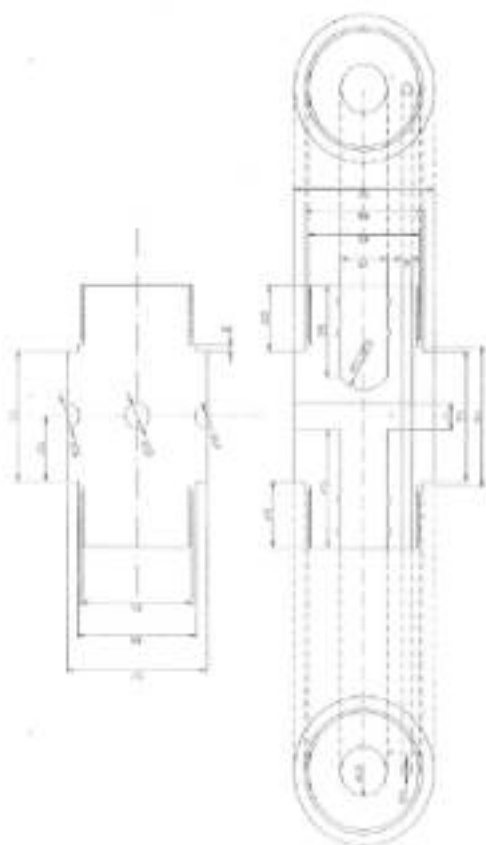
Lampiran A Gambar Teknik Persebaran Uji Rekasi Hidrolik



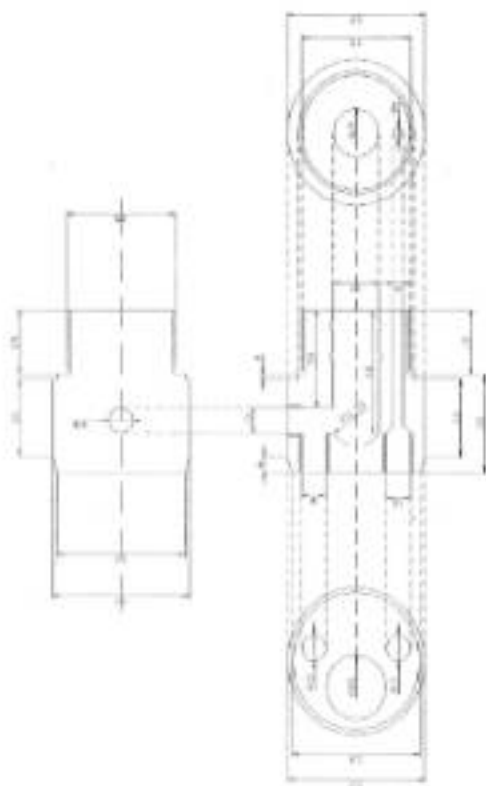
Gambar A.1. Pompa pengaliran pengalir



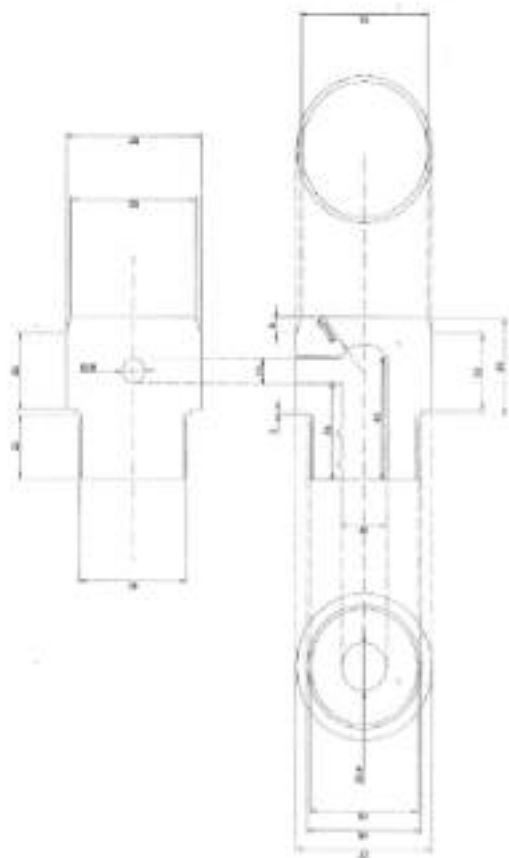
Gambar A.2. Penampang memanjang peker



Garnier A.3. Test sub



Carnbar A.A. Top sub



Gasther A.5. Bottom sub

LAMPIRAN B
Kronologis Uji Coba Peralatan

Lampiran II. Keunggulan Uji Coba Perawatan

B.1. Uji Kebocoran dan Kinerja Straddle Packer

Tabel B.1. Keunggulan pengujian straddle packer

NO	TANGGAL	JENIS PENGUJIAN	HASIL PENGUKURAN	PEMBAHASAN
1.	02-11-00	Pengujian kebocoran packer tunggal pada sistem bebas	- Pengujian dilakukan pada bidang bebas, dengan menggunakan alat pengukur untuk mengukur deformasi lateral karet - Terjadi kebocoran pada bagian samping karet dan baji	Pengubah kebocoran : - Asam karet dan baji standar steel tidak diberi perawatan perikat. Perbaikan yang dilakukan : - Packer diganti dengan memberikan perikat asam karet dan baji standar steel
2.	13-11-00	Pengujian kebocoran packer tunggal pada sistem bebas	- Pengujian dilakukan pada bidang bebas, dengan menggunakan alat pengukur untuk mengukur deformasi lateral karet - Tidak terjadi kebocoran pada bagian samping karet dan baji	Catatan : - pada tekanan 3 MPa terjadi deformasi lateral karet yang cukup besar, sehingga pengujian dihentikan untuk menghindari kerusakan packer
3.	23-11-00	Pengujian kebocoran packer tunggal pada bidang ter 45 mm	- packer sudah terbelah menyekat dengan besi - Pada tekanan packer 3 MPa, tekanan turun yang disebabkan oleh kebocoran oli pada bidang kecil di baji standar steel	Pengubah kebocoran : - Oli mentes pada bidang terbelah karena lubang terbelah belum ditutup dengan perikat. - Sakoranya bidang terbelah tidak ada alas ditutup dengan besi yang tidak bisa diganti lain lagi. Perbaikan yang dilakukan : - baji terbelah ditutup dengan perikat - pada pembuatan packer berikutnya

NO	TANGGAL	JENIS PENGUJIAN	HASIL PENGUJIAN	PENDAHARAN
				Isi yang tertera tidak diisi
4.	29-11-08	Pengujian ketahanan packer tunggal pada tubing ber 60 mm	- packer tidak berhasil menyekat dengan baik dan tidak terjadi perubahan oli - Pake tekanan 12MPa, tekanan turun yang disebabkan oleh - kebocoran kecil packer pada anulargapnya dga stainless steel	Prasyarat : - Packer tidak mampu menahan tekanan > 12 MPa karena : a. tubing korosi dan yang digunakan b. Packer yang digunakan merupakan packer hasil perbaikan, sehingga kebocoran kecil ke tubing luar karena ada oli yang masih tertinggal. Saran : - Perbaikan packer sebaiknya dilakukan tanpa drilling, karena menggunakan ketahanan packer
5	20-01-08	Pengujian ketahanan packer tunggal pada tubing ber 60 mm	- packer tidak berhasil menyekat dengan baik dan tidak terjadi perubahan oli - Pake tekanan 22 MPa, tekanan turun yang disebabkan oleh kebocoran kecil packer pada anulargapnya dga stainless steel Catatan : - Foto pengujian ini diberikan pada presentasi dan video oli yang keluar yang akan digunakan untuk menghitung mud loss efektifitas packer	Prasyarat : - Packer tidak mampu menahan tekanan > 22 MPa, jika tersebut disebabkan oleh : a. tubing korosi dan yang digunakan b. kontrol seal sub, test sub dan inner tube yang menggunakan torjok pengganti ke sub drill Perbaikan : - modifikasi top sub, test sub, dan inner tube untuk mengontrol pengisian secara akurat

3.2. Uji Impresi Pakar dan Karet Penutup Bekas

Tabel B.2. Kronologi pengujian impresi pakar

NO	TANGGAL	JENIS PENGUJIAN	HASIL PENGUJIAN	PEMBAHASAN
1.	18-12-02	Pengujian Impresi Pakar pada beton 1	- hasil pemotokan relahan tidak bisa memotok relahan dengan baik.	Pengotakan : - Karet pemotok terlalu elastis Perbaikan yang dilakukan : - Mengganti komposisi karet pemotok.
2.	09-01-03	Pengujian Impresi Pakar pada beton 1	- Karet pemotok relahan sudah bisa untuk memotok relahan pada beton	Karet mampu memotok relahan pada tekanan 3 MPa dan waktu pemotakan 15 menit.
3.	10-01-03	Pengujian Impresi Pakar pada pipa	- Karet pakar bisa kembali ke bentuk semula	- Uji ini dilakukan untuk mengetahui apakah karet pemotok mampu kembali ke bentuk semula jika diberikan pada tekanan yang relatif tidak ada relahan. - Uji dilakukan pada pipa baja berdiameter 60 mm, dengan tekanan 3 MPa dan dalam waktu 15 menit
4	07-02	Pengujian Impresi Pakar pada beton 3	- Karet pakar bisa memotok relahan pada beton 1 - terjadi keretakan pada saat pengujian pakar	- Tekanan pakar 3 MPa dan waktu pemotakan 15 menit - Pakar dan karet pemotok tidak bisa dilekarkan dari lubang beton. - Pakar dilekarkan dari lubang beton dengan menggunakan dongkrak hidrolik. Pengotakan : - karet pemotok terlalu lama sehingga memotong pada relahan di dalam beton
5	07-02	Pengujian Impresi Pakar pada beton 2	- tekanan pakar diberikan 3 juga 2 MPa dan waktu	Pengotakan : - karet pemotok tidak

NO	TANGGAL	JENIS PENGUNJAN	HASIL PENGUNJAN	PENYEMBAHAN
			pasokan 10 munt. - Reaksi tidak bisa terlihat karena paku dan karat tersebut tidak bisa dilekaskan dari tubuh.	tersebut dari pada paku sehingga karat yang ada dan menyebarkan paku terakumulasi dan tidak bisa dilekaskan Penyembuhan masalah : - pertama-tama diupayakan dengan menggunakan fungisida sistemik, tapi paku tidak bisa dilekaskan - Kemudian digunakan karat dan rumus. Sampai rumus terapan paku tetap tidak bisa dilekaskan - Akhirnya bisa diupayakan untuk melekaskan paku.

B.3. Uji Retak Hidrolik di Laboratorium

Tabel B.3. Kronologi pengujian retak hidrolik di laboratorium

NO	TANGGAL	JENIS PENGUJIAN	HASIL PENGUJIAN	PEMBAHASAN
1.	18-12-04	Pengujian HF pada beton 1	- Terdapat turbo room air untuk pengembangan packer. - Oil yang sebelumnya digunakan untuk pengembangan packer harus keluar melalui seal-seal antara <i>lower tube</i> dan <i>housing</i> pada test tube. - Beton sudah diberi kawatkan awal.	Pengetahui : - Jarak diameter antara <i>lower tube</i> dan <i>housing</i> pada test tube terlihat besar (0,5 mm). <i>seal ring</i> yang digunakan terlihat kecil. Perbaikan yang dilakukan : <i>lower tube</i> bagian bawah diperbesar. - Mengganti <i>seal ring</i> dengan yang lebih besar.
2.	09-01-05	Pengujian HF pada beton 1	- packer sudah berhasil dipasang dengan baik. - test tube, test tube, beton awal dan <i>lower tube</i> sudah berfungsi! - beton pecah beton oleh tekanan uji, maksimum oleh tekanan packer sebesar 5 MPa.	Pengetahui : - manometer yang digunakan pada tekanan uji mempunyai skala yang terlalu besar (1 atm = 2 MPa), sehingga konstanta tekanan uji nilai terlalu. - Karena konstanta tekanan uji nilai terlalu, maka tekanan packer diukurkan hingga 2 MPa, artinya tekanan tersebut terlalu besar untuk contoh beton 1, sehingga beton pecah oleh tekanan packer. Perbaikan : - mengganti manometer dgn manometer yang mempunyai skala perbandingan lebih kecil. - Data tekanan uji 1 atm = 0,1 MPa - Data tekanan packer

NO	TANGGAL	JENIS PENGUJIAN	HASIL PENGUJIAN	PENYIMPULAN
				1 day = 0,2 MPa
3.	16-01-01	Pengujian HF pada beton 2	- paku sudah terlanjur menyekat dengan baik - top sah, not sah, bottom sah dan inner tube sudah berfungsi - beton pecah pada tekanan uji 2 MPa dan tekanan paku 4,8 MPa	- Metrikon sesuai bagai alat mudah berfungsi dengan baik, sesuai pada pengujian ini alat sudah terlanjur pada percobaan dengan yang sudah dilakukan secara manual. - Hal ini menyebabkan data tidak terlanjur dengan baik - Perbaikan dapat dilakukan dengan mengombinasikan alat perolehan data otomatis menggunakan komputer.
4.	03-02	Pengujian HF pada beton 3	- Paku sudah menyekat dengan baik hingga 3 MPa - Beton pecah akibat tekanan paku	- Beton terlanjur pecah (data dapat dilihat pada lampiran)
5	06-02	Pengujian HF pada beton 4	- Paku sudah menyekat dengan baik hingga 3 MPa - Tekanan paku diberikan dan tekanan uji sudah dilakukan	- Data tekanan belum terbacu pada alat peng, tetapi beton sudah pecah
6	25-09-02	Pengujian HF pada beton 1 yang telah pecah Beton dikot dengan menggunakan alat	- Paku menyekat dengan baik pada tekanan 3 MPa - Tekanan uji dilakukan - Uji HF tidak bisa dilakukan karena oli menutupi keluar beton melalui celahan yang telah terbentuk sebelumnya	- Pada pengujian ini, digunakan reading device secara komputer.
7	27-09-02	Pengujian HF pada beton 2 yang telah pecah Beton dikot dengan menggunakan alat	- Paku menyekat dengan baik pada tekanan 3 MPa - Tekanan uji dilakukan - Seperti pada beton 1, uji HF tidak bisa	- Pada pengujian ini, digunakan reading device secara komputer. - Digunakan untuk menggunakan pipa baja sebagai pemadatan

NO	TANGGAL	JENIS PENGUJIAN	HASIL PENGUJIAN	PENYERAHAN
			Gedakan krusen oli menekan letak beton adalah relatif yang masih terbentuk sebelumnya.	untuk uji U ₁
8	27-09-02	Pengujian HF pada pisa beton	- Tekanan paku dapat level (1,3 MPa) - Handling device bisa memiliki uji dengan sangat baik.	Gratifikasi HF dipaparkan dengan memilikai letak pada paku sangat uji (Gedakan uji dapat dilihat pada lampiran)

B.4. Uji Kinerja Perangkat Data Elektronik

Tabel B.4. Kronologi pengujian kinerja perekam data elektronik

NO	TANGGAL	JENIS PENGUJIAN	HASIL PENGUJIAN	PENYIMPANAN
1.	Maret 02	Uji coba reading device dengan dial gauge elektronik	- Reading device belum dapat membaca data	- Kemungkinan terjadi masalah pada komputer Blogger - Karena tidak ditemukan connector yang diperlukan, maka dibuat menggunakan connector dari sumber lain - Diaplikasikan metode / connector di Gledak dan Harjo Lakerta
2.	April 02	Uji coba reading device dengan dial gauge elektronik dan LVDT	- Reading device sudah dapat membaca data dari dial gauge	- Debugger belum bisa membaca sinyal dari pressure transducer - Hal ini bisa disebabkan oleh beberapa hal yaitu connector pressure transducer tidak pas dan ada masalah pada sistem pengaman sinyal untuk pressure transducer
3.	Mai 02	Uji coba reading device dengan pressure transducer di mesin laut teknis	- Reading device sudah dapat membaca pressure transducer, kapak 10 MPa, tetapi belum bisa untuk pressure transducer 100 MPa	- Hal ini disebabkan karena beberapa pengaturan sinyal untuk pressure transducer 100 MPa
4.	Mei 02	Uji coba reading device dengan pressure transducer yang dipasang pada pompa hidrolik manual	- Reading device sudah dapat membaca tekanan dengan menggunakan pressure transducer 10 MPa pada pompa manual	- Software Blogger sudah dapat membaca grafik tekanan
5.	Juni 02	Uji coba reading device dengan pressure transducer 100 MPa pada mesin laut teknis	- Pressure transducer 100 MPa sudah terpasang, tetapi sinyal masih terbalik kecil	- Dilakukan perbaikan pada software dan pengaman sinyal
6.	September 02	Uji coba reading device dengan pressure transducer	- Pressure transducer 100 MPa sudah terpasang terbalik kecil	- Dilakukan penyempurnaan software

No	TANGGAL	JENIS PENGUJIAN	HASIL PENGUJIAN	PEMBAHASAN
		100 MPa pada pasip	mudat device dengan baik	
7	September 2002	Uji suhu mudat device pada beton	- Pressure increase dari 100 MPa adalah terburuk	- Akan dilakukan uji suhu mudat device pada uji III'
8	September 2002	Uji suhu mudat device pada sambutan uji III' di dalam batang bar 60 mm	- Trigger tidak muncul uji dengan baik	- Beton sudah penuh sehingga tidak ada pergeseran dan pergeseran relatif tidak diperoleh karena oli keluar dari suhu suhu rata-rata. - Karena itu dilakukan uji pada batang bar untuk dapat memvisualisasikan uji <i>hydrolic pressure</i> secara lengkap.

LAMPIRAN C
Data Pengujian Sifat Fisik

Lampiran C. Data Pengujian Sifat Fisik

C.1. Chlorag

No Control	Density (g/cm ³)		Specific Gravity		Kadar Air (%)		Derajat Kekerasan (%)	Perubahan (%)	Void Ratio (%)
	Normal	Kering	Asasch	True	Asli	Jernih			
Lubang Bor N 310 E / 8									
1	2.19	2.09	2.26	2.09	2.21	6.60	8.07	4.92	0.17
2	2.24	2.20	2.12	2.22	2.20	1.89	2.27	22.21	0.12
3	2.21	2.18	2.12	2.18	2.18	1.21	7.26	18.22	0.15
4	2.21	2.18	2.15	2.18	2.18	1.14	7.44	18.81	0.19
5	2.21	2.16	2.44	2.19	2.16	0.47	3.21	12.89	0.08
6	2.28	2.16	2.16	2.16	2.60	0.69	3.82	17.64	0.10
7	2.12	2.13	2.32	2.13	2.12	1.01	8.71	11.64	0.21
Lubang Bor N 270 E / 8									
1	2.07	2.09	2.16	2.10	2.17	0.20	7.77	2.29	0.18
2	2.29	2.28	2.19	2.28	2.44	0.31	2.83	11.11	0.06
3	2.21	2.20	2.16	2.21	2.62	0.71	7.24	10.00	0.18
4	2.42	2.41	2.48	2.42	2.39	0.64	2.92	22.22	0.09
5	2.12	2.10	2.27	2.12	2.14	0.79	8.21	9.48	0.21
6	1.98	1.97	2.18	1.97	2.09	0.54	10.48	5.13	0.24
7	2.24	2.26	2.42	2.24	2.15	1.24	2.76	47.00	0.07
8	1.94	1.93	2.13	1.93	2.41	0.93	10.22	4.84	0.22
9	2.28	2.27	2.41	2.27	2.45	0.72	6.39	8.22	0.17
Lubang Bor N 234 E / 8									
1	2.24	2.23	2.38	2.23	2.46	0.52	4.17	7.69	0.10

No Cairan	Density (g/cm ³)			Specific Gravity			Kadar Air (%)			Bersihan Kalkulus (%)	Persebaran (%)	Valid Baru (%)
	Natural	Mering	Jernih	Apparent	True		Asli	Jernih				
1	2,24	2,25	2,28	2,22	2,29		8,23	2,34	4,02		0,12	0,12
2	2,39	2,39	2,40	2,39	2,39		9,78	4,32	11,66		0,17	0,12
4	2,28	2,28	2,28	2,28	2,32		8,34	4,14	3,85		0,08	0,16
5	2,05	2,01	2,22	2,01	2,36		8,67	10,76	5,54		0,22	0,18
6	2,04	2,04	2,24	2,04	2,47		9,38	10,11	3,78		0,21	0,28
7	2,35	2,33	2,43	2,33	2,60		9,28	4,26	12,33		0,10	0,11
8	2,33	2,33	2,47	2,33	2,79		9,52	2,93	8,93		0,14	0,16
9	2,39	2,39	2,42	2,39	2,61		9,67	5,06	11,69		0,12	0,12
10	1,78	1,77	2,03	1,77	2,09		9,48	14,82	3,28		0,26	0,26
12	2,29	2,23	2,36	2,23	2,66		9,52	6,82	7,68		0,19	0,18
Lubang Bar setelah												
1	2,12	2,10	2,23	2,13	2,52		9,55	10,71	8,13		0,23	0,28
2	2,18	2,17	2,27	2,12	2,41		8,48	4,98	10,09		0,10	0,11
3	2,39	2,29	2,38	2,29	2,51		9,43	5,89	11,11		0,09	0,10
4	2,24	2,23	2,35	2,23	2,49		8,47	4,23	11,11		0,10	0,12
5	2,14	2,23	2,45	2,23	2,61		8,67	8,63	10,09		0,20	0,29
6	2,31	2,30	2,44	2,33	2,68		9,57	6,19	9,28		0,14	0,17
7	2,48	2,47	2,56	2,47	2,71		8,85	3,55	24,14		0,26	0,11
8	2,42	2,40	2,52	2,43	2,71		8,71	4,82	14,09		0,11	0,13
9	2,18	2,14	2,28	2,14	2,56		9,49	4,48	27,43		0,10	0,11
Lubang Bar N 210 E / 15												
1	2,95	2,94	2,97	2,94	3,04		8,71	1,81	88,87		0,04	0,04
2	2,97	2,93	2,97	2,95	3,07		9,87	2,49	29,09		0,06	0,07
3	2,32	2,31	2,41	2,31	2,56		9,48	4,21	11,11		0,10	0,11
4	2,35	2,34	2,43	2,34	2,58		9,48	4,42	11,11		0,10	0,11
5	1,88	1,88	2,06	1,88	2,50		9,47	9,72	4,84		0,18	0,23

No	Condit	Density (g/cm ³)		Specific Gravity		Kadar Air (%)		Derajat Kejernihan (%)	Perawatan (%)	Void Ratio (%)
		Natural	Kering	Jumlah	True	Air	Jumlah			
6	2.11	2.06	2.28	2.08	2.41	1.58	9.28	11.89	0.20	0.23
7	2.17	2.16	2.31	2.13	2.43	1.23	9.28	11.82	0.21	0.24
8	2.21	2.20	2.23	2.23	2.23	0.53	5.98	9.28	0.19	0.11
9	2.22	2.23	2.27	2.23	2.28	6.71	6.31	12.03	0.18	0.18
10	2.43	2.41	2.23	2.43	2.75	8.97	4.84	20.50	0.12	0.11
11	2.37	2.35	2.40	2.35	2.78	8.83	6.22	13.31	0.18	0.17
12	2.64	2.62	2.18	2.62	2.45	9.83	8.28	8.68	0.17	0.20
12	2.32	2.25	2.16	2.23	2.54	1.00	4.91	60.58	0.11	0.12
Labung Bkr. 20.270 R/148										
1	2.41	2.29	2.57	2.29	2.50	3.83	7.49	11.11	0.18	0.22
2	2.38	2.17	2.23	2.17	2.27	3.55	7.10	40.50	0.18	0.18
3	2.38	2.26	2.27	2.26	2.53	1.00	4.82	29.47	0.11	0.12
4	2.38	2.28	2.28	2.08	2.58	3.54	8.94	9.08	0.18	0.23
5	2.38	2.17	2.52	2.17	2.59	0.52	7.02	8.05	0.12	0.18
6	2.41	2.29	2.48	2.29	2.65	0.83	5.93	21.21	0.09	0.18
7	2.43	2.44	2.54	2.44	2.72	3.78	4.29	13.51	0.10	0.12
8	2.20	2.19	2.54	2.19	2.27	3.68	6.31	3.68	0.15	0.18
9	2.56	2.15	2.52	2.15	2.69	0.65	7.91	8.28	0.17	0.21
10	2.61	2.60	2.47	2.60	2.79	0.43	2.66	14.09	0.07	0.07
11	2.58	2.55	2.52	2.55	2.73	0.23	2.54	8.78	0.07	0.07
12	2.37	2.28	2.48	2.19	2.68	0.48	5.04	9.52	0.12	0.14
Labung Bkr. 20.225 R/148										
1	2.22	2.23	2.41	2.21	2.27	0.44	4.47	5.74	0.10	0.11
2	2.38	2.25	2.66	2.25	2.63	1.20	4.25	24.52	0.11	0.12
3	2.26	2.25	2.64	2.25	2.67	0.44	3.52	12.50	0.08	0.08
4	2.47	2.45	2.54	2.45	2.68	0.74	3.40	20.40	0.09	0.19

No Control	Density (g/cm ³)			Specific Gravity		Kadar Air (%)		Bersifat Kajinan (%)	Persebaran (%)	Void Ratio (%)
	Natural	Kering	Jenuh	Apparent	True	Asli	Jenuh			
2	2.48	2.45	2.56	2.45	2.13	5.50	4.18	21.43	0.11	5.11
6	2.42	2.40	2.52	2.40	2.34	5.53	2.26	17.43	0.13	5.18
7	2.39	2.37	2.43	2.37	2.49	1.18	6.87	17.24	0.11	5.18
8	2.27	2.26	2.42	2.26	2.25	0.48	2.13	25.28	0.27	5.08
9	2.27	2.26	2.43	2.26	2.41	0.56	4.13	38.43	0.11	5.11
10	2.37	2.36	2.46	2.36	2.63	0.81	4.56	17.24	0.11	5.12
11	2.26	2.24	2.37	2.24	2.28	0.82	5.87	33.43	0.18	5.18

C.2. Penulangan

No Control	Density (g/cm ³)			Specific Gravity		Kadar Air (%)		Bersifat Kapasitan (%)	Persebaran (%)	Void Ratio (%)
	Natural	Kering	Jenuh	Apparent	True	Asli	Jenuh			
Layang Bar. N 550 E / -3										
1	2.081	2.047	2.264	2.047	2.115	1.689	10.615	15.990	0.217	5.278
2	2.079	2.048	2.253	2.060	2.183	1.942	10.276	18.326	0.210	5.265
3	2.089	2.058	2.319	2.059	2.361	1.460	9.731	13.020	0.108	5.289
4	2.071	2.038	2.221	2.070	2.456	4.065	10.462	20.252	0.210	5.269
5	2.163	2.084	2.357	2.084	2.330	3.781	8.311	45.113	0.173	5.289
6	2.121	2.104	2.293	2.104	2.390	1.293	8.423	14.474	0.168	5.221
7	2.182	2.158	2.393	2.158	2.493	1.111	6.223	17.897	0.134	5.168
8	2.271	2.241	2.374	2.241	2.496	1.350	5.925	22.469	0.123	5.153
9	2.368	2.347	2.466	2.347	2.606	0.847	0.227	20.020	0.188	5.133
10	2.359	2.338	2.456	2.338	2.871	1.47	5.858	22.917	0.128	5.144

No Cairan	Density (g/cm ³)			Specific Gravity		Kadar Air (%)		Derajat Kekentalan (%)	Permittivitas (%)	Void Ratio (%)
	Normal	Kerling	Jumlah	Apparent	True	Air	Jumlah			
1	2,117	2,076	2,166	2,072	2,537	1,708	8,573	13,097	0,189	0,220
2	2,217	2,212	2,240	2,212	2,564	1,064	6,197	17,647	0,137	0,194
3	2,217	2,198	2,242	2,188	2,623	2,212	8,903	27,343	0,172	0,233
4	2,076	2,024	2,212	2,024	2,650	2,510	9,196	27,142	0,166	0,225
5	2,111	2,081	2,271	2,083	2,562	1,265	8,914	15,514	0,144	0,228
6	2,269	2,227	2,166	2,117	2,587	0,942	6,256	15,636	0,139	0,142
Larutan Baur N 243 R /-8										
1	2,051	2,041	2,162	2,043	2,372	0,571	6,793	5,433	0,139	0,181
2	2,019	1,992	2,194	1,992	2,407	0,922	10,148	9,051	0,262	0,212
3	2,043	2,034	2,273	2,014	2,510	0,473	9,788	4,819	0,188	0,209
4	2,038	2,024	2,274	2,024	2,511	0,706	9,903	7,143	0,200	0,211
5	1,960	1,937	2,154	1,937	2,473	1,170	11,183	19,485	0,217	0,277
6	2,011	1,992	2,189	1,992	2,480	0,913	9,830	9,419	0,187	0,243
7	2,178	2,102	2,272	2,102	2,434	0,752	5,198	14,286	0,112	0,227
8	2,179	2,152	2,216	2,122	2,567	0,610	7,452	9,275	0,140	0,181
9	2,158	2,128	2,264	2,128	2,559	0,472	7,913	5,970	0,168	0,202
10	2,147	2,118	2,202	2,118	2,564	1,008	8,667	12,729	0,183	0,225
11	2,247	2,281	2,146	2,143	2,499	0,217	1,794	5,714	0,087	0,046
12	2,287	2,282	2,170	2,282	2,501	0,213	1,418	5,576	0,088	0,096
13	2,096	2,072	2,223	2,072	2,464	1,077	7,611	13,889	0,158	0,198
14	2,165	2,152	2,212	2,152	2,434	0,651	3,127	11,238	0,122	0,141
15	1,979	1,966	2,187	1,966	2,419	0,602	10,199	6,494	0,201	0,231
16	2,123	2,107	2,252	2,107	2,461	1,210	8,879	17,742	0,147	0,169
17	2,241	2,221	2,260	2,221	2,558	0,918	5,102	11,687	0,127	0,148
18	2,121	2,104	2,190	2,104	2,543	0,797	4,543	14,619	0,091	0,101

No Contoh	Density (g/cm ³)			Specific Gravity		Kadar Air (%)		Diserap Kejenuhan (%)	Permisian (%)	Void Ratio (%)
	Natural	Marling	Jenish	Apparent	True	Asli	Jenish			
Lubang Bor M 247 E / 4										
1	2.058	2.022	2.150	2.022	2.426	1.751	0.262	26.896	0.168	0.261
2	1.950	1.813	2.108	1.813	2.175	0.897	10.159	8.414	0.164	0.261
3	1.899	1.541	2.143	1.541	2.411	0.920	10.381	8.811	0.102	0.252
4	1.955	1.846	2.151	1.846	2.448	1.532	10.487	8.212	0.104	0.237
5	2.158	2.287	2.313	2.287	2.593	0.828	8.144	10.284	0.174	0.211
6	2.112	2.406	2.406	2.406	2.791	1.096	5.118	21.429	0.117	0.152
7	2.182	2.268	2.459	2.268	2.616	1.940	4.202	22.877	0.099	0.155
8	2.218	2.338	2.371	2.338	2.588	1.018	6.113	18.581	0.125	0.188
9	2.245	2.313	2.366	2.313	2.491	1.278	6.893	18.844	0.142	0.179
10	2.089	2.046	2.321	2.046	2.474	1.125	10.035	21.176	0.105	0.258
11	2.071	1.968	2.189	1.968	2.511	1.755	11.368	24.998	0.123	0.286
12	2.277	2.195	2.328	2.195	2.758	1.752	6.433	28.000	0.141	0.164
13	2.163	2.287	2.360	2.287	2.488	0.777	3.218	24.131	0.074	0.079
14	2.409	2.186	2.472	2.186	2.613	0.692	3.644	26.667	0.087	0.065
15	2.345	2.316	2.318	2.316	2.618	0.499	3.741	13.333	0.084	0.081
Lubang Bor vertikal										
1	2.313	2.117	2.268	2.117	2.086	4.634	7.179	66.553	0.152	0.178
2	2.242	2.212	2.378	2.212	2.589	1.370	2.989	45.533	0.166	0.071
3	1.946	1.712	1.981	1.712	2.353	1.981	16.089	15.029	0.272	0.181
4	2.433	2.387	2.452	2.387	2.552	2.012	2.722	70.912	0.562	0.060
5	2.114	2.657	2.279	2.657	2.613	2.778	10.340	26.556	0.213	0.270
6	2.248	2.201	2.316	2.201	2.482	2.143	5.143	43.657	0.113	0.128
7	2.181	2.132	2.216	2.132	2.480	2.481	5.228	45.946	0.111	0.128

No Castish	Density (g/cm ³)		Specific Gravity		Kadar Air (%)		Deviasi Kejmlahan (%)	Porositas (%)	Void Ratio (%)
	Natural	Kejml	Apparent	True	Asli	Jumlah			
8	2.211	2.164	2.271	2.164	2.231	4.933	44.644	0.107	0.129
9	2.254	2.145	2.114	2.140	2.292	2.341	8.160	0.172	0.212
10	2.066	2.343	2.101	2.043	2.297	2.335	7.237	0.148	0.154
11	2.223	2.181	2.307	2.181	2.459	1.971	9.782	0.126	0.164
12	2.268	2.263	2.331	2.260	2.432	2.200	48.000	0.071	0.076
Lubang Bor N 100 E / -8-									
1	2.079	2.251	2.124	2.031	2.286	1.375	3.000	0.102	0.114
2	2.277	2.183	2.282	2.183	2.430	2.287	2.200	0.102	0.123
3	2.178	2.154	2.270	2.154	2.425	1.054	2.448	0.113	0.130
4	2.037	1.664	2.068	1.866	2.342	3.343	10.882	0.203	0.264
5	2.072	1.624	2.101	1.934	2.230	6.059	7.429	0.147	0.172
6	2.143	1.533	2.191	2.015	2.432	6.432	7.664	0.163	0.180
7	2.040	1.922	2.103	1.922	2.242	2.210	2.254	0.178	0.237
8	2.067	2.013	2.097	2.013	2.184	2.380	4.034	0.082	0.099
9	2.184	2.128	2.142	2.128	2.427	2.290	4.891	0.114	0.128
10	2.424	2.380	2.472	2.349	2.632	1.812	3.580	0.086	0.094
11	2.160	2.000	2.166	2.000	2.487	6.457	9.792	0.108	0.266
12	2.261	2.096	2.293	2.096	2.430	7.873	9.401	0.167	0.245
13	2.433	2.390	2.478	2.390	2.614	1.715	3.907	0.089	0.098
14	2.248	2.112	2.286	2.112	2.386	1.615	3.337	0.074	0.081
Lubang Bor N 142 E / -10-									
1	2.450	2.430	2.483	2.439	2.537	1.444	1.189	0.500	0.048
2	2.483	2.232	2.273	2.273	2.487	2.270	4.745	0.104	0.118
3	2.277	2.258	2.311	2.258	2.481	1.848	3.238	0.077	0.079

No Caulk	Density (g/cm ³)			Specific Gravity		Kolar Air (%)		Overjet Kojumbar (%)	Porosity (%)	Void Ratio (%)
	Natural	Keeling	Jeesh	Aqueous	True	Air	Jeesh			
4	2.238	2.208	2.282	2.248	2.222	2.210	2.289	25.484	0.282	0.093
5	2.359	2.258	2.359	2.319	2.227	2.216	2.169	27.477	0.140	0.143
6	2.118	2.070	2.197	2.070	2.173	2.215	2.123	27.778	0.127	0.145
7	2.106	2.046	2.181	2.046	2.164	2.241	2.183	26.481	0.128	0.156
8	2.107	2.066	2.244	2.066	2.276	2.264	2.451	18.224	0.154	0.184
9	2.221	2.216	2.296	2.210	2.454	2.500	2.400	1.111	0.299	0.110
10	2.144	2.133	2.215	2.133	2.274	2.300	2.289	18.226	0.107	0.125
11	2.094	2.021	2.182	2.021	2.412	2.627	2.621	40.281	0.162	0.194
12	2.122	2.111	2.275	2.115	2.117	2.267	2.289	2.265	0.160	0.190
13	2.142	2.126	2.232	2.126	2.274	2.620	2.433	12.821	0.101	0.115
Labrang Rec. N 247 E (-18)										
1	2.267	2.169	2.321	2.169	2.218	2.254	2.021	64.855	0.153	0.180
2	2.266	2.164	2.428	2.164	2.267	2.206	11.289	85.072	0.244	0.327
3	2.037	2.006	2.108	2.000	2.242	2.351	5.405	21.002	0.108	0.121
4	2.089	1.878	2.044	1.878	2.150	1.848	8.972	66.057	0.167	0.197
5	2.015	1.864	2.053	1.864	2.284	2.070	9.843	81.081	0.184	0.225
6	2.013	1.824	2.102	1.824	2.246	2.613	9.227	85.030	0.178	0.214
7	2.113	2.046	2.210	2.046	2.425	2.618	7.518	14.714	0.151	0.178
8	2.105	2.054	2.148	2.056	2.258	2.363	4.553	54.284	0.166	0.168
9	2.168	2.105	2.222	2.105	2.387	2.111	5.667	54.932	0.149	0.137
10	2.104	2.052	2.149	2.052	2.271	2.460	4.874	22.622	0.206	0.160
11	2.066	1.960	2.124	1.960	2.232	2.412	8.501	63.634	0.167	0.260
12	2.103	2.068	2.169	2.068	2.269	1.645	4.846	24.196	0.100	0.111
13	1.971	1.820	2.082	1.820	2.260	2.189	7.602	27.110	0.154	0.182
14	2.082	2.047	2.154	2.047	2.270	2.260	4.793	4.283	0.104	0.108

No Ciri	Density (g/cm ³)		Specific Gravity		Kadar Air (%)		Berkas Kejutan (%)	Perubahan (%)	Vial Ratio (%)
	Normal	Kering	Jumlah	True	Asli	Jumlah			
15	2.114	2.149	2.248	2.380	1.023	6.020	22.284	0.089	0.110
16	1.977	1.888	2.081	1.888	6.732	18.220	66.260	0.180	0.210
17	1.906	1.848	2.027	1.848	9.188	9.648	32.400	0.179	0.218
18	2.017	1.871	2.122	1.971	2.384	7.714	31.800	0.152	0.179

LAMPIRAN D
Data Pengujian Sifat Mekanik

Lampiran D: Data Pengujian Sifat Mekanik

D.1. Corrug

No	Labeling Bar	Kuat Tekan Garisbetul (MPa)	Modulus Young (MPa)	Nilaiuk Pukulan
1	N 340 E / 11			
	- Corrug 1	21,25	5185	0,34
	- Corrug 2	18,25	5757	0,32
	- Corrug 3	21,68	5172	0,22
	- Corrug 4	25,83	4523	0,34
	- Corrug 5	14,14	4103	0,22
2	N 290 E / 15			
	- Corrug 1	32,66	6010	0,38
	- Corrug 2	33,48	7200	0,29
	- Corrug 3	18,33	4301	0,19
	- Corrug 4	24,8	4560	0,31
3	N 235 E / 13			
	- Corrug 1	41,87	11960	0,29
	- Corrug 2	38,48	16416	0,37
	- Corrug 3	34,63	4501	0,18
	- Corrug 4	38,71	10230	0,36
4	Vertikal			
	- Corrug 1	32,26	11363	0,13
	- Corrug 2	20,67	3600	0,33
	- Corrug 3	26,98	9482	0,13
5	N 310 E / 11Z			
	- Corrug 1	73,30	12942	0,26
	- Corrug 2	56,77	9836	0,13
	- Corrug 3	57,46	3806	0,36
6	N 270 E / 11Z			
	- Corrug 1	43,13	8279	0,33
	- Corrug 2	21,57	1800	0,34
	- Corrug 3	42,55	7758	0,33
7	N 210 E / 11Z			
	- Corrug 1	48,32	10077	0,23
	- Corrug 2	24,47	5739	0,13
	- Corrug 3	38,89	5441	0,16

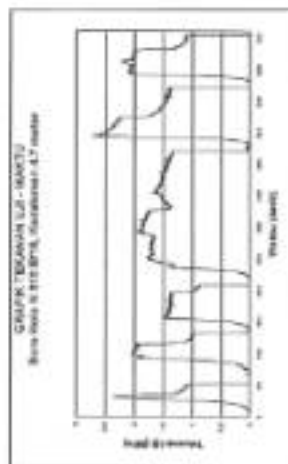
C.2. Parameter

No	Lebar Bor	Kuat Tekan Batubatu (MPa)	Modulus Young (MPa)	Nilai Poisson
1	N 160 E / 1			
	- Contoh 1	41,39	8607	0,24
	- Contoh 2	58,69	10415	0,24
	- Contoh 3	37,82	8824	0,26
	- Contoh 4	47,43	13080	0,25
	- Contoh 5	45,97	11000	0,24
2	N 243 E / 3			
	- Contoh 1	52,56	8607	0,27
	- Contoh 2	54,97	13080	0,22
	- Contoh 3	46,85	9300	0,24
	- Contoh 4	39,83	8696	0,28
3	N 247 E / 4			
	- Contoh 1	46,61	1203	0,22
	- Contoh 2	29,04	8000	0,33
	- Contoh 3	29,24	3440	0,36
	- Contoh 4	28,72	4786	0,31
	- Contoh 5	25,21	6667	0,23
	- Contoh 6	26,5	5128	0,30
4	Vertikal			
	- Contoh 1	48,83	1734	0,20
	- Contoh 2	24,30	4344	0,25
	- Contoh 3	36,22	8696	0,22
	- Contoh 4	28,32	7500	0,29
	- Contoh 5	23,14	3124	0,26
5	N 160 E / 10			
	- Contoh 1	45,67	3908	0,25
	- Contoh 2	49,21	3947	0,26
	- Contoh 3	35,83	3000	0,24
	- Contoh 4	39,18	4808	0,25
6	N 245 E / 10			
	- Contoh 1	58,50	13080	0,25
	- Contoh 2	22,38	12000	0,16
	- Contoh 3	58,38	7145	0,26
	- Contoh 4	54,54	3556	0,25
7	N 240 E / 10			
	- Contoh 1	42,4	8021	0,20
	- Contoh 2	38,54	2714	0,23
	- Contoh 3	36,00	3846	0,20
	- Contoh 4	21,89	4461	0,23

LAMPIRAN E
Data Pengujian Rekah Hidrolik



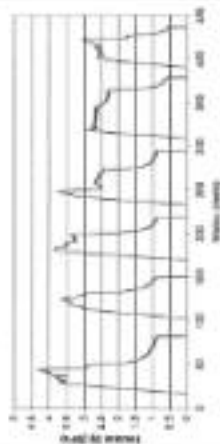
SINUS	TEGANGAN PAKSIK (MPa)
1	10
2	8
3	6
4	4
5	2
6	2
7	2
8	2



SINUS	TEGANGAN PAKSIK (MPa)
1	4
2	4
3	3
4	2
5	2
6	2

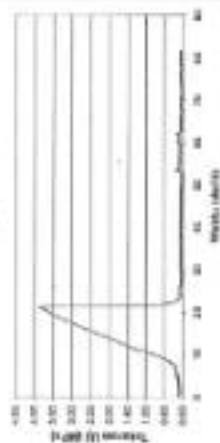
GRAFIK TEKANAN UJ - BAKU

Baru Hara 10 200 MPa, Kecepatan 1,2 mm/mn



GRAFIK TEKANAN UJ - BAKU

Baru Hara 10 200 MPa, Kecepatan 1,2 mm/mn



Catatan :

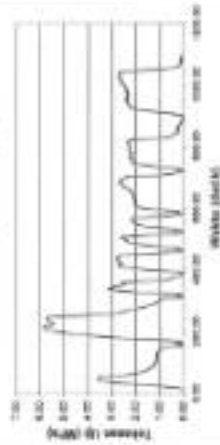
Pada tekanan pokok 7 MPa dan tekanan uji sekitar 3,5 MPa tekanan turun dengan tiba-tiba karena paku pecah pada bagian sampingnya.

Seiring paku terintegrasi di dalam lubang bor

SPALIS	TEKANAN RAKOR (MPa)
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0

GRAFIK TEGANGAN UJ - MAMTU

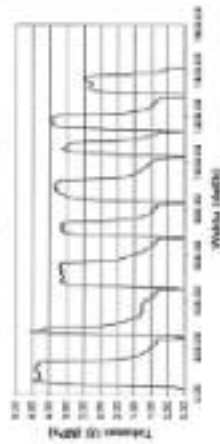
Berat Kuba 4 270 gr, Pasakannya 1,77 mm



SKALA	TEGASAN PROSER (MPa)
1	10
2	20
3	30
4	40
5	50
6	60
7	70
8	80
9	90
10	100

GRAFIK TEGANGAN UJ - MAMTU

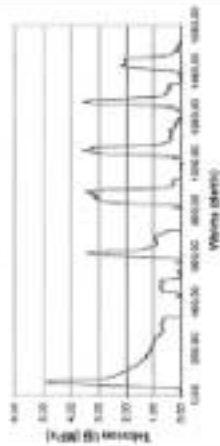
Berat Kuba 4 270 gr, Pasakannya 1,27 mm



SKALA	TEGASAN PROSER (MPa)
1	10
2	20
3	30
4	40
5	50
6	60
7	70
8	80
9	90
10	100

GRABIRI TEKAMAR ULP - MAMTIS

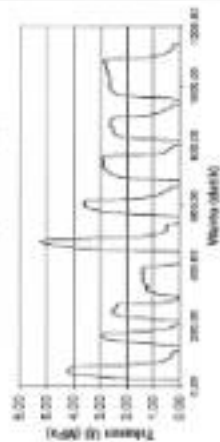
Bore hole N 218 5°15, Coordinates 5,12 meter



SEKELAS	TEKAMAN PAKSI (MPa)
1	1,5
2	2
3	3
4	4
5	5

GRABIRI TEKAMAR ULP - MAMTIS

Bore hole N 210 5°15, Coordinates 15,3 meter

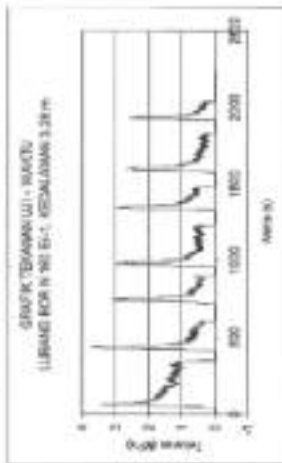


SEKELAS	TEKAMAN PAKSI (MPa)
1	1,5
2	2
3	3
4	4
5	5

E.2. Parametrisasi

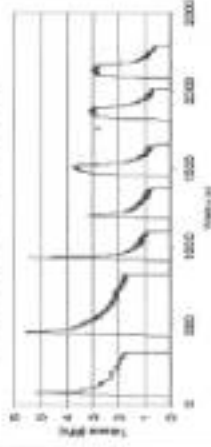


SERIAL	TEKANAN PAKSI (MPa)
1	2
2	2
3	2
4	2
5	2



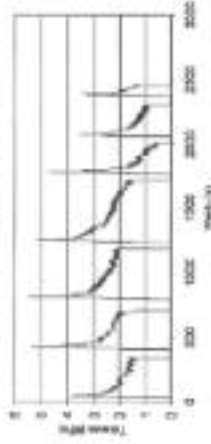
SERIAL	TEKANAN PAKSI (MPa)
1	4,5
2	5
3	4,5
4	6
5	3,5
6	2,5
7	3,5

GRUPA TEKAMBAH III - WAKTU
 LUBANG 800 N 180 E-1, KEDALAMAN 5.00 m



SKALUS	TEKAMBAH PAKSIER (MPa)
1	0
2	1
3	2
4	3
5	4
6	5

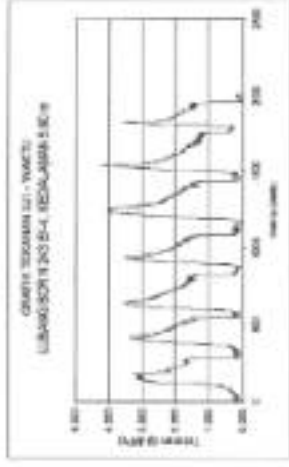
GRUPA TEKAMBAH III - WAKTU
 LUBANG 800 N 180 E-1, KEDALAMAN 10.00 m



SKALUS	TEKAMBAH PAKSIER (MPa)
1	3.5
2	4
3	5
4	6
5	4.5
6	5



SKALA	TERNAMAN PAKSIER (MPS)
1	7.5
2	10
3	15
4	20
5	25
6	30
7	35



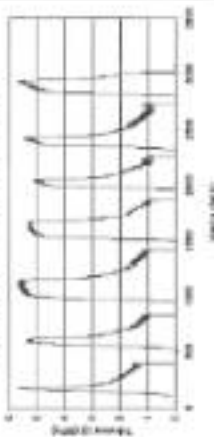
SKALA	TERNAMAN PAKSIER (MPS)
1	7.5
2	10
3	15
4	20
5	25
6	30
7	35

GRAFIK TEKURAN 2LS - INAKTIF
 LUBRANG BOP N 203 E 1 - A, KEDALAMAN 18-17



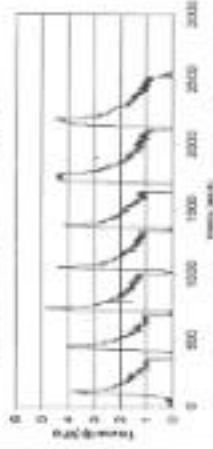
SOLUSI	TEKANAN PAKSIOR (MPa)
1	0
2	4
3	3,3
4	6
5	4,5
6	3,3
7	4,5

GRAFIK TEKURAN 2LS - INAKTIF
 LUBRANG BOP N 203 E 1 - A, KEDALAMAN 13-45 m



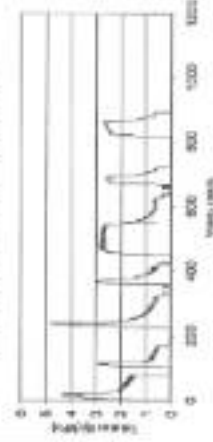
SOLUSI	TEKANAN PAKSIOR (MPa)
1	0
2	4,3
3	6
4	6,3
5	6
6	3,3
7	6

GRUP 1A TEKAMPAK UJ1 - YANIKU
LUBANG BOR N 247 2.1-A, KEDALAMAN 12.8 m



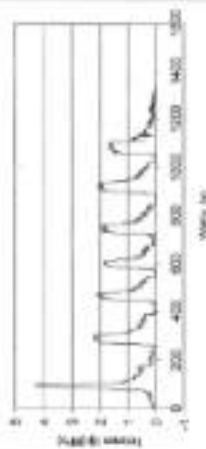
SEKUS	TEKANAN PAKSI (MPa)
1	0.1
2	0.2
3	0.3
4	0.4
5	0.5
6	0.6
7	0.7

GRUP 1A TEKAMPAK UJ1 - YANIKU
LUBANG BOR N 247 2.1-A, KEDALAMAN 4.8 m



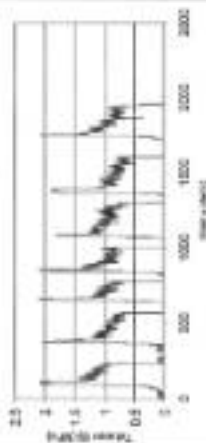
SEKUS	TEKANAN PAKSI (MPa)
1	0.1
2	0.2
3	0.3
4	0.4
5	0.5
6	0.6
7	0.7

GRUPA TEKANAN 12 - WARTU
LUBING BORING 57-A, KEDALAMAN 18 m



SUKSES	TEKANAN PAKSI (MPa)
1	5.5
2	5.5
3	5.5
4	5.5
5	5.5
6	5.5
7	5.5

GRUPA TEKANAN 3-1-5 JETIN BOK DUNUT
LUBING BORING 1-A, KEDALAMAN 18 m

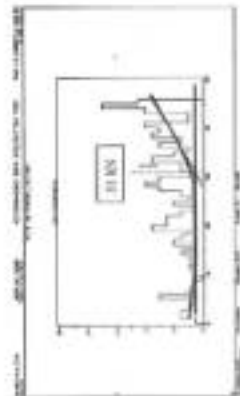
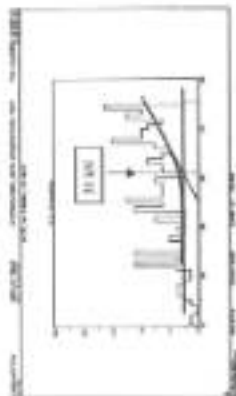


SUKSES	TEKANAN PAKSI (MPa)
1	3
2	3
3	3
4	3
5	3
6	3
7	3

LAMPIRAN F
Data Pengujian Emisi Akustik

F.1. CHURUG

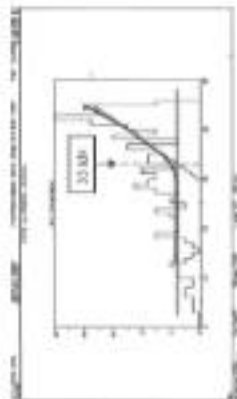
F.1.1. Ležayig Mor N 310 E /15, Control 1, Sikkus 2, 3, 4, dan 5.



F.1.2. Lühung Bør N 318 E/15, Cansok 8, Siklas 3, 4, 5 dan 7



F.1.3. Lühung Bor-N 310 E / 15, Confoh 9, Silihu 3,3 das 4



F.1.4. Lubang Bor N 310 E / 15, Cretas 11, Sisi 2, 3 dan 5



F.1.5. Laufzeit Ror N 310 E / 15, Contach 12, Stütz 1, 2, dan 3



F.1.6. Labung Bor N 270 E / 15 Control 6, Südküst dän 5



F.1.7. Labung Bor N 270 E / 15, Control 13, Südküst 2



F.1.8. Lintang Bor N 254 E/15, Control 1, Siklus 2 dan 3



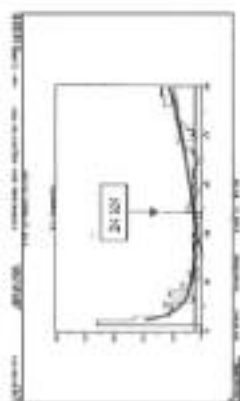
F.1.9. Lintang Bor N 235 E/15, Control 6, Siklus 1 dan 2



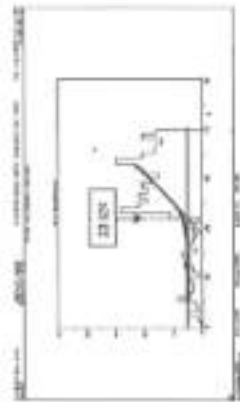
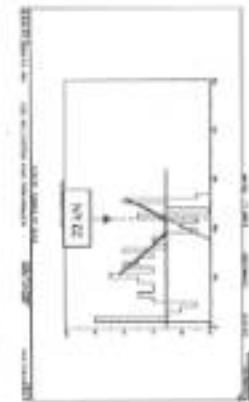
F.1.10. Lubang Bor N 235 E/15, Corong 8, Siklus 1 dan 3



F.1.11. Lubang Bor N 235 E/0, Corong 2, Siklus 5 dan 7



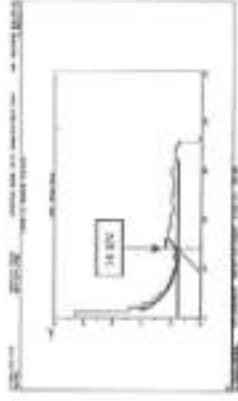
F.1.12. Lubang Bar N 238 E / 0, Contoh 3, Silius 6 dan 7



F.1.13. Lubang Bar Vertical, Contoh 2, Silius 4 dan 5



F.1.14. Lubang Bor Vertikal, Contah 3, Sildus 2, 3, dan 4



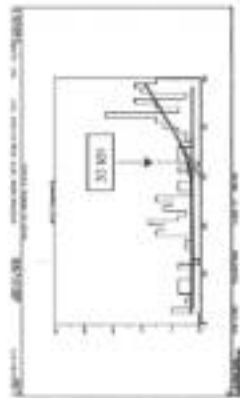
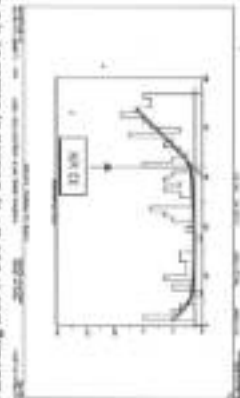
F.1.15. Lubang Bor Vertikal, Contah Cadangan, Sildus 2



F.1.16. Lintang Bor Vertikal, Contoh 4, Sildus 2



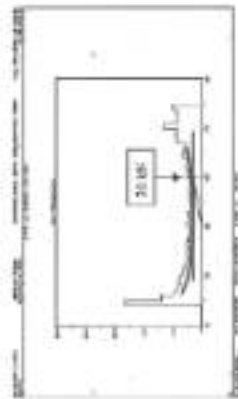
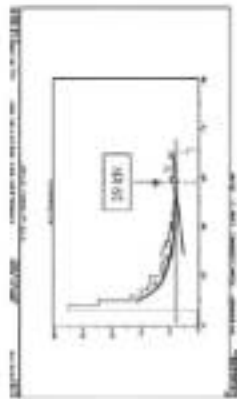
F.1.17. Lintang Bor N 310 E / 0, Contoh 3, Sildus 3, 4, 5 dan 6



F.1.18. Lehrsatz Bar N 210 E/6, Cestech Cod.1, Silder 2



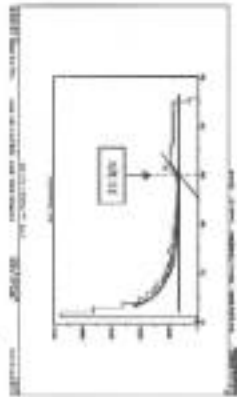
F.1.19. Lehrsatz Bar N310 E/6, Cestech Cod.1, Silder 3 das 4



F.1.20. Labung Bar N 270 E/0, Contoh Cad.1, Sldus 2 dan 3

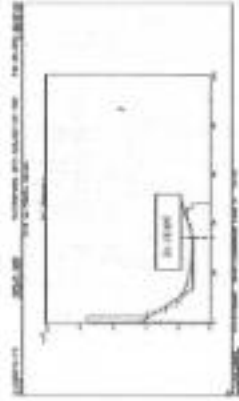


F.1.21. Labung Bar N 270 E / 0, Contoh Cad.2, Sldus 5



F.2. PAMOVANAN

F.2.1. Lubang Bor N 160° E / -1°, Control 2, siklus 3 dan 4



F.2.2. Lubang Bor N 160° E / -1°, Control 3, siklus 6



F.2.3. Lubang Bor N 160° E / -1°, Control 8, siklus 4



F.2.4. Lubang Bor N 160° E / ±1°, Control 9, siklus 6



F.2.5. Lubang Bor N 160° E / ±1°, Control 10, siklus 3 dan 6



F.2.6. Lubang Bor N 160° E / ±1°, Control 11, siklus 3 dan 4



F.2.7. Laibang Bar N 160° E / -1°, Contour 14, station 2, 3 dan 4

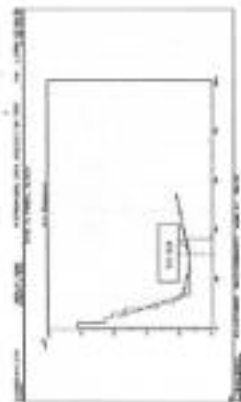
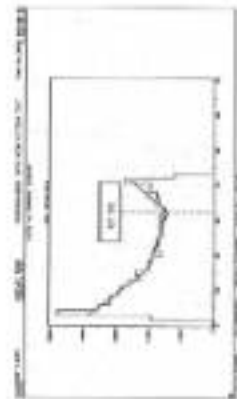
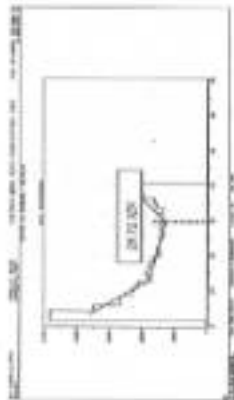
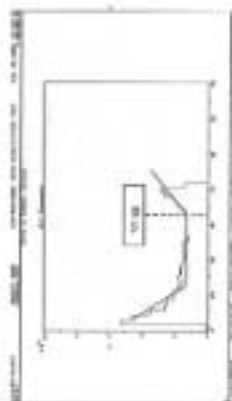


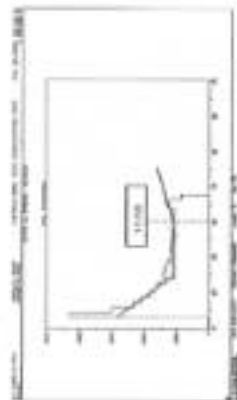
Fig. 2.8. Lathung Bar Vertical, Contoh 2, slides 5, 6 dan 7



F.2.8. Labung Bar Vortikal, Cantois 4, stidias 5, 6 dan 7



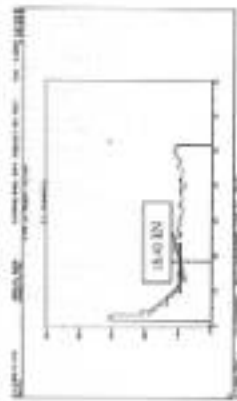
F.2.10. Lathrop River Vertical, Contour 5, silthas 5, 6 dan 7



F.2.11. Lathang Bor Vertikal, Contoh 6, siklus 6 dan 7



F.2.12. Lathang Bor N 160° E / 10°, Contoh 1, siklus 6 dan 7



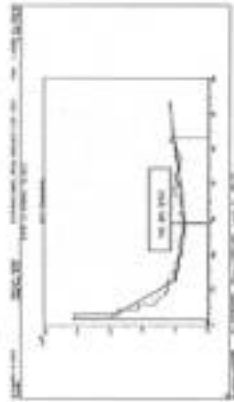
F.2.13. Lufthang Ror N 160° E / 10°, Carinth 4, stüßus 5 dan 6



F.2.14. Lufthang Ror N 160° E / 10°, Carinth 6, stüßus 5 dan 6



F.2.15. Lembang Bar N 166° E / 10°, Control 7, siklus 5 dan 6



F.2.16. Lembang Bar N 166° E / 10°, Control 9, siklus 4 dan 7



F.2.17. Leubung Bor N 1660 E / 10°, Control 8, stidius 3, 4 dan 5



F.2.18. Leubung Bor N 3435 E / 5°, Control 1, stidius 4 dan 6



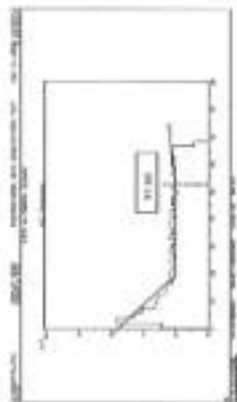
F2.18. Lösung Bor N 243° E / -5°, Control 6, station 3



F2.20. Lösung Bor N 243° E / -5°, Control 8, station 3, 6 and 7



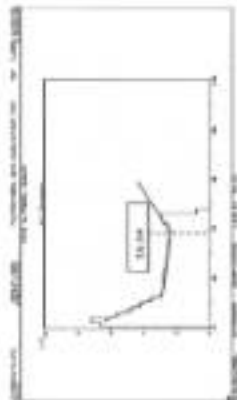
F.2.21. Lebuang Bor N 243° E / -8°, Contoh 9, siklus 5 dan 6



F.2.22. Lebuang Bor N 243° E / -8°, Contoh 10, siklus 3 dan 4



F.2.23. Lebuang Bor N 243° E / -5°, Contoh 11, siklus 3



F.2.24. Lebuang Bor N 243° E / -5°, Contoh 12, siklus 2 dan 4



F2.2E: Lösung Bar N 243° E / 49°, Contab 17, röhren 3, 4 dan 5



F.2.26. Lufthang Riser 243° E / -8°, Contour 18, vektor 2, 4 dan 6



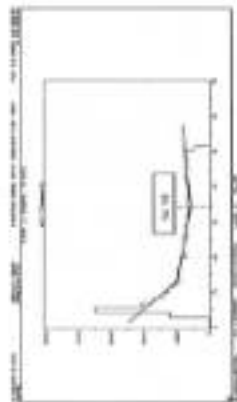
F.2.27. Lubang Bor N 343° E / 10°, Control 1, siklus 5 dan 6



F.2.28. Lubang Bor N 343° G / 10°, Control 2, siklus 6 dan 7



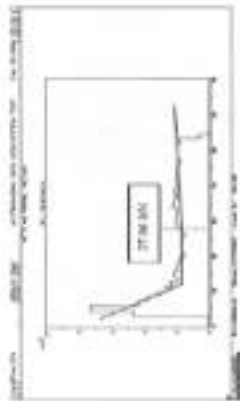
F.2.29. Lubang Bor N 243° E / 10°, Ciriok 3, siklus 5



F.2.30. Lubang Bor N 243° E / 10°, Ciriok 5, siklus 3 dan 4



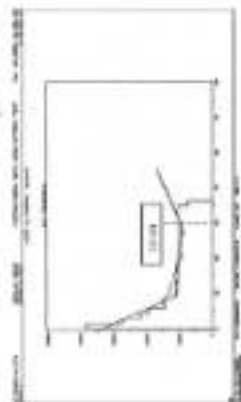
F.2.31. Lubang Bor N 243° E / 10°, Contoh 7, siklus 4 dan 5



F.2.32. Lubang Bor N 243° E / 10°, Contoh 8, siklus 5 dan 6



F.2.33. Lebuang Bar N 277° E / -4°, Contak 1, siklus 4 dan 5



F.2.34. Lebuang Bar N 277° E / -4°, Contak 2, siklus 5 dan 6



F.2.33, Lehang Bar N 277° E / 4°, Control 5, siklus 6 dan 7



F.2.35, Lehang Bar N 277° E / 4°, Control 7, siklus 5 dan 7



F.2.37. Lebarang Bar N 277° E / 4°, Coasth B, siklus 6 dan 7



F.2.38. Lebarang Bar N 277° E / 4°, Coasth 10, siklus 5 dan 6



F.2.39. Lebarang Bar N 277° E / 4°, Contoh 11, siklus 5, 6 dan 7



F.2.40. Lubang Bor N 277° E / 10°, Control 2, siklus 4 dan 5



F.2.41. Lubang Bor N 277° E / 10°, Control 3, siklus 6



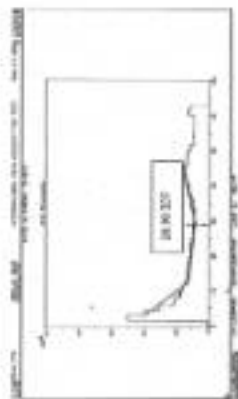
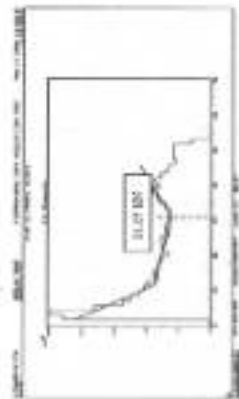
F.2.42. Lubang Bor N 277° E / 10°, Control 4, siklus 6



F.2-43. Lubang Bor N 277° E / 10°, Centoh 6, sblas 3



F.2-44. Lubang Bor N 277° E / 10°, Centoh 8, sblas 5 dan 6



LAMPIRAN G
Pembacaan Data Rekahan

Lampiran G. Rekaman dari Borehole Camera

G. 1. Clarang

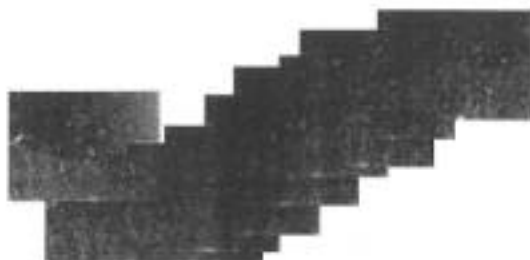
Lubang Bor N 310 E / -15, Kedalaman 780 cm



Lubang Bor N 270 E / 15, Kedalaman 350 cm



Labang Bor N 235 E / 15, Kedalaman 135 cm



G. 2. Panayunan

Labang Bor N 100 E / -1, Kedalaman 1162 cm



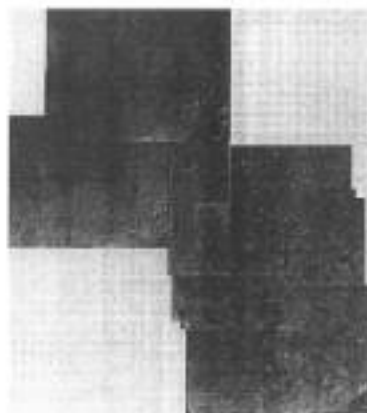
Lubang Bor N 247 E / -4 , kedalaman 815 cm



Lubang Bor N 247 E / -4 , kedalaman 1299 cm



Lubang Bor N 243 E / -5, kedalaman 795 cm



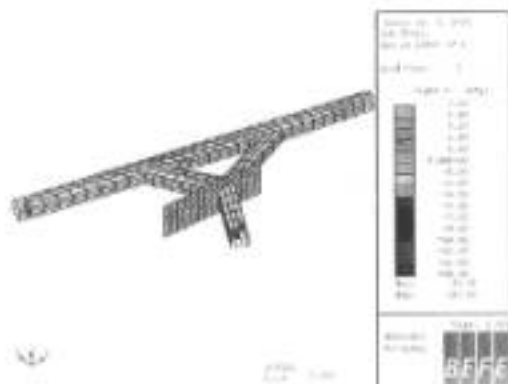
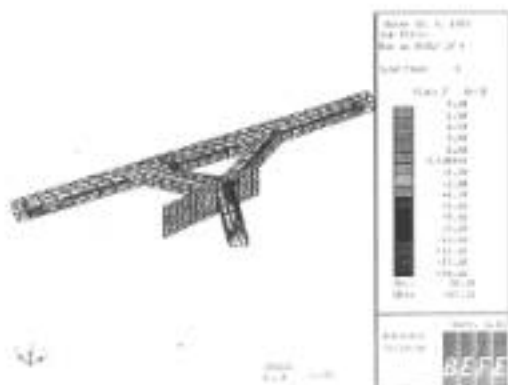
Lubang Bor N 243 E / -5, kedalaman 950 cm

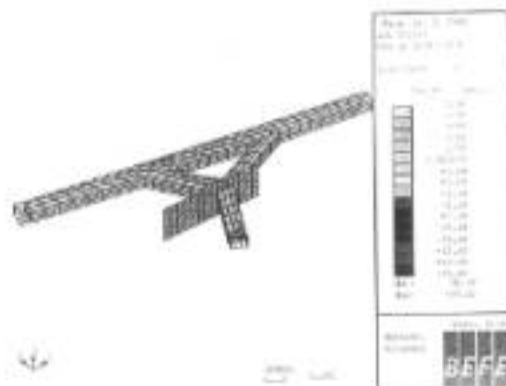
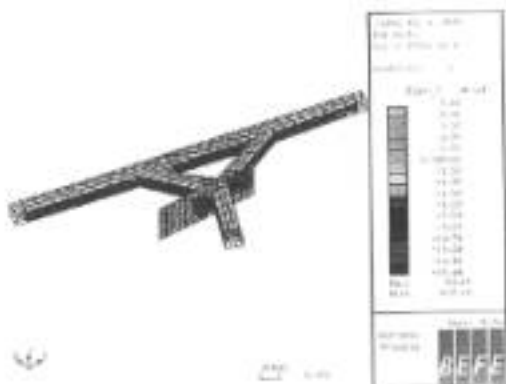


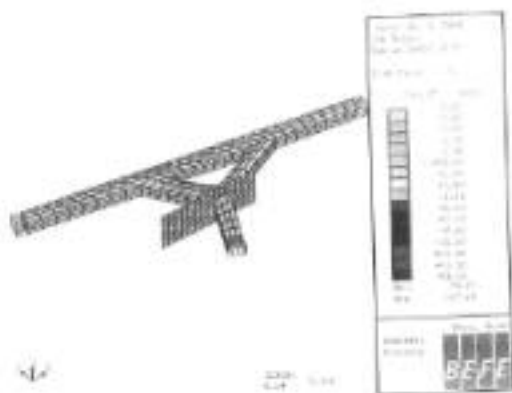
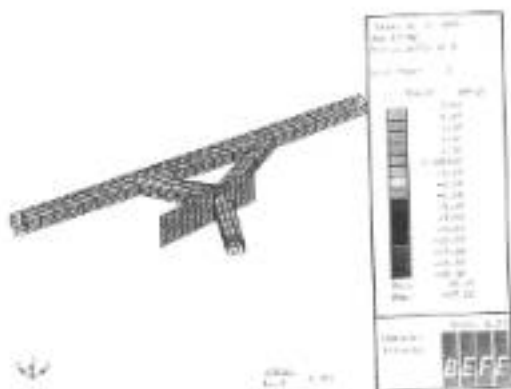
LAMPIRAN II
Hasil Permodelan Numerik

Lampiran II. Hasil Persepsi dan Sikap

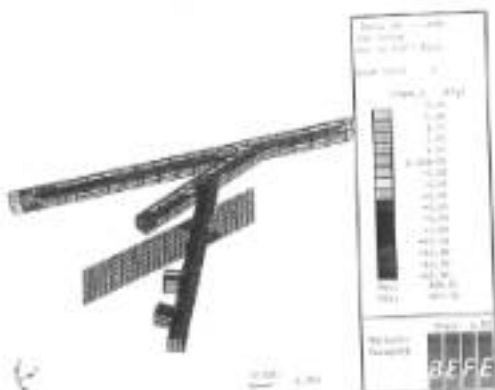
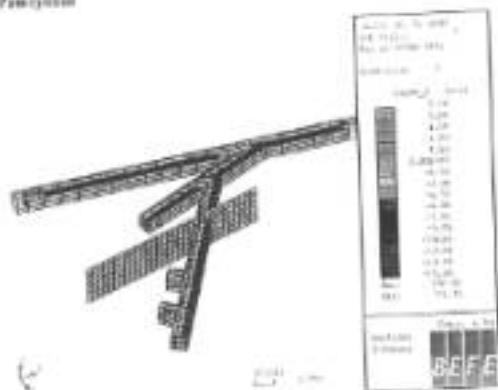
H. L. Chavira

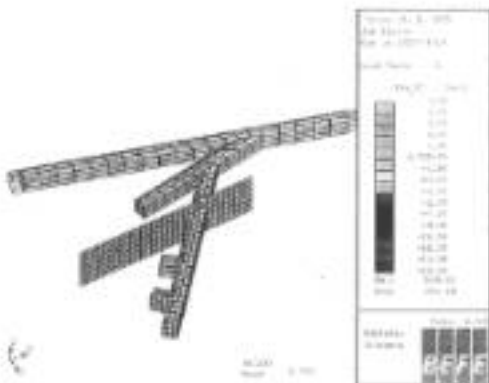
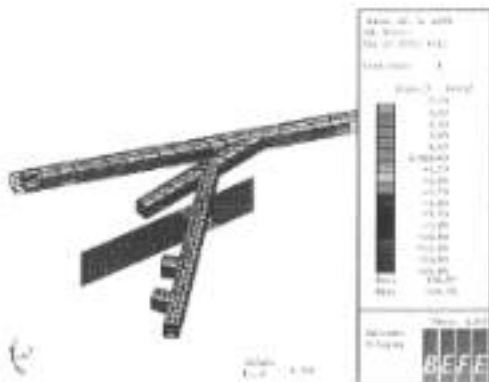


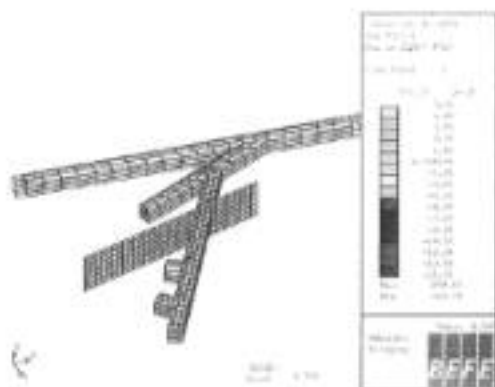
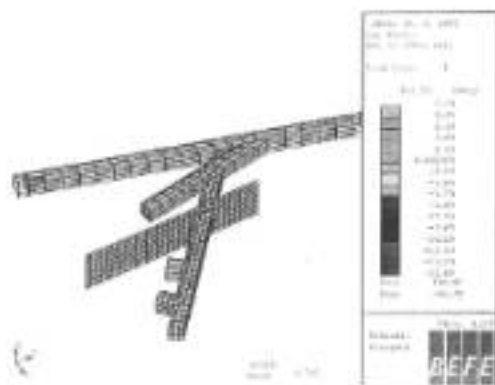




2. Familytree







LAMPIRAN I

Prinsip Dasar perhitungan Tegangan dalam Uji Rekah Hidrolik

Lampiran I Prinsip Dasar Perhitungan Tegangan dalam Uji Rekah Hidrolik

Analisis metode rekah hidrolik dapat dilakukan dengan menggunakan dua pendekatan, yaitu teori klasik dan teori mekanika rekahan. Teori klasik menggunakan bahwa dalam suatu batuan tidak terdapat bidang lemah (kontinyu) sehingga perhitungannya didasarkan pada rekahan yang terbentuk karena uji rekah hidrolik. Pendekatan utama dalam teori ini adalah rekahan yang ditimbulkan karena tekanan hidrolik yang terjadi pada dinding lubang bor menyebabkan terjadinya tegangan tegensial tarik dan memusat ke arah titik imitannya.

Sedangkan teori mekanika rekahan memungkinkan untuk dilakukan pengamatan pada suatu batuan yang terkekarkan. Pada teori ini, keberadaan rekahan dalam batuan menyebabkan rekahan bernoda dari ujung rekahan yang ada (*pre-existing crack*) dan perhitungan dilakukan dengan memperhitungkan perilaku rekahannya. Besar dan arah tegangan kesita dengan rekah hidrolik ditentukan dengan memperhitungkan pengaruh karakteristik propagasi rekahan, yang berhubungan langsung dengan tegangan prinsipalnya.

Prinsip dasar perhitungan tegangan dalam uji rekah hidrolik didasarkan pada perhitungan tegangan di sekeliling lubang bor vertikal.

1.1. Tegangan pada dinding lubang bor

Seperti diketahui bahwa rekahan di dinding lubang bor bernoda dari titik yang mempunyai tegangan tegensial maksimum. Berdasarkan teori elastis linier, distribusi tegangan di luar lubang bor dapat diselesaikan dengan menggunakan prinsip superposisi dan transformasi koordinat (Kirsch, 1938). Fairhurst (1968) memberikan persamaan tegangan di dinding lubang bor sebagai berikut.

$$\sigma_r = P \quad (1.1)$$

$$\sigma_\theta = \sigma_r + \sigma_z - 2(\sigma_x - \sigma_y)\cos 2\theta - 4\sigma_z \sin 2\theta - P \quad (1.2)$$

$$\sigma_z = \sigma_r - 2\sigma_\theta - 2(\sigma_x - \sigma_y)\cos 2\theta - 4\sigma_z \sin 2\theta \quad (1.3)$$

$$\sigma_{\theta\theta} = 0 \quad (1.4)$$

$$\sigma_{\theta\theta} = 2(\sigma_{\theta\theta}^* \cos^2 \theta - \sigma_{\theta\theta}^* \sin^2 \theta) \quad (1.5)$$

$$\sigma_{\theta\theta} = 0 \quad (1.6)$$

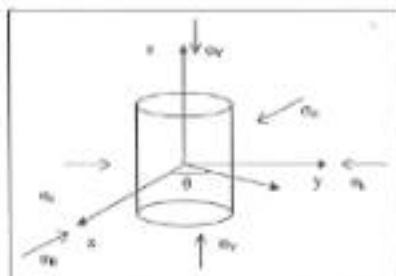
Keterangan:

$\sigma_{ij}^*(i, j = x, y, z)$ = komponen tegangan utama mengenai pada sistem koordinat pada Gambar 1.1.

$\sigma_{ij}(i, j = r, \theta, z)$ = komponen tegangan pada dinding lubang bor

ν = nisbah Poisson

P = tekanan hidrolik fluida pada dinding lubang bor



Gambar 1.1. Koordinat sistem dan tegangan prinsipal (Whitaker, dkk, 1992)

Jika lubang bor tersebut dibuat secara vertikal dan tegangan prinsipal yang diberikan adalah tegangan vertikal (σ_z) yang berimpit dengan sumbu-z sebagai sumbu lubang bor, dan tegangan horisontal (σ_x dan σ_y) berimpit dengan sumbu-x dan sumbu-y, maka tegangan di sekitar lubang bor dapat disederhanakan menjadi persamaan sebagai berikut (Jaeger & Cook, 1979)

$$\sigma_z = P \quad (1.7)$$

$$\sigma_r = \sigma_\theta = \sigma_x = 2(\sigma_z - \sigma_y) \cos 2\theta - P \quad (1.8)$$

$$\sigma_z = \sigma_r = 2\nu(\sigma_\theta - \sigma_x) \cos 2\theta \quad (1.9)$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \sigma_{\theta\theta} = \sigma_{\theta\theta} = 0 \quad (1.10)$$

1.2. Tegangan tangensial dan rekahan tarik

Tegangan tangensial (σ_t) dalam lubang bor merupakan hal yang paling penting, karena pada titik-titik tertentu dapat terjadi tegangan tarik yang menyebabkan terbentuknya rekahan pada saat tekanan fluida meningkat. Titik di mana tegangan tangensial berubah dari tegangan tarik menjadi tegangan tekan disebut sebagai parameter pasir ($\theta = \theta_0$) dengan sudut θ dan dihitung dengan persamaan 1.11.

$$\theta_0 = \arccos \sqrt{\frac{\sigma_H - 3\sigma_A + P}{4(\sigma_H - \sigma_A)}} \quad (1.11)$$

dengan σ_t = tegangan tarik untuk $0 \leq \theta \leq \theta_0$ dan σ_t = tegangan tekan untuk $\theta_0 \leq \theta \leq 90^\circ$. Dengan demikian tegangan tarik maksimum terjadi pada saat $\theta = 0^\circ$ dan besarnya dapat dihitung dengan persamaan 1.12.

$$\sigma_{t, \max} = 3 \sigma_A - \sigma_H - P \quad (1.12)$$

Sedangkan tegangan tekan maksimum terjadi pada $\theta = 90^\circ$ yaitu,

$$\sigma_{t, \max} = 3 \sigma_H - \sigma_A - P \quad (1.13)$$

Bila $P > 3 \sigma_H - \sigma_A$, σ_t di dinding lubang bor akan selalu tarik dan $\sigma_{t, \max}$ tetap terjadi di $\theta = 0^\circ$. Hubbert dan Willis (1957) menyatakan bahwa kemungkinan besar tegangan tarik akan terjadi di $\theta = 0^\circ$, yaitu arah yang sejajar dengan tegangan horizontal maksimum (σ_H) atau tegak lurus tegangan horizontal minimum (σ_A). Hal ini merupakan hal paling mendasar dan sederhana dari prinsip rekah hidrolik di lubang bor dengan tekanan internal.

1.3. Teknik rekah hidrolik klasik

Sebagian besar perhitungan rekah hidrolik klasik berdasarkan rumus Kirch (1858) untuk distribusi tegangan di sekitar terowongan. Untuk mengaplikasikan metode ini ada beberapa asumsi yang dinyatakan oleh Zoluck dan Pollard (1978) dan Karfakis (1986).

1. Perilaku massa beton di sekeliling lubang bor adalah elastis, isotrop, homogen, tidak ada rekahan dan impermeable, yaitu tidak ada kebocoran fluida di dalam batuan.
2. Dalam kasus lubang bor vertikal, tegangan intermediat sejajar dengan sumbu bor. Biasanya tegangan vertikalnya sama dengan tegangan *overburden*.
3. Rekahan homoda dari titik di dinding lubang bor yang mempunyai tegangan tangensial maksimum dan mencapai kuat tarik intinya (σ_T). Rekahan akan berpropagasi tegak lurus tegangan tangensial maksimum.
4. Tekanan pecah (*breakdown pressure*) adalah tekanan saat rekahan terbentuk.

1.4. Analisis rekahan dan tekanan pecah

Berdasarkan asumsi di atas, rekahan terjadi ketika tekanan intimaanya (P) mencapai nilai kritis (P_k) yang disebut dengan *breakdown pressure* yang memenuhi $\sigma_{\theta_{max}}$ mencapai σ_T yang dinyatakan oleh Hubbert dan Willis (1957) sebagai berikut.

$$\sigma_{\theta_{max}} = 3P - \sigma_1 - \sigma_3 \quad (1.14)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 1.14 ke persamaan 1.12 akan menghasilkan persamaan untuk *breakdown pressure* sebagai berikut.

$$P_k = 3\sigma_3 - \sigma_1 + \sigma_T \quad (1.15)$$

Breakdown pressure, P_k , adalah tekanan puncak pada siklus pertama tekanan terhadap waktu yang diberikan dalam proses rekah hidrolik. Ini dicapai saat fluida diinjeksikan ke dalam lubang bor hingga rekahan terjadi. Hal ini bisa diamati pada saat $P = P_k$ berhubungan dengan propagasi rekahan yang tidak stabil dan yang sering ditandai dengan tekanan yang tiba-tiba menurun (Ishijima & Roegiers, 1983).

1.5. Penentuan tegangan prinsipal horizontal

Dari data rekaman pembebanan dalam uji rekah hidrolik, tegangan prinsipal horizontal dapat ditentukan dari persamaan (1.15). Setelah pecah, rekahan cenderung untuk menutup kembali dan tegangan teraknya menjadi nol. Menurut Alota-Sayed (1982),

karena $\sigma_{\theta, \text{max}}$ sejajar dengan σ_1 dan tegak lurus dengan σ_3 , maka agar rekahan tetap terbuka tanpa menutup rekahan, diperlukan tekanan untuk mengimbangi tekanan ini yang berarti mengimbangi tegangan prinsipal maksimumnya. Tekanan ini disebut sebagai tekanan penutupan rekahan (*shut-in pressure*), P_s , yang besarnya dihitung dengan persamaan 1.16.

$$P_s = \sigma_3 \quad (1.16)$$

Sementara itu tekanan yang diperlukan untuk membuka kembali rekahan yang telah tertutup disebut dengan *reopening pressure*, P_r , dan dapat dihitung sebagai berikut.

$$P_r = 3\sigma_3 - \sigma_H \quad (1.17)$$

Dengan persamaan-persamaan tersebut di atas, tegangan horizontal maksimum (σ_H) dapat dihitung menggunakan *shut-in pressure* (P_s) dan *reopening pressure* (P_r)

$$\sigma_H = 3P_r - P_s \quad (1.18)$$

Selanjutnya tegangan tarik kritis, σ_T , dapat ditentukan dari *breakdown pressure* dan *reopening pressure* (Zoback & Pollard, 1978).

$$\sigma_T = P_b - P_r \quad (1.19)$$

Perhitungan tegangan tarik pada lubang bor vertikal ini digunakan sebagai dasar perhitungan untuk lubang bor miring dengan menggunakan transformasi tegangan.

LAMPIRAN J
Perhitungan Tegangan Prinsipal

J.1. Hasil Uji Bekas Hidrolik

Sebagai contoh perhitungan, akan diambil kombinasi tiga sekam dari ST1-1162cm (longitudinal), ST2-0815cm (transversal), ST3-0950cm (longitudinal).

J.1.1. Perhitungan Bekasam Longitudinal

Untuk persamaan sekam longitudinal, yaitu ST1-1162cm dan ST3-0950cm, dilakukan perhitungan sebagai berikut :

1. Men cari nilai σ_H dan $\sigma_{\theta\theta}$

Nilai P_1 dan P_2 diperoleh dari grafik sekam terhadap waktu. Dengan menggunakan persamaan (II.6) – persamaan (II.8)

$$\sigma_H = 3 P_1 - P_2 \quad (II.6)$$

$$\sigma_H = P_1 \quad (II.7)$$

$$\sigma_{\theta\theta} = 0 \quad (II.8)$$

maka besa σ_H dan σ_H dapat dihitung

- Pada ST1-476cm, $\sigma_H = 2,85$ MPa; $\sigma_H = 1,45$ MPa dan $\sigma_{\theta\theta} = 0$
- Pada ST2-515cm, $\sigma_H = 7$ MPa; $\sigma_H = 2,8$ MPa dan $\sigma_{\theta\theta} = 0$

2. Men cari nilai σ_{11} , σ_{22} , σ_{33}

Dengan menggunakan persamaan (II.3) – persamaan (II.5) sebagai berikut,

$$\sigma_{11} = \sigma_H \cos^2 \theta + \sigma_{\theta\theta} \sin^2 \theta + \sigma_{H\theta} \sin 2\theta \quad (II.3)$$

$$\sigma_{22} = \sigma_H \sin^2 \theta + \sigma_{\theta\theta} \cos^2 \theta - \sigma_{H\theta} \sin 2\theta \quad (II.4)$$

$$\sigma_{\theta\theta} = -0.5 (\sigma_{11} - \sigma_{22}) \sin 2\theta + \sigma_{H\theta} \cos 2\theta \quad (II.5)$$

nilai σ_{11} , σ_{22} , $\sigma_{H\theta}$ dapat dihitung dalam bentuk persamaan matrik berikut :

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{\theta\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & \sin 2\theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & -\sin 2\theta \\ -\sin 2\theta & \sin 2\theta & \cos 2\theta \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sigma_H \\ \sigma_{\theta\theta} \\ \sigma_{H\theta} \end{bmatrix}$$

Sehingga

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta_i & \sin^2 \theta_i & \sin 2\theta_i \\ \sin^2 \theta_i & \cos^2 \theta_i & -\sin 2\theta_i \\ -\sin 2\theta_i & \sin 2\theta_i & \cos 2\theta_i \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_{xy} \end{bmatrix}$$

Dari perhitungan tersebut, besarnya nilai σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{xy} untuk tiap-tiap persamaan rekahan longitudinal adalah sebagai berikut :

- Pada ST1-1160aa, $\sigma_{xx} = 7,05$ MPa; $\sigma_{yy} = 3,85$ MPa dan $\tau_{xy} = 0,93$
- Pada ST2-1290aa, $\sigma_{xx} = 5,95$ MPa; $\sigma_{yy} = 5,95$ MPa dan $\tau_{xy} = 2,75$

3. Memasukkan nilai σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{xy} ke dalam persamaan rekahan

Dengan menggunakan persamaan (II.9) sampai dengan persamaan (II.11) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \sigma_{xx} &= \sigma_1 \sin^2 \alpha_1 \cos^2 \beta_i + \sigma_2 \sin^2 \alpha_1 \sin^2 \beta_i + \sigma_3 \cos^2 \alpha_1 + \\ &\quad \tau_{12} \sin^2 \alpha_1 \sin 2\beta_i - \tau_{13} \sin 2\alpha_1 \sin \beta_i - \tau_{23} \sin 2\alpha_1 \cos \beta_i \end{aligned} \quad (II.9)$$

$$\sigma_{yy} = \sigma_1 \sin^2 \beta_i + \sigma_2 \cos^2 \beta_i - \tau_{12} \sin 2\beta_i \quad (II.10)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{xy} &= -0,5 (\sigma_1 - \sigma_2) \sin \alpha_1 \sin 2\beta_i + \tau_{12} \sin \alpha_1 \cos 2\beta_i - \\ &\quad \tau_{13} \cos \alpha_1 \cos \beta_i + \tau_{23} \cos \alpha_1 \sin \beta_i \end{aligned} \quad (II.11)$$

maka diperoleh 6 persamaan rekahan untuk 2 buah rekahan longitudinal dan jika diubah ke dalam bentuk matrik akan menghasilkan persamaan berikut :

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin^2 \alpha_1 \cos^2 \beta_i & \sin^2 \alpha_1 \sin^2 \beta_i & \cos^2 \alpha_1 & \sin^2 \alpha_1 \sin 2\beta_i & \sin 2\alpha_1 \sin \beta_i & \sin 2\alpha_1 \cos \beta_i \\ \sin^2 \beta_i & \cos^2 \beta_i & 0,00 & \sin 2\beta_i & 0,00 & 0,00 \\ -0,5 \sin \alpha_1 \sin 2\beta_i & 0,5 \sin \alpha_1 \sin 2\beta_i & 0,00 & \sin \alpha_1 \cos 2\beta_i & \sin \alpha_1 \cos \beta_i & \sin \alpha_1 \sin \beta_i \\ \sin^2 \alpha_1 \cos^2 \beta_i & \sin^2 \alpha_1 \sin^2 \beta_i & \cos^2 \alpha_1 & \sin^2 \alpha_1 \sin 2\beta_i & \sin 2\alpha_1 \sin \beta_i & \sin 2\alpha_1 \cos \beta_i \\ \sin^2 \beta_i & \cos^2 \beta_i & 0,00 & \sin 2\beta_i & 0,00 & 0,00 \\ -0,5 \sin \alpha_1 \sin 2\beta_i & 0,5 \sin \alpha_1 \sin 2\beta_i & 0,00 & \sin \alpha_1 \cos 2\beta_i & \sin \alpha_1 \cos \beta_i & \sin \alpha_1 \sin \beta_i \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{12} \\ \tau_{13} \\ \tau_{23} \end{bmatrix}$$

Dengan cara memasukkan nilai σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{xy} , τ_{xy} (titik-titik lubang bor), α_1 (kemiringan lubang bor) untuk tiap rekahan, ke dalam persamaan matrik tersebut, diperoleh hasil sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} 2,811 \\ 3,297 \\ 0,699 \\ 0,242 \\ 3,658 \\ 1,083 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,007 & 0,019 & 0,913 & -0,066 & 0,184 & -0,328 \\ 0,290 & 0,493 & 0,000 & 0,381 & 0,090 & 0,001 \\ 0,127 & -0,127 & 0,000 & -0,046 & -0,649 & -0,742 \\ 0,000 & 0,001 & 0,913 & 0,000 & 0,500 & 0,001 \\ 1,000 & 1,00 & 0,000 & -0,005 & 0,090 & 0,000 \\ -0,001 & 0,001 & 0,000 & -0,259 & 0,007 & -0,946 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_N \\ \sigma_H \\ \sigma_Y \\ \sigma_{NY} \\ \sigma_{HY} \\ \sigma_{NY} \end{bmatrix}$$

3.1.2. Perhitungan Relehan Transversal

Perhitungan untuk relehan transversal, yaitu ST2-0815cm, dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Mencari nilai σ_H

Dengan menggunakan persamaan (II.12) berikut ini,

$$\sigma_H = P_2 \quad (\text{II.12})$$

di mana relehan transversal hanya akan menghasilkan satu persamaan relehan saja, akan diperoleh nilai σ_H untuk 5 relehan transversal adalah :

- Pada ST1-175cm, $\sigma_H = 1,4$ MPa
- Pada ST1-790cm, $\sigma_H = 1,8$ MPa
- Pada ST2-177cm, $\sigma_H = 1,9$ MPa
- Pada ST2-357cm, $\sigma_H = 2,15$ MPa
- Pada ST3-470cm, $\sigma_H = 2,51$ MPa

2. Memasukkan nilai σ_H , ϕ , ψ ke dalam persamaan relehan

Setelah nilai σ_H , ϕ , ψ relehan diketahui dan dengan menggunakan persamaan (II.13),

$$\begin{aligned} \sigma_d = & \sigma_H \cos^2 \phi \cos^2 \psi + \sigma_H \cos^2 \phi \sin^2 \psi + \sigma_H \sin^2 \phi + \\ & \tau_{H2} \cos^2 \phi \sin 2\psi + \tau_{H3} \sin 2\phi \sin \psi + \tau_{H4} \sin 2\phi \cos \psi \end{aligned} \quad (\text{II.13})$$

maka akan terbentuk persamaan matrik berikut:

$$\begin{bmatrix} 1,000 \\ 1,800 \\ 1,900 \\ 2,150 \\ 2,500 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,645 & 0,797 & 0,001 & -0,875 & -0,264 & 0,188 \\ 0,201 & 0,794 & 0,001 & -0,887 & 0,002 & -0,002 \\ 0,000 & 0,883 & 0,117 & 0,001 & 0,643 & 0,001 \\ 0,000 & 0,719 & 0,281 & 0,001 & 0,899 & 0,001 \\ 0,001 & 0,273 & 0,637 & 0,311 & -0,832 & -0,003 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \sigma_{xy} \\ \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} \end{bmatrix}$$

2.1.3. Mencari nilai tegangan σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{zz} , σ_{xy} , σ_{yz} , dan σ_{zx}

Selanjutnya, perhitungan dilanjutkan dengan menggunakan persamaan rekahan longitudinal dari ST1-1162cm dan ST3-0950cm, dan persamaan rekahan transversal ST2-0835cm, sehingga menjadi:

$$\begin{bmatrix} 1,095 \\ 1,007 \\ 0,899 \\ 6,142 \\ 1,658 \\ 1,653 \\ 1,600 \\ 1,800 \\ 1,900 \\ 2,150 \\ 2,500 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,877 & 0,030 & 0,933 & -0,846 & 0,184 & -0,238 \\ 0,190 & 0,410 & 0,000 & 0,981 & 0,100 & 0,000 \\ 0,027 & -0,127 & 0,000 & -0,846 & -0,619 & -0,747 \\ 0,010 & 0,047 & 0,933 & 0,000 & 0,100 & 0,001 \\ 1,000 & 1,00 & 0,000 & -0,005 & 0,000 & 0,000 \\ -0,000 & 0,001 & 0,000 & -0,239 & 0,002 & -0,906 \\ 0,645 & 0,797 & 0,858 & -0,875 & -0,264 & 0,188 \\ 0,201 & 0,794 & 0,001 & -0,887 & 0,002 & -0,002 \\ 0,000 & 0,883 & 0,117 & 0,001 & 0,643 & 0,001 \\ 0,000 & 0,719 & 0,281 & 0,001 & 0,899 & 0,001 \\ 0,001 & 0,273 & 0,637 & 0,311 & -0,832 & -0,003 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \sigma_{xy} \\ \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} \end{bmatrix}$$

dengan menganggap perkalian matrik tersebut merupakan perkalian matrik

$$[B] = [A] \times [C]$$

dimana matrik [B] adalah matrik 7 x 1, matrik [A] adalah matrik 7 x 6, dan matrik [C] adalah matrik 6 x 1, maka untuk mencari nilai matrik [C] diperlukan beberapa tahap, yaitu:

1. Mencari invers dari matrik [A]

$$[A]^T = \begin{bmatrix} 3,027 & 0,286 & 0,177 & 0,100 & 1,000 & -0,001 & 0,601 & 0,705 & 0,990 & 0,003 & 0,091 \\ 0,029 & 0,410 & -0,117 & 0,107 & 1,000 & 0,000 & 0,793 & 0,794 & 0,883 & 0,719 & 0,271 \\ 0,033 & 0,000 & 0,000 & 0,913 & 0,030 & 0,000 & 0,024 & 0,004 & 0,117 & 0,300 & 0,637 \\ -0,064 & 0,586 & -0,000 & 0,200 & -0,005 & 0,759 & -0,025 & -0,007 & 0,001 & 0,000 & 0,312 \\ 0,300 & 0,000 & -0,015 & 0,500 & 0,000 & 0,000 & -0,764 & 0,002 & 0,672 & 0,000 & -0,032 \\ -0,320 & 0,000 & -0,702 & 0,001 & 0,000 & -0,990 & 0,300 & -0,012 & 0,001 & 0,001 & -0,413 \end{bmatrix}$$

2. Mengalikan matrik $[A]^T$ dengan matrik $[A]$

$$[A]^T [A] = \begin{bmatrix} 1,030 & 1,006 & 0,122 & -0,731 & -0,301 & 0,097 \\ 1,606 & 3,280 & 0,596 & -0,471 & 1,087 & 0,042 \\ 0,122 & 0,596 & 2,343 & 0,010 & 0,066 & -0,582 \\ -0,731 & -0,471 & 0,010 & 2,557 & -0,076 & -0,160 \\ -0,301 & 1,087 & 0,066 & -0,076 & 2,703 & 0,672 \\ 0,097 & 0,042 & -0,582 & -0,160 & 0,672 & 1,97 \end{bmatrix}$$

3. Membuat inverse matrik dari matrik $[A]^T \times [A]$

$$[A]^T [A]^{-1} = \begin{bmatrix} 1,425 & -0,883 & -0,003 & -0,004 & 0,574 & -0,260 \\ -0,883 & 0,913 & -0,010 & 0,018 & -0,491 & 0,183 \\ -0,003 & -0,010 & 0,360 & -0,017 & -0,174 & 0,723 \\ -0,004 & 0,009 & -0,017 & 0,406 & -0,340 & 0,942 \\ 0,574 & -0,491 & -0,174 & -0,440 & 0,724 & -0,300 \\ -0,260 & 0,183 & 0,723 & 0,042 & -0,385 & 0,684 \end{bmatrix}$$

4. Mencari perkalian matrik antara $[A]^T$ dan matrik $[B]$

$$[A]^T [B] = \begin{bmatrix} 7,837 \\ 11,274 \\ 10,387 \\ -2,193 \\ 3,772 \\ -1,789 \end{bmatrix}$$

5. Mencari nilai matrik $[C]$, yaitu perkalian antara matrik $[[A]^T [A]]^{-1} [A]^T$ dengan matrik $[[A]^T \times [B]]$, sehingga :

$$[C] = \begin{bmatrix} \sigma_A \\ \sigma_B \\ \sigma_C \\ r_{AB} \\ r_{AC} \\ r_{BC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5,618 \\ 0,605 \\ 3,878 \\ -0,730 \\ 0,830 \\ -0,787 \end{bmatrix}$$

3.1.4. Menentukan Nilai Eigen dan Vektor Eigen

3.1.4.1. Nilai Eigen

Untuk mencari nilai tegangan prinsipal, maka nilai tegangan σ_x , σ_y , σ_z , σ_{xy} , σ_{yz} , dan σ_{zx} yang diperoleh dari perhitungan di atas menjadi tensor tegangan untuk perhitungan nilai Eigen dan vektor Eigennya. Dengan menggunakan persamaan (VIII.2) berikut,

$$\begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{bmatrix} \quad (\text{VIII.2})$$

diperoleh tensor tegangannya adalah :

$$[A] = \begin{bmatrix} 3,618 & -0,730 & 0,830 \\ -0,730 & 0,605 & -0,787 \\ 0,830 & -0,787 & 3,878 \end{bmatrix}$$

Untuk menentukan nilai Eigen dan vektor Eigen dari tensor tegangan tersebut, digunakan persamaan (VIII.3) – persamaan (VIII.6).

$$[x][I] - [A][x] = [0] \quad (\text{VIII.3})$$

$$[B] = \begin{bmatrix} \sigma - \sigma_x & -\tau_{xy} & -\tau_{xz} \\ -\tau_{xy} & \sigma - \sigma_y & -\tau_{yz} \\ -\tau_{xz} & -\tau_{yz} & \sigma - \sigma_z \end{bmatrix} \quad (\text{VIII.4})$$

$$[n][x] = [0] \quad (\text{VIII.5})$$

$$[x] = [n]^{-1}[0] \quad (\text{VIII.6})$$

sehingga diperoleh matrik:

$$\left\{ \sigma \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 3,618 & -0,730 & 0,830 \\ -0,730 & 0,605 & -0,787 \\ 0,830 & -0,787 & 3,878 \end{bmatrix} \right\} [x] = [0]$$

$$[B] = \begin{bmatrix} \sigma - 3,618 & 0,730 & -0,830 \\ 0,730 & \sigma - 0,605 & 0,787 \\ 0,830 & 0,787 & \sigma - 3,878 \end{bmatrix}$$

Nilai Eigen dan vektornya dapat ditentukan jika matrik $[H]$ tersebut mempunyai nilai determinan nol. Penentuan determinan matrik tersebut akan menghasilkan suatu persamaan pangkat tiga yang akar-akarnya merupakan nilai Eigenya.

$$\text{Det } [H] = \sigma^3 - 8,101 \sigma^2 + 16,725 \sigma - 4,718 = 0$$

Nilai Eigen yang diperoleh merupakan besaran tegangan prinsipal insitu yang bekerja ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$). Akar persamaan pangkat tiga di atas adalah

$$\sigma_1 = 4,83 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 2,92 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3 = 0,32 \text{ MPa}$$

4.1.4.2. Vektor Eigen

Untuk mencari arah dari tegangan insitu yang bekerja pada suatu batuan tersebut, harus dicari vektor Eigennya. Penentuan arah tegangan prinsipal dilakukan dengan menentukan kosinus arah dari masing-masing nilai Eigen dengan menggunakan persamaan (VIII.9) – persamaan (VIII.11)

$$l(\sigma_x - \sigma_1) + m(\tau_{xy}) + n(\tau_{xz}) = 0 \quad (\text{VIII.9})$$

$$l(\tau_{xy}) + m(\sigma_y - \sigma_1) + n(\tau_{yz}) = 0 \quad (\text{VIII.10})$$

$$l(\tau_{xz}) + m(\tau_{yz}) + n(\sigma_z - \sigma_1) = 0 \quad (\text{VIII.11})$$

- Untuk $\sigma_1 = 4,83 \text{ MPa}$:

$$l(4,83 - 3,62) + m(0,73) + n(0,023) = 0$$

$$l(0,73) + m(4,83 - 0,61) + n(0,787) = 0$$

$$l(0,023) + m(0,787) + n(4,83 - 3,88) = 0$$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai l , m , dan n untuk σ_2 dan σ_3 sehingga didapatkan nilai l , m , dan n

Tegangan Prinsipal	l	m	n
σ_1	-0,62	0,25	0,72
σ_2	0,73	0	0,68
σ_3	0,17	0,97	-0,19

Dengan menggunakan persamaan (VIII.13) dan (VIII.14),

$$\text{Arah kemiringan} = \tan^{-1} \left(\frac{m}{j} \right) \quad (\text{VIII.13})$$

$$\text{Kemiringan} = (\cos^{-1} n) - 90^\circ \quad (\text{VIII.14})$$

maka akan diperoleh :

$$\begin{aligned} \text{Arah kemiringan} &= \tan^{-1} \left(\frac{0,25}{-0,65} \right) \\ &= -22^\circ \text{ (kuadran II)} = \text{N } 158^\circ \text{ E} \\ \text{Kemiringan} &= [(\cos^{-1} 0,72)] - 90^\circ \\ &= 46^\circ \end{aligned}$$

Jadi σ_1 mempunyai arah N 158° E dan kemiringan 46°.

Dengan cara yang sama, akan diperoleh σ_2 mempunyai arah N 0° E dan kemiringan 42° dan σ_3 mempunyai arah N 250° E dan kemiringan 11°.

3.3. Hasil Uji Emisi Akustik

Sebagai contoh perhitungan, akan digunakan data hasil uji emisi akustik yang telah dikoreksi di Citrag.

3.3.1. Mencari nilai tegangan σ_x , σ_y , σ_z , σ_{yz} , σ_{xz} , dan σ_{xy}

Dengan menggunakan persamaan (II.14) dan (II.15) dari 7 Isbang bar yang mempunyai arah (α) dan kemiringan (β) yang berbeda,

$$\begin{aligned} \sigma_{II} &= \sigma_x \cos^2 \alpha \cos^2 \beta + \sigma_y \cos^2 \alpha \sin^2 \beta + \sigma_z \sin^2 \alpha + \sigma_{yz} \cos^2 \alpha \sin(2\beta) + \\ &\quad \sigma_{xy} \sin(2\alpha) \sin \beta + \sigma_{xz} \sin(2\alpha) \cos \beta \end{aligned} \quad (\text{II.14})$$

$$\sigma_{II} = \sigma_{I2} \quad (\text{II.15})$$

maka akan diperoleh persamaan dalam bentuk matriks sebagai berikut :

xy	u_{1x}	u_{2x}	u_{3x}	u_{4x}	u_{5x}	u_{6x}
4,36	0,185	0,548	0,067	-0,919	-0,383	0,321
4,37	0,413	0,587	0,000	-0,985	0,000	0,000
2,76	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
3,10	0,000	0,933	0,067	0,000	-0,500	0,000
4,23	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3,75	0,107	0,626	0,067	0,877	-0,410	-0,287
3,53	0,329	0,671	0,000	0,910	0,000	0,000
Matrix B	Matrix A					

Seperti halnya pada uji rekah hidrolik, maka dengan menganggap perkalian matrik tersebut merupakan perkalian matrik

$$[B] = [A] \times [C]$$

dimana matrik [B] adalah matrik 7 x 1, matrik [A] adalah matrik 7 x 6, dan matrik [C] adalah matrik 6 x 1, maka untuk mencari nilai matrik [C] diperlukan beberapa tahap, yaitu:

1. Menzari transpose matrik [A]

$$[A]^T = \begin{bmatrix} 0,185 & 0,413 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,107 & 0,329 \\ 0,548 & 0,587 & 0,000 & 0,933 & 1,000 & 0,626 & 0,671 \\ 0,067 & 0,000 & 1,000 & 0,067 & 0,000 & 0,067 & 0,000 \\ -0,919 & -0,985 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,877 & 0,910 \\ -0,383 & 0,000 & 0,000 & -0,500 & 0,000 & -0,410 & 0,000 \\ 0,321 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & -0,287 & 0,000 \end{bmatrix}$$

2. Mengalikan matrik $[A]^T$ dengan matrik [A]

$$[A]^T [A] = \begin{bmatrix} 0,532 & 0,866 & 0,046 & -0,183 & -0,273 & 0,036 \\ 0,866 & 3,357 & 0,341 & 0,098 & -0,933 & -0,004 \\ 0,046 & 0,341 & 1,013 & -0,003 & -0,007 & 0,002 \\ -0,183 & 0,098 & -0,003 & 3,466 & -0,007 & -0,547 \\ -0,273 & -0,933 & -0,007 & -0,007 & 0,504 & -0,006 \\ 0,036 & -0,004 & 0,002 & -0,547 & -0,006 & 0,186 \end{bmatrix}$$

3. Membuat inverse matrik dari matrik $[A]^T [A]$

$$[A^T][A] = \begin{bmatrix} 3,543 & -0,819 & -0,016 & 0,791 & 0,161 & -0,127 \\ -0,819 & 0,741 & 0,005 & -0,019 & 0,127 & 0,023 \\ -0,016 & 0,005 & 1,000 & -0,001 & 0,153 & -0,008 \\ 0,791 & -0,019 & -0,001 & 0,550 & 0,018 & 1,584 \\ 0,161 & 0,127 & 0,153 & 0,018 & 1,118 & 0,100 \\ -0,127 & 0,023 & -0,008 & 1,584 & 0,100 & 10,004 \end{bmatrix}$$

4. Mencari perkalian matrik antara $[A]^T$ dan matrik $[B]$

$$[A^T][B] = \begin{bmatrix} 6,041 \\ 17,14 \\ 3,540 \\ -2,170 \\ -4,913 \\ 0,454 \end{bmatrix}$$

5. Mencari nilai matrik $[C]$, yaitu perkalian antara matrik $[[A]^T [A]]^{-1}$ dengan matrik $[A]^T \times [B]$, sehingga :

$$[C] = \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{10} \\ \tau_{11} \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5,04 \\ 3,84 \\ 2,77 \\ -0,47 \\ 0,13 \\ 0,13 \end{bmatrix}$$

4.2.2. Mencari Nilai Eigen dan Vektor Eigen

Seperi pada uji rekah hidrolik, nilai tegangan σ_1 , σ_2 , σ_3 , σ_{10} , σ_{11} , dan σ_{12} yang diperoleh dari perhitungan di atas menjadi tensor tegangan untuk perhitungan nilai Eigen dan vektor Eigennya. Perhitungan nilai eigen dan vektor eigen dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

$$[A] = \begin{bmatrix} 5,04 & -0,47 & 0,13 \\ -0,47 & 3,84 & 0,13 \\ 0,13 & 0,13 & 2,77 \end{bmatrix}$$

$$\left[a \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 5,04 & -0,47 & 0,13 \\ -0,47 & 3,84 & 0,51 \\ 0,13 & 0,51 & 2,77 \end{bmatrix} \right] \{c\} = \{0\}$$

$$\{0\} = \begin{bmatrix} a - 5,04 & -0,47 & 0,13 \\ -0,47 & a - 3,84 & 0,51 \\ 0,13 & 0,51 & a - 2,77 \end{bmatrix} = 0$$

Dengan mencari determinan dari matriks diatas, maka akan diperoleh persamaan pangkat tiga sebagai berikut:

$$a^3 - 11,65 a^2 + 43,43 a - 51,36 = 0$$

Akar persamaan pangkat tiga di atas adalah:

$$\sigma_1 = 5,21 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 3,92 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3 = 2,53 \text{ MPa}$$

Kemiringan arah dari masing-masing nilai Eigen tersebut adalah:

Tegangan Prinsipal	1	m	n
σ_1	0,94	-0,33	-0,02
σ_2	0,31	0,05	-0,42
σ_3	-0,12	0,39	0,91

Dengan kemiringan arah tersebut, arah tegangan prinsipal menggunakan persamaan (VIII.13) dan (VIII.16), maka akan diperoleh :

$$\begin{aligned} \text{Arah kemiringan} &= \tan^{-1} \left(\frac{-0,31}{0,94} \right) \\ &= -20^\circ \text{ (kemiringan III)} = N 200^\circ E \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kemiringan} &= (\cos^{-1} - 0,02) = 90^\circ \\ &= 1^\circ \end{aligned}$$

Jadi σ_1 mempunyai arah N 200° E dan kemiringan 1°.

Dengan cara yang sama, akan diperoleh σ_2 mempunyai arah N 70° E dan kemiringan 25° dan σ_3 , mempunyai arah N 251° E dan kemiringan 65°.

LAMPIRAN K
Riwayat Hidup

Lampiran K Riwayat Hidup

Penulis dilahirkan pada tanggal 26 November 1970 di Semarang, Jawa Tengah, putri ketiga dari bapak Tyock Soeharto dan Ibu Nisik Soesetani.

Penulis menyelesaikan pendidikan SD dan SMP di Semarang, serta lulus dari SMA Negeri 3 Semarang pada tahun 1989. Penulis meraih gelar Sarjana Teknik pada tahun 1995 di Departemen Teknik Pertambangan Institut Teknologi Bandung. Pada tahun 1996 diterima sebagai mahasiswa Program Magister di Institut Teknologi Bandung, bidang Geoteknika, Departemen Teknik Pertambangan dan mendapat gelar Magister Teknik pada tahun 1998.

Sejak tahun 1995 hingga sekarang, penulis menjadi staf pengajar di Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Trisakti Jakarta.

Daftar Publikasi

1. PN. Hartami, S.Kramadibrata, M.A.Rai, K.Matsui. Emisi Akustik Sebagai Metode Alternatif Penentuan Tegangan In-situ Secara Tidak Langsung. *Prosiding Seminar Perhimpunan Ahli Pertambangan Indonesia (PERHAPI)*, Palembang, 9-10 Desember 2004.
2. B. Sulistiarto, PN. Hartami, MA. Rai, S. Kramadibrata, K. Matsui, M.S. Subhan, H. Sudeman and A. Taufik. In-situ Stress Measurements in Pengkor Underground Gold Mine, West Java, Indonesia. *Proceeding of International Workshop on Earth Science and Technology*, Kyushu University, 6 December 2004.
3. MA. Rai, PN. Hartami, S. Kramadibrata, B. Sulistiarto, K. Matsui, H. Sudeman and A. Taufik. Application Of Acoustic Emission Method to Determine In-situ Stress At Panoyanan, Pengkor Underground Gold Mine, Indonesia. *Proceeding of International Workshop on Earth Science and Technology*, Kyushu University, 6 December, 2004.

4. S. Kramadibrata, Pantjanita Novi, M.A.Rai, B. Sulistiono, H.K. Watanabe, K. Matsui, Determination of Three Dimensional In-Situ Stress Regions Using Hydraulic Fracturing and Acoustic Emission Methods, *Proceeding of AIBS 2004*, 30 November – 2 December 2004, Kyoto, Japan.
5. PN Hartono, Determination of Three Dimensional In-situ Stress by Means of Acoustic Emission Method in Pongkor Underground Gold Mine, Bogor, Indonesia, *Proceeding of International Mining Student Conference*, Brisbane, Australia, 6-7 September 2004.
6. B. Sulistiono, Pantjanita Novi, M.A.Rai, S. Kramadibrata, K. Matsui, H.Nakagawa, ID Setiawan, E.Jane and Riono, Determination of In-situ Stress Using Hydraulic Fracturing Method at Pongkor Underground Gold Mine, West Java, Indonesia. *Proceeding of the Third International Symposium On Rock Stress*, RS Kanamato'03, 4-6 November 2003, Kanamato, Japan.
7. S. Kramadibrata, Pantjanita Novi, M.A.Rai, B. Sulistiono, K. Matsui, H.Nakagawa, and D.Gusilar, Development of Hydraulic Fracturing Test Apparatus in Indonesia. *Proceeding of the Third International Symposium On Rock Stress*, RS Kanamato'03, 4-6 November 2003, Kanamato, Japan.

Penelitian

1. Anggota tim peneliti, *Pemantauan Deformasi Malar Batuan Menggunakan Extensometer dan Berchule Camera di Tambang Emas Pongkor*, penelitian Tripartit Departemen Teknik Pertambangan ITB – Kyushu University Jepang, PT Anika Tambang UBPE Pongkor, tahun 2001.
2. Ketua tim peneliti, *Pencatatan Tegangan In-situ dengan Uji Hydraulic Fracturing untuk Kepentingan Karakterisasi Malar Batuan untuk Rancangan penambangan-Dulang pada Lapangan Batuan Perbarwa Batubara*, Penelitian DCRG-URGE, tahun 2000/2001.
3. Anggota tim peneliti, *Study of estimation of initial in-situ stress using Acoustic Emission method with core'd rock samples for the purpose of designing stability of Underground mines and Tunneling*, The Asahi Glass Foundation, Overseas Research Grant 2001.