



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Profesor Budi Sulistianto

**PERAN GEOMEKANIKA
DALAM KEGIATAN PENAMBANGAN
MINERAL DAN BATUBARA DI INDONESIA**

30 Januari 2015
Balai Pertemuan Ilmiah ITB

Hak cipta ada pada penulis

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung
30 Januari 2015

Profesor Budi Sulistianto

PERAN GEOMEKANIKA
DALAM KEGIATAN PENAMBANGAN
MINERAL DAN BATUBARA DI INDONESIA



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Judul: PERAN GEOMEKANIKA DALAM KEGIATAN PENAMBANGAN MINERAL DAN BATUBARA DI INDONESIA
Disampaikan pada sidang terbuka Forum Guru Besar ITB, tanggal 30 Januari 2015.

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

UNDANG-UNDANG NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA
1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah). 2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Hak Cipta ada pada penulis
Data katalog dalam terbitan

Budi Sulistianto
PERAN GEOMEKANIKA DALAM KEGIATAN PENAMBANGAN MINERAL DAN BATUBARA DI INDONESIA
Disunting oleh Budi Sulistianto

Bandung: Forum Guru Besar ITB, 2015
vi+86 h., 17,5 x 25 cm
ISBN 978-602-8468-73-2
1. Teknik 1. Budi Sulistianto

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan kasih-sayangNya sehingga penulis dapat menyelesaikan naskah pidato ilmiah guru besar ini. Sholawat dan salam juga penulis sampaikan kepada Rosul Allah, Nabi Muhammad SAW yang telah menyampaikan kebenaran dan menjadi suri tauladan bagi kehidupan manusia.

Pidato ilmiah ini merupakan salah satu bentuk pertanggung-jawaban akademik kepada ITB dan masyarakat Indonesia yang telah mempercayakan jabatan Guru Besar kepada penulis. Untuk itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Pimpinan dan Anggota Forum Guru Besar ITB yang telah memberikan kesempatan pada hari jum’at 30 Januari 2015 ini untuk menyampaikan pidato ilmiah dengan judul **“Peran Geomekanika dalam Kegiatan Penambangan Mineral dan Batubara di Indonesia”**. Di dalam naskah pidato ilmiah ini, sistem penambangan yang biasanya diterapkan akan diuraikan sebagai pendahuluan, kemudian diikuti latar belakang teori, dan dilanjutkan dengan sumbangan pemikiran bidang geomekanika yang selama ini diberikan terkait dengan permasalahan teknis penambangan.

Penulis berharap bahwa tulisan ini dapat memberikan manfaat kepada para pembaca pada umumnya dan pelaku industri pertambangan pada khususnya, serta dapat memberikan semangat untuk melakukan

pengembangan lebih lanjut terkait dengan peran Geomekanika di Teknik Pertambangan dan Teknik Sipil di masa yang akan datang. Semoga Allah SWT selalu memberikan petunjuk dan perlindunganNya sehingga kita mampu menjalankan perintahNya dan menjauhi laranganNya.

Bandung, 30 Januari 2015

Budi Sulistianto

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
1. PENDAHULUAN	1
2. LATAR BELAKANG TEORI	3
2.1 Perancangan lereng	3
2.2 Perancangan lubang bukaan bawah tanah	7
3. SUMBANGAN PEMIKIRAN DALAM PERANCANGAN LERENG	10
3.1 Lereng tambang bijih	10
3.2 Lereng tambang batubara	13
3.3 Lereng timbunan	19
4. SUMBANGAN PEMIKIRAN DALAM PERANCANGAN LUBANG BUKAAN BAWAH TANAH	22
4.1 Desain terowongan tambang	22
4.2 Penambangan <i>crown-pillar</i>	29
4.3 Desain material filling pada metoda <i>underhand cut and fill</i>	33
4.4 Pemantauan deformasi terowongan tambang	39
4.5 Kurva <i>load-deformasi</i> terowongan	43
4.6 Efek penambangan bawah tanah pada permukaan tanah	45
5. SUMBANGAN PEMIKIRAN DALAM PENGUKURAN TEGANGAN BATUAN	47

5.1 Pengukuran tegangan batuan 3-D dengan metoda <i>hydraulic fracturing</i>	47
5.2 Penaksiran tegangan batuan <i>far-field</i>	50
6. PENUTUP	55
UCAPAN TERIMA KASIH	56
DAFTAR PUSTAKA	59
BIODATA	67

PERAN GEOMEKANIKA DALAM KEGIATAN PENAMBANGAN MINERAL DAN BATUBARA DI INDONESIA

1. PENDAHULUAN

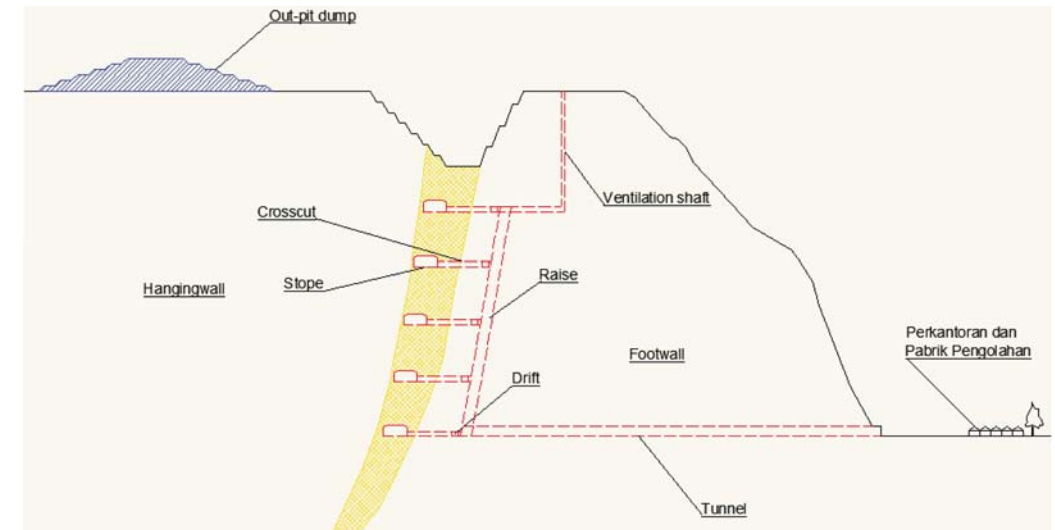
Kegiatan penambangan adalah suatu kegiatan penggalian di muka bumi untuk memperoleh mineral dan/atau batubara (Hartman, 1987). Kegiatan ini diyakini sebagai kegiatan dasar manusia yang berkembang setelah pertanian di awal peradaban manusia. Sejalan dengan perjalanan peradaban manusia, sejarah mencatat dengan nama jaman yang didasarkan pemakaian peralatan/perlengkapan hidup yang tidak lepas dari kegiatan penambangan ini, seperti jaman batu, jaman perunggu, jaman besi, dan seterusnya.

Dalam prakteknya kegiatan penambangan ini dilaksanakan secara tambang terbuka (*surface mining*) dan secara tambang bawah tanah (*underground mining*) serta tambang bawah air (*underwater mining*) sesuai dengan keadaan spasial endapan/cebakan (*deposit*) bahan tambang tersebut, keadaan geologi dan aspek geomekanika massa batuan yang ada, teknologi yang digunakan, pertimbangan ekonomi dan lingkungan. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut dan tuntutan adanya *good mining practices*, maka perancangan dan perencanaan tambang menjadi tumpuan/dasar dalam kegiatan penambangan ini. Kondisi spasial endapan diperoleh dari kegiatan penyelidikan awal dan dilanjutkan

dengan eksplorasi detail. Setelah data tentang endapan dan data-data pendukung lainnya tersedia, maka dibuatlah kajian kelayakan berdasarkan rancangan awal yang dibuat. Jika sudah dinyatakan layak secara teknis, ekonomis dan lingkungan, maka kegiatan penambangan baru bisa dijalankan.

Aspek geomekanika sudah seharusnya dipertimbangkan secara terintegrasi sejak tahap penyelidikan awal. Data-data yang diperlukan untuk analisis kestabilan lereng galian/timbunan dan daya dukung tanah bila dikaitkan dengan tambang terbuka, kestabilan bukaan bawah tanah (dinding, atap, lantai) dan pilar antar bukaan bila dikaitkan dengan tambang bawah tanah, serta kemampu-galian untuk keduanya, sudah harus dikumpulkan sejak tahap penyelidikan awal.

Sketsa tentang tambang terbuka dan tambang bawah tanah terintegrasi diberikan pada gambar 1.1. Dari gambar tersebut dapat dipahami bahwa selama penggalian, kegiatan pemantauan akan kestabilan lereng maupun kestabilan bukaan bawah tanah mutlak harus dilakukan demi suksesnya urutan (*sequence*) penggalian. Disamping itu, sukses tidaknya penambangan di tambang terbuka dipengaruhi juga perancangan timbunan batuan overburden atau batuan samping yang meliputi rancangan lereng timbunan dan penanganan batuan dasar timbunan. Sedangkan untuk tambang bawah tanah, pemilihan metoda penambangan (*open stoping*, *supported stoping*, atau *caving*) sangat mengandalkan pengetahuan akan kondisi geomekanika batuan yang ada.



Gambar 1.1: Sketsa kegiatan penambangan

2. LATAR BELAKANG TEORI

2.1 Perancangan lereng

Lereng galian yang stabil dibuat dengan suatu analisis yang mengikuti alur pikir seperti yang diberikan pada gambar 2.1. Data-data terkait yang meliputi litologi, sifat fisik dan mekanik batuan dan/atau tanah, kondisi air tanah, dan struktur geologi serta beban luar, dikumpulkan terlebih dahulu, kemudian analisis kemantapan lereng dilakukan. Problem yang mungkin muncul di lereng batuan adalah longsoran dengan bidang gelincir yang berbentuk bidang (*plane failure*) sampai busur (*circular failure*), dan gelundungan batu (Hoek and Bray, 1981). Metoda yang biasa digunakan dalam analisis kestabilan lereng adalah metoda kesetimbangan batas (*limit equilibrium methods*) dan metoda numerik (Hoek, 1991).

Metode kesetimbangan batas mendasarkan analisisnya pada ketimbangan gaya penahan dan penggerak (atau dalam bentuk *moment*) sedemikian rupa sehingga faktor keamanan (FK) dapat dinyatakan sebagai perbandingan keduanya. Jika kriteria kegagalan yang digunakan adalah kriteria kegagalan Mohr-Coulomb, maka gaya penahan merupakan turunan dari kuat geser yang merupakan fungsi dari kohesi (c) dan sudut gesek dalam (ϕ) seperti ditunjukkan pada gambar 2.2.

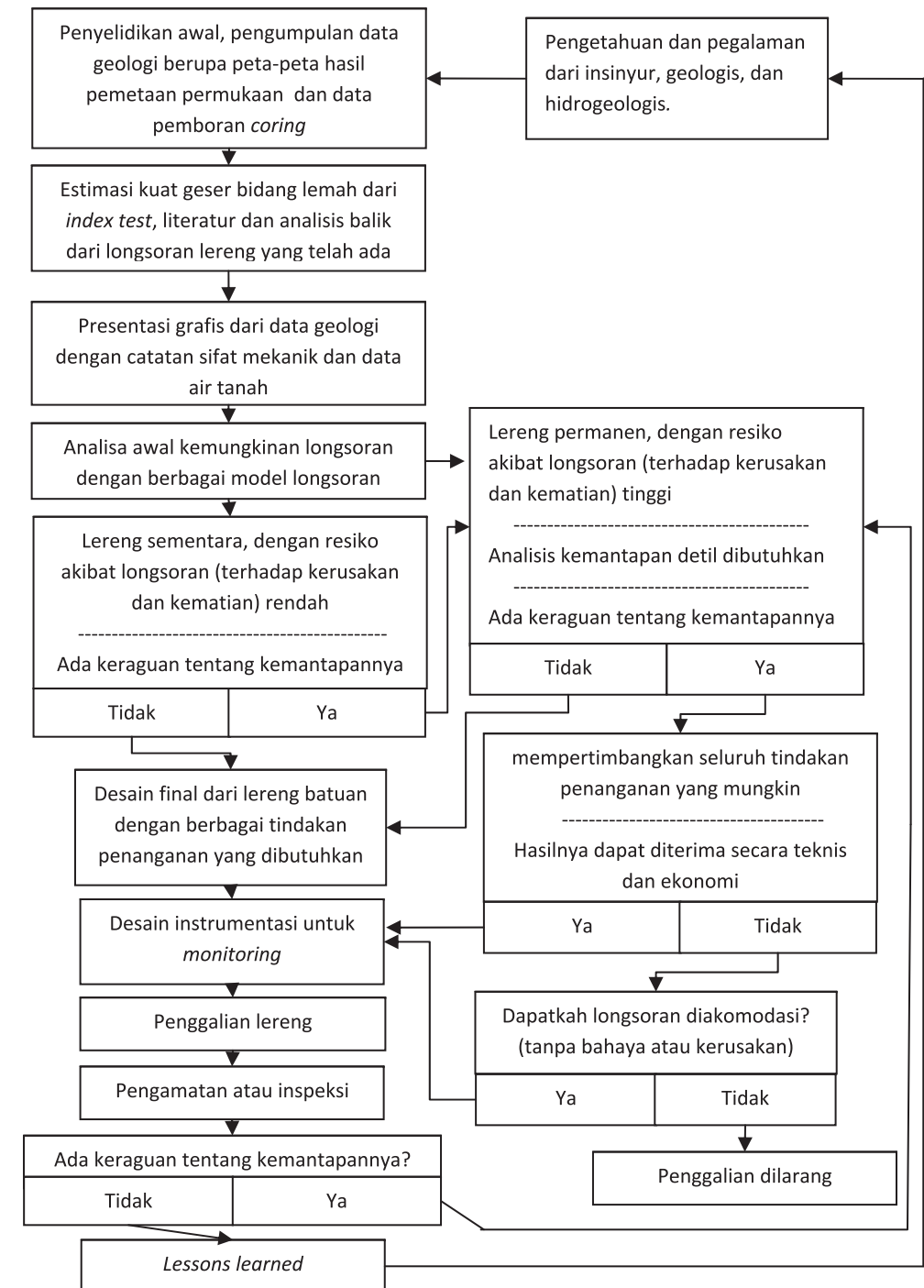
Untuk longsoran bidang, gaya yang dipertimbangkan dari blok yang terletak pada bidang gelincir dengan kemiringan ψ_p , diuraikan seperti terlihat pada gambar 2.2. Pada analisis kemantapan lereng dengan model ini, FS atau FK lereng dihitung berdasarkan rasio antara gaya penahan dan gaya penggerak. Apabila nilai $FK < 1$, maka lereng akan menjadi tidak stabil. Tetapi di Indonesia, FK minimum untuk lereng tambang adalah ≥ 1.3 .

Jika tinggi blok adalah H , sudut lereng ψ_p , dan muncul faktor lain seperti air yang membasahi bidang gelincir sampai merembes ke muka lereng dan getaran yang percepatannya dapat dimodelkan menjadi gaya statis aW , maka persamaan yang digunakan dalam analisis kemantapan lereng adalah sebagai berikut:

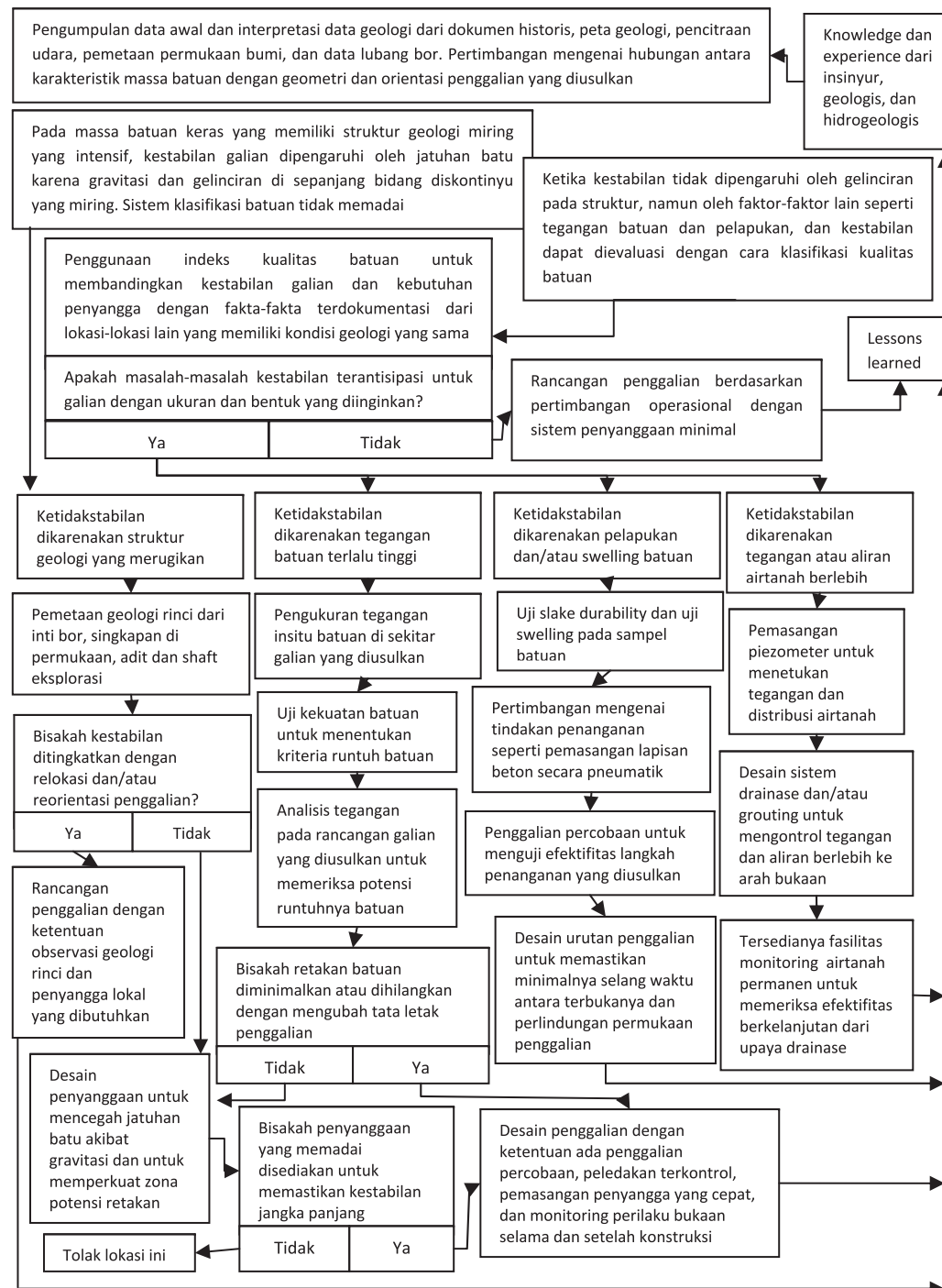
$$FK = \{cA + [W(\cos \psi_p - a \sin \psi_p) \tan \phi] / \{W(\sin \psi_p + a \cos \psi_p)\}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} A &= H \operatorname{cosec} \psi_p \\ U &= 0.25 \gamma_w H^2 \operatorname{cosec} \psi_p \\ W &= 0.5 \gamma H^2 (\cot \psi_p - \cot \psi_f) \end{aligned}$$



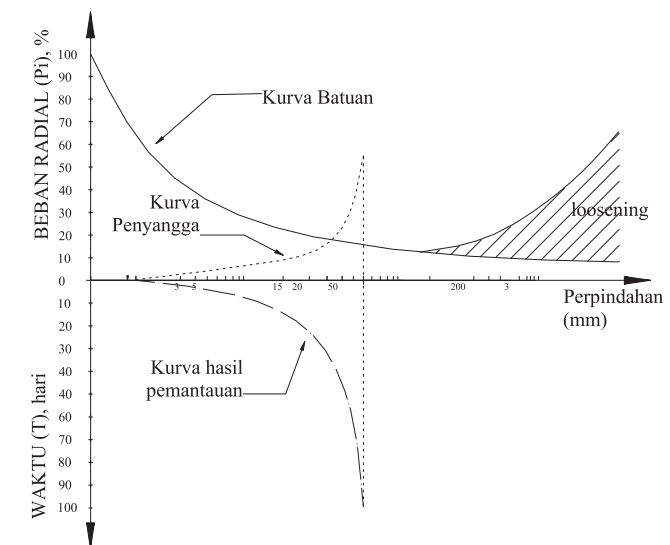
Gambar 2.1: Rancangan lereng galian (modifikasi dari Hoek, 1974)



Gambar 2.4: Rancangan penggalian bawah tanah pada batuan (modifikasi dari Hoek & Brown, 1981)

Selain itu, metoda empirik juga digunakan untuk menentukan kelas batuan, sehingga berdasarkan kelas tersebut dapat diperkirakan jenis sistem penyanggaan/perkuatan yang diperlukan, cara penggalian, dan kedalaman kemajuannya. Jika problem yang diperkirakan muncul berbentuk gelinciran blok, maka metoda kesetimbangan batas (*limit equilibrium methods*) juga digunakan.

Ketiga Metoda desain (metoda empirik, metoda analitik/numerik, dan metoda observasi) akan memberikan suatu hasil yang dapat dirangkum dalam bentuk grafis seperti ditunjukkan pada gambar 2.5. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa bila rancangan perkuatan/penyangga dapat diterapkan dengan baik, maka deformasi yang terjadi akan sesuai dengan yang diperkirakan.



Gambar 2.5: Kurva reaksi batuan-penyangga dan hasil monitoring deformasi (modifikasi dari Bieniawski, 1984)

3. SUMBANGAN PEMIKIRAN DALAM PERANCANGAN LERENG

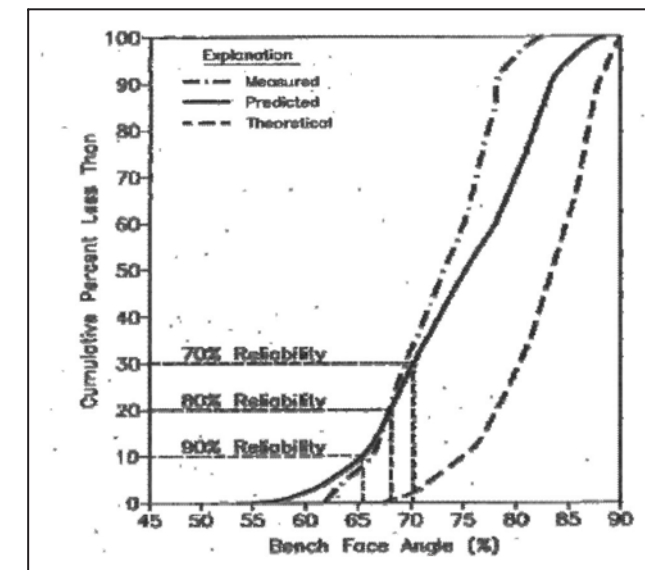
3.1 Lereng tambang bijih

Pada tambang bijih *open pit*, dengan karakteristik batuan yang relatif keras, longsoran yang terjadi pada lereng tambang umumnya adalah longsoran yang diakibatkan oleh adanya bidang diskontinyu pada massa batuan. Arah dan kemiringan dari lereng dan bidang diskontinyu akan menentukan bentuk longsoran yang berpotensi terjadi. Analisis secara kinematik untuk mengetahui potensi longsoran tersebut dapat dilakukan dengan mem-plot (Hoek and Bray, 1981) orientasi bidang diskontinyu (hasil pemetaan struktur geologi), orientasi lereng tambang, dan ϕ dari bidang diskontinyu (hasil uji laboratorium).

Cara tersebut diatas selanjutnya digabung dengan metoda *Cummulative Frequency Analysis* (CFA) untuk digunakan mendesain lereng tambang yang dipengaruhi potensi longsoran bidang dan longsoran baji (Hustrulid, 2001). Potensi longsoran bidang dan longsoran baji di masing-masing posisi rencana lereng dengan berbagai kemiringannya diakumulasikan, dan selanjutnya diplot seperti ditunjukkan pada gambar 3.1. Kemudian kemiringan lereng ditentukan pada tingkat kepercayaan tertentu, misalnya 80%.

Gambar 3.2 adalah contoh kondisi lereng tambang bijih yang akan dianalisis. Struktur geologi yang teramati berupa rekahan (*crack*) dan kekar (*joint*). Hasil pengukuran orientasi bidang diskontinyu pada lokasi

tersebut di-plot dalam *stereonet* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3. Untuk keperluan analisis, uji geser langsung (*direct shear test*) dilakukan terhadap beberapa sampel batuan, namun mengingat kondisi bidang diskontinyu yang ada (gambar 3.1), maka diambil nilai terkecil, yaitu $c_{res} = 0$ MPa dan $\phi_{res} = 32^\circ$.

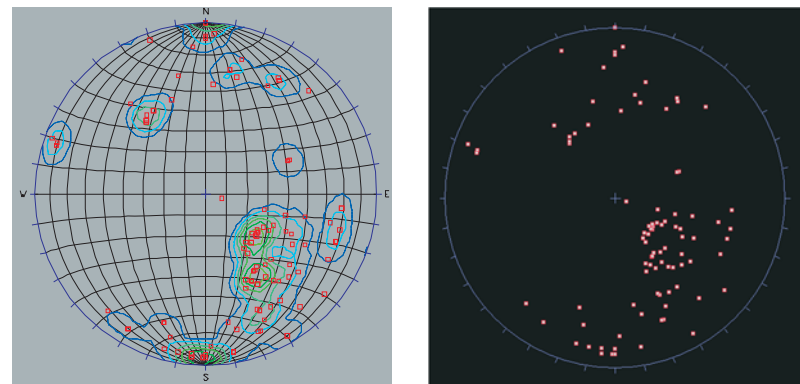


Gambar 3.1. Contoh Grafik Penentuan Kemiringan Lereng Berdasarkan CFA (Hustrulid, 2001)

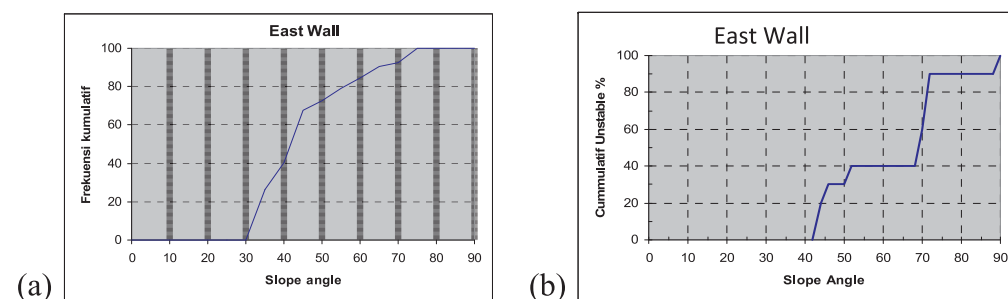


Gambar 3.2. Bidang Diskontinyu Pada Massa Batuan Lereng Tambang, (Sulistianto dkk, 2007a)

Dengan mengambil posisi lereng yang diperhitungkan adalah lereng *East Wall* (arah kemiringannya ke barat), maka hasil plot persen kumulatif *unstable* terhadap kemiringan lereng diberikan pada gambar 3.4 (a) untuk potensi longsoran bidang dan gambar 3.4 (b) untuk potensi longsoran baji.



Gambar 3.3. Orientasi Bidang Diskontinyu



Gambar 3.4. Hasil Perhitungan Metode CFA pada Lereng East;

(a) longsoran bidang, (b) longsoran baji

Dengan mengambil tingkat kepercayaan sebesar 80%, maka kemiringan lereng tambang (*slope angle*) diambil dari nilai terkecil diantara keduanya yaitu $\Psi_f = 35^\circ$ (Sulistianto dkk, 2007a).

3.2 Lereng tambang batubara

Pada tambang batubara *open pit*, dimana batuan yang ditambang merupakan batuan sedimen yang berlapis-lapis, maka diperlukan perhatian pada masalah kemantapan lerengnya. Dengan meningkatnya ketinggian lereng yang disebabkan oleh bertambahnya kedalaman penambangan, beban pada lereng akan meningkat, sehingga akan menambah potensi terjadinya longsoran.

Beberapa peristiwa longsoran banyak terjadi pada lereng *low-wall* dimana arah kemiringan lereng ini searah dengan kemiringan lapisan. Penyebab lainnya adalah hadirnya struktur geologi dan air tanah (Sulistianto, et.al, 2006, 2007c, 2009b). Litologi pembentuk lereng *low-wall* biasanya adalah batulempung, batupasir dan lapisan tipis batubara yang berselang seling (Gambar 3.5). Salah satu contoh longsoran pada lereng *low-wall* diberikan pada gambar 3.6. Sedangkan jejak yang terekam terkait longsoran gambar 3.6 tersebut adalah munculnya rekahan memanjang dan penurunan sekitar 2 m (gambar 3.7) beberapa bulan sebelum terjadinya longsor. Dari gambar tersebut terlihat bahwa yang bertindak sebagai bidang gelincir adalah bidang perlapisan itu sendiri.

Berdasarkan hasil pengamatan lapangan (gambar 3.5 dan 3.7) dan data lubang bor, selanjutnya dibuat penampang melintang (gambar 3.8) untuk digunakan sebagai model pada analisis. Penentuan karakteristik bidang gelincir dilakukan dengan cara menyisipkan material lemah tipis kedalam model penampang litologi, kemudian disimulasikan dengan

cara memasukkan nilai c dan ϕ secara coba-coba (sambil mengacu hasil uji laboratorium), sampai diperoleh nilai FK yang mendekati 1 (Gambar 3.9.a). Dalam kasus ini, diperoleh bahwa $c = 0$ MPa dan $\phi = 29.5^\circ$ (Sulistianto, dkk, 2006b).



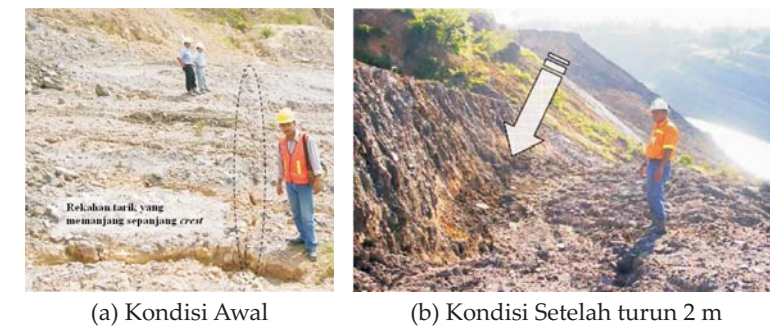
Gambar 3.5. Litologi lereng *Low wall* (Sulistianto, et.al, 2006b)



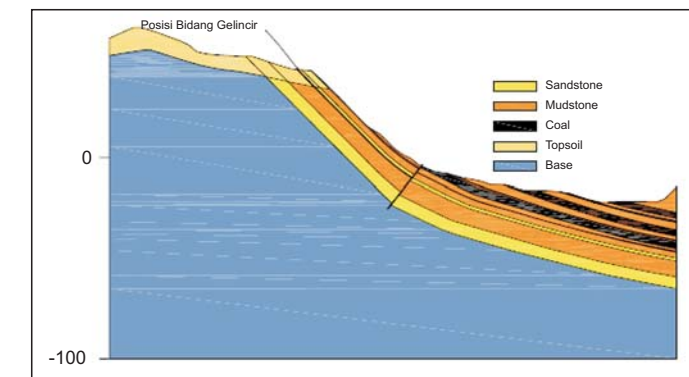
Gambar 3.6. Longsoran Yang Terjadi Pada *Low wall* Tambang (Sulistianto, et.al, 2007c)

Selanjutnya, karakteristik material bidang gelincir tersebut digunakan untuk mengkoreksi desain lereng yang sudah ada sebelumnya. Hasil analisis lereng desain revisi diberikan pada gambar 3.9.b dimana $FK \geq 1.3$. Desain tersebut dapat mengurangi volume material yang harus dipotong

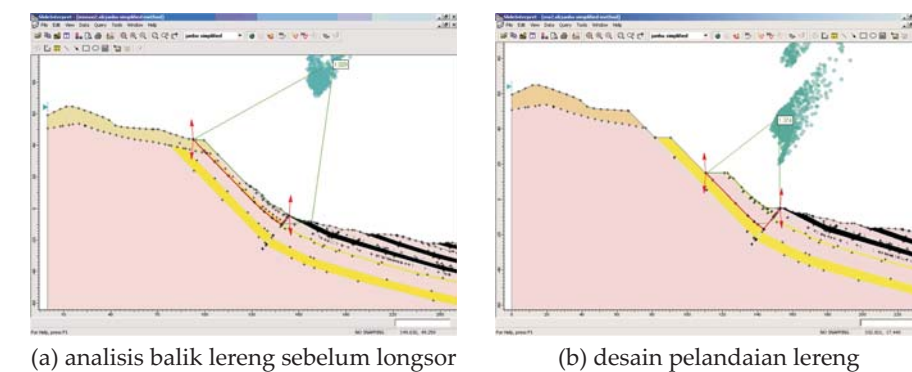
bila dibandingkan dengan rencana pelandaian yang telah dibuat (Gambar 3.10).



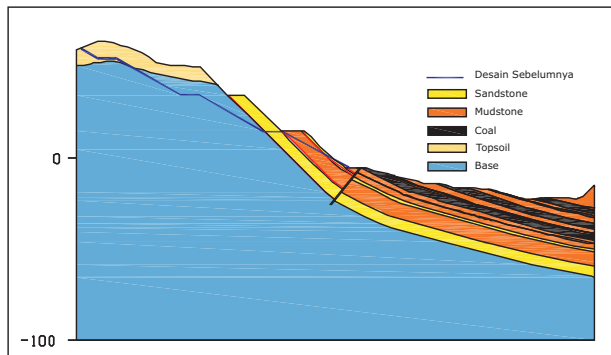
Gambar 3.7 Rekahan di belakang Crest lereng (Sulistianto, et.al, 2007c)



Gambar 3.8 Penampang Yang Digunakan Untuk Analisis Balik



Gambar 3.9 Hasil Analisis Dengan Program Slide (Sulistianto, et.al, 2007c)



Gambar 3.10. Desain Penampang Cut Back Lereng Lowwall (Sulistianto, et.al, 2007c)

Apabila perlapisan batuan penyusun lereng *low-wall* relatif tipis, dan kemiringan lapisan cukup curam, maka kemungkinan longsoran yang terjadi adalah longsoran jenis *buckling* (Giani, 1992) seperti terlihat pada Gambar 3.11. Dengan adanya penambahan beban pada lereng akibat semakin dalamnya tambang, maka lapisan tipis tersebut tertekuk pada bagian setengah bawah dari lereng (l_{bu}) karena batas tekuknya terlewati dan selanjutnya patah seperti ditunjukkan pada Gambar 3.12. Dengan demikian, nilai FK dari lereng lowwall tersebut dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$FK = \frac{\left\{ \frac{\pi^2 \times E \times d^3}{12(0.5 \times l)^2} + C \times 0.75l + \gamma \times d \times 0.75l \times \cos \alpha \times \tan \phi \right\}}{\gamma \times d \times 0.75l \times \sin \alpha}$$

Dimana P_{bu} : Gaya per satuan tebal

K : Konstanta (=1, sisi bawah dalam kondisi terjepit)

E : Modulus elastisitas batuan

I : Momen inersia

b : Unit tebal material

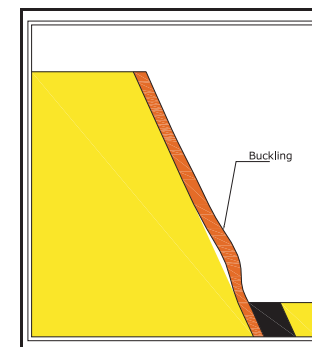
d : Tebal lapisan yang berpotensi longsor *buckling*

l : Panjang lapisan yang berpotensi longsor *buckling*

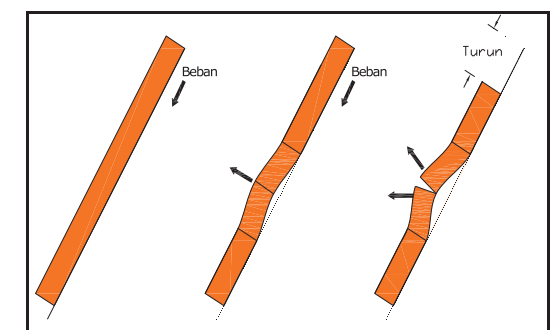
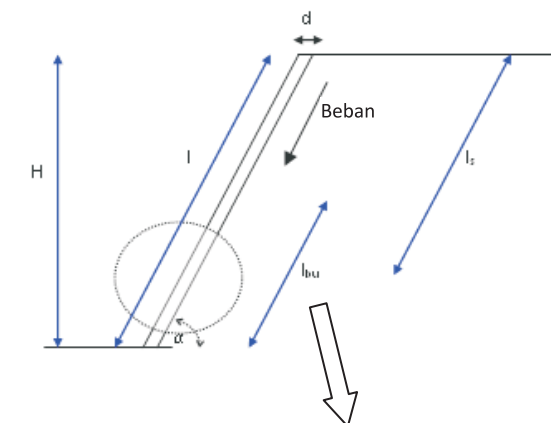
α : Kemiringan lereng

C : Kohesi material

ϕ : Sudut gesek dalam dari material



Gambar 3.11. Longsoran pada *lowwall* dengan perlapisan batuan yang tipis



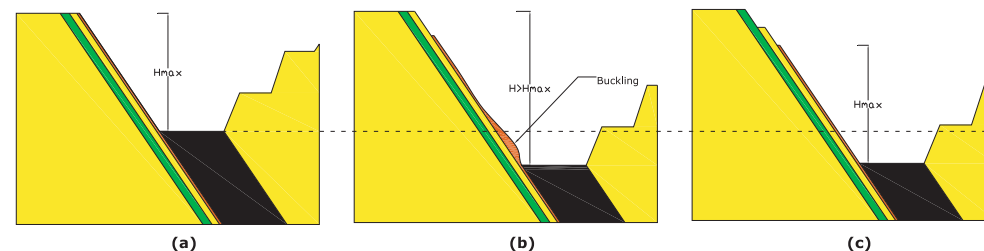
Gambar 3.12
Mekanisme terjadinya longsoran *buckling* (Sulistianto, dkk, 2006a)

Gambar 3.13 merupakan jenis longsoran *buckling*, dimana ketebalan lapisan batuan penyusun lereng relatif tipis. Dapat dilihat bahwa material longsoran teronggok pada bagian bawah badan lereng.



Gambar 3.13 Jenis longsoran pada *low-wall* dengan perlapisan tipis

Desain lereng yang berupa batasan geometri lereng berdasar ketebalan material penyusun lereng dapat dibuat seperti ditunjukkan pada gambar 3.14.



Gambar 3.14. Batasan geometri tinggi lereng yang mengendalikan longsoran *buckling*

a) stabil ($H_{lap} = H_{max}$), b) Longsor ($H_{lap} > H_{max}$), c) Pemotongan *crest*

3.3 Lereng timbunan

Dengan adanya tuntutan penerapan *good mining practices*, kegiatan *backfilling* (melakukan penimbunan di dalam *pit*) menjadi sangat dianjurkan. Bila dikaitkan dengan kemajuan penambangan, maka area penimbunan ini akan terletak di *low-wall*. Hal ini perlu perhatian khusus karena dasar timbunan miring kearah galian yang sedang berlangsung. Ditambah lagi jika proses penimbunan ini dilakukan secara *valey-fill dumping* (banyak disukai karena pelaksanaannya mudah dan murah), longsoran mungkin bisa terjadi karena bagian *toe* lereng timbunan menjadi kurang padat.

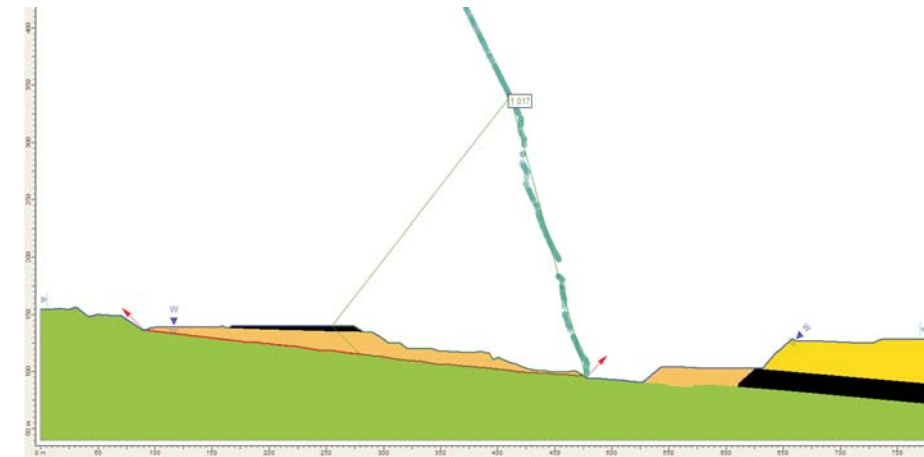
Beberapa longsoran diinformasikan terjadi di daerah timbunan *in-pit* (Sulistianto, et.al, 2011). Bentuk penanganan yang diharapkan adalah *re-sloping* dan/atau pemberian *counter-weight*. Sebelum penanganan dilakukan, perhitungan dengan analisis balik secara *trial and error* dilakukan untuk mengetahui parameter kuat geser (c dan ϕ) material kontak antara dasar timbunan dan timbunan. Dengan mengacu parameter batuan hasil uji laboratorium, perhitungan dilakukan sedemikian rupa secara coba-coba sehingga diperoleh $FK \approx 1$.

Gambar 3.15 menunjukkan contoh hasil analisis timbunan *in-pit* yang mengalami pergerakan. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa pergerakan timbunan *in-pit* ini selain membahayakan penambangan yang sedang berlangsung di depannya juga fasilitas *stock-pile* batubara yang ada di atasnya. Dari analisis ini diperoleh parameter kuat geser material

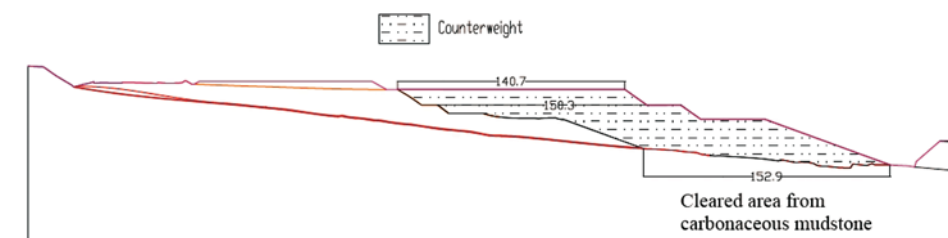
kontak $c=0$ kPa dan $\phi=12^\circ$ (Sulistianto, et.al., 2011).

Tindakan remedial dengan pemberian *counter-weight* di depan timbunan *in-pit* menjadi pilihan. *Counter-weight* dibentuk dari material *overburden* yang sebagian besar terdiri dari batupasir dan batulumpur dengan proses penimbunan secara *terraced dumping*. Geometri *counter-weight* diberikan pada Gambar 3.16. Dari timbunan yang sebelumnya memiliki $FK=1.01$ (gambar 3.15), setelah diberikan *counter-weight*, geometri timbunan *in-pit* berubah menjadi lebih tinggi dan lebih curam serta menjadi memiliki $FK=1.32$ (gambar 3.17).

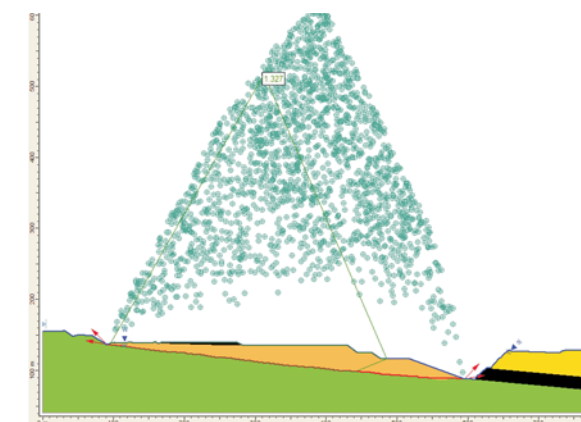
Di awal-awal penambangan, penimbunan material *overburden* akan dilakukan diluar *pit*. Dengan tuntutan produksi yang cepat dan terbatasnya lahan, maka penimbunan dilakukan secara *valley-fill dumping* dan tanpa preparasi lahan timbunan yang baik, sehingga timbunan *out-pit* pun longsor (Sulistianto, et.al, 2013a). Cara penanganan yang diusulkan adalah pemberian *counter-weight* dari material *overburden* terpilih yang pembuatannya dilakukan dengan penimbunan secara *terraced dumping* dan lahannya sudah dibebaskan dari material *top soil* yang lunak.



Gambar 3.15. Timbunan *In-pit*, $FK=1.01$ (Sulistianto, et.al, 2011)



Gambar 3.16. Usulan *Counter-weight* (Sulistianto, et.al, 2011)



Gambar 3.17. Timbunan *In-pit*, $FK=1.32$ (Sulistianto, et.al, 2011)

4. SUMBANGAN PEMIKIRAN DALAM PERANCANGAN LUBANG BUKAAN BAWAH TANAH

4.1 Desain terowongan tambang

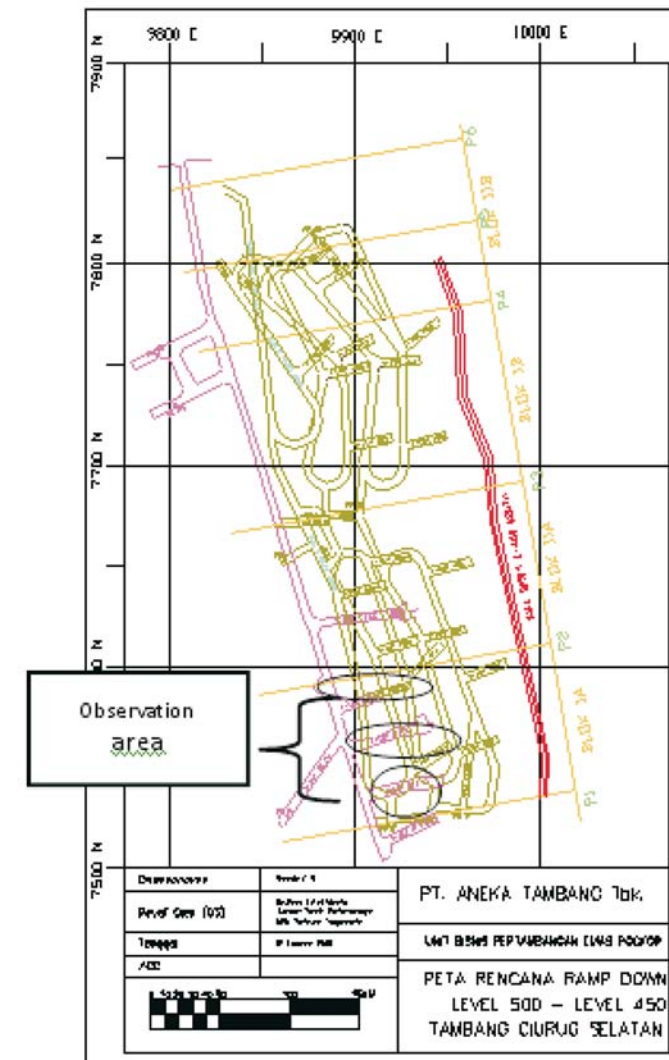
Tambang Emas Pongkor ingin mengembangkan penambangannya ke level 400, atau 100 m kearah bawah dari level yang sedang beroperasi. Untuk akses peralatan tambang, maka terowongan *ramp-down* harus dibuat.

Mengikuti alur pikir seperti terlihat pada gambar 2.4, dilakukanlah penyelidikan geoteknik yang meliputi pemboran inti (sekaligus men-cek kemenerusan urat bijih), pemetaan struktur geologi pada lubang bukaan yang ada (*footwall drift* dan *cross-cut* Level 500 (Gambar 4.1), dan pengamatan rembesan air tanah.

Dari pemboran diperoleh gambaran litologi dan RQD batuan sepanjang lubang bor serta sampel batuan, baik sampel berupa batuan utuh (*intact rock*) maupun sampel bidang lemah. Sampel tersebut diuji di laboratorium mekanika batuan yang meliputi: uji sifat fisik batuan (sifat fisik yang berupa berat jenis, porositas, kandungan air), uji kuat tekan batuan, uji kuat tarik tak langsung (Brazilian), uji geser (kohesi dan sudut gesek dalam bidang lemah), uji triaksial batuan (kohesi dan sudut gesek dalam batuan).

Sedangkan gambaran kondisi struktur geologi diperoleh dari pemetaan di lubang terdekat seperti diperlihatkan pada Tabel 4.1. Berdasarkan hasil pemetaan struktur pada lokasi tersebut dapat dilihat

bahwa orientasi bidang diskontinyu yang dominan umumnya mempunyai arah yang relatif sejajar dengan vein.

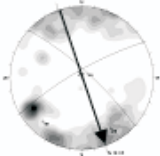
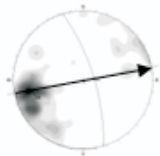
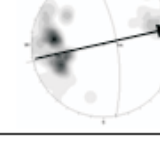


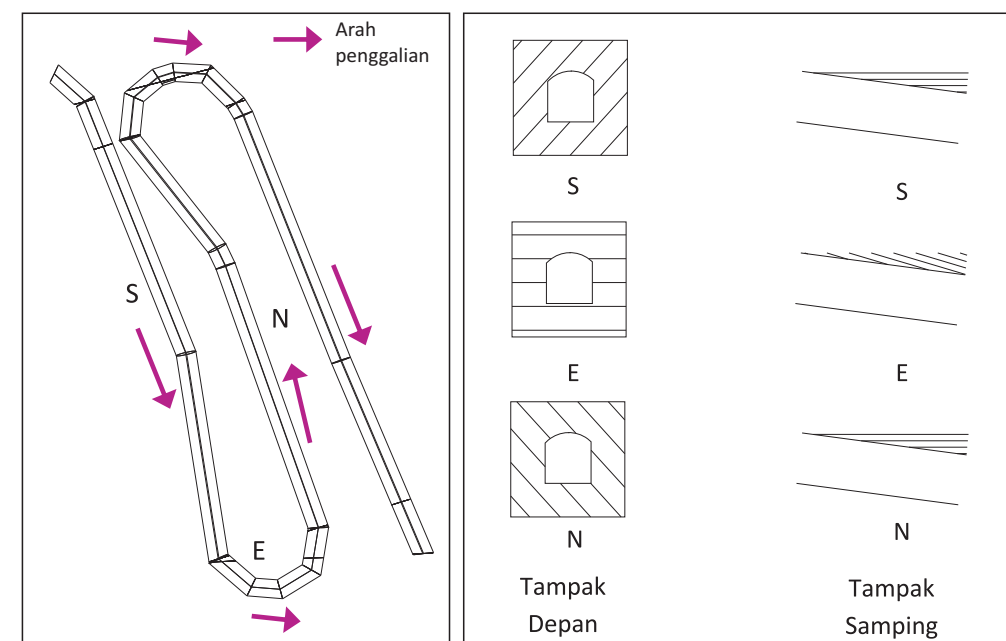
Gambar 4.1. Lokasi Penyelidikan Awal (Sulistianto, et.al, 2008b)

Selanjutnya, klasifikasi massa batuan dilakukan dengan metode “*Rock Mass Rating*” (Bieniawski, 1989) diperoleh bahwa batuan yang ada masuk

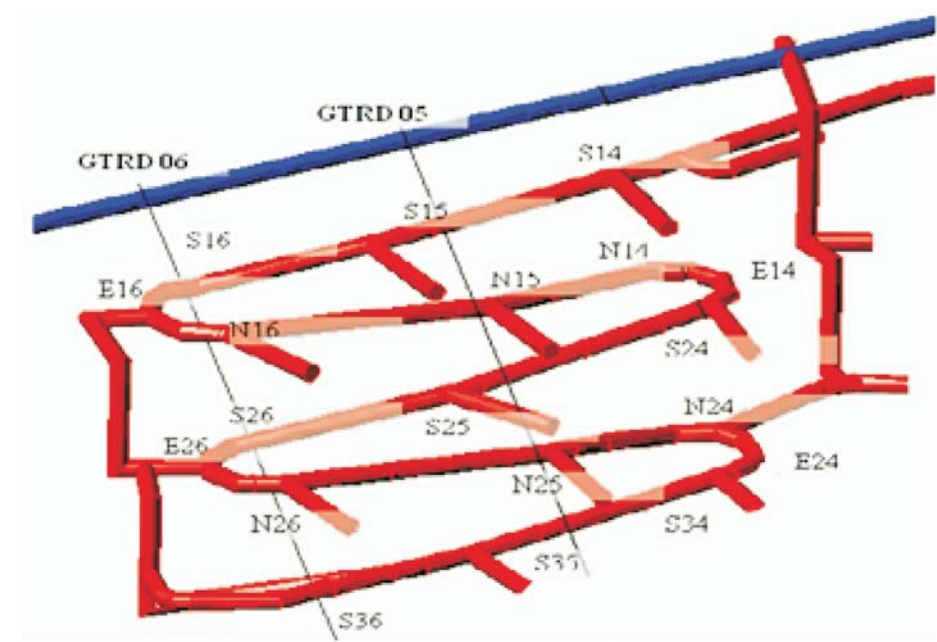
dalam kelas II dan III, kecuali pada urat bijih yang terkandung hancur (RQD = 0-40%) sehingga masuk ke kelas IV. Terkait dengan *ramp-down*, kelas tersebut harus dikoreksi dengan arah penggalian (gambar 4.2) terhadap orientasi rekahan yang muncul (diprediksi dari arah utama struktur geologi hasil pemetaan (tabel 4.1)). Klasifikasi masa batuan di calon jalur *ramp-down* diberikan pada gambar 4.3 dan tabel 4.2.

Tabel 4.1.
Hasil Pengukuran Orientasi Struktur Bidang Lemah Utama (Sulistianto, et.al, 2008b)

No	Location	Stereonet	Dip Direction/Dip	Joint Spacing (M)
1	Footwall Drift Ciung (N161°E)		056°/76°	1.69
			331°/87°	1.80
2	Xcut 8 Ciung (N79°E)		073°/72°	0.43
3	Xcut 9 Ciung (N76°E)		075°/74°	0.31
4	Xcut 10 Ciung (N77°E)		080°/69°	0.41



Gambar 4.2. Segmen Utama Pada Penggalian Ramp-down

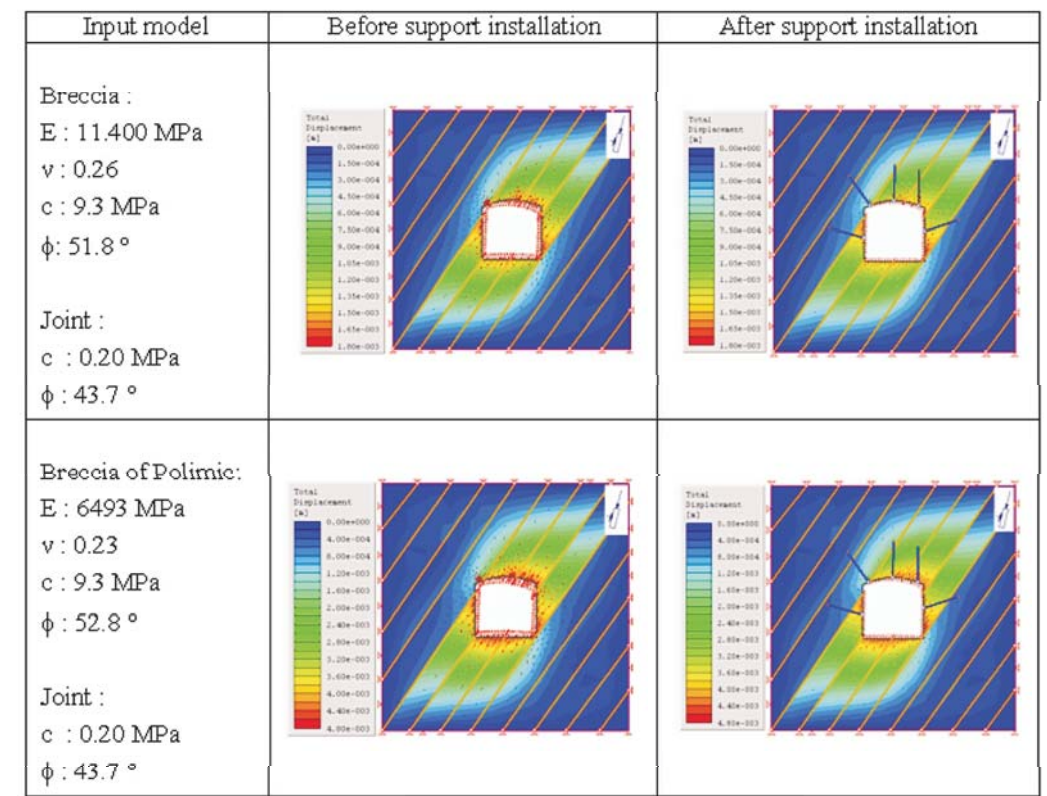


Gambar 4.1. Lokasi Penyelidikan Awal (Sulistianto, et.al, 2008b)

Tabel 4.2. Klasifikasi Massa Batuan Pada *Ramp-down* A (Sulistianto, et.al, 2008b)

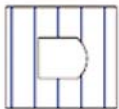
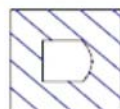
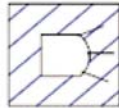
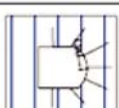
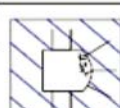
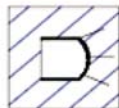
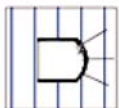
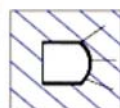
No	Segmen	Jenis Batuan	Total RMR	Kelas	Rekomendasi Penyanggan ¹⁾
1	S14	Bx Polimik dan Andesit	63	II	SII
2	S15	Bx polimik & Bx Vulkanik	64	III	SIII
3	S16	Bx Polimik + Bx vulkanik	56	III	SIII
4	E16	Bx Polimik dan Bx Vulkanik	68	II	EII
5	N16	Bx Polimik + Bx vulkanik	56	III	NIII
6	N15	Bx Vulkanik	56	III	NIII
7	N14	Bx tuff+Bx	76	II	NII
8	E14	bx tuff + bx	88	I	EI
9	S24	Bx tuff + Bx	76	II	SII
10	S25	SILT HITAM	52	IV	SIV
11	S26	Bx tuff + Bx	62	II	SII
12	E26	bx tuff + bx	74	II	EII
13	N26	Bx tuff + Bx	62	II	NII
14	N25	Bx	50	III	NIII
15	N24	Bx tuff + tuff lapili	76	II	NII
16	E24	Bx tuff + tuff lapili	88	I	EI
17	S34	Bx tuff + tuff lapili	76	II	SII
18	S35	Zona vein	56	III	SIII
19	S36	Bx	67	II	SII

Pemodelan numerik dilakukan untuk menganalisis penyanggaan hasil rekomendasi dari metoda empirik (berdasarkan kelas massa batuan). Geometri lubang bukaan disesuaikan dengan kondisi lapangan, yaitu lebar dan tinggi sebesar 4 m. Input karakteristik material untuk permodelan ini diperoleh dari pengujian laboratorium yang telah dilakukan. Gambar 4.4 adalah hasil analisis yang berupa perpindahan di perimeter terowongan, terlihat bahwa sistem penyanggaan yang dipasang dapat mengurangi perpindahan yang terjadi. Berdasarkan hasil tersebut dan untuk memudahkan pelaksanaan, resume sistem penyanggaan pada masing-masing kelas massa batuan diberikan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.4. Analisis Sistem Penyanggaan Secara Numerik (Sulistianto, et.al, 2008b)

Panjang baut batuan yang digunakan adalah 2 m (Barton, 1980)

	Segmen			Kelas
	N	W	S	
I	 Umumnya tidak memerlukan penyunggaan atau baut batuan lokal	 Umumnya tidak memerlukan penyunggaan atau baut batuan lokal	 Umumnya tidak memerlukan penyunggaan atau baut batuan lokal	
II	 Baut batuan pada atap, jarak 2-2,5m, ditambah <i>wire mesh</i> pada lokasi tertentu. Baut batuan ditembuskan ke massa batuan yang lebih stabil di belakangnya. Sudut pemasangan baut bagian roof lin harus lebih besar dari kemiringan bidang lemah.	 Baut batuan pada atap, jarak 2-2,5m, dengan tambahan <i>wire mesh</i> pada lokasi tertentu. Baut batuan ditembuskan ke massa batuan yang lebih stabil di depannya. Pemasangan baut seperti lurus dengan bidang lemah.	 Baut batuan pada atap, jarak 2-2,5m, ditambah <i>wire mesh</i> pada lokasi tertentu. Baut batuan ditembuskan ke massa batuan yang lebih stabil di belakangnya. Sudut pemasangan baut bagian roof harus lebih besar dari kemiringan bidang lemah, agar mencapai massa batuan yang lebih stabil.	
III	 Baut batuan, jarak 1,5-2m pada atap dan dinding, dan <i>wire mesh</i> pada atap. Baut batuan ditembuskan ke massa batuan yang lebih stabil di belakangnya. Sudut pemasangan baut pada bagian roof lin harus lebih besar dari kemiringan bidang lemah.	 Baut batuan pada atap dan dinding, jarak 1,5-2m, dan <i>wire mesh</i> pada atap. Baut batuan ditembuskan ke massa batuan yang lebih stabil di belakangnya. Sudut pemasangan baut harus dengan bidang lemah.	 Baut batuan pada atap dan dinding, jarak 1,5-2m, dan <i>wire mesh</i> pada atap. Baut batuan ditembuskan ke massa batuan yang lebih stabil di belakangnya. Sudut pemasangan baut bagian roof harus lebih besar dari kemiringan bidang lemah.	
IV	 Baut batuan pada atap, jarak 2-2,5m, dan <i>three set</i> dengan ukuran <i>three piece set</i>. Baut batuan ditembuskan ke massa batuan yang lebih stabil di belakangnya. Sudut pemasangan baut bagian roof lin harus lebih besar dari kemiringan bidang lemah.	 Baut batuan pada atap, jarak 2-2,5m, dan <i>three set</i> dengan ukuran <i>three piece set</i>. Baut batuan ditembuskan ke massa batuan yang lebih stabil di belakangnya. Sudut pemasangan baut batuan tegak lurus dengan bidang lemah.	 Baut batuan pada atap, jarak 2-2,5m, dan <i>three set</i> dengan ukuran <i>three piece set</i>. Baut batuan ditembuskan ke massa batuan yang lebih stabil di belakangnya. Sudut pemasangan baut bagian roof harus lebih besar dari kemiringan bidang lemah.	

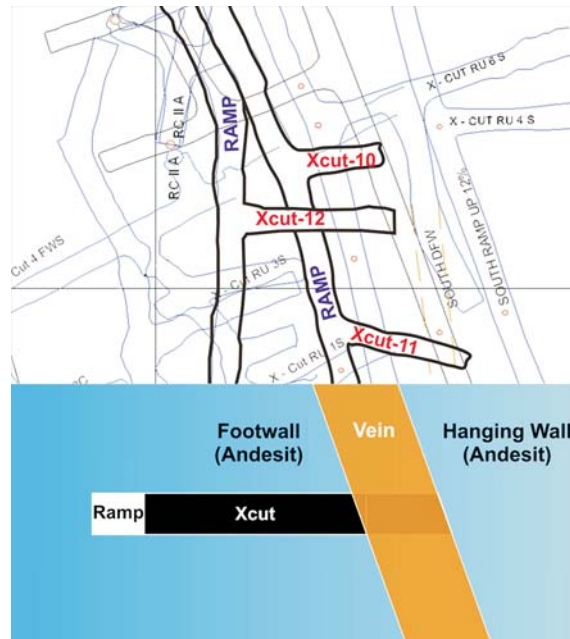
Gambar 4.5. Rekomendasi Sistem Penyenggaraan Ramp-down (Sulistianto, et al, 2008b)

4.2 Penambangan *crown-pillar*

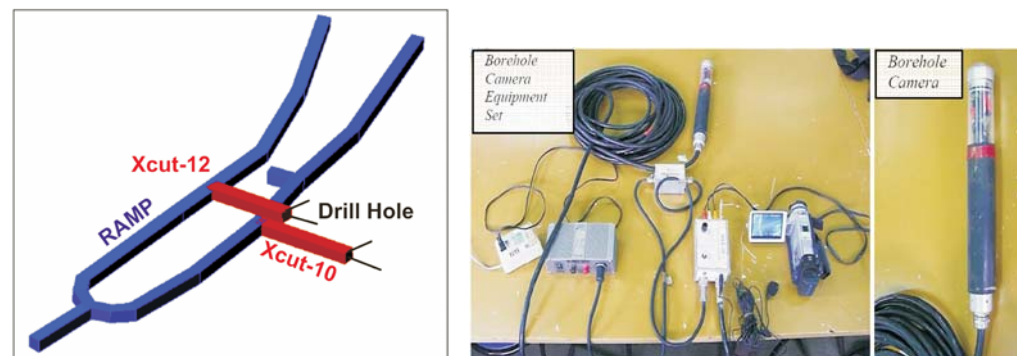
Runtuhan/jatuhan blok dari atap/*back* bukaan tambang adalah salah bentuk ketidakmampuan di *stope* tambang bijih yang sering terjadi. Blok-blok tersebut terbentuk karena perpotongan bidang-bidang diskontinyu yang ada dalam massa batuan. Ukurannya bisa bervariasi, dari yang kecil (muncul diantara penyangga) sampai besar (selebar bukaan). Untuk mengantisipasi hal tersebut, penyelidikan dilaksanakan di *cross-cut* 10 dan 12 tambang emas Pongkor dimana posisinya sudah mendekati *crown pillar* level 500/600 yang dikhawatirkan kondisi kekarnya lebih intensif. Penyelidikan ini dilakukan dengan *borehole camera* yang dimasukkan pada dua lubang bor yang dibuat horisontal dan *incline* dari *cross-cut* menembus badan bijih (gambar 4.6 dan 4.7).

Core batuan hasil pemboran disimpan dalam *core box*, kemudian rekahan yang ada diberi tanda, khususnya posisi terhadap *collar bor*. Dengan menggunakan cara pengukuran dan pengolahannya (Sulistianto et.al., 2007b), maka rekahan-rekahan tersebut dapat ditentukan orientasinya. Dengan mem-plot rekahan tersebut dalam *stereonet*, maka famili rekahan dan orientasinya dapat ditentukan (gambar 4.8).

Berdasarkan posisi rekahan (terukur saat pengamatan dengan *borehole camera*), model penyebaran rekahan dalam urat bijih dapat dibuat seperti diberikan pada gambar 4.9 (Sulistianto,et.al,2009a). Untuk keperluan analisis kemantapan atap bukaan, parameter batuan ditentukan dari uji laboratorium berdasar sampel batuan yang diambil dari *core*.



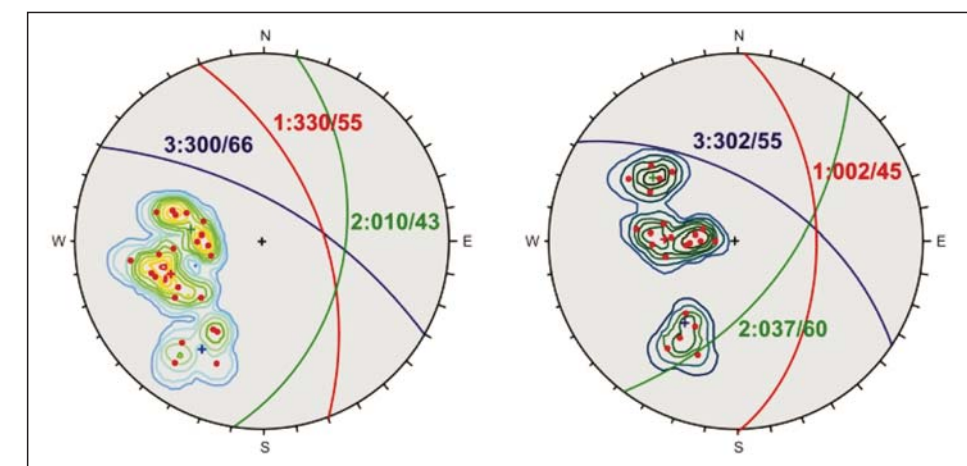
Gambar 4.6. Posisi cross-cut dan sketsanya dalam penampang vertical (Sulistianto, et.al, 2007b, 2009a)



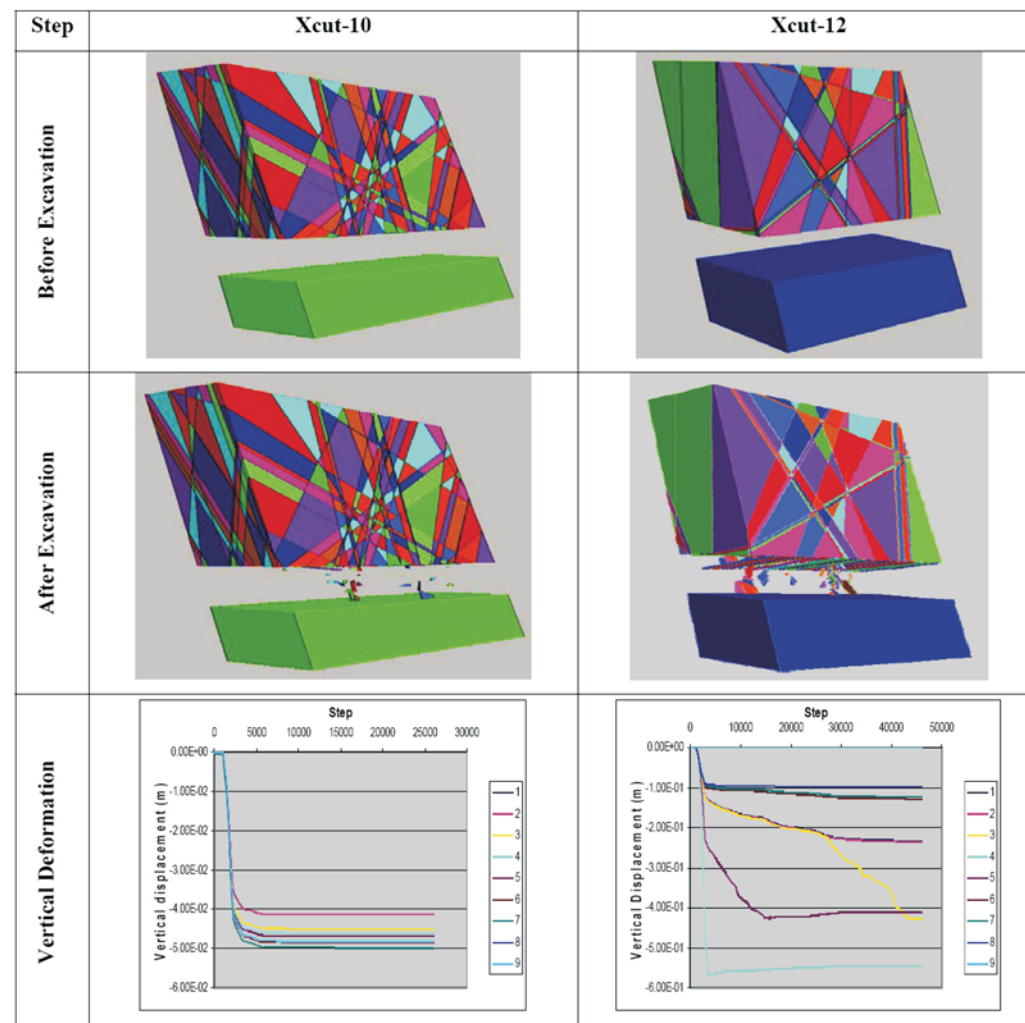
Gambar 4.7 Posisi lubang bor dan borehole camera (Sulistianto, et.al, 2007b, 2009a)

Berdasarkan model yang telah dibuat, dan sistem perkuatan disesuaikan dengan yang ada di *site* (kombinasi dari *friction bolt*, *wired mesh* dan *W-strap*, dengan jarak antar *bolt* sekitar 1m), selanjutnya metoda

numerik digunakan untuk mensimulasikan unjuk kerja penyangga dengan dimensi *back* 10m x 4m sampai 10m x 100m. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.9. Hasil simulasi memberikan gambaran bahwa *stope* akan aman dengan dimensi *back* sampai 10m x 8m dengan sedikit modifikasi untuk *stope* di daerah *cross-cut* 12, yaitu jarak antar *bolt* dijadikan 0.75m (Sulistianto, et.al, 2009a). Sesuai dengan operasi yang biasa dilaksanakan, yaitu 5m x 4m (karena adanya *cribbing* di tengah-tengah *stope* seperti terlihat pada gambar 4.10), maka kondisi *stope* akan aman.



Gambar 4.8. Orientasi bidang diskontinyu di depan Xcut-10 (kiri) dan Xcut-12 (kanan) (Sulistianto, et.al, 2007b, 2009a)



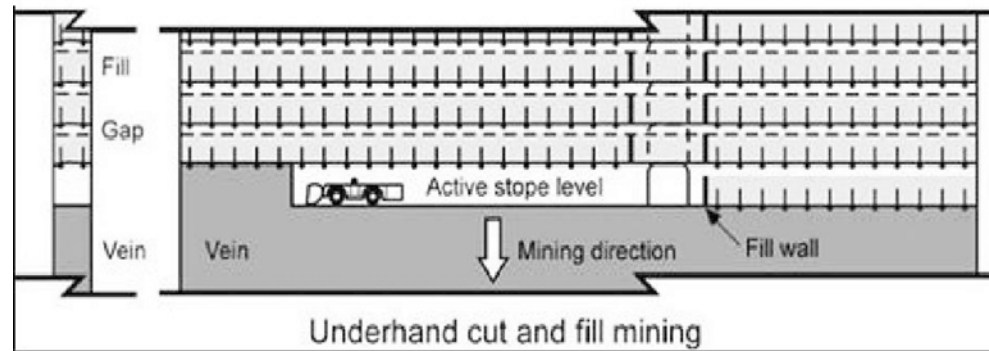
Gambar 4.9. Hasil pemodelan numerik untuk *stopping* di x-cut-10 dan x-cut-12 dengan jarak antar *bolt* 1m (Sulistianto, et.al, 2009a)



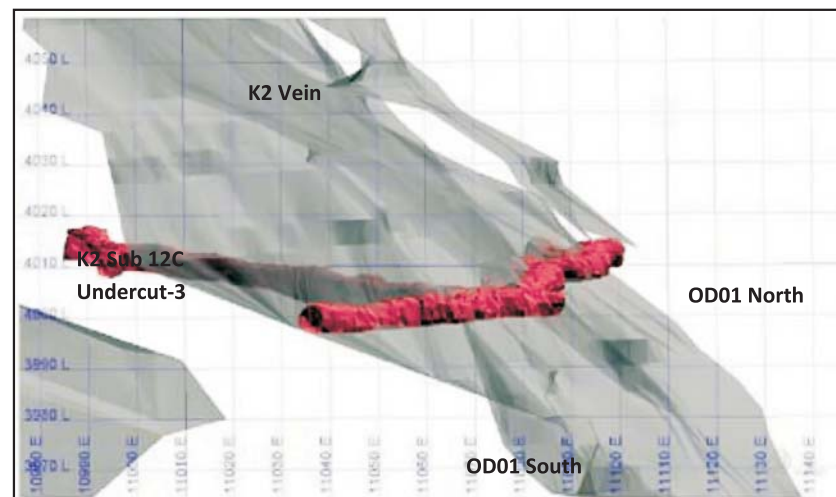
Gambar 4.10 *Stope-back* yang diperkuat dengan *friction bolt*, *w-strap* dan *cribbing* (Sulistianto, et.al, 2009a)

4.3 Desain *filling material* pada metoda *underhand cut and fill*

Metoda penambangan *Underhand Cut and Fill* (UCF) digunakan di tambang emas PT Nusa Halmahera Minerals (NHM) yang berlokasi di Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia. Sketsa mengenai metoda UCF dapat dilihat pada gambar 4.11 dimana kemajuan penambangan mengarah ke bawah. Metoda ini diterapkan di *vein* K2. *Vein* K2 mempunyai orientasi (*Strike/Dip*) N350°E/50°NE dan panjang searah *strike* sekitar 150 m dan searah *down-dip* sekitar 150m serta tebal *vein* berkisar 10-15 m (NHM, 2006). Gambar 4.12 menunjukkan sketsa dari penambangan (*ore drive*) dan *crosscut* 12c sebagai *access*-nya.



Gambar 4.11 Sketsa metoda *Underhand Cut and Fill* (Williams, 2006)



Gambar 4.12. Sketsa Ore-Drive 01 Vein K2 (Sulistianto, et.al, 2013b)

Material *filling* yang digunakan disini adalah jenis *pastefill*. Analisis stabilitas blok *pastefill* harus dilakukan karena material tersebut akan bertindak sebagai *stope-back* (atap) ketika *stope* di bawahnya dibuka. Stabilitas blok *pastefill* dianalisis dengan menerapkan analisis numerik dengan menggunakan *software* 3DEC dari Itasca dan analisis analitik menggunakan metode kesetimbangan batas.

Pemodelan numerik akan menggunakan data geometri yang diberikan di tabel 4.3, sifat fisik dan mekanik dari batuan dan *joint* diperoleh dari data sekunder (NHM, 2006). Sedangkan sifat fisik dan mekanik *pastefill* yang berkadar semen 14% diperoleh dari uji laboratorium dan diberikan di tabel 4.4.

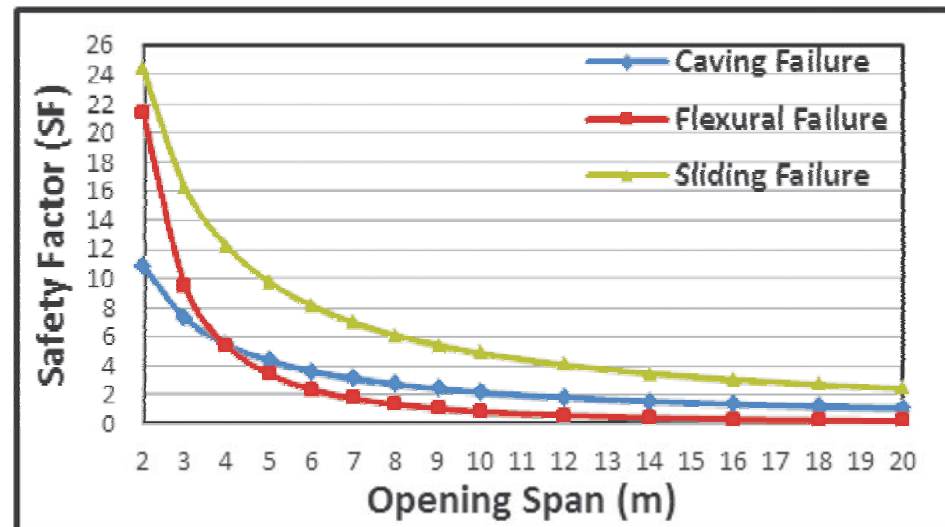
Tabel 4.3 Geometri *Vein*, *Ore Drive*, dan *Pastefill* (Sulistianto, et.al, 2013b)

Vein Geometry	Value	Stope and Pastefill Dimension	Value
Vein width	50 m	Ore drive width	6 m
Striking length	150 m	Ore drive height	5.5 m
width per ore drive	6 m	Ore drive length	40 m
Vein dip	50°	Pastefill width	6 m
Vein strike	N 10° W	Pastefill height	5 m
Down dipping Length	200 m	Pastefill length	40 m

Tabel 4.3 Geometri *Vein*, *Ore Drive*, dan *Pastefill* (Sulistianto, et.al, 2013b)

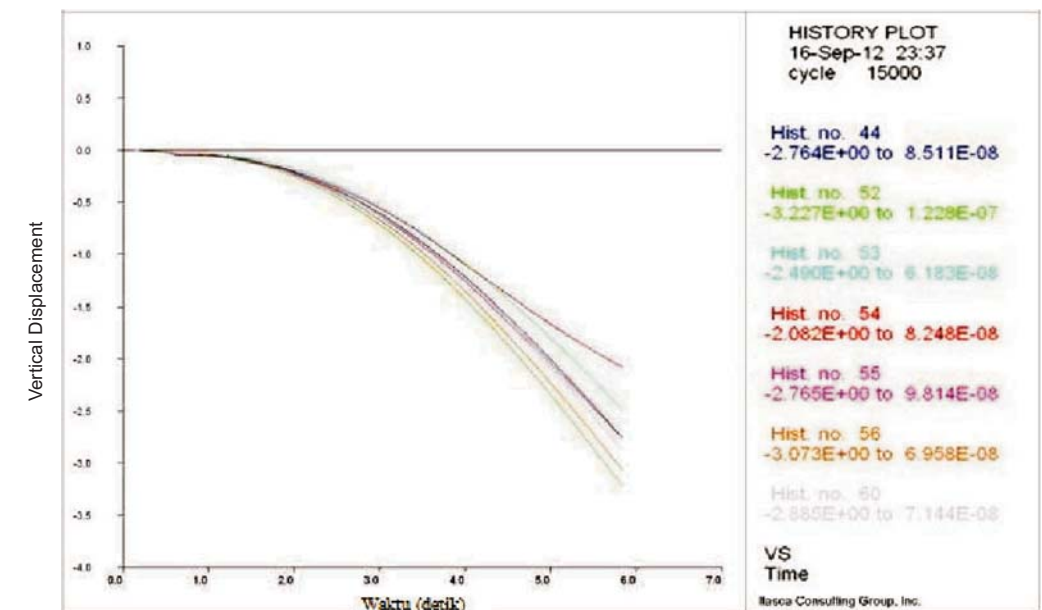
Type of Pastefill Specimen	γ (t/m ³)	σ_c (MPa)	E (MPa)	ν	σ_t (MPa)
14% Cement of 3 Days	1.56	0.50	307.31	0.31	0.05
14% Cement of 7 Days	1.54	0.69	432.28	0.38	0.07
14% Cement of 14 Days	1.55	0.85	504.63	0.39	0.08
14% Cement of 28 Days	1.56	1.31	544.89	0.38	0.13

Tipe *failure* dari *pastefil* mungkin akan mengikuti mekanisme *caving failure*, *flexural failure*, dan *sliding failure*. Dengan menggunakan formula yang diusulkan Mitchell (Caceres, 2005), hasilnya diberikan pada gambar 4.13. Dapat dilihat bahwa bila diambil SF = 2, maka untuk lebar (*span*) 6 m *flexural failure* masih mungkin akan terjadi.

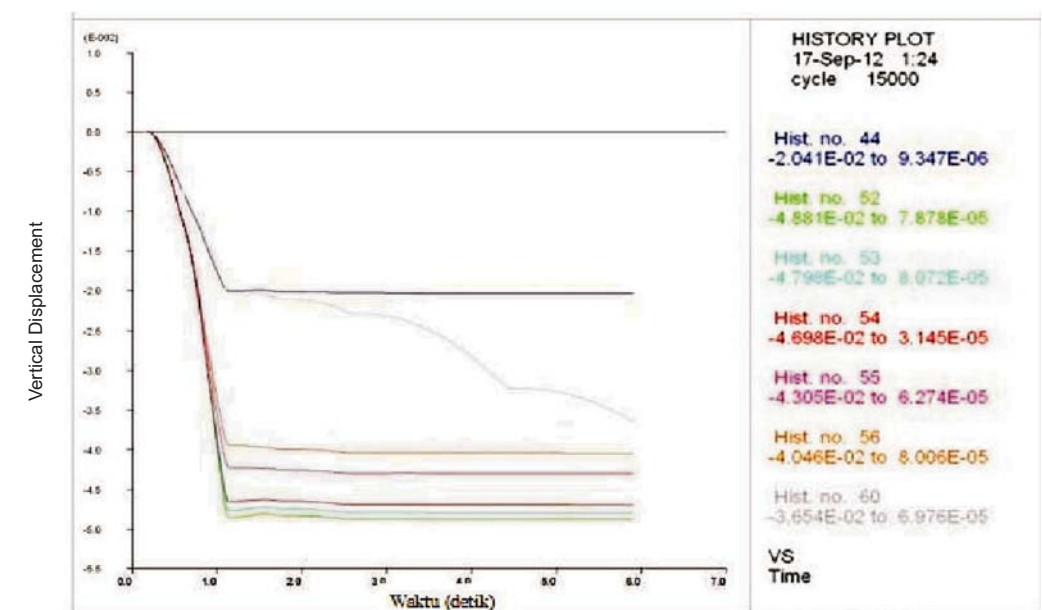


Gambar 4.13. FK (*safety factor*) vs *span* untuk *pastefill* setelah 28 hari (Sulistianto, et.al, 2013b)

Selanjutnya, hasil pemodelan Numerik untuk *span* 6m, *curing-time* 28 diberikan pada gambar 4.14 untuk *pastefill* yang tidak diperkuat, dan gambar 4.15 untuk yang diperkuat. Perkuatan *pastefill* dilakukan dengan instalasi *chain-link mesh* dan *stand-up bar* pada *stope* yang *mine-out* seperti ditunjukkan pada gambar 4.16. Terlihat bahwa *pastefill* yang diperkuat memberikan kestabilan yang lebih baik, walaupun masih ada pergerakan. Hal ini terkonfirmasi dengan adanya pengamatan di site bahwa penambangan bisa dilakukan setelah *pastefill* mencapai 28 hari. Gambar 4.17 menunjukkan kondisi *stope* yang dibuka dibawah *pastefill* yang diperkuat setelah mencapai 28 hari *curing time*.



Gambar 4.14 *y-displacement* bagian bawah *pastefill* yang tidak diperkuat (Sulistianto, et.al, 2013b)



Gambar 4.15 *y-displacement* bagian bawah *pastefill* yang diperkuat (Sulistianto, et.al, 2013b)



Gambar 4.16 Pemasangan material perkuatan untuk *pastefill* (Sulistianto, et.al, 2013b)



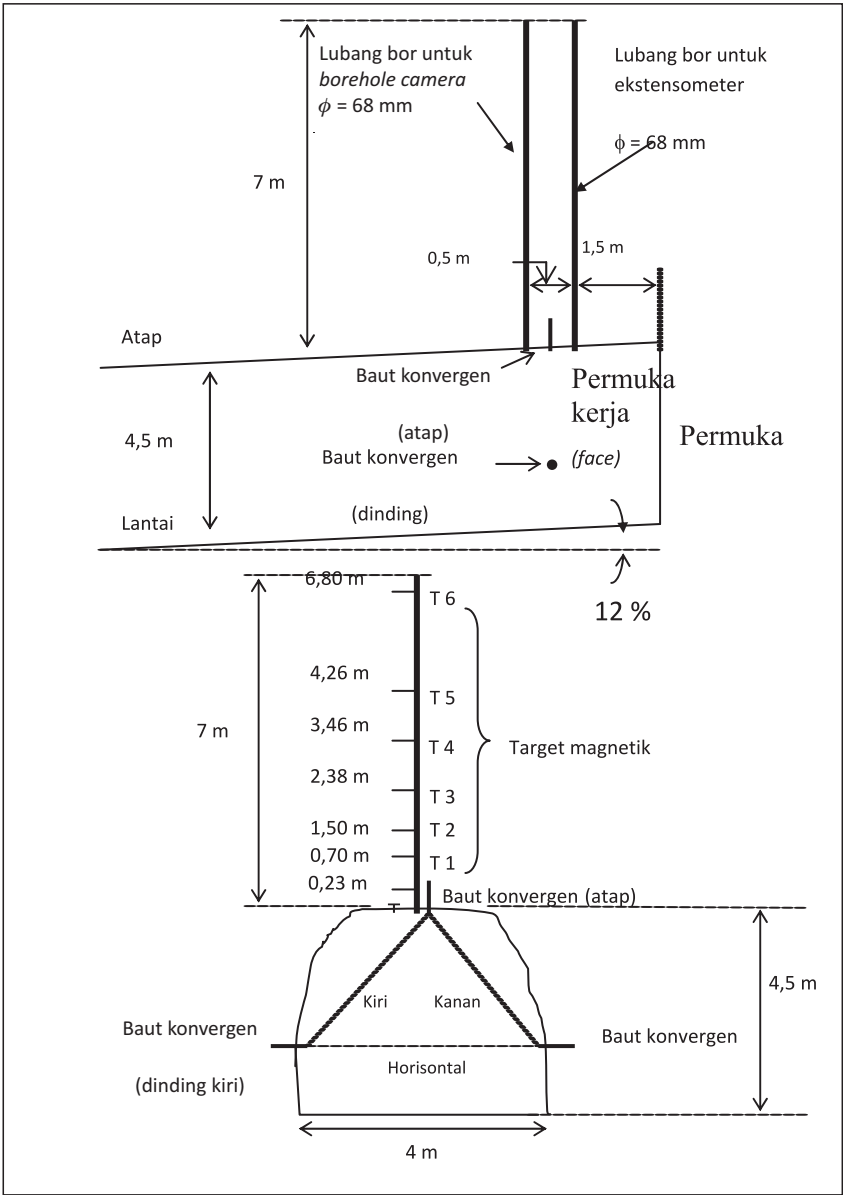
Gambar 4.17 *Stopping* dibawah *pastefill* yang diperkuat setelah 28 hari (Sulistianto, et.al, 2013b)

4.4 Pemantauan deformasi terowongan tambang

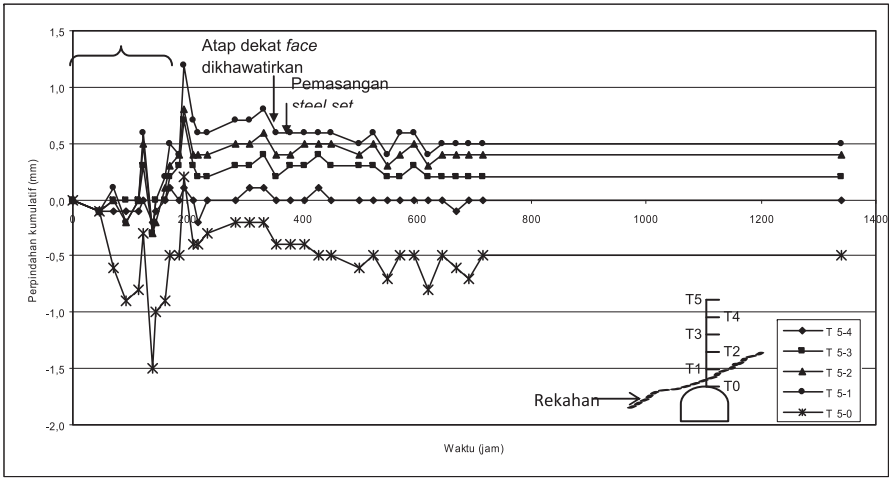
Pengukuran perpindahan di sekeliling terowongan banyak dipilih karena relatif mudah dan cepat dipahami fenomenanya. Pengukuran ini biasanya dilakukan dengan *convergencemeter* dan/atau *borehole extensometer*. Hasil pengukuran dengan *convergencemeter* adalah data perpindahan relatif antara dua titik di perimeter terowongan. Sedangkan *Borehole extensometer* memberikan data perpindahan titik di perimeter terowongan relatif terhadap suatu titik di dalam massa batuan. Selain dua alat tersebut, dapat juga digunakan *borehole camera* untuk melihat secara langsung kondisi dinding lubang bor. Penelitian terkait dengan pemantauan deformasi telah dilakukan di pongkor saat terowongan *ramp-up level* 500/600 dibuat. Sketsa peletakan alat diberikan pada gambar 4.18 dan hasilnya diberikan pada gambar 4.19. Dari hasil tersebut terlihat bahwa ada ketidak konsistenan perpindahan titik 0 (terhadap titik 5) dibandingkan titik 2-4. Hal ini disebabkan mungkin *magnetic anchor* di titik 0 terdorong masuk akibat tekanan peledakan karena posisi titik pemantauan terlalu dekat dengan *face* terowongan.

Pelaksanaan pengukuran perpindahan perimeter lubang bukaan di daerah produksi aktif, seperti di terowongan dan *stope* terkadang menjadi sulit bila dilaksanakan dengan peralatan tersebut diatas, apalagi kalau dimensi terowongan cukup besar sehingga diperlukan *lifter*. Oleh karena itu dicoba pengukuran dengan menggunakan *total-station* dan target (*pin*) ber-reflektor (gambar 4.20). Hal ini telah dilaksanakan di tambang emas

bawah tanah PT CSD. Sketsa lokasi pengukuran diberikan pada gambar 4.21 dan hasilnya diberikan pada tabel 4.5 dan gambar 4.22.



Gambar 4.18. Sketsa instrumentasi pemantauan (Sulistianto, et.al, 2003b)



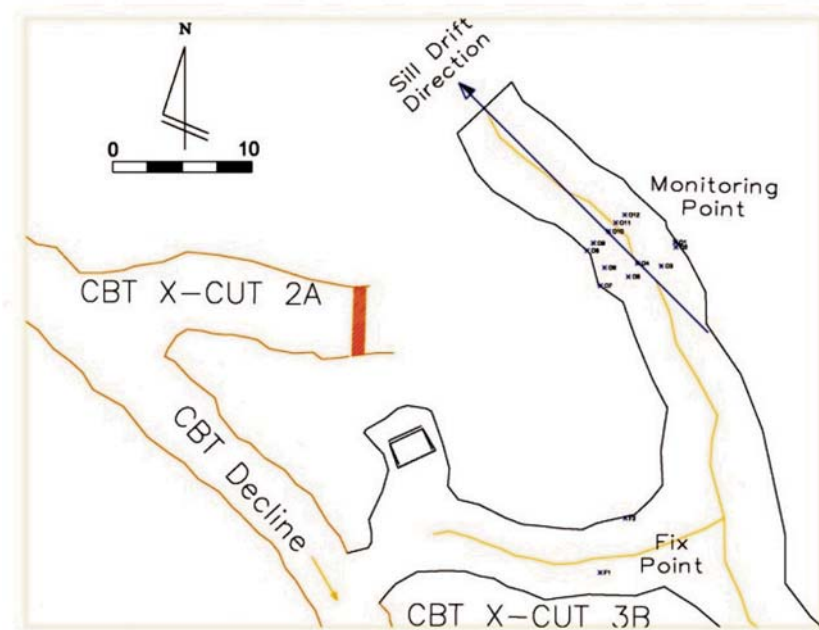
Gambar 4.19. Grafik perpindahan versus waktu hasil pengukuran ekstensometer (Sulistianto,et.al, 2003b)



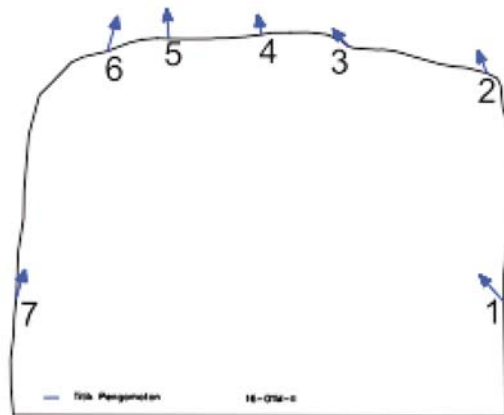
Gambar 4.20 Pin (target) dan *total station*

Tabel 4.5 Perpindahan dari titik-titik pemantauan

Monitoring Point	Displacement (m)	
	X	Z
1	-0.0099	0.0110
2	-0.0035	0.0090
3	-0.0064	0.0070
4	-0.0014	0.0080
5	-0.0007	0.0120
6	0.0042	0.0140
7	0.0035	0.0110



Gambar 4.21 Lokasi titik-titik pemantauan (Hakim, et.al, 2014).



Gambar 4.22 Sketsa perpindahan titik-titik pemantauan hasil monitoring (Hakim, et.al, 2014)

4.5 Kurva load-deformasi terowongan (jtm)

Kurva reaksi batuan merupakan kurva hubungan antara perpindahan (*displacement*) yang terjadi di perimeter terowongan (u_i) dengan tekanan penyangga yang dibutuhkan untuk mencegah terjadinya perpindahan tersebut (p_o). Kurva ini telah dipublikasikan oleh Fenner di tahun 1938 (Hoek, 1999) kemudian penggunaannya dalam terowongan dipublikasikan oleh banyak peneliti (Hoek and Brown, 1980; Brady and Brown, 1985; Hoek, et.al, 1995; Panet, 1997). Perpindahan disini dihitung dalam kondisi ideal, yaitu terowongan berbentuk bulat di dalam material homogen, elastik, isotrop, dan kondisi tegangan awal hidrostatik.

Mengingat terowongan sering tidak berbentuk lingkaran dan kondisi tegangan batuan adalah asimetrik (tidak hidrostatik serta arahnya tidak berhimpit dengan sumbu simetrik terowongan), maka suatu metoda penentuan kurva reaksi batuan yang mempertimbangkan kondisi tersebut telah dibuat, yaitu penentuan kurva reaksi batuan dengan pendekatan metoda elemen hingga.

Dalam metoda ini, penentuan perpindahan dilakukan dengan cara menginputkan nilai ($p_o - p_i$) kedalam model secara inkremental, dimana p_i adalah tekanan yang tegak lurus terhadap permukaan batas galian terowongan, dan jika tegangan awal itu mengikuti gambar 4.23, maka nilai p_i dapat dihitung dengan persamaan:

$$p_i = \frac{\sigma_{1o} + \sigma_{3o}}{2} + \frac{\sigma_{1o} - \sigma_{3o}}{2} \cos 2\theta$$

dimana:

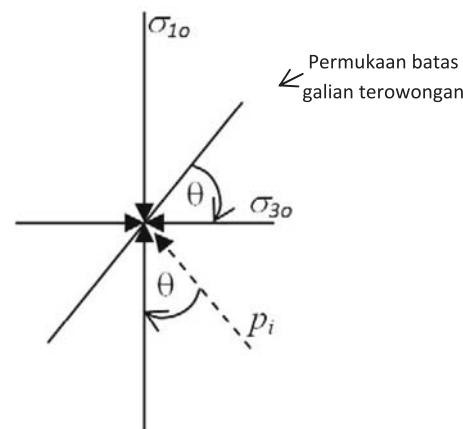
σ_{1o} = tegangan awal vertikal

σ_{3o} = tegangan awal horisontal

θ = sudut antara p_i dengan σ_{1o} , atau

sudut antara permukaan yang mempunyai normal p_i dengan σ_{3o} (Gambar 4.23)

Sebagai contoh, terowongan berbentuk tapal kuda banyak digunakan di konstruksi bawah tanah sipil maupun di tambang dikarenakan pertimbangan kemudahan dalam pelaksanaan pembuatannya dan pemakaiannya. Oleh karena itu dicoba juga dihitung dengan kondisi tegangan tidak hidrostatik dimana $\sigma_{vo} = p_o$; $\sigma_{ho} = 3p_o$ dan $0.3p_o$ serta asimetrik. Hasil perhitungan (plot antara u_i vs p_i) dari titik di bagian atas, sudut kanan atas, dan dinding ditampilkan pada Gambar 4.24.



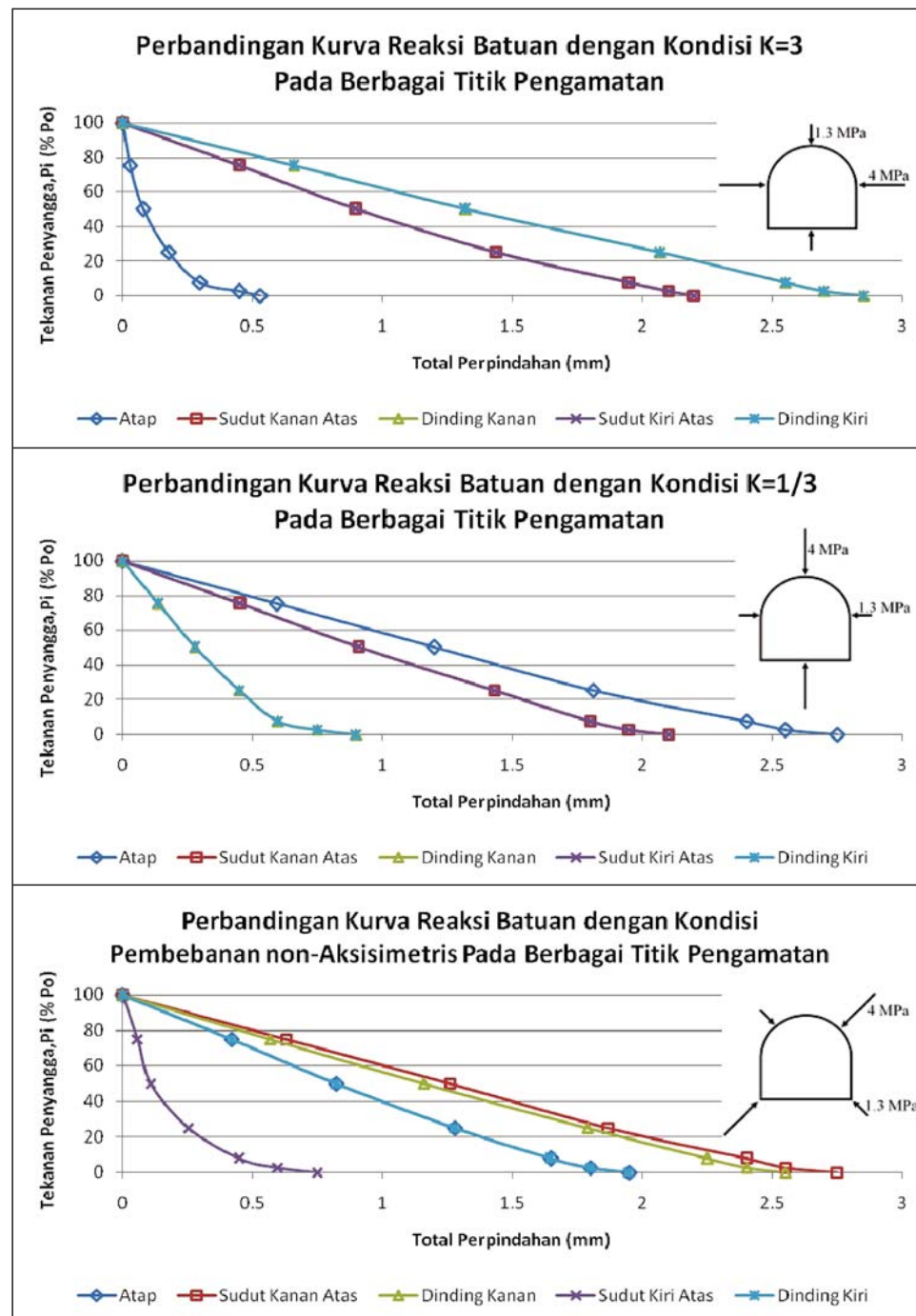
Gambar 4.23. Skematik Penentuan p_i

Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa, sesuai teori, perpindahan terbesar terjadi di bagian yang terkena tegangan terbesar. Pada kondisi $K=1/3$ perpindahan terbesar di atas dan $K=3$ perpindahan terbesar terjadi di dinding. Disini dapat dilihat bahwa dalam kasus asimetrik, perpindahan terbesar terjadi di sudut atas terowongan dimana tegangan prinsipal major bekerja. Dengan demikian dapat dipahami bahwa diperlukan kehati-hatian pada saat melakukan desain penyanggaan khususnya bila dikaitkan dengan besar dan arah tegangan awal insitu yang bekerja.

4.6 Efek penambangan bawah tanah pada permukaan tanah

Pemahaman akan pengaruh penambangan bawah, khususnya penambangan batubara dengan metoda *long-wall*, terhadap kestabilan lapisan batuan di atasnya sudah banyak dikaji (Peng, 1978, Whittaker, 1989). Efek penambangan *long-wall* manual dengan ketebalan lapisan 1-1.5m, dimana lebar panel penambangan yang dibuatnya sekitar 60m, bisa dikatakan relatif kecil (Sulistianto, 1994). Namun dengan panel lebar (sekitar 15m dan miring 8°), dan lebih dari satu lapisan, maka efek penggalian perlu dikaji dengan model 3D.

Penambangan batubara di PT GDM, Kal-Tim akan dikembangkan menjadi tambang bawah tanah dengan metoda *long-wall*. Model untuk analisis numerik mengenai efek galian terhadap deformasi batuan di atasnya diberikan pada gambar 4.25.



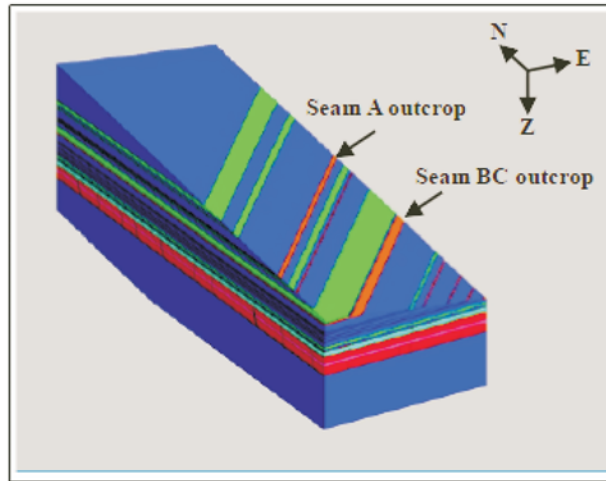
Gambar 4.24 Kurva reaksi batuan pada terowongan berbentuk tapal kuda (Sulistianto, 2008a)

Dari hasil analisis (gambar 4.27) dapat dipahami efek galian tersebut di permukaan, baik luas areanya maupun kedalaman penurunan yang terjadi, sehingga tindakan penanganan dan pemulihan (baik jenis tindakan maupun konsekuensi biaya) sudah bisa diperkirakan di saat-saat awal.

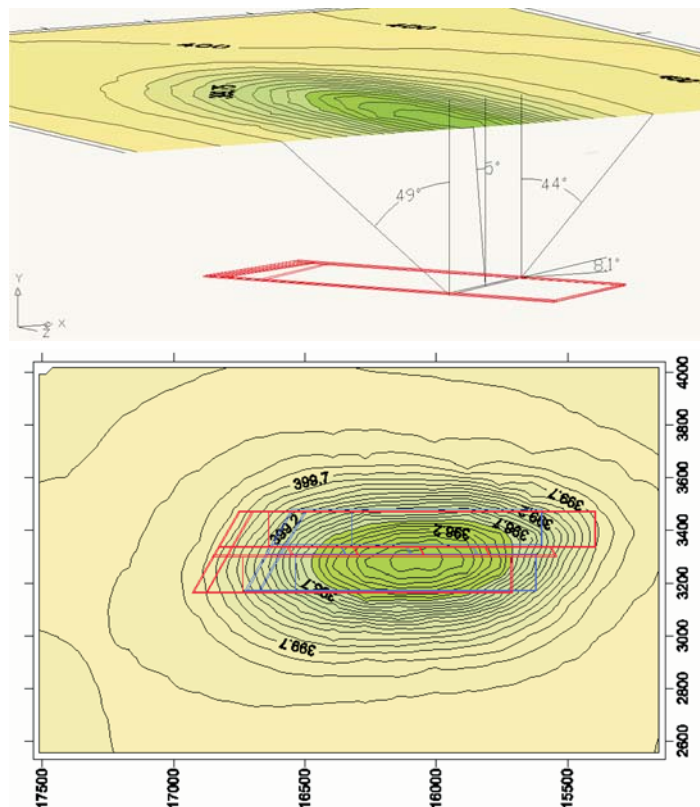
5. SUMBANGAN PEMIKIRAN DALAM PENGUKURAN TEGANGAN BATUAN

5.1 Pengukuran tegangan batuan 3-D dengan metoda hydraulic fracturing

Pengukuran tegangan insitu secara 3-D dengan metoda *hydraulic fracturing* (Mizuta, et.al, 1984) telah dilakukan di Tochibora Mine, daerah Kamioka, Jepang (Sulistianto, et.al, 1998). Pengalaman tersebut selanjutnya dimodifikasi dan diterapkan di Tambang Pongkor. Uji dilaksanakan dengan memilih lokasi yang sedemikian rupa sehingga kondisi tegangan batumannya tidak terganggu oleh adanya bukaan tambang, dan suasana pengukuran pun tidak terganggu oleh operasional tambang (gambar 4.27). Paker dan peralatan uji yang digunakan adalah yang dikembangkan di laboratorium mekanika batuan ITB (Kramadibrata, et.al, 2003).



Gambar 4.25 Geometri keseluruhan Model untuk analisis Numerik (Karian, et.al, 2012)

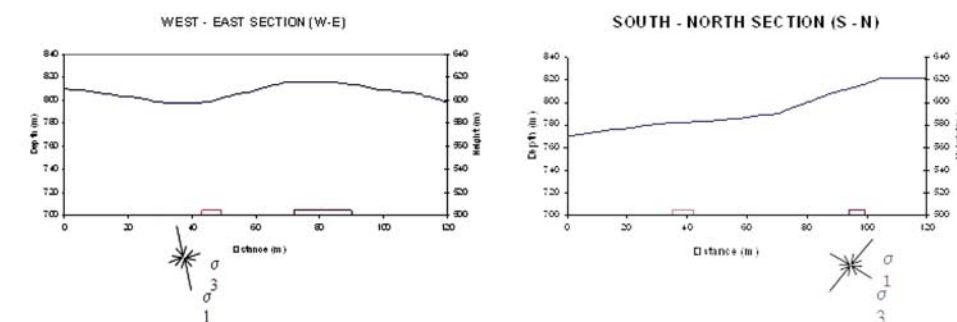


Gambar 4.26 Penurunan permukaan tanah hasil analisis (Karian, et.al, 2012)

Hasil dari uji yang menunjukkan besarnya tegangan batuan di titik sekitar ujung ke-3 lubang bor adalah dalam bentuk 6 komponen tegangan adalah sebagai berikut : $\sigma_N = 3.618$; $\sigma_E = 0.605$; $\sigma_V = 3.878$; $\sigma_{NE} = -0.730$; $\sigma_{EV} = 0.830$; $\sigma_{VN} = -0.787$, dan kalau dinyatakan secara grafis pada penampang vertical dalam dilihat pada gambar 4.28.



Gambar 4.27 Lokasi dan konfigurasi lubang bor untuk uji hy-frac



Gambar 4.28 Tampilan tegangan insitu hasil pengukuran pada penampang vertical (Sulistianto,et.al,2003a)

5.2 Penaksiran tegangan batuan *far-field*

Dengan mengacu data tegangan hasil pengukuran di suatu titik, data topografi dan bidang sesar, serta asumsi bahwa batuan homogen, teknik penaksiran tegangan *far-field* dengan menggunakan bantuan *soft-ware* yang berbasis metoda elemen batas telah diperkenalkan (Sulistianto, et.al, 1999). Bila data pengukuran tegangan tidak ada, maka diusulkan suatu penaksiran tegangan dengan mengacu sistem sesar yang berkembang disuatu daerah. Asumsi-asumsi yang digunakan adalah (Sipayung, et.al, 2014):

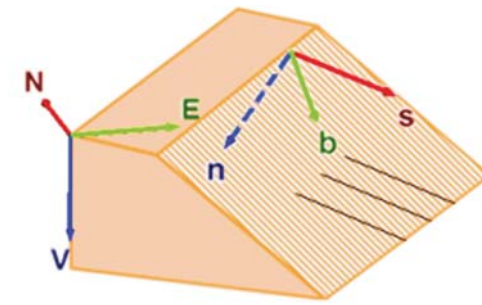
1. Geseran sepanjang patahan terjadi pada arah tegangan geser terbesar, atau tegak lurus terhadap arah tegangan geser = 0.
2. Besarnya tegangan geser dan normal pada patahan memenuhi kriteria kegagalan Mohr-Coulomb,

$$\tau > C + \mu \sigma_n$$

3. Geseran terjadi dalam kondisi yang relatif *uniform*. C dan ϕ dari sesar bisa direpresentasikan oleh nilai rata-ratanya, dan patahan aktif dalam kondisi tegangan yang *uniform*.

Dari asumsi-asumsi di atas, beberapa komponen dari tensor tegangan pada arah bidang patahan diketahui. Karena tensor tegangan dinyatakan dalam sumbu koordinat regional (gambar 4.39), maka dibutuhkan transformasi. Untuk mentransformasi tensor tegangan dari ONEV (Origin, North, East, Vertical) ke sumbu Osbn (Origin, slip, b, normal) bisa

digunakan matrik yang diberikan pada gambar 4.29. Transformasi tensor tegangan dari ONEV ke Osbn tidak bisa langsung dilakukan karena l, m, n tidak diketahui, sehingga transformasi dilakukan berdasar nilai Strike (K), dip (δ) dan *pitch* (P) sebagai *input*.



$$\begin{bmatrix} \sigma_s \\ \sigma_b \\ \sigma_n \\ \tau_{sb} \\ \tau_{bn} \\ \tau_{ns} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_1^2 & m_1^2 & n_1^2 & 2l_1m_1 & 2m_1n_1 & 2n_1l_1 \\ l_2^2 & m_2^2 & n_2^2 & 2l_2m_2 & 2m_2n_2 & 2n_2l_2 \\ l_3^2 & m_3^2 & n_3^2 & 2l_3m_3 & 2m_3n_3 & 2n_3l_3 \\ l_1l_2 & m_1m_2 & n_1n_2 & (l_1m_2 + l_2m_1) & (m_1n_2 + m_2n_1) & (n_1l_2 + n_2l_1) \\ l_2l_3 & m_2m_3 & n_2n_3 & (l_2m_3 + l_3m_2) & (m_2n_3 + m_3n_2) & (n_2l_3 + n_3l_2) \\ l_3l_1 & m_3m_1 & n_3n_1 & (l_3m_1 + l_1m_3) & (m_3n_1 + m_1n_3) & (n_3l_1 + n_1l_3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_N \\ \sigma_E \\ \sigma_V \\ \tau_{NE} \\ \tau_{EV} \\ \tau_{VN} \end{bmatrix}$$

Gambar 4.29 Sistem sumbu ONEV dan Osbn

Dari asumsi pertama dan asumsi kedua, maka dengan sedikit manipulasi matematika setiap patahan akan mempunyai dua persamaan, kemudian disusun dalam bentuk matriks akan diperoleh persamaan berikut:

$$A \times D = F$$

Dimana

$$D = \begin{bmatrix} \sigma_N - \sigma_v \\ \sigma_E - \sigma_v \\ \tau_{NE} \\ \tau_{EV} \\ \tau_{VN} \end{bmatrix} \quad F = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ C + \mu\sigma_v \\ C + \mu\sigma_v \\ \dots \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} [l_2 l_3]_l & [m_2 m_3]_l & [(l_2 m_3 + l_3 m_2)]_l & [(m_2 n_3 + m_3 n_2)]_l & [(n_2 l_3 + n_3 l_2)]_l \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ [l_2 l_3]_k & [m_2 m_3]_k & [(l_2 m_3 + l_3 m_2)]_k & [(m_2 n_3 + m_3 n_2)]_k & [(n_2 l_3 + n_3 l_2)]_k \\ [(l_3 l_1 - \mu l_3^2)]_l & [(m_3 m_1 - \mu m_3^2)]_l & [(l_3 m_1 + l_1 m_3 - 2\mu l_3 m_3)]_l & [(m_3 n_1 + m_1 n_3 - 2\mu m_3 n_3)]_l & [(n_3 l_1 + n_1 l_3 - 2\mu m_3 l_3)]_l \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ [(l_3 l_1 - \mu l_3^2)]_k & [(m_3 m_1 - \mu m_3^2)]_k & [(l_3 m_1 + l_1 m_3 - 2\mu l_3 m_3)]_k & [(m_3 n_1 + m_1 n_3 - 2\mu m_3 n_3)]_k & [(n_3 l_1 + n_1 l_3 - 2\mu m_3 l_3)]_k \end{bmatrix}$$

Selanjutnya cara ini akan dicoba diterapkan di daerah Cibaliung. Data sistem sesar dapat dilihat pada gambar 4.30. Perhitungan dilakukan untuk menentukan tensor tegangan tektonik pada kedalaman 40 m, 80 m, dan 120 m dibawah permukaan. Dari data yang didapatkan, persamaan $A \times F = D$ memiliki bentuk

$$\begin{bmatrix} -0.0038 & -0.1825 & 0.1154 & 0.9222 & -0.0122 \\ -0.0747 & 0.1089 & -0.1031 & -0.5537 & 0.8035 \\ -0.0115 & 0.0804 & -0.1248 & 0.9761 & 0.0951 \\ -0.0313 & 0.4030 & 0.4540 & -0.1840 & 0.3963 \\ -0.0998 & 0.2461 & -0.6028 & 0.1007 & -0.6653 \\ -0.4858 & -0.3852 & 0.2239 & -0.3993 & 0.0376 \\ 0.1575 & -0.0265 & 0.5072 & 0.7955 & 0.1565 \\ -0.2431 & 0.2853 & -0.2591 & 0.4244 & -0.6842 \\ -0.1039 & 0.4555 & 0.1719 & -0.3741 & 0.3831 \\ -0.0346 & -0.4408 & 1.0070 & -0.2826 & 0.1997 \\ 0.1199 & -0.6257 & 0.8097 & -0.1675 & 0.1797 \\ -0.0897 & -0.4312 & -1.0633 & -0.0721 & 0.0630 \\ -0.6674 & 0.0366 & -0.5164 & -0.1408 & 0.5659 \\ -0.0698 & -0.2804 & 0.7572 & 0.4419 & -0.7339 \\ -0.2422 & 0.0537 & -0.2319 & -0.7323 & -0.7766 \\ -0.2700 & -0.1492 & -0.9289 & 0.5950 & 0.3206 \\ 0.0435 & -0.5251 & 0.7492 & 0.3920 & -0.5055 \\ 0.2028 & -0.3836 & -0.4995 & -0.8099 & -0.1555 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sigma_N - \sigma_v \\ \sigma_E - \sigma_v \\ \tau_{NE} \\ \tau_{EV} \\ \tau_{VN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1.14629 \\ 1.14629 \\ 1.14629 \\ 1.14629 \\ 1.14629 \\ 1.14629 \\ 1.14629 \\ 1.14629 \\ 1.14629 \end{bmatrix}$$

Dari operasi matriks, nilai matriks F didapatkan

$$\begin{bmatrix} \sigma_N - \sigma_v \\ \sigma_E - \sigma_v \\ \tau_{NE} \\ \tau_{EV} \\ \tau_{VN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2.23 \\ -1.99 \\ 0.09 \\ -0.28 \\ -0.21 \end{bmatrix}$$

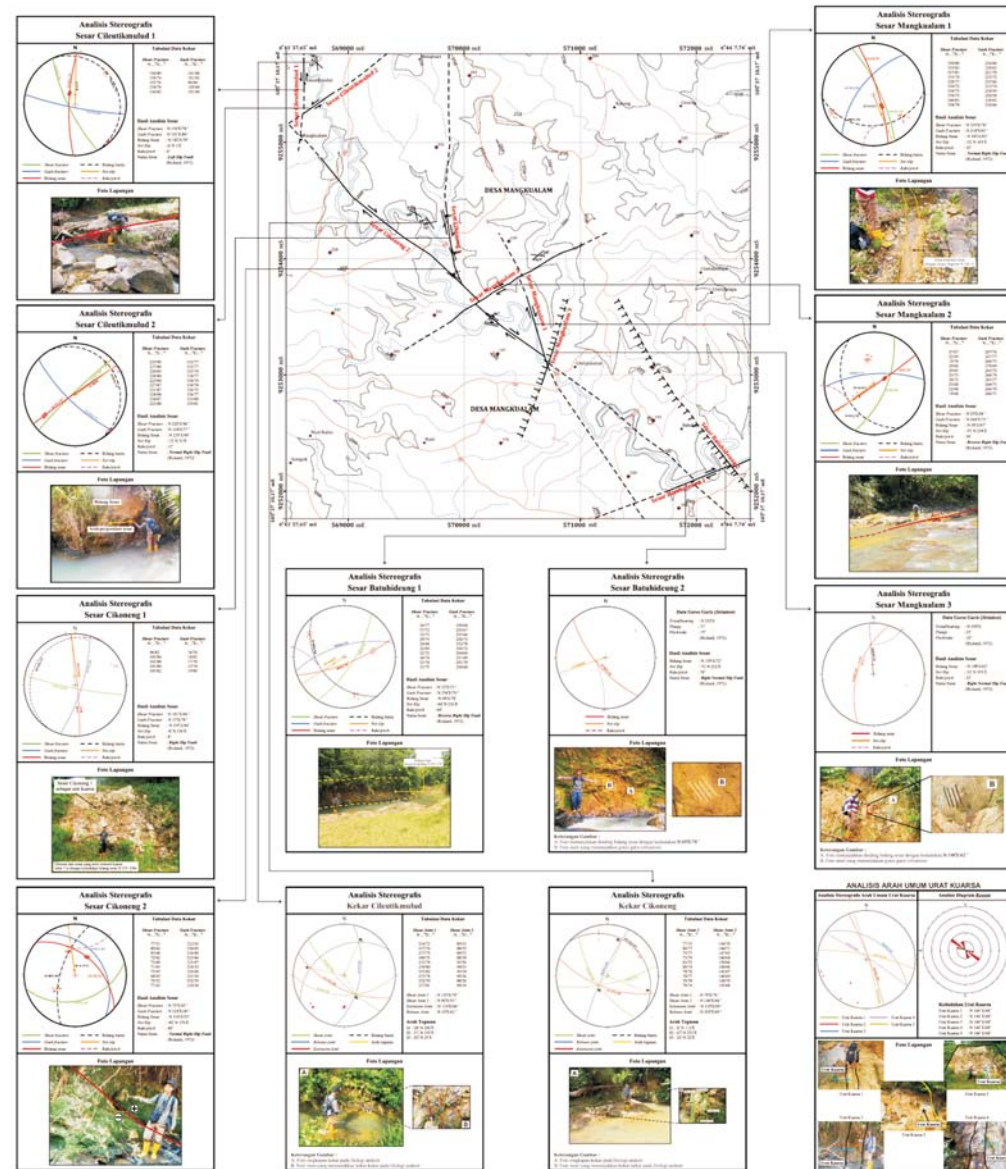
Dengan mengambil *density* batuan $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$, maka pada kedalaman 40 m nilai $\sigma_v = -1$, sehingga tensor tegangan tektonik akan didapatkan seperti berikut

$$[\sigma] = \begin{bmatrix} -3.23 & 0.09 & -0.21 \\ 0.09 & -2.99 & -0.28 \\ -0.21 & -0.28 & -1 \end{bmatrix} \text{ MPa}$$

Dengan menggunakan operasi yang sama, tensor tegangan tektonik pada kedalaman 80 m dengan $\sigma_v = -2$ dan 120 m with $\sigma_v = -3$ bisa didapatkan dan ditunjukkan dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Tensor tegangan tektonik di kedalaman 80 meter dan 120 meter (Sipayung, et.al, 2014)

Components	80 m Depth ($\sigma_v = -2$)	120 m Depth ($\sigma_v = -3$)
σ_N	-3.23	-3.23
σ_E	-3.10	-3.21
σ_V	-2	-3
τ_{NE}	0.05	0.01
τ_{EV}	-0.15	-0.03
τ_{VN}	-0.11	-0.02



Gambar 4.30 Kondisi sesar di daerah PT CSD (Sipayung, et.al, 2014)

6. PENUTUP

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa beberapa sumbangan pemikiran terkait dengan peranan geomekanika di kegiatan operasi penambangan baik secara tambang terbuka maupun tambang bawah tanah telah disampaikan, yaitu meliputi cara pengukuran atau pengumpulan data, cara pengolahan data, dan metoda analisis-sistesis. Perhatian akan pentingnya aspek geomekanika tersebut sudah harus disadari sejak awal sehingga pengumpulan data-data yang diperlukan sudah harus diintegrasikan di tahap-tahap awal kegiatan pertambangan, yaitu penyelidikan awal dan eksplorasi detil. Selain itu, sejalan dengan pelaksanaan penambangan pun masih harus ditunjang lagi dengan penyelidikan yang lebih spesifik dan rinci tentang massa batuan yang dihadapi, serta perlunya pemantauan perpindahan atau deformasi.

Sejalan dengan visi dan renstra FTTM, maka KK Teknik Pertambangan sub bidang Geomekanika diharapkan menjadi pusat keunggulan secara international dalam bidang rekayasa batuan, baik terkait dengan aktivitas teknik pertambangan maupun teknik sipil. Berdasarkan pengalaman yang panjang tersebut diatas, baik melalui penelitian maupun kerjasama dalam bentuk layanan jasa kepakaran dengan mitra industri/badan pemerintah, visi tersebut dapat dicapai dengan strategi pengembangan yang berkelanjutan di dalam a) metoda karakterisasi massa batuan, b) metoda monitoring deformasi di lereng batuan dan di dinding/atap terowongan, c) metoda pengukuran tegangan

insitu di batuan, d) metoda analisis kestabilan lereng dan lubang bukaan di batuan, e) akurasi data pengukuran pada uji di laboratorium mekanika batuan, f) mata kuliah di S1 teknik pertambangan dan s2 rekayasa pertambangan bidang khusus geomekanika.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan yang berbahagia ini perkenankanlah kami menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Pimpinan dan Anggota Forum Guru Besar ITB atas kesempatan dan kehormatan yang diberikan kepada saya untuk menyampaikan pidato ilmiah di hadapan bapak/ibu hadirin sekalian.

Selanjutnya ucapan terima kasih dan penghargaan yang tulus juga kami sampaikan kepada Prof. Dr. Ir. Made Astawa Rai (dosen wali s1-s2, pembimbing skripsi s1 & tesis s2, dan pembimbing/pembina selama jadi dosen), Prof. Dr. Ir. Irwandy Arif (ketua PERHAPI 2006-2012), Prof. Dr. Ir. Rudy Sayoga Gautama (ketua KK Teknik Pertambangan s/d 2013), Prof. Dr. Ir. Sudarto Notosiswoyo (dekan FTTM 2006-2010 dan ketua Senat FTTM 2014-sekarang), Prof. Dr. Wawan Gunawan A. Kadir (WRRI 2010-2014) yang telah merekomendasikan dan mempromosikan kami ke jabatan Guru Besar. Selain itu kepada dekanat FTTM, Prof. Sri Widyanoro PhD (Dekan), Prof. Dr. Ir. Tutuka Ariaji (WDA) dan Dr. Ir. Eddy Agus Basuki (WDS), pimpinan dan anggota Senat FTTM, jajaran rektorat ITB,

khususnya Prof. Ahmaloka Ph.D (Rektor), dan Prof. Dr. Irawati (WRSO), dan Senat Akademik ITB serta rekan-rekan di TPAK yang telah sukses membantu dan mengawal proses kenaikan jabatan ke Guru Besar ini.

Terima kasih juga kepada rekan-rekan di KK Teknik Pertambangan (Dr. Ir. Suseno Kramadibrata (sekarang CEO PT BRM dan Dosen LB), Dr.-Ing. Aryo Prawoto Wibowo, Prof. Dr. Ir. Ridho K. Wattimena, Dr. Ir. Rudianto Ekawan (Alm), Dr.Eng. Nuhindro Priagung Widodo, Dr.Eng. Ganda Marihot Simangunsong, Dr.Eng. Ginting Jalu Kusumo, Fadhila Ahmadi Rosyid ST. MT, Yudidya Wicaksana ST. MT, Tri Karian ST. MT, Firly R Baskoro ST. MT), di KK Eksplorasi Sumberdaya Bumi (Dr. Ir. Gatot HP, Dr. Ir. Komang Anggayana, Ir. Teti Indriati MT, Dr. Ir. R. Budi Sulistijo, Dr.Eng. Syafrizal, Mohamad Nur Heriawan Ph.D, Dr.Phil.nat Agus Haris Widayat, Irwan Iskandar Ph.D, Andy Yahya ST. MT), dan di KK Teknik Metallurgy (Prof. Dr. Ir. Syoni Soepriyanto, Dr. Ir. Ismi Handayani, Dr. Ir. Edy Sanwani, Dr.-Ing. Zulfiadi Zulhan, Dr.Eng. Akhmad Ardian Korda, Dr.mont. Mohammad Zaki Mubarak), dan karyawan di FTTM (khususnya yang di TU Tambang dan lab Mekanika Batuan) dan LPPM atas bantuan, perhatian dan kerjasama yang diberikan selama ini.

Tak lupa terima kasih juga kepada professor pembimbing s-3 dan pengajar di Yamaguchi University (Prof. Dr. Yoshiaki Mizuta, Prof. Dr. Osam Sano, Prof. Dr. Tyuyoshi Ishida, Prof. Dr. Norikazu Shimizu), professor di Kyushu University yang terus menjalin silaturahmi penelitian, seminar dan student exchange (Prof. Dr. Kikuo Matsui, Prof.

Dr. Ichiro Watanabe, assoc Prof. Dr. Hideki Shimada) dan staf (Dr. Takashi Sasaoka, Dr. Ir. Sugeng wahyudi) sehingga penelitian dan publikasi international dapat berlansung. Juga kepada Prof. Dr. Satria Bijaksana, Prof. Dr. Khairurrijal, Prof. Dr. Ir. Masyhur Irsyam, Prof. Dr. Edy Suwono, atas diskusinya dalam penelitian dan pengabdian masyarakat terkait dengan proses usulan ke-gurubesar-an. Kepada guru dan pendidik di SDN Patihan-1Kudus dan SDN Bulu-2 Semarang, SMP 1 Semarang, SMA 3 Semarang, ITB (khususnya jurusan Teknik Pertambangan), terima kasih atas jasa yang besar dan tulus ikhlas saat memberikan pembelajaran dan pendidikan kepada kami.

Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada PT Antam Tbk, PT Arutmin Indonesia, PT KPC, PT Berau Coal, PT Bukit Asam, PT NHM, PT J-Resources, PT FI, PT EBL, PT BRE, PT ABK, PT Adaro dan PT Delta Alam, PT Indocement Tunggal Perkasa serta PERHAPI dan APBI atas kontribusinya dalam penelitian dan publikasi nasional/internasional; teman-teman tambang-ITB '83, alste '83 dan ex cisitu lama I no 112/154c atas dukungan materiil-spirituil-nya.

Kontribusi dalam penelitian tidaklah terlepas dari sumbangsih para mantan mahasiswa s3 (khususnya Dr. Ir. Pantjanita Novi Hartami, Dr. Ir. Barlian Dwi Nagara, Dr. Ir. Singgih saptono), s2 (khususnya M. Safrudin Sulaiman MT, Razak Karim MT), dan S1 dibawah bimbingan kami yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu. Terima kasih atas keseriusan dan kerjasama yang telah diberikan.

Terima kasih disertai doa bakti yang tiada putus-putusnya kepada ayah-ibu kami (Digdo Sutaryo BE (alm) dan Elyn Darsini) atas kasih sayang dan pengorbanan serta doa yang tiada henti kepada kami; ayah-ibu mertua (M. Rauf Kasim (alm) dan Hamima) atas kasih-sayang, perhatian, bantuan dan doanya kepada kami. Kepada adik-adik kandung (Dewi Setiawati SE, Tri Nurcahyaningtyas SE, Martiana Rejeki, Oktaviani dyah Puspitasari ST) beserta keluarga, dan adik-adik ipar (Eva Srirahaya, Dudy Hariady ST, Dharmajaya SE MAd) beserta keluarga, terima kasih atas kasih sayang, perhatian dan dukungannya.

Dengan rasa tulus dan cinta, terima kasih kepada istri, Taty Herawaty, yang telah menemani dengan penuh kesabaran, kegigihan dan semangat yang luar biasa, dan telah banyak mendorong agar terus maju dan agar selalu tetap bersyukur padaNya atas segala nikmat; dan juga kepada empat putra/putri kami, Achmad Hasan Taherdito, Ali Husain Taherdito, Syakluna Zainab Taherdito, Ummu Kaltsum Taherdito, yang selalu memberikan kebahagiaan dan semangat serta berbagai dukungan dalam menjalankan tugas. Jazakalloohu khoiron katsiron, Allahumma sholli 'alaa Muhammad wa 'alaa aali Muhammad.

DAFTAR PUSTAKA

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

Bieniawski, Z.T., 1989, *"Engineering Rock Mass Classifications, A Complete Manual for Engineers and Geologist in Mining, Civil and Petroleum Engineering"*, John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore.

Brady, B.H.G. and Brown, E.T., 1985, *"Rock mechanics for underground mining"*. Allen and Unwin, London

Caceres C., 2005, *"Effect of Backfill on Open Stope Mining Methods"*, MASc Thesis, Mining Engineering, University of British Columbia.

Gianni, G.P., 1992, *"Rock Slope Stability Analysis"*, A.A. Balkema Publisher, Rotterdam

Hakim, R.N., Sulistianto, B., Widodo, N.P., and Djuharlan, M.J., 2014, *"Study on Stope Stability Using Displacement Monitoring Data"*, Proceeding of the 8th Asian Rocks Mechanics Symposium, Sapporo, Japan, October 2014.

Hartman, H.L., 1987, *"Introductory Mining Engineering"*, John Wiley & Sons, Inc., Canada.

Hoek, E., and Londe, P., 1974, *"The design of rock slopes and foundations"*, General Report for 3rd Congress of ISRM, September 1974, Denver.

Hoek, E., and Brown, E.T., 1980, *"Underground Excavation in Rock"*, The Institution of Mining and Metallurgy, London.

Hoek, E., and Bray, J.W., 1981, *"Rock Slope Engineering"*, Institution of Mining and Metallurgy, London.

Hoek, E., 1991, *"When is a design in rock engineering acceptable ?"*, Muller lecture for the 7th Intl. Congress on Rock Mechanics, Aachen, Germany, September.

Hoek, E., Kaiser, P.K., and Bawden, W.F., 1995, *"Support of Underground Excavations in Hard Rock"*, A.A. Balkema, Rotterdam.

Hoek, E., 1999, *"Support for very weak rock associated with faults and shear zones"*, Distinguished lecture for the Intl. Symp. on Rock Support and Reinforcement Practice in Mining, Kalgoorlie, Australia, 14-19 March.

Hustrulid, W.A., McCarter, M.K., and Van Zyl, D.J.A., 2001, *"Slope Stability in Surface Mining"*, Society for Mining and Metallurgy.

Karian, T., Habeahan, T.M.P., Sulistianto, B., and Kramadibrata, S., 2013, *"Surface Subsidence Analysis Due to Longwall Underground Coal Mining Method in PT. Gerbang Daya Mandiri, Tenggara, east Kalimantan"*. Journal of Novel Carbon Resource Sciences, vol. 7, pp. 47-52, Feb. 2013, Kyushu University Global COE Program, ISSN 1884-6300

Kramadibrata, S., Rai, M.A., Sulistianto, B., 2003, *"Development of hydraulic fracturing test apparatus in Indonesia"*. Proceedings Of The Third International Symposium on Rock Stress, RS Kumamoto 03, 4-6 November 2003, Kumamoto Japan.

Mizuta, Y., Ogino, S. and Sano, O., 1984. *"Three Dimensional Stress Determination in hot dry rock in relation to geothermal heat extraction"*. Research on Natural Energy, SPEY 8, pp. 399-402.

NHM, 2006, *"Laporan Perencanaan dan Produksi Tambang Emas Gosowong, Toguraci dan Kencana PT. Nusa Halmahera Mineral, Gosowong"*, PT Nusa Halmahera Minerals.

Panet, M., 1997, *"Understanding Deformations in Tunnels"*, In Comprehensive Rock Engineering (ed J. A. Hudson) 1, 663-690. Pergamon, Oxford.

Peng, S. S., 1978, *"Coal Mine Ground Control"*, 1st ed., John Wiley & Sons, New York.

Sipayung, H., Sulistianto, B., Karian, T., Shimada, H., And Djuharlan, M.J., 2014, *"Prediction of Tectonic Stress Based on Fault Slip at PT Cibaliung Sumberdaya Gold Mine Area"*, Proceeding of the International Symposium of CINEST 2014, Kyushu University, Fukuoka, Japan

Sulistianto, B., 1994, *"Pengaruh Penggalan Lapisan Batubara terhadap Lapisan Batubara di atasnya, Studi Kasus pada Tambang Batubara Bawah Tanah, PT Fajar Bumi Sakti, Tenggara, Kalimantan Timur"*, Thesis S2, Program Studi Rekayasa Pertambangan ITB, 1994.

Sulistianto, B., and Mizuta, Y., 1998, *"Determination of far Field Stress from the point stress measurement, a Numerical Approach"*. Journal of the Mining and Materials Processing Institute of Japan (MMIJ), 1998, vol. 144, p. 461-466.

Sulistianto, B., and Mizuta, Y., 1999, *"Stress Distribution in the Vicinity of Right Strike-Slip Fault, a Numerical Approach"*. Journal of the Mining

and Materials Processing Institute of Japan (MMIJ), 1999, Vol. 115, p. 651-659.

Sulistianto, B., Rai, M.A., Kramadibrata, S., Hartami, P.N., Matsui, K., Nakagawa, H. and Setiawan, I.D., 2003a, *"Determination of Insitu Stress Using Hydraulic Fracturing Method at Pongkor Underground Gold Mine, West Java, Indonesia"*, Proc. of the 3rd International Symposium on Rock Stress, 4-6 November 2003, Kumamoto, Japan, Sugawara, Obara & Sato (eds), A.A. Balkema Publ, pp 383-388.

Sulistianto, B., Dwinagara, B., Rai, M.A., Kramadibrata, S., Matsui, K., Nakagawa, H., Setiawan, I.D., Herlambang, E.J., Risono, 2003b, *"The displacement monitoring at Ciurug Southern ramp-up of Pongkor underground gold mine, West Java, Indonesia"*. Proceedings of International Workshop on Earth Science and Technology. Fukuoka, November 7th, 2003

Sulistianto, B., Sulaiman, M.S., Wattimena, R.K., dan Arif, I., 2006a, *"Analisis Kemantapan Lereng Lowwall Tambang Terbuka Batubara dengan Kemiringan Perlapisan Curam"*. Proseding Temu Profesi Tahunan XV PERHAPI 2006, 11-12 September 2006, Jakarta.

Sulistianto, B., Wattimena, R.K., Arif, I., and Widhy, S., 2006b, *"Low-wall Stability Analysis, Case Study At Abimanyu coal open-pit PT. Arutmin Indonesia, Satui Mine, South Kalimantan, Indonesia"*. Proceedings of 9th International Symposium On Mineral Exploration (ISME IX), September 19-21, 2006, ISBN : 979-3507-88-8, Aula Barat ITB, Bandung,

Indonesia.

Sulistianto, B., Sulaiman, M.S., dan Wattimena, R.K., 2007a, "*Studi Penentuan Sudut Kemiringan Lereng Berdasarkan Pengaruh Struktur Geologi pada Lereng Tambang*". Proseding Temu Profesi Tahunan TPT XVI PERHAPI 2007, 5-7 September 2007, ISBN: 978-979-8826-13-9, Makassar.

Sulistianto, B., Wattimena, R.K., Kramadibrata, S., Sulaiman, M.S., Matsui, K., and Ardiyanto, A., 2007b, "*Borehole Investigation To Grasp The Condition Of Stope's Roof In Cut-and-Fill Mining At Level 500 Ciurug, Pongkor Underground Gold Mine, Indonesia*", Proceeding of the International Workshop on Earth Science and Technology, Fukuoka, December 2007, Japan.

Sulistianto, B., Wattimena, R.K., Arif, I., and Sulaiman, M.S., 2007c, "*Lowwall Stability Analysis, A Case Study At Gatotkaca Coal Open-Pit, PT Arutmin Indonesia Satui Mine, South Kalimantan, Indonesia*". Proceeding of the 16th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection (MPES), December 2007, Bangkok.

Sulistianto, B., dan Karian, T., 2008a : "*Perhitungan Kurva Reaksi Batuan Menggunakan Pendekatan Metoda Numerik*". JTM Vol. XV No. 2/2008, ISSN 0854-8528.

Sulistianto, B., Wattimena, R.K., Kramadibrata, S., Rabudianto, T.A., and Ardiyanto, A., 2008b, "*The Role of Geotechnical Investigation on The Ramp*

Down development in Pongkor Underground Gold Mine", Proceeding of the International Workshop on Earth Science and Technology, Fukuoka, December 2008, Japan.

Sulistianto, B., Sulaiman, M.S., Wattimena, R.K., Ardiyanto, A., and Matsui, K., 2009a, "*Determination of stope geometry in jointed rock mass at Pongkor Under-ground Gold Mine*". International Journal of The JCRM, Japanese Committee of Rock Mechanics, Vol. 5, No. 2, April, p.p. 63-68.

Sulistianto, B., Kusuma, G.J., Wattimena, R.K., Arif, I., Hakim, L., Danizar, Y., and Wiedhartono, A., 2009b, "*Low Wall Stability Analysis, Case Study at Binungan Coal Open-Pit PT. Berau Coal, East Kalimantan, Indonesia*". Proceeding of The 4th International Symposium on Novel Carbon Resource Science, Environmental Science and Technology, December 12-13, 2009, Shanghai, China

Sulistianto, B., Karian, T., Arif, I., Putri, P.D.A., Hidayatullah, S., and Widhy, S.S., 2011, "*Inpit Dump Stability Analysis at Mulia 8th Pit, Satui Mine, PT. Arutmin Indonesia*". Proceedings of International Symposium on Earth Science and Technology 2011. December 6-7, 2011, Inamori Foundation Memorial Hall, Kyushu University, Fukuoka, Japan.

Sulistianto, B., Karian, K., Kardiansyah, Hidayatullah, S., and Widhy, S.S., 2013a, "*Optimalization of Outpit Dump at Asam-Asam Open Pit Coal Mine, PT. Arutmin Indonesia*". Journal of Novel Carbon Resource Sciences, vol. 7, pp. 53-59, Feb.2013, Kyushu University Global COE

Sulistianto, B., Lopulalan, A., Karian, T., Karim, R., and Layan, D., 2013b, *"Stability Analysis of Pastefill Used for backfill Material at Kencana Underground Gold Mine, North Halmahera, Indonesia"*. International Symposium on Mineral Resources and Mine Development, AIMS 2013, RWTH Aachen University, pp 135-147.

Whittaker, B.N., and Reddish, D.J., 1989, *"Subsidence: Occurence, Prediction, and Control"*, 1st ed., Elsevier Science Pub. Co., New York.

Williams T.J., Brady T., Bayer DC., Bren MJ., Pakalnis R., Marjerison JA., Stillwater and Langston R.B., 2006, *"Underhand Cut and Fill Mining as Practiced in Three Deep Hard Rock Mines in the United States"*, www.cdc.gov/niosh/mining, 2006.

CURRICULUM VITAE



Nama : **BUDI SULISTIANTO**
 Tmpt./Tgl Lahir : Kudus, 16 Juni 1964
 NIP / Karpeg. : 196406161990011001 / E 652256
 Fakultas : Fakultas Teknik Pertambangan
 dan Perminyakan

Kelompok Keilmuan/Keahlian : Teknik Pertambangan

Bidang Keahlian : Geomekanika

Jabatan Fungsional : Guru Besar / Pembina Utama Muda,
IV/c

I. RIWAYAT PENDIDIKAN

Jenjang Pendidikan	Sarjana	Magister	Doktor
Perguruan Tinggi	ITB	ITB	Yamaguchi University
Tahun Lulus	1988	1995	1999
Gelar	Insinyur (Ir.)	Magister Teknik (MT)	Doktor Engineering (Dr.)
Bidang	Tambang Umum	Geomekanika	Geomekanika

II. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

NO.	JABATAN FUNGSIONAL	TMT	NOMOR SURAT KEPUTUSAN
1.	Asisten Ahli Madya	1 Sep 1991	Mendikbud, 360a/SK/PT07.H/C/1991, 30-08-1991
2.	Asisten Ahli	1 Februari 1995	Mendikbud, 039a/SK/PT07.H/C/1995, 31-01-1995
3.	Lektor Muda	1 Juli 2000	Mendiknas, 116a/SK/K01/KP.03.3/2000, 30-06-2000
4.	Lektor	1 Januari 2001	Mendiknas, 248/K01/KP/INPASS-JAB/2001, 24-03-2001
5.	Lektor Kepala	1 Januari 2006	Mendiknas, No. 5070/A2.7/KP/2006, 1 Januari 2006
6.	Guru Besar (Profesor)	1 Agustus 2013	Mendikbud, No.100740/A4.3/KP/2013, 31 Juli 2013

III. JABATAN DI ITB

No.	NAMA JABATAN	TAHUN	KETERANGAN
1.	Sek. Dep. Teknik Pertambangan	2003 s.d 2005	SK Rektor, No. /SK/K01/KP/2003
2.	Ketua Program Studi Teknik Pertambangan	2006 s.d 2007	SK Rektor, No. 288/SK/K01/KP/2005
3.	Manajer Lab. Perencanaan dan Valuasi Tambang	2010 s.d 2011	SK Dekan FTTM, No. 2077/SK/K01.08/KP/2009

No.	NAMA JABATAN	TAHUN	KETERANGAN
4.	Wakil Dekan Bidang Sumberdaya	2010 s.d 2011	SK Rektor, No. 049/SK/K01/KP/2011
5.	Sekretaris LPPM ITB Bid. Peng. Masyarakat	2012 s.d 2013	SK Rektor, No. 390/SK/I.1/KP/2011

IV. KEGIATAN PENDIDIKAN/PENGAJARAN PENDIDIKAN/ PENGAJARAN

No.	MATA KULIAH/ PRAKTIKUM/ STUDIO	SEMESTER/ TAHUN	FAKULTAS/ SEKOLAH	S1/S2/S3
1.	TA2121 Sistem Penambangan, 2 sks	Semester I 2006 - skrg.	FTTM ITB	S1 Teknik Pertambangan
2.	TA4126 Perencanaan Tambang, 4 sks	Semester I 2006 - skrg.	FTTM ITB	S1 Teknik Pertambangan
3.	TA5011 Peng. Rek. Pertambangan, 2 sks	Semester I 2008 - skrg.	FTTM ITB	S2 Rek. Pertambangan
4.	TA6123 Metode Penerowongan, 2 sks	Semester I 2008 - skrg.	FTTM ITB	S2 Rek. Pertambangan
5.	TA2221 Peralatan Tambang, 3 sks	Semester II 2006 - skrg.	FTTM ITB	S1 Teknik Pertambangan
6.	TA3222 Geoteknik Tambang, 2 sks	Semester II 2006 - skrg.	FTTM ITB	S1 Teknik Pertambangan
7.	TA5226 Mekanika Batuan Lanjut II, 2 sks	Semester II 2008 - skrg.	FTTM ITB	S2 Rek. Pertambangan

V. PENELITIAN/PUBLIKASI

5.1 Dalam jurnal internasional berefereee dan diakui

No.	Pengarang, Judul Makalah	Nama Jurnal; No. Publikasi; Vol./tahun; ISSN; Tanggal, dan peringkat akreditasi
1.	Budi SULISTIANTO , M. Safrudin SULAIMAN, Ridho Kresna WATTIMENA, Achmad ARDIANTO and Kikuo MATSUI: "Determination of stope geometry in jointed rock mass at Pongkor Under-ground Gold Mine".	<i>International Journal of The JCRM, Japanese Committee of Rock Mechanics</i> , Vol. 5, No. 2, April 2009, p.p. 63-68.
2.	Sugeng Wahyudi, Hideki Simada, Ganda Marihot S., Takashi Sasaoka, Kikuo Matsui, Suseno Kramadibrata, Budi Sulistianto : "A Review Study of Predictive Modal blast vibration attenuation equation by using neural network as an evaluator".	<i>International Journal of Mining, Reclamation and Environment</i> , Vol. 25, No. 1, March 2011, 69-85. ISSN 1748-0930 print/ISSN 1748-0949 online @ 2011 Taylor & Francis.
3.	Hideki Shimada, Ginting Jalu Kusuma, Koh Hiroto, Takashi Sasaoka, Kikuo Matsui, Rudy Sayoga Gautama and Budi Sulistianto : "Development of a new covering strategy in Indonesian coal mines to control acid mine drainage generation: a laboratory-scale result".	<i>International Journal of Mining, Reclamation and Environment</i> , Vol. 26, No. 1, March 2012, 74-89

5.2. Dalam jurnal nasional terakreditasi

No.	Pengarang, Judul Makalah	Nama Jurnal, No. Publikasi, Vol./Tahun, ISSN, No. Akreditasi, Tanggal dan Peringkat Akreditasi
1.	Budi Sulistianto dan Tri Karian: "Perhitungan Kurva Reaksi Batuan Menggunakan Pendekatan Metoda Numerik".	JTM Vol. XV No. 2/2008, ISSN 0854-8528.

No.	Pengarang, Judul Makalah	Nama Jurnal, No. Publikasi, Vol./Tahun, ISSN, No. Akreditasi, Tanggal dan Peringkat Akreditasi
2.	Tri Karian, Timbul M P Habeahan, Budi Sulistianto , Suseno Kramadibrata: "Surface Subsidence Analysis Due to Longwall Underground Coal Mining Method in PT. Gerbang Daya Mandiri, Tenggarong, East Kalimantan".	Journal of Novel Carbon Resource Sciences, vol. 7, pp. 47-52, Feb. 2013, Kyushu University Global COE Program, ISSN 1884-6300
3.	Budi Sulistianto , Tri Karian, Kardiansyah, Syarif Hidayatullah, Sudirman Widhy: "Optimalization of Outpit Dump at Asam-Asam Open Pit Coal Mine, PT. Arutmin Indonesia".	Journal of Novel Carbon Resource Sciences, vol. 7, pp. 53-59, Feb. 2013, Kyushu University Global COE Program, ISSN 1884-6300

5.3. Dalam jurnal lainnya (jurnal nasional tidak terakreditasi)

No.	Pengarang, Judul Makalah	Nama jurnal; No. Publikasi; Vol. tahun; ISSN
1.	Saptono, S., Kramadibrata, S., Sulistianto, B. , dan Wattimena, R.K., "Pengaruh ukuran contoh terhadap kekuatan batuan".	JTM Vol. XVI No. 1/2009, ISSN 0854-8528.
2.	Sulistianto, B. , Wattimena, R.K., Kramadibrata, S., Rabudianto, T.A., dan Ardianto, A., "Estimation of rock support type for the south ramp down development at Pongkor Underground Mine",.	JTM Vol. XVI No. 2/2009, ISSN 0854-8528.

No.	Pengarang, Judul Makalah	Nama jurnal; No. Publikasi; Vol. tahun; ISSN
3.	Murprasetyo, W., dan Sulistianto, B. , " <i>Analisis kerusakan ban truk di Tambang Batubara</i> ".	JTM Vol. XVII No. 3/2010, ISSN 0854-8528.
4.	Rendy Fahlevi, Budi Sulistianto , Bustanil Husni : " <i>Perangkat Lunak Analisis Getaran Tanah Akibat Peladakan</i> ".	JTM Vol. XIX No. 2/2012. ISSN 0854-8528.

5.4. Dalam prosiding seminar internasional

No.	Pengarang; Judul makalah	Nama Seminar; Tahun; ISBN; Tempat Publikasi
1.	Budi Sulistianto , Ridho K. Wattimena, Irwandy Arif, and Sudirman Widhy H: " <i>Low-wall Stability Analysis, Case Study At Abimanyu coal open-pit PT. Arutmin Indonesia, Satui Mine, South Kalimantan, Indonesia</i> ".	<i>Proceedings of 9th International Symposium On Mineral Exploration (ISME IX)</i> , September 19-21, 2006, ISBN: 979-3507-88-8, Aula Barat ITB, Bandung, Indonesia.
2.	Sugeng WAHYUDI, Hideki SHIMADA, Takashi SASAOKA, Kikuo MATSUI, Masatomo ICHINOSE, Budi SULISTIANTO, A.P. WIBOWO, Suseno KRAMADIBRATA, and Ganda Marihot SIMANGUNSONG: " <i>Analysis of Characteristics of Magnitude and Prediction of Propagation of Blast Vibrastion In Limestone Quarry</i> "	<i>Proceedings of 4th International Workshop on Earth Science And Technology</i> , December 2006. ISBN: 978-4-9902356-7-3, Fukuoka, Japan.
3.	M. Syafrudin SULAIMAN, Budi SULISTIANTO , Ridho K. WATTI-MENA, Suseno KRAMADIBRATA,	<i>Proceedings of 4th International Workshop on Earth Science And Technology</i> , December 2006.

No.	Pengarang; Judul makalah	Nama Seminar; Tahun; ISBN; Tempat Publikasi
	Barlian DWINAGARA, Kikuo MATSUI, and Iwan Dharma SETIAWAN: " <i>Stress Distribution and Displacement Analysis In A Stope In Pongkor Underground Gold Mine</i> ".	ISBN: 978-4-9902356-7-3, Fukuoka, Japan.
4.	Suseno Kramadibrata, Ridho K. Wattimena, Budi Sulistianto , Ganda M. Simangunsong and Armstorng Tobing: " <i>Study on Shear Strength Characteristic of Coal Bearing Strata</i> ".	<i>Proceedings of The 11th Congress of The International Society for Rock Mechanics (ISRM 2007)</i> , Vol. 1, 9-13 July 2007. ISBN: 978-0-415-45083-6, Lisbon, Portugal.
5.	T. Sasaoka, K. Matsui, H. Shimada, H. Furukawa, M. Uehara, S. Kramadibrata, B. Sulistianto and R. K. Wattimena: " <i>Roof Support Systems at a New Underground Mine Developed form Open-Cut Highwall in Indonesia</i> ".	<i>Aachen International Mining Symposia</i> , Aachen, Jerman, May 30 th and 31 st , 2007.
6.	Sugeng WAHYUDI, Hideki SHIMADA, Ganda Marihot SIMANGUNSONG, Takashi SASAOKA, Kikuo MATSUI, Budi SULISTIANTO and Suseno KRAMADIBRATA: " <i>Effect of Some Blast Design Parameters on Blast Vibration Propagation and Prediction at Open-Pit Limestone Quarry: A Case Study</i> ".	<i>Proceedings of International Symposium on Earth Science and Technology 2009</i> , December 8-9, 2009, Fukuoka, Japan
7.	Budi SULISTIANTO , Ginting J. KUSUMA, Ridho K. WATTIMENA, Irwandy ARIF, Lukman HAKIM, Yodi DANIZAR, and Arief WIEDHAR-TONO: " <i>Low Wall Stability Analysis, Case Study at Binungan Coal Open-Pit PT. Berau Coal, East Kalimantan, Indonesia</i> ".	<i>The 4th International Symposium on Novel Carbon Resource Science, Environmental Science and Technology</i> , December 12-13, 2009, Shanghai, China

No.	Pengarang; Judul makalah	Nama Seminar; Tahun; ISBN; Tempat Publikasi
8.	Sugeng Wahyudi, Hideki Shimada, Takashi Sasaoka, Ganda Marihot Simangunsong, Suseno Kramadibrata, Budi Sulistianto and Kikuo Matsui: "Influence of Geological Condition and Blasting Pattern on the Site Specific Parameters in PPV Prediction Model".	ISRM International Symposium 2010 and 6 th Asian Rock Mechanics Symposium Advances in Rock Engineering 23 - 27 October 2010, New Delhi, India.
9.	Singgih Saptono, Suseno Kramadibrata, Budi Sulistianto : "The Use of Rock Mass Characteristic For Assessing Slope Stability".	Proceedings The 5 th Aotule International Postgraduate Students Conference on Engineering. Bandung, Indonesia, 1-2 November 2010. ISBN: 978-979-1344-91-3
10.	T. Karian, Budi Sulistianto : "Prediction of Filling Material Condition Above Crown Pillar in South Ciurug Underground Mine, UBPE Pongkor, PT. Aneka Tambang Tbk".	Proceedings The 5 th Aotule International Postgraduate Students Conference on Engineering. Bandung, Indonesia, 1-2 November 2010. ISBN: 978-979-1344-91-3.
11.	Tri Karian, Budi Sulistianto , Suseno Kramadibrata, Yosep Purnama: "Numerical Modelling For Predicting The Stability Of Crown Pillar in South Ciurug Undeground Mine, UBPE Pongkor, PT. Aneka Tambang Tbk".	Proceedings Of International Symposium On Earth Science and Technology 2010. Inamori Foundation Memorial Hall, Kyushu University, Fukuoka, Japan, December 7-8, 2010
12.	Budi Sulistianto , Suseno Kramadibrata, Singgih Saptono: "Laboratory Study For Determining Long-term Shear Strength Of Rock".	Proceedings Of International Symposium On Earth Science and Technology 2010. Inamori Foundation Memorial Hall, Kyushu University, Fukuoka, Japan, December 7-8, 2010

No.	Pengarang; Judul makalah	Nama Seminar; Tahun; ISBN; Tempat Publikasi
13.	Sugeng Wahyudi, Hideki Shimada, Ganda Marihot S., Takashi Sasaoka, Kikuo Matsui, Suseno Kramadibrata, Budi Sulistianto , Singgih Saptono: "Influence of Geological Condition on The Parameter of Blast Vibration Attenuation Equation".	Proceedings Of International Symposium On Earth Science and Technology 2010. Inamori Foundation Memorial Hall, Kyushu University, Fukuoka, Japan, December 7-8, 2010
14.	Ginting J Kusuma, Koh Hiroto, Hideki Shimada, Takashi Sasaoka, Kikuo Matsui, Rudy S Gautama, Budi Sulistianto: "Study on Acid Mine Drainage Release Behavior of Coal Mine Waste Rock Under Different Water Pouring Interval in Laboratory".	Proceedings Of International Symposium On Earth Science and Technology 2010. Inamori Foundation Memorial Hall, Kyushu University, Fukuoka, Japan, December 7-8, 2010
15.	Ginting Jalu Kusuma, Koh Hiroto, Hideki Shimada, Takashi Sasaoka, Kikuo Matsui, Rudy S. Gautama, Budi Sulistianto : "Study on Effect of Moisture Content on AMD Release of Coal Waste Rock: A Preliminary Result of Laboratory Experiment".	Proceeding of Mining and Material Processing Institute of Japan, Autum Meeting, 13-15 September 2010, Fukuoka, Kyushu University, Ito Campus.
16.	Ginting Jalu Kusuma, Hideki Shimada, Takashi Sasaoka, Kikuo Matsui, Koh HIROTO, Rudy S. Gautama, Budi Sulistianto : "Acid Mine Drainage in Indonesian Coal Mine: Occurence, Curent Management Practices and Challenges".	Proceeding of The 1 st Environment Asia International Conference on 'Environmental Supporting in Food and Energy Security: Crisis and Opprtunity', 22-25 March, 2011, Rama Garden Hotel, Bangkok, Thailand. ISBN: 978-974-11-1446-7.
17.	Tri Karian, Amri H Siregar, Budi Sulistianto , and Suseno Karamadibrata: "Preliminary Study For Sandstone Long	Proceedings of International Symposium on Earth Science and Technology 2011. December 6-7,

No.	Pengarang; Judul makalah	Nama Seminar; Tahun; ISBN; Tempat Publikasi
	<i>Term Shear Strength in Undeground Mining</i> ".	2011, Inamori Foundation Memorial Hall, Kyushu University, Fukuoka, Japan.
18.	Ginting J Kusuma, Ko Hiroto, Hideki Shimada, Takashi Sasaoka, Kikuo Matsui, Rudy S Gautama, and Budi Sulistianto : "Laboratory Study on Co-Placement of Coal Combustion Ash-Coal Waste Rock for Minimizing Acid Mine Drainage Generation in The Waste Rock Dump".	<i>Proceedings of International Symposium on Earth Science and Technology 2011</i> . December 6-7, 2011, Inamori Foundation Memorial Hall, Kyushu University, Fukuoka, Japan.
19.	Budi Sulistianto , Tri Karian, Irwandy Arif, Probawati DA Putri, Syarif Hidayatullah and Sudirman S Widhy: "Inpit Dump Stability Analysis at Mulia 8th Pit, Satui Mine, PT. Arutmin Indonesia".	<i>Proceedings of International Symposium on Earth Science and Technology 2011</i> . December 6-7, 2011, Inamori Foundation Memorial Hall, Kyushu University, Fukuoka, Japan.
20.	Ginting J. Kusuma, Hideki Shimada, Candra Nugraha, Akihiro Hamanaka, Takashi Sasaoka, Kikuo Matsui, Rudy S. Gautama, Budi Sulistianto : "Study on Co-placement of Coal Combustion Ash-coal Waste Rock for Minimizing Acid Mine Drainage Generation: A Preliminary Result of Field Column Test Experiment".	<i>International Symposium on Earth Science and Technology</i> , CINEST 2012, Procedia Earth and Planetary Science 6 (2013), 251-256, Elsevier.
21.	Singgih saptono, Suseno Kramadibrata, Budi Sulistianto : "Using the Schmidt Hammer on Rock Mass Characteristic in Sedimentary Rock at Tutupan Coal Mine".	<i>International Symposium on Earth Science and Technology</i> , CINEST 2012, Procedia Earth and Planetary Science 6 (2013), 390-395, Elsevier.

No.	Pengarang; Judul makalah	Nama Seminar; Tahun; ISBN; Tempat Publikasi
22.	Razak Karim, Ganda M. Simangun-song, Budi Sulistianto , Arnol Lopulalan: "Stability Analysis of Paste Fill as Stope Wall Using Analytical Method and Numerical Modeling in The Kencana Underground Gold Mining with Long Hole Stope Method".	<i>International Symposium on Earth Science and Technology</i> , CINEST 2012, Procedia Earth and Planetary Science 6 (2013), 474-484, Elsevier.
23.	Budi Sulistianto , Arnol Lopulalan, Tri Karian, Razak Karim, D. Layan: "Stability Analysis of Pastefill Used for backfill Material at Kencana Underground Gold Mine, North Halmahera, Indonesia".	<i>Fourth International Symposium on Mineral Resources and Mine Development</i> , AIMS 2013, RWTH Aachen University, pp 135-147.

5.5. Dalam Prosiding seminar nasional

No.	Pengarang; Judul makalah	Nama Seminar; Tahun; ISBN; Tempat Publikasi
1.	Budi Sulistianto , M Syafrudin Sulaiman, Ridho K. Wattimena, dan Irwandy Arif : "Analisis Kemantapan Lereng Lowwall Tambang Terbuka Batubara dengan Kemiringan Perlapisan Curam".	Prosiding Temu Profesi Tahunan XV PERHAPI 2006, 11-12 September 2006, Jakarta.
2.	Budi Sulistianto , M. Syafrudin Sulaiman, dan Ridho Kresna Wattimena: "Studi Penentuan Sudut Kemiringan Lereng Berdasarkan Pengaruh Struktur Geologi pada Lereng Tambang". 9, Makassar.	Prosiding Temu Profesi Tahunan TPT XVI PERHAPI 2007, 5-7 September 2007, ISBN: 978-979-8826-13-

No.	Pengarang; Judul makalah	Nama Seminar; Tahun; ISBN; Tempat Publikasi
3.	Razak Karim, Budi Sulistianto , Ganda M. Simangunsong, Arnol Lopulalan: "Analisis Kestabilan Lubang bukaan Stope Menggunakan Metode Empirik dan Pemodelan Numerik pada Penambangan Emas Bawah Tanah di Kencana dengan Metoda Long Hole Stope".	Prosiding Temu Profesi Tahunan TPT XXI dan Konggres VIII PERHAPI 2012, 15-17 Oktober 2012, ISBN: 978-979-8826-21-4, Jakarta.
4.	Gembong Suryo Wibowo, Budi Sulistianto : "Analisis Penjadwalan Produksi Bulanan dan Optimasi Endapan Nikel Pit Jupe Tapunopaka, PT. Antam Tbk."	Prosiding Temu Profesi Tahunan TPT XXI dan Konggres VIII PERHAPI 2012, 15-17 Oktober 2012, ISBN: 978-979-8826-21-4, Jakarta.
5.	Muhammad Andhika Budiawan, Budi Sulistianto , Febri Estiadi: "Rancangan Penambangan Pit Jupe, tambang Nikel Tapunopaka, PT Antam Tbk".	Prosiding Temu Profesi Tahunan TPT XXI dan Konggres VIII PERHAPI 2012, 15-17 Oktober 2012, ISBN: 978-979-8826-21-4, Jakarta.

V.I. REKAM JEJAK (*TRACK RECORD*) PENELITIAN/PUBLIKASI UTAMA DAN MENDUKUNG

6.1 Dalam jurnal international ber-referee (mitra bestari) dan diakui

No.	Pengarang; Judul Makalah	Nama Jurnal; No. Publikasi; Vol. tahun; ISSN
1.	Budi Sulistianto and Yoshiaki Mizuta; <i>Stress Distribution in the Vicinity of Right Strike-Slip Fault, a Numerical Approach.</i>	Journal of the Mining and Materials Processing Institute of Japan (MMIJ), 1999, Vol. 115, p. 651-659.

No.	Pengarang; Judul Makalah	Nama Jurnal; No. Publikasi; Vol. tahun; ISSN
2.	Budi Sulistianto and Yoshiaki Mizuta; <i>Determination of far Field Stress from the point stress measurement, a Numerical Approach.</i>	Journal of the Mining and Materials Processing Institute of Japan (MMIJ), 1998, vol. 144, p. 461-466.
3.	Budi Sulistianto and Yoshiaki Mizuta; <i>Development of 3D Indirect Boundary element Methods Which Consider Joint Slip and Joint Separation.</i>	Journal of the Mining and Materials Processing Institute of Japan (MMIJ), 1998, Vol. 114, p. 73-78.

6.2 Dalam jurnal nasional terakreditasi

No.	Pengarang; Judul makalah	Nama Jurnal; No. Publikasi; Vol. tahun; ISSN; No. Akreditasi; Tanggal, dan peringkat akreditasi
1.	Budi Sulistianto : Penentuan Perpindahan di Dinding/Atap Terowongan Berdasarkan Data Hasil Pengukuran Konvergen.	JTM Vol. XI No. 3/ 2004, ISBN: 0854-8528.

6.3 Karya Akademik Yang Dinilai Layak

No.	Karya Akademik	Bentuk karya akademik; Tahun
1.	Budi Sulistianto : Study on Prediction of Stress Distribution in the Shallow Part of the Crust using Boundary Element Method.	Desertasi Doktor, Yamaguchi University, 1999 (berbahasa Jepang).
2.	Budi Sulistianto : Pengaruh Penggalian Lapisan Batubara terhadap Lapisan Batubara di atasnya, Studi Kasus pada Tambang Batubara Bawah Tanah, PT	Thesis S2, Program Studi Rekayasa Pertambangan ITB, 1994.

No.	Karya Akademik	Bentuk karya akademik; Tahun
	Fajar Bumi Sakti, Tenggara, Kalimantan Timur	
3.	Budi Sulistianto : Masalah-masalah yang timbul pada Penggalian “Test Adit” di Lokasi Rumah Pembangkit Listrik Bawah Tanah (<i>Underground Power House</i>) Proyek PLTA Maung, Banjarnegara, Jawa Tengah.	Tugas Sarjana, Jurusan Teknik Pertambangan ITB, 1988.
4.	Budi Sulistianto and Yoshiaki Mizuta; <i>The influence a week plane on the displacement of tunnel surface, a numerical approach.</i>	Proceedings Temu Ilmiah VI PPI-Jepang, 1997, p. 261-266, ISSN : 0918-7685.
5.	Budi Sulistianto ; <i>Application of 3D BEM in geomechanics.</i>	Prosiding Lomba Karya Tulis Ilmiah ke III PPI-Jepang, 1998, p. 147-162. ISSN : 1344-2538.
6.	Budi Sulistianto , dan Yoshiaki Mizuta; Analisis Kestabilan Lereng Batuan dengan BEM 3 Dimensi.	Prosiding Temu Ilmiah VII PPI-Jepang, 1998, p. 224-227, ISSN : 0918-7685.
7.	Budi Sulistianto , Made Astawa Rai; Penentuan tegangan in-situ 3 dimensi dengan uji rekah hidraulik.	Prosiding Kolokium Pertambangan 2000, PPPTM, Bandung, 24 Oktober 2000.
8.	Budi Sulistianto , Rychef Subarmaga, Irwandy Arif; Penggunaan Paket Program MS EXCEL untuk perancangan Tambang.	Prosiding TPT IX dan Kongres IV PERHAPI, Jakarta 14-15 September 2000.
9.	Budi Sulistianto , Bambang AP., Rychef S., Irwandy A.; Analisis kemantapan lereng berdasarkan metode bishop yang disederhanakan menggunakan program komputer berbasis MS EXCEL.	Prosiding Temu Profesi Tahunan X PERHAPI 2001, Bandung, 20-21 September 2001, ISBN : 979-8826-08-6.

No.	Karya Akademik	Bentuk karya akademik; Tahun
10.	Budi Sulistianto , A P Wibowo, S Wahyudi; Pengukuran dan analisis ground vibration akibat peledakan di kuari batugamping dan shale.	Prosiding Temu Profesi Tahunan XII dan Kongres V PERHAPI 2003. Jakarta 15-16 September 2003.
11.	Budi Sulistianto , Jesmin M, Aryo P Wibowo; Optimasi penentuan jumlah alat angkut batubara dari pit ke chruser dengan menggunakan teori antrian.	Prosiding Temu Profesi Tahunan XII dan Kongres V PERHAPI 2003. Jakarta 15-16 September 2003.
12.	S Kramadibrata, M A Rai, B Sulistianto ; <i>Development of hydraulic fracturing test apparatus in Indonesia.</i>	Proceedings Of The Third International Symposium on Rock Stress, RS Kumamoto 03, 4-6 November 2003, Kumamoto Japan.
13.	B Sulistianto , P Hartami, S Kramadibrata, MA Rai; <i>Determination of insitu stress using hydraulic fracturing method at Pongkor underground gold mine, West Java, Indonesia.</i>	Proceedings Of The Third International Symposium on Rock Stress, RS Kumamoto 03, 4-6 November 2003, Kumamoto Japan.
14.	B Sulistianto , B Dwinagara, MA Rai, S Kramadibrata, K Matsui, H Nakagawa, ID Setiawan, EJ Herlambang, Risono; <i>The displacement monitoring at Ciurug Southern ramp-up of Pongkor underground gold mine, West Java, Indonesia.</i>	Procedings of International Workshop on Earth Science and Technology. Fukuoka, November 7 th , 2003
15.	NP Widodo, S Kramadibrata, B Sulistianto , MA Rai, RK Wattimena, Fitra A, K Matsui, H Shimada, A Yabuki, A Tobing, D Pandjawi; <i>Study on pillar stability of auger mining system at Harapan South pit PT KPC</i>	Procedings of International Workshop on Earth Science and Technology. Fukuoka, November 7 th , 2003

No.	Karya Akademik	Bentuk karya akademik; Tahun
16.	B Sulistianto , B Dwinagara, MA Rai, S Kramadibrata, K Matsui, H Nakagawa, ID Setiawan, EJ Herlambang, Risono: <i>The monitoring of rock mass displacement using extensometer, convergencemeter, and borehole camera in Pongkor Underground Gold Mine, West Java, Indonesia</i>	Proceedings of The 5 th International Symposium on Mining Science and Technology, Xuzhu, Jiangsu, China, 20-22 october, 2004.
17.	B Sulistianto , RK Wattimena, S Kramadibrata, MA Rai, B Dwinagara, K Matsui, ID Setiawan, H Sudarman, EJ Herlambang: <i>Influence of a stope on drift displacements in a fractured rock mass at Pongkor Underground Gold Mine, Indonesia.</i>	Proceedings of The ISRM International Symposium on: 3 rd Asian Rock Mechanics Symposium, Kyoto, Japan, November 30- December 2, 2004
18.	B Sulistianto , PN Hartami, MA Rai, S Kramadibrata, MS Sulaiman, K Matsui, H Sudarman, AT Yudisia; <i>In situ stress measurement at Pongkor Underground Gold Mine, West Java, Indonesia.</i>	Proceedings of 2 nd International Workshop on Earth Science and Technology. Fukuoka, December, 2004
19.	B Dwinagara, RK Wattimena, S Kramadibrata, B Sulistianto , MA Rai, K Matsui, N Shiraishi, ID Setiawan, H Sudarman, E Hendra; <i>Measurement of rockmass deformation modulus using Goodman's jack in Pongkor Underground Gold Mine, West Java, Indonesia</i>	Proceedings of 2 nd International Workshop on Earth Science and Technology. Fukuoka, December, 2004
20.	B Sulistianto , IA Atmadibrata, NP Widodo, S Notosiswoyo; Analisis kemantapan lereng dengan rockfall hazard rating system (RHRS).	Prosiding Temu Profesi Tahunan XIII PERHAPI 2004. Palembang 9-10 Desember 2004.

No.	Karya Akademik	Bentuk karya akademik; Tahun
21.	FA Rosyid, RK Wattimena, B Sulistianto ; Analisis kemantapan lereng dengan metode elemen hingga menggunakan pendekatan strength reduction	Prosiding Temu Profesi Tahunan XIII PERHAPI 2004. Palembang 9-10 Desember 2004.
22.	B Dwinagara, B Sulistianto , RK Wattimena, S Kramadibrata, MS Sulaiman, K Matsui, ID Setiawan; <i>Stoping-induced displacement in a fractured vein at Pongkor Underground Gold Mine, Indonesia.</i>	Procedings of 3 rd International Workshop on Earth Science and Technology. Fukuoka, December 5 th , 2005

VII.PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

No.	Kegiatan	Tempat	Tahun
1.	Instruktur pada Pelatihan Geoteknik Tambang Terbuka PT. Pamapersada Nusantara.	PT. LAPI ITB - PT. Pamapersada Nusantara	14 s.d. 16 Mei 2008
2.	Instruktur pada Kursus Geoteknik di Pertambangan, KK Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan (FTTM) ITB.	FTTM ITB	10 s.d. 12 Nov. 2008
3.	Instruktur pada "Pelatihan Geoteknik pada tambang Terbuka".	PT. LAPI ITB	Jan 2009
4.	Instruktur pada "Pelatihan Peralatan Tambang Terbuka".	Dirjen Mineral, Batubara dan Panas Bumi.	Jan 2009

1.	Instruktur pada Pelatihan Geoteknik Tambang Terbuka PT. Pamapersada Nusantara.	PT. LAPI ITB - PT. Pamapersada Nusantara	14 s.d. 16 Mei 2008
2.	Instruktur pada Kursus Geoteknik di Pertambangan, KK Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan (FTTM) ITB.	FTTM ITB	10 s.d. 12 Nov. 2008
3.	Instruktur pada "Pelatihan Geoteknik pada tambang Terbuka".	PT. LAPI ITB	Jan 2009
4.	Instruktur pada "Pelatihan Peralatan Tambang Terbuka".	Dirjen Mineral, Batubara dan Panas Bumi.	Jan 2009
5.	Instruktur pada Kursus "Program Pengembangan Keahlian Bidang Tambang <i>ANTAM Punctional Development Program (AFDP) Mining</i> ".	PT. Antam (Perseo) Tbk	10-15 Januari 2011
6.	Instruktur pada Kursus "Mining For Non-Miners"	PT. Arutmin Indonesia	1-2 Februari 2011
7.	Instruktur pada "Pelatihan AFDP PT. Antam Tbk. Batch 2.	PT. Antam (Persero) Tbk	2-7 Mei 2011
8.	Instruktur pada Kursus "Mining For Non-Miners" PT. Arutmin Indonesia.	PT. Arutmin Indonesia	15-16 Juni 2011
9.	Instruktur pada Kursus "Geoteknik" PT. Arutmin Indonesia.	PT. Arutmin Indonesia	30 Juli - 1 Agustus 2011

VIII PENGHARGAAN

No.	Nama Penghargaan	Pemberi penghargaan	Tahun
1.	Satyalancana Karya Satya 10 tahun	Pemerintah RI	25 Maret 2002
2.	Best Paper Award pada International Symposium on Earth Science and Technology 2008. December, 2008	CINEST, Kyushu University	2 Desember 2008
3.	Satylancana Karya Satya 20 tahun	Pemerintah RI	2013

IX. JEJARING KERJASAMA YANG SUDAH DIBANGUN

No.	Kegiatan	Nama Mitra (institusi/individu)	Tahun	Keterangan
1.	CINEST	Kyushu University	2008-2012	Seminar
2.	GCOE Novel Carbon	Kyushu University	2008-2012	Seminar dan Student Exchange
3.	Supervisi Geoteknik	PT. Arutmin Indonesia	2010-2012	PT. LAPI
4.	Supervisi Geoteknik	PT. Berau Coal	2008-2012	PT. LAPI
5.	Penilaian Lingkungan Tambang	Direktorat Teknik Minerba	2007 s.d sekr.	
6.	Penelitian	UBPE Pongkor, PT Antam	2001-2011	S1, S2, S3, Konsultasi
7.	Ekskursi Mahasiswa	PT Bukit Asam	2000 s.d sekr.	S1
		PT Indocement Tunggul Prakarsa	2000 s.d sekr.	S1, S2
		UBPE Pongkor, PT Antam	2000 s.d sekr.	S1, S2

IX. PEKERJAAN LAYANAN JASA KEPAKARAN

1989 - sekarang:

- layanan jasa kepakaran terkait dengan konsultasi permasalahan kestabilan lereng, kestabilan bukaan (tambang) bawah tanah dan terowongan di perusahaan pertambangan
- layanan jasa kepakaran terkait dengan perancangan dan perencanaan tambang
- kursus di bidang kestabilan lereng, kestabilan bukaan (tambang) bawah tanah dan terowongan, dan perencanaan tambang

X. LAIN-LAIN

No.	Kegiatan	Tempat	Tahun	Keterangan
1.	Steering Committee Seminar Nasional TPT Perhapi	Jakarta	2007 - 2012	Ketua
2.	PERHAPI	Jakarta	2014-2015	Plt Ketua Umum
3.	Board of Advisory CINEST, Kyushu University	Fukuoka	2008- 2011	Anggota
4.	Steering Committee Seiminar Nasional Pertambangan	Bandung	2010	Ketua
5.	Organizing Comitee Seminar Internasional Novel Carbon	Bandung	2009	Wakil Ketua
6.	Seminar Nasional Batubara	Jakarta	2010 - 2011	Moderator
7.	Tim Kurikulum S1 Teknik Pertambangan ITB, dan S2, S3 Rekayasa Pertambangan 2003 dan 2008	Bandung	2001-2003 dan 2006-2008	Anggota dan Ketua