

Analisis Korelasi *Overbreak* Terhadap *Yield Zone* Pada Area 601 *Crusher Complex* Tambang Bawah Tanah *Grasberg Block Cave* PT. Freeport Indonesia

Zet Rahmadani^{1*}, and Bambang Heriyadi^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, Indonesia

*zetrachmadani3233@gmail.com

**bambangh@ft.unp.ac.id

Abstract. PT. Freeport Indonesia uses two mining systems, namely open pit and underground mining. Underground mining generally uses the block caving method. One of the facilities built on the GBC underground mine is Crusher. The crushers used in the GBC underground mine area are Gyratory type crushers. This crusher is located at location 601 at the level of 2760-2700 masl. Based on the results of observations in the field, it was found that the frequent occurrence of differences in tunnel size between the design and actual field 601 complex crusher is a fix facility opened by blasting. In addition, over break causes a change in the depth of the zone that must be supported, so that an equation is needed which can be used to determine the depth of the zone that must be supported. In the correlation analysis, the highest overbreak was 24.84%. The resulting effect is that the overbreak increases, the yield zone also increases in depth, from the initial design 2,073 meters to 3,127 meters after overbreak. The equation obtained from the overbreak correlation and yield zone is $Y = 9,6727X^2 - 6,751X + 21,129$. Where Y is the maximum overbreak percent value that can be secured by a buffer. Recommendation equation $Y = 9,6727X^2 - 6,751X + 21,129$ as a new parameter in the geotech department to provide buffer recommendations.

Keywords: Overbreak, Yield Zone, Geotechnical, Correlation, Underground Mining

1. Pendahuluan

Kegiatan operasi penambangan dengan menggunakan metode tambang bawah tanah sangat bergantung pada keberhasilan proses penggalian batuan itu sendiri^[1].

Potensi ketidakstabilan yang terjadi pada batuan disekitar area lubang bukaan tambang bawah tanah biasanya akan selalu membutuhkan penanganan khusus terutama atas 2 hal yaitu keselamatan pekerja dan keselamatan peralatan yang terdapat didalam tambang^[2].

PT. Freeport Indonesia (PTFI) merupakan salah satu perusahaan yang bergerak pada bidang pertambangan yang beroperasi di Indonesia dan mulai berproduksi pada tahun 1972. Bahan galian yang ditambang adalah

endapan bijih tembaga beserta bahan galian penyerta berupa emas dan perak.

PT. Freeport Indonesia menggunakan dua sistem penambangan yaitu tambang terbuka (*open pit*) dan tambang bawah tanah (*underground*)^[3]. Penambangan bawah tanah umumnya menggunakan metode *block caving* dan salah satu area yang dipersiapkan untuk menjalankan produksi pada akhir tahun 2018 adalah pada daerah GBC (*Grasberg Block Cave*). Pada metode *block caving* ini sebelum dilakukan penambangan bijih, dilakukan persiapan pembuatan lubang seperti lubang *horizontal* yang mengikuti badan bijih dan berfungsi sebagai jalan masuk, transportasi, serta lubang *vertikal* yang berfungsi untuk *ventilasi* dan jalur *ore* atau *waste*.

Pertimbangan penggunaan metode ini adalah didasarkan pada kondisi batuan, letak dan bentuk dari endapan bijih.

Tahapan *development* dan persiapan untuk produksi pada area GBC (*Grasberg Block Cave*) meliputi pembuatan terowongan dan fasilitas-fasilitas penunjang lainnya. Fasilitas yang harus dibangun di dalam tambang bawah tanah GBC memiliki ukuran dan bentuk yang berbeda-beda dan disesuaikan pada fungsi dan peruntukannya masing-masing.

Salah satu fasilitas yang dibangun pada tambang bawah tanah GBC adalah *Crusher*. *Crusher* adalah alat yang digunakan untuk pemecah batuan menjadi ukuran yang lebih kecil sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan. *Crusher* yang digunakan pada area tambang bawah tanah GBC adalah *crusher* jenis *Gyratory*. *Crusher* ini mulai dibangun pada tahun 2013 dan selesai pada tahun 2015. *Crusher* ini terletak di lokasi 601 pada level 2760-2700 mdpl.

Terowongan pada area *crusher* 601 memiliki dimensi yang lebih besar dibandingkan dengan area lainnya. Oleh karena dimensinya yang besar, maka penanganan dan penggunaan *ground support* juga berbeda. Setelah selesai dibangun pada tahun 2015 dan akan beroperasi pada akhir tahun 2018, area *crusher* 601 harus dilakukan pemantauan berkala dan dilakukan analisis terhadap kondisi aktual di lapangan dan kesesuaian dengan desain.

Pada proses pembukaan *Crusher* yang dilaksanakan pada tahun 2013 sampai 2015, perusahaan menggunakan peledakan untuk memecahkan batuan yang keras. Peledakan ini berdampak pada hasil dimensi ukuran terowongan yang terkadang melebihi atau kurang dari desain yang direncanakan.

Ukuran yang melebihi desain atau biasa disebut *Overbreak*, maka akan terjadi perbedaan pada kedalaman area yang harus disangga atau disebut *yield zone*. Sedangkan rekomendasi yang dikeluarkan oleh departemen geotek berdasarkan dimensi atau ukuran terowongan dari desain awal, seperti pada salah satu bagian *crusher* yaitu *Unloading Station* yang mempunyai dimensi 9.3 meter tetapi aktual dimensi setelah peledakan menjadi 11.2 meter.

Overbreak adalah kelebihan ukuran antara desain terhadap kondisi aktual hasil peledakan terowongan di lapangan. *Overbreak* terjadi karna hasil peledakan tidak bisa dikontrol secara pasti pada ukuran lebih kecil seperti dalam centimeter. Selain karna peledakan, *Overbreak* juga terjadi karna setelah peledakan akan dilakukan proses *Scaling* atau menjatuhkan batuan-

batuan menggantung agar terowongan aman dari bahaya jatuhnya batuan.

Setelah terjadi *Overbreak*, akibat yang akan ditimbulkan adalah pengaruhnya terhadap *Yield zone*. *Yield zone* adalah zona plastis pada terowongan, biasa disebut juga sebagai zona yang harus diberikan penyanggaan. *Yield zone* ini penting diperhatikan karena sangat mempengaruhi dalam proses kedalaman zona yang akan diberikan penyanggaan pada tambang bawah tanah.

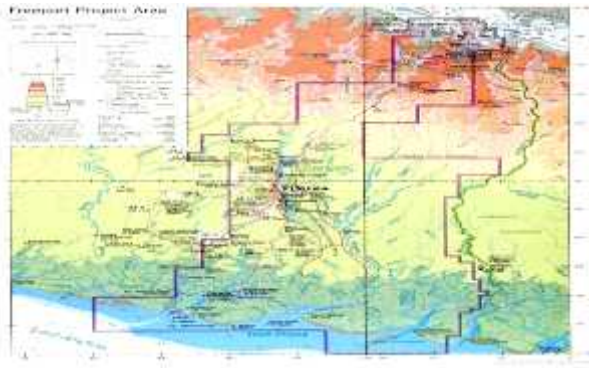
Overbreak ini tidak dimasukkan kedalam parameter dari rekomendasi *ground support* yang dikeluarkan. Sehingga adanya kelebihan ukuran yang belum dimasukkan kedalam perhitungan terhadap zona yang harus disangga. Dengan demikian perlu adanya kajian yang membahas tentang hal ini. agar parameter *Overbreak* ini bisa menghasilkan sebuah persamaan yang nantinya bisa menjadi rekomendasi bagi departemen *geotech* dalam mengeluarkan rekomendasi *ground support*. Hal ini penting dilakukan agar kondisi yang direncanakan dan kesesuaian di lapangan tidak mengalami masalah atau kendala dikemudian hari.

2. Lokasi Penelitian

Lokasi PT. Freeport Indonesia terletak di Pegunungan Jayawijaya, Kecamatan Mimika Timur, Kabupaten Mimika, Propinsi Papua.

Posisi geografis 04° 06' - 04° 012' Lintang Selatan dan 137° 06' - 137° 12' Bujur Timur. Kegiatan operasional PT. Freeport Indonesia terbentang dari pelabuhan Amamapare sampai ke lokasi penambangan bijih di *Grassberg*, yang panjangnya lebih kurang 125 km.

Lokasi PT. Freeport Indonesia dapat dicapai melalui laut dan udara. Melalui laut dapat dicapai dari pelabuhan Amamapare, dilanjutkan dengan perjalanan darat menuju lokasi tambang sejauh 125 km. Melalui udara dapat dicapai dari bandara udara Timika dilanjutkan dengan perjalanan darat menuju lokasi tambang. Perjalanan dari bandar udara Timika ke Tembagapura dapat ditempuh dalam waktu kurang lebih dua jam.



Gambar 1. Peta lokasi operasional dan area Penambangan PT. Freeport Indonesia

3. Kajian Teori

3.1. Klasifikasi Massa Batuan

Klasifikasi massa batuan sudah dikembangkan lebih dari 100 tahun lalu, sejak *Ritter* (1879) mencoba melakukan pendekatan empiris untuk perancangan terowongan, khususnya penentuan kebutuhan penyangga. Dalam klasifikasi geomekanika, diperlukan adanya pengamatan dan perlakuan khusus dari batuan untuk dapat mengetahui karakteristik dari batuan yang akan diteliti^[4].

Dalam mengklasifikasikan massa batuan berdasarkan sistem klasifikasi RMR Bieniawski menggunakan 6 parameter utama yang dijumlahkan untuk memperoleh nilai RMR^[5].

Pengujian geomekanika merupakan hal yang sangat penting dalam industri pertambangan, baik tambang terbuka maupun tambang bawah tanah^[6].

3.2. Rock Quality Designation (RQD)

RQD termasuk salah satu metode secara empiris untuk mengetahui kualitas massa batuan di dalam rancangan pada batuan yang dikembangkan pada tahun 1964 oleh Deere. Nilai RQD ini dapat pula dipakai untuk memperkirakan penyanggaan terowongan dan merupakan salah satu parameter dalam penentuan klasifikasi massa batuan RMR

Priest dan Hudson (1976) memberikan hubungan antara nilai RQD dengan jarak antar bidang diskontinuitas yang ada di dalam massa batuan atau joint spacing (js) dengan persamaan berikut^[7].

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

3.3. Klasifikasi massa batuan sistem Q (*hoek and brown, 1980*)

Berdasarkan jumlah kasus besar dalam penggalian bawah tanah, Barton et al. (1974) dari *Norwegian Geotechnical Institute* mengusulkan *Tunnelling Quality Index (Q)* atau kualitas indeks terowongan untuk penentuan karakteristik massa batuan dan kebutuhan penyangga. Dimana nilai numerik indeks (Q) bervariasi secara logaritmik dari 0.001 sampai 1000.

3.4. Sistem Penyangga (*ground support*)

Pemilihan metode penambangan terhadap suatu cebakan tertentu dapat dibantu dengan pemahaman terhadap kendala dan aplikasi setiap metode yang ada^[8]. Sistem penyanggaan tambang bawah tanah digunakan untuk membantu penyanggaan beban batuan.

Tujuan utama dari suatu sistem penyanggaan batuan adalah untuk membantu massa batuan menyangga dirinya sendiri. Hal ini diperlukan pada saat batuan mempunyai kecenderungan untuk mengalami keruntuhan karena perubahan tegangan dari keadaan aslinya sebagai akibat dari berbagai macam hal, misalnya penggalian bawah tanah. Penyanggan ini ada yang bersifat sementara maupun permanen tergantung pada maksud dan tujuan dalam penggalian tersebut.

3.5 Peledakan dan *Overbreak*

Peledakan tambang bawah tanah dilakukan dengan tujuan meledakan batuan untuk mendapatkan ruang yang berfungsi sebagai jalan masuk, gudang, terowongan pipa, dan lain-lain. Selain itu juga berguna untuk membongkar / mengambil material (dalam kegiatan penambangan).

Peledakan tambang bawah tanah memerlukan lubang bebas kedua (cut) mengingat tambang bawah tanah hanya terdapat satu bidang bebas^[9].

Hal yang paling penting dalam kegiatan tambang bawah tanah adalah membuat lubang-lubang buatan (terowongan). Umumnya terowongan dibuat dengan arah mendatar, *vertical* dan miring. Tahapan –tahapan pembuatan terowongan adalah Pemboran, Pengisian lubang ledak, Pembersihan atap, Pemuatan dan pengangkutan dan persiapan kegiatan selanjutnya.

3.6 Fase-fase batuan dan zona *Plastis (Yield Zone)*

Batuan mempunyai perilaku yang berbeda-beda pada saat menerima beban. Perilaku ini dapat ditentukan

dengan pengujian di laboratorium yaitu dengan pengujian kuat tekan. Adapun fase-fase pada batuan adalah Closing Crack, Elastis, Plastis dan failure.

4. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 1 april – 30 juli 2018. Lokasi penelitian ini terletak di Pegunungan Jayawijaya, Kecamatan Mimika Timur, Kabupaten Mimika, Propinsi Papua.

3.1 Jenis Penelitian

Pelaksanaan penelitian mengenai analisis korelasi *Overbreak* dan *Yield Zone* area 601 *Crusher Complex* Tambang Bawah Tanah *Grasberg Block Cave* PT. Freeport Indonesia. Kegiatan penelitian meliputi observasi lapangan, pengumpulan referensi dan data, pengolahan data, konsultasi dan bimbingan, penyusunan laporan, dan pengumpulan draft penelitian.

3.2. Teknik Pengumpulan Data

Dalam melakukan penelitian ini menggabungkan antara teori dan kenyataan yang terdapat di lapangan. Tahap pengumpulan data dimulai dengan studi literatur yaitu mencari referensi teori yang relevan dengan kasus atau permasalahan yang diangkat pada penelitian ini. Adapun referensi ini dapat ditemukan atau dicari pada buku, jurnal dan artikel ilmiah.

Selanjutnya dilakukan observasi dan pengamatan secara langsung dilapangan serta mencari tambahan data-data pendukung dimulai dari menentukan titik dan batas lokasi pengamatan agar penelitian tidak meluas, tidak keluar dari permasalahan yang ada, serta data yang diambil dapat dimanfaatkan secara efektif kemudian mencocokkan data-data yang telah ada.

Pengambilan data langsung di lapangan dipakai sebagai salah satu bahan untuk mengetahui permasalahan yang ada sehingga dapat diambil suatu solusi yang tepat. Data-data yang diambil antara lain adalah *Section Crusher 601 Complex*. *Section* ini diambil dari desain dan aktual desain pada area *crusher 601 kompleks* pada *software Vulcan* dan diproses dengan menggunakan *software Autocad*. Pada *software* ini desain diubah dari 3 dimensi menjadi 2 dimensi. Data ini nantinya akan digunakan untuk pengolahan di *Software Phase2*. Data-data yang diambil antara lain :

1. Section *Crusher 601 kompleks*

Section ini diambil dari desain dan aktual desain pada area *crusher 601 kompleks* pada *software Vulcan* dan diproses dengan menggunakan *software Autocad*. Pada *software* ini desain diubah dari 3

dimensi menjadi 2 dimensi. Data ini nantinya akan digunakan untuk pengolahan di *Software Phase2*.

2. Data *Stress Tensor GBC*

Data ini diambil dari *tools* yang dimiliki PT. Freeport Indonesia dalam menentukan *stress* atau tekanan yang ada pada batuan di lokasi perusahaan. Pada data ini diambil sigma 1, sigma 2, sigma 3, dan sudut kemiringan dari arah *stress* yang bekerja pada *crusher 601 kompleks*

3. Dimensi *Ekskavasi*

Dimensi *Ekskavasi* diambil dari desain dan aktual desain pada area *crusher 601 kompleks* untuk menentukan persentase *overbreak*. Data ini diambil dengan menggunakan *software autocad*.

4. Data *Overbreak*

Data *Overbreak* diambil dari desain dan aktual desain dengan menggunakan *software Autocad*. Data ini kemudian dipersentasekan dari masing-masing area dan masing-masing *section*. Data ini akan digunakan untuk *input* ke parameter persamaan yang dikeluarkan dari hasil penelitian.

3.3. Teknik Analisis Data

Data yang telah terkumpul baik dari studi literatur maupun dari pengambilan di lapangan dikelompokkan berdasarkan jenis dan kegunaannya, sehingga akan terlihat apakah terjadi penyimpangan atau tidak^[10]. Jika terjadi penyimpangan data yang cukup tinggi maka pengambilan data harus semakin banyak sehingga dapat diambil rata-rata yang mewakili keadaan.

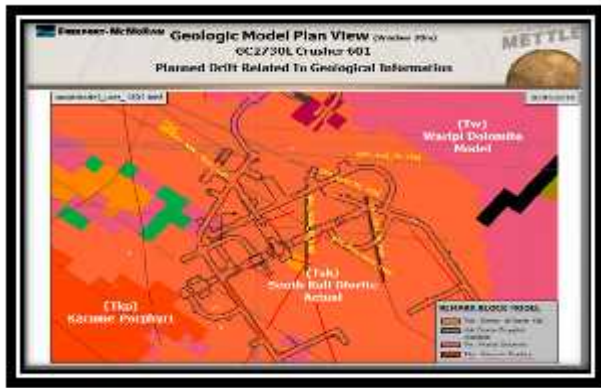
Data-data tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan suatu kesimpulan pertama atau sementara. Kemudian dilakukan pengecekan kembali atau diteliti ulang apakah kesimpulan tersebut cukup baik^[11].

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengumpulan Data

4.1.1 Geologi lokasi penelitian

PT. Freeport Indonesia terletak pada posisi geografis 04° 06' - 04° 012' Lintang Selatan dan 137° 06' – 137° 12' Bujur Timur. Lokasi penelitian terletak di area tambang bawah tanah *Grasber Block Cave* pada elevasi 2.700 – 2.760 mdpl. Batuan pada lokasi penelitian adalah *South Kali Diorite*. Secara umum informasi geologi pada lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Informasi geologi lokasi penelitian

Pada lokasi penelitian telah dilakukan pengeboran geologi, sehingga foto *core bor hole* bisa dilihat pada gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Foto *core bore hole*

4.1.2 Section Crusher kompleks

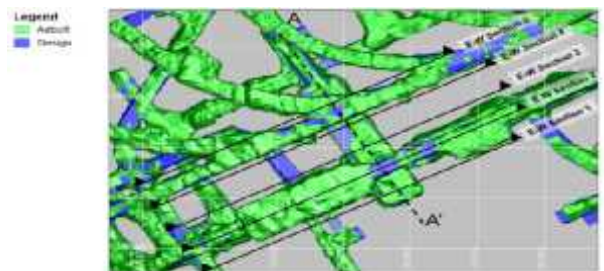
Daerah *Crusher* 601 merupakan area kompleks yang terletak pada tambang bawah tanah *Grasberg Block Cave* PT. Freeport Indonesia. Pada area ini terdapat beberapa bagian, diantaranya *Unloading station*, *Coarse Ore Bin*, *Aprron Feeder*, *Crusher Chamber*, *Crusher Pocket* dan *Eccentric*, serta lokasi pendukung lainnya seperti *Tail Chamber* dan *Transfer*. Penulis memperoleh desain awal dan desain aktual atau desain setelah dibuka terowongannya dari departemen *Engineering Underground*.

Desain awal dan desain aktual ini digunakan oleh departemen *Engineering* untuk melihat kondisi dalam pemantauan lokasi dan melihat kemajuan terowongan. Untuk desain awal dan desain aktual dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. *Actual dan Design* 601 *Crusher complex*

Setelah desain awal dan desain aktual didapatkan, maka proses selanjutnya adalah penulis melakukan pemotongan dan pemodelan pada area *crusher* 601 dengan menggunakan *software Autocad* sehingga bisa dilakukan pemodelan setiap *section* dengan menggunakan *software Phase 2*. Contoh pembuatan *section* bisa dilihat pada gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. *Cross Section* *Crusher* kompleks

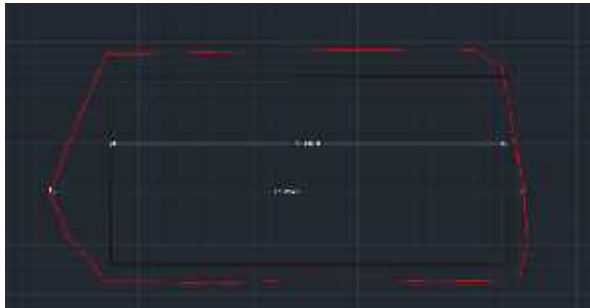
Setelah dilakukan *section* maka salah satu contoh *e-w section* 2 secara keseluruhan pada *crusher* 601 adalah seperti gambar 6 di bawah ini beserta keterangan setiap areanya.



Gambar 6. Komponen 601 *Crusher* Komplek

Area *crusher* 601 kompleks terletak pada elevasi 2.700 – 2760 mdpl, setelah mendapatkan *section* setiap area maka langkah selanjutnya adalah mengolah dan memodelkan *section* tersebut. *Section* yang didapatkan dengan menggunakan *Software Autocad* selanjutnya diolah dari 3 dimensi menjadi 2 dimensi, agar bisa diolah ke dalam *Software Phase 2*. *Section* yang akan dimodelkan dibagi menjadi 2 jenis, yaitu *Section* desain

dan *Section* aktual setelah terowongan dibuka. Contoh *Section* yang diolah pada *Software Autocad* bisa dilihat pada gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7. Contoh *Section* pada *Software Autocad*

Dari gambar di atas, *section* garis berwarna hitam dengan bentuk segi empat adalah desain awal. Sedangkan *section* garis berwarna merah merupakan aktual desain setelah dilakukan peledakan.

4.1.3 Data koordinat dan Stress Tensor

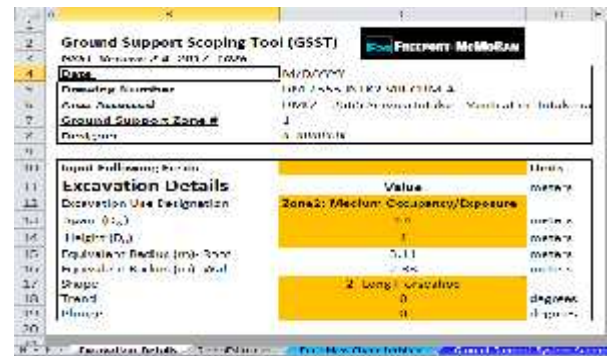
Data koordinat lokasi didapatkan dari desain yang sudah dimasukkan ke dalam *software Autocad*. Pada proses ini juga diperoleh kemiringan arah bukaan terhadap garis horizontal. Kedua data tersebut diambil untuk nantinya digunakan dalam proses mendapatkan data *stress tensor* pada *tools* GSST. Koordinat dan elevasi pada daerah penelitian yang sudah dibagi menjadi perbagian dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Data koordinat *Crusher* Kompleks 601

No	Lokasi	X	Y	Z (elevasi)
1	Unloading Station	704901.3693	9567895.3058	2760
2	Coarse Ore Bin	705043.7128	9567803.7649	2750
3	Apron Feeder	705188.8763	9567711.4756	2740
4	Crusher Chumber	853176.9199	9557222.8430	2730
5	Eccentric	852340.051	9557175.0719	2720
6	Tail	705486.3065	9567581.7339	2710
7	Transfer	705309.9558	9567594.0099	2700

Setelah data koordinat, elevasi dan kemiringan lubang bukaan diperoleh, selanjutnya dimasukkan ke

dalam GSST. GSST yang digunakan oleh PT. Freeport merupakan sebuah *Tool* yang dirancang dengan terlebih dahulu melakukan pengeboran di lokasi untuk mengetahui data *stress insitu* pada batuan. Dari data *stress insitu* inilah dimasukkan dan diolah menjadi sebuah *tool* yang bisa digunakan dalam perhitungan mendapatkan data *stress* pada lokasi tambang bawah tanah PT. Freeport Indonesia. GSST yang digunakan bisa dilihat pada gambar 8 di bawah ini

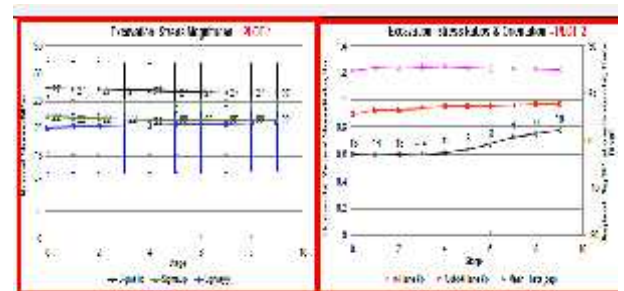


Gambar 8. *Ground Support Scoping Tool* (GSST)

Dari *Tools* GSST yang sudah dijalankan, maka beberapa data yang diperlukan bisa diperoleh. Data-data tersebut adalah data stress seperti sigma 1, sigma 2, sigma 3 dan arah stress yang ada pada lokasi penelitian. Data inilah nantinya akan dimasukkan ke dalam pemodelan pada *Software Phase 2*. Data-data yang didapatkan dengan menggunakan GSST ini bisa dilihat pada gambar 9 dan 10 di bawah ini.



Gambar 9. *GSST Unloading Station*



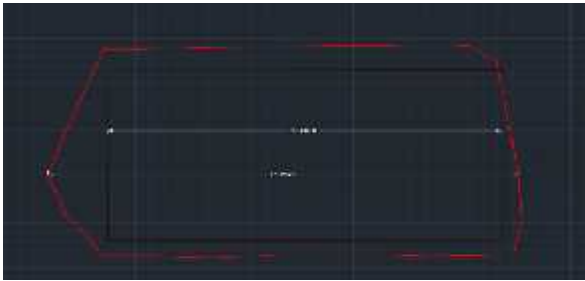
Gambar 10. *GSST Stress Unloading Station*

Dari gambar 10 dapat dibaca tentang *stress* dan arah *stress* yang bekerja pada lokasi penelitian. Dalam hal ini peneliti mengambil pemodelan pada *stage* 6, yaitu pada tahun 2020 kuartal 4. Nilai sigma 1 (stress terbesar) yaitu 27 mpa, sigma 3 yaitu 22 mpa dan arah *stress* -3° .

4.1.4 Data Overbreak

Sebelum masuk kepada analisa hasil pemodelan, penulis terlebih dahulu membuat *overbreak* dengan menjadikannya dalam bentuk persen. Data inilah yang nanti akan dikorelasikan dengan *yield zone* hasil pemodelan dari *software Phase 2*.

Overbreak didapatkan dari membandingkan dan mempersentasikan desain awal dengan desain aktual setelah terowongan dibuka. Pengambilan data *Overbreak* dapat dilihat pada gambar 11 di bawah ini.



Gambar 11. Pengukuran data *over break*

Dari gambar 28 terlihat section 1 unloading station pada koordinat X 704901.3693 dan Y 9567895.3058 pada elevasi 2.760 mdpl. Kotak berwarna hitam yang merupakan desain awal dari terowongan yang akan dibuka. Bangunan berwarna merah merupakan terowongan aktual setelah dibuka. Data *Overbreak* diambil dari mengukur kedua bangunan itu lalu dipersentasekan kelebihan ukuran aktual terhadap desain awal, sehingga didapatlah persen *overbreak* dari *section* tersebut. Hasil *Overbreak* pada area *crusher* 601 dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Data Over Break Back (atas) Crusher 601 Komplek

No	Lokasi	Section	desain (m)	Aktual (m)	Over break (%)
1	Unloading Station	1	9.3	11.43	22.90
		2	9.3	11.2	20.43
		3	9.3	11.22	20.65
		4	9.3	11.42	22.80
		5	9.3	11.61	24.84
		6	9.3	11.46	23.23
2	Apron Feeder	1	5.64	6.84	21.28
		2	8.1	8.62	6.42
		3	8.05	8.62	7.08
		4	7.9	8.8	11.39
3	Crusher	1	15.32	16.11	5.16
		2	15.32	16.52	7.83
		3	15.32	16.44	7.31
		4	15.32	16.44	7.31
		5	15.32	16.11	5.16
		6	15.32	16.1	5.09
		7	15.32	16.29	6.33
		8	15.32	16.2	5.74
		9	15.32	16.18	5.61

4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan melakukan pemodelan menggunakan *Software Phase 2*. *Software* ini melakukan pemodelan dengan bentuk 2 dimensi. Setelah *Section* diubah dari 3 dimensi menjadi 2 dimensi, selanjutnya *Section* di *import* ke dalam *Software Phase 2* dengan format file DXF. Adapun tahapan-tahapan pemodelan adalah sebagai berikut :

a. *Import Section* dan *Bounderies*

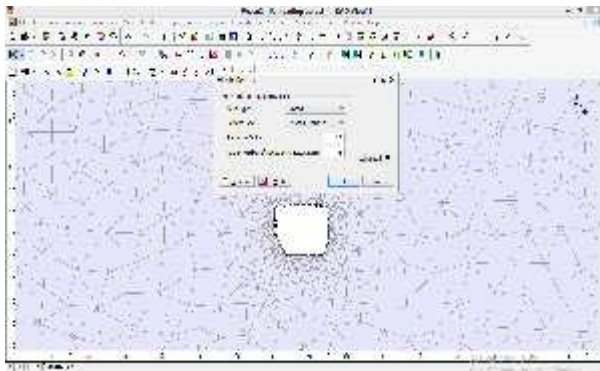
Tahap awal dalam pemodelan adalah memasukan data *section* dari olahan *Autocad* ke dalam *Phase 2*. Pada tahap ini *section* disiapkan dalam bentuk file dxf.

Setelah *section* dimasukan, lalu berikan *Bounderies* sebagai batasan pemodelan pada *section*.

Bounderies ini penting diberikan agar *Section* yang dimodelkan tidak mengalami gangguan dari eksternal atau lokasi luar, sehingga pemodelan bisa maksimal dan tidak dipengaruhi oleh hal lain dalam hasil pembacaan. *Bounderies* penulis masukan dengan ukuran 10 kali panjang jari-jari dimensi ekskavasi.

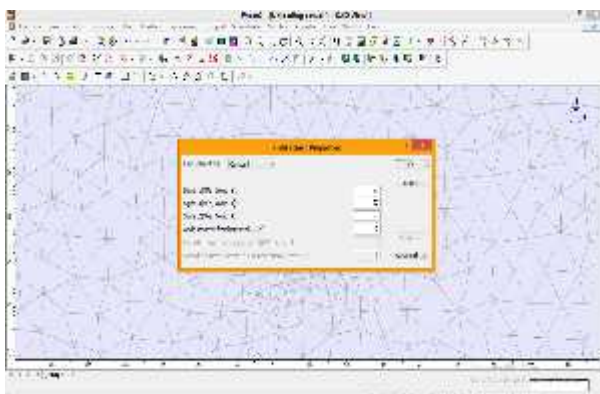
b. *Input mesh* dan data *stress*

Setelah *section* dan *bounderies* selesai, tahap selanjutnya adalah memberikan *mesh* pada model. *Mesh* diberikan dengan tujuan sebagai elemen untuk menghitung dan memberikan gambaran pada model. *Software* ini menggunakan metode *numerical* dalam melakukan pemodelan pada *section*. Setelah *mesh* kemudian dilakukan penguncian X, Y *strain* pada *bounderies*. Proses pemberian *mesh* pada *section* bisa dilihat pada gambar 12 di bawah ini.



Gambar 12. Mesh Setup

Kemudian dilanjutkan dengan memasukan data *stress* pada model. Kompenan yang harus dimasukan adalah sigma 1, sigma z, sigma 3 dan arah kemiringan sigma 1. Data *stress* ini didapat dari *Ground Support Scopping Tools* (GSST) yang dimiliki PT. Freeport Indonesia. *Input data stress* bisa dilihat pada gambar 13 di bawah ini.

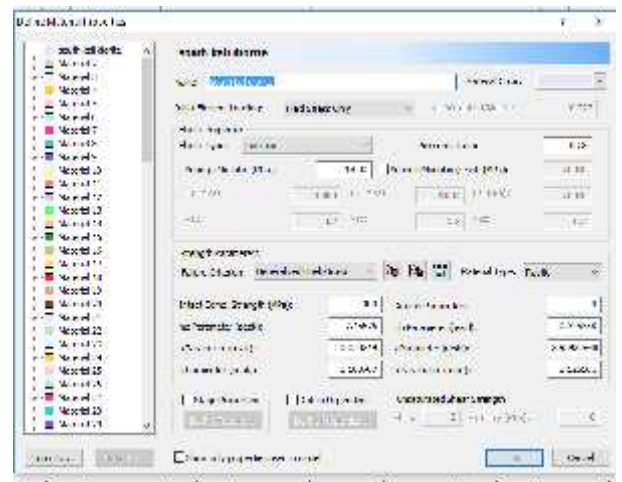


Gambar 13. Field Stress Properties

c. *Input Material Properties*

Salah satu bagian penting dalam pemodelan adalah input material properties seperti nilai kekuatan batuan, nilai *modulus young* atau kekakuan pada batuan, serta parameter batuan lainnya. Parameter batuan ini penulis dapatkan dari PT. Freeport Indonesia sebagai data sekunder.

Pada tahap awal input material properties, kita masukan jenis batuan. Dalam hal ini pada daerah penelitian jenis batumannya adalah *south-kali-diorite*, nilai *modulus young* 4.700 Mpa dan nilai *poission ratio* 0,28. Selengkapnya bisa dilihat pada gambar 14 di bawah ini.

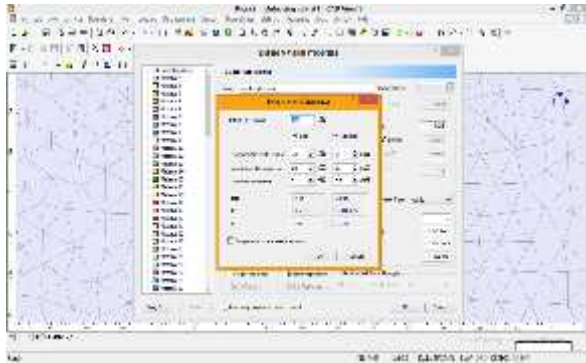


Gambar 14. Material properties batuan

Pada gambar di atas, penulis mengambil kriteria runtuhan *Generalized Hoek and Brown*. Tipe ini dipilih karna jenis batuan *South-kali-diorite* dengan tipe pecahan *brittle*. *Material Type* yang dipilih adalah *Plastic*, karna kondisi yang akan dilakukan pemodelan pada kondisi *plastis*.

Parameter material properties didapat dari hasil pengujian laboratorium terhadap batuan utuh (*intact rock*) [12].

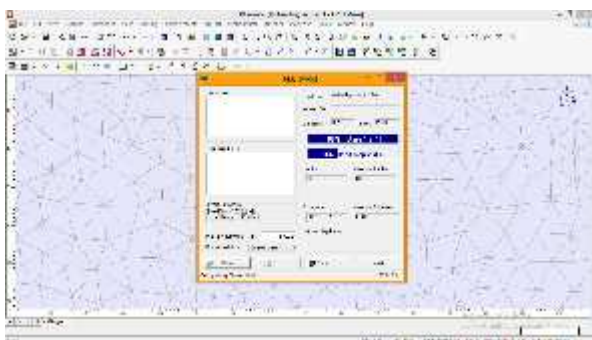
Setelah selesai dengan *material properties*, selanjutnya penulis memasukan nilai *Geological Strength Index* (GSI). GSI ini adalah penentuan kekuatan pada batuan setelah melihat faktor gangguan pada batuan. Input nilai GSI bisa dilihat pada gambar 15.



Gambar 15. Geological Strength Index (GSI)

d. *Compute*

Setelah semua proses *input* selesai, selanjutnya pemodelan bisa di *running* atau dalam *software* ini biasa disebut *compute*. Proses ini bisa berlangsung beberapa menit, tergantung pada banyak material dan kondisi pada *section* yang akan di *running*. Proses perhitungan menggunakan elemen hingga dalam teori dikenal dengan perhitungan numerik dengan dasar klasifikasi massa batuan [13]. Proses *compute* bisa dilihat pada gambar 16 di bawah ini.

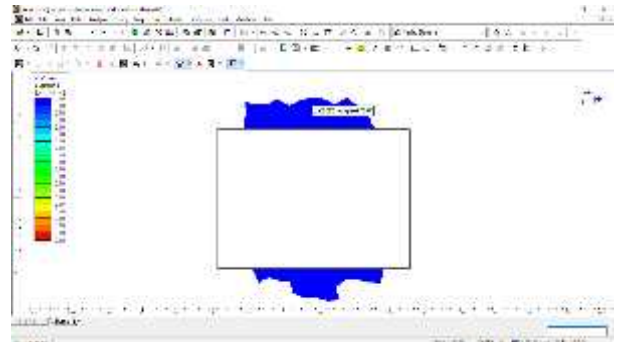


Gambar 16. Proses *Compute*

4.3 Analisis Hasil

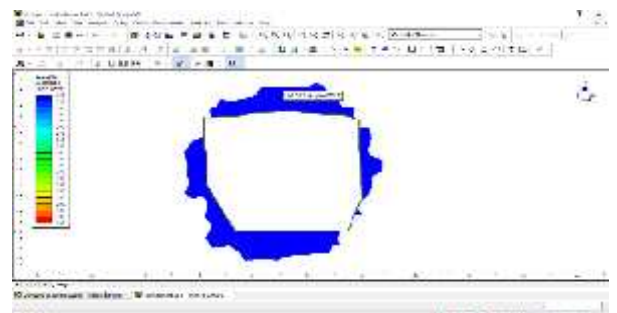
Pengolahan menggunakan *software phase2* menggunakan perhitungan *finite element* (elemen hingga). Pada proses ini akan didapat hasil berupa panjang zona yang *yield* atau zona *plastis* yang harus disangga pada terowongan *crusher* kompleks. Dari hasil itulah akan dikorelasikan dengan pengaruh *overbreak* pada masing-masing bagian di *crusher* kompleks.

Setelah didapatkan *overbreak*, selanjutnya kita lakukan pengolahan pada data *yield zone* hasil pemodelan dari *software*. Pada fase ini kita menggunakan kondisi 100% *yield*. Daerah yang berwarna biru pada gambar dibawah ini adalah zona *yield* yang terdapat pada terowongan. Artinya daerah inilah yang harus diberikan *support* atau penyanggaan. Pada gambar di bawah adalah zona *yield* pada desain awal sebelum pembangunan terowongan. Contoh pengambilan data zona *yield* bisa dilihat pada gambar 17 di bawah ini.



Gambar 17. Yield Zone

Setelah zona *yield* pada desain awal kita dapatkan. Maka langkah selanjutnya adalah kita analisa zona *yield* pada desain aktual, yaitu desain setelah terowongan dibuka. Pertambahan panjang zona *yield* antara desain awal dan desain setelah dibuka terowongan inilah nantinya yang akan kita korelasikan dengan persen *overbreak*. Zona *yield* pada desain aktual bisa dilihat pada gambar 18 dibawah ini.



Gambar 18. Yield Zone desain aktual

Setelah didapatkan zona *yield* pada desain awal dan desain aktual, barulah didapatkan pertambahan zona *yield* pada desain aktual terhadap desain awal. Dengan data inilah nantinya akan dikorelasikan dengan persen *overbreak*. Tabel data selisih zona *yield* bisa dilihat pada tabel 3 di bawah ini.

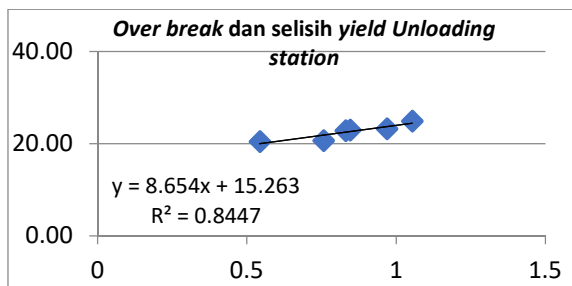
Tabel 3. Selisih zona yield

Section	Over break (%)	Yield zone (m)	Selisih (m)
design		2.073	
1	22.90	2.919	0.846
2	20.43	2.616	0.543
3	20.65	2.829	0.756
4	22.80	2.904	0.831
5	24.84	3.127	1.054
6	23.23	3.042	0.969

Setelah Selisih zona yield didapatkan, selanjutnya data ini dimasukkan ke dalam chart untuk mendapatkan persamaan yang nantinya akan digunakan untuk menentukan korelasi overbreak dan yield zone. Dalam analisis ini, penulis mencoba menggunakan 5 format trendline. Penggunaan 5 format ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan hasil yang maksimal terhadap korelasi yang dianalisis. kelima format trendline itu adalah linier, exponensial, logarithmic, polynomial dan power.

a. Linier

Chart dengan format linier berdasarkan data ini dapat dilihat pada gambar 19 di bawah ini.

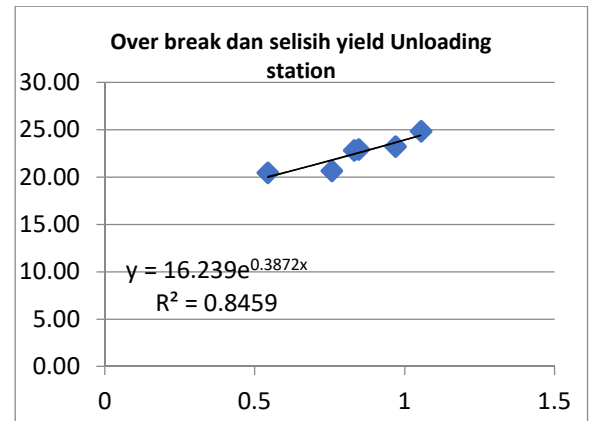


Gambar 19. Overbreak dan selisih yield zone linier

Berdasarkan format linier ini didapatkan bahwa korelasi dari persen overbreak terhadap selisih zona yield dalam meter dengan $R^2 = 0,8447$. Artinya korelasi atau pengaruh overbreak terhadap zona yield pada analisis sebesar 84,47%.

b. Exponensial

Chart dengan format exponensial berdasarkan data ini dapat dilihat pada gambar 20 di bawah ini.

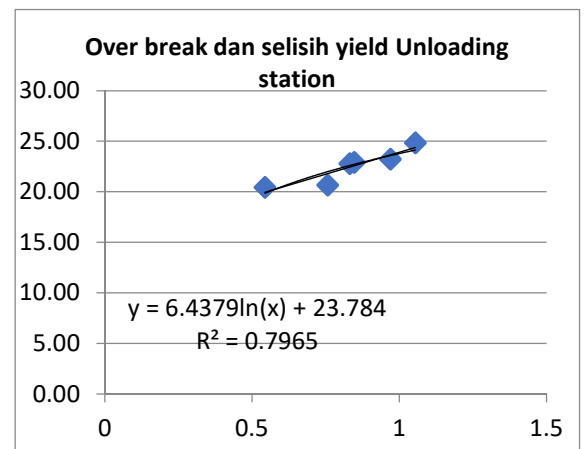


Gambar 20. Overbreak dan selisih yield zone Exponensial

Berdasarkan format exponensial ini didapatkan bahwa korelasi dari persen overbreak terhadap selisih zona yield dalam meter dengan $R^2 = 0,8459$. Artinya korelasi atau pengaruh overbreak terhadap zona yield pada analisis sebesar 84,59%.

c. Logarithmic

Chart dengan format Logarithmic berdasarkan data ini dapat dilihat pada gambar 21 di bawah ini.

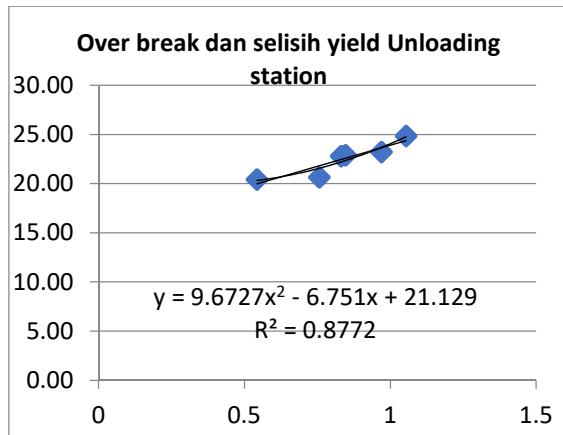


Gambar 21. Overbreak dan selisih yield zone Logarithmic

Berdasarkan format Logarithmic ini didapatkan bahwa korelasi dari persen overbreak terhadap selisih zona yield dalam meter dengan $R^2 = 0,7965$. Artinya korelasi atau pengaruh overbreak terhadap zona yield pada analisis sebesar 79,65%.

d. Polynomial

Chart dengan format Polynomial berdasarkan data ini dapat dilihat pada gambar 22.

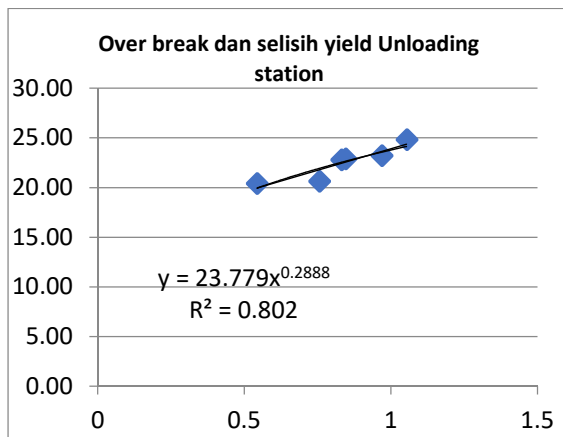


Gambar 22. Overbreak dan selisih yield zone Polynomial

Berdasarkan format *Polynomial* ini didapatkan bahwa korelasi dari persen *overbreak* terhadap selisih *zona yield* dalam meter dengan $R^2 = 0,8772$. Artinya korelasi atau pengaruh *overbreak* terhadap *zona yield* pada analisis sebesar 87,72%.

e. *Power*

Chart dengan format *Power* berdasarkan data ini dapat dilihat pada gambar 23 di bawah ini.



Gambar 23. Overbreak dan selisih yield zone Power

Berdasarkan format *Power* ini didapatkan bahwa korelasi dari persen *overbreak* terhadap selisih *zona yield* dalam meter dengan $R^2 = 0,802$. Artinya korelasi atau pengaruh *overbreak* terhadap *zona yield* pada analisis sebesar 80,02%.

Berdasarkan 5 format di atas, maka korelasi yang paling tinggi ditunjukkan oleh format *polynomial* dengan $R^2 = 0,8772$. Sehingga penulis menjadikan format *trendline polynomial* ini sebagai bahan analisis.

Dari hasil analisis data *overbreak* dan *yield zone*, didapatkan korelasinya adalah semakin bertambahnya *overbreak* maka *yield zone* yang terjadi pada area itu

juga semakin panjang. Hal ini sesuai dengan teori pada bidang *geotech underground* dan juga beberapa penelitian lain yang menyatakan bahwa semakin besar ekskavasi maka semakin besar pula zona rusak yang harus disangga.^[14]

Keterangan ini sesuai dengan *journal of Rock Mechanick and Geotechnical Engineering*. Semakin besar bukaan maka zona rusak juga akan berbanding lurus dengan besar bukaan. Selain itu juga dibahas pada jurnal *predicting Excavation Damage zone Depths in Britle Rock* tentang prediksi zona rusak pada batuan *britle*. Pada penelitian penulis juga menggunakan batuan *britle* yaitu *south-kali-diorite*. Dengan demikian korelasi yang didapatkan menyatakan semakin besar *overbreak* maka *yield zone* juga semakin besar atau semakin panjang.

4.4 Rekomendasi parameter persamaan korelasi overbreak dan yield zone

Dalam proses pemberian rekomendasi penyanggaan dalam bidang *geotech underground*, beberapa hal dijadikan parameter. Namun perhitungan korelasi *overbreak* terhadap *yield zone* belum diperhitungkan. Korelasi yang didapat adalah persentasi *overbreak* dan pengaruhnya terhadap kedalaman *zona yield* yang harus disangga. Dari *chart* dengan format *Polynomial* yang sudah ditampilkan di atas, didapatkan rekomendasi persamaan yaitu :

$$Y = 9.6727x^2 - 6.751x + 21.129 \tag{3}$$

Dari *chart* dengan format *Polynomial* yang sudah ditampilkan di atas, didapatkan rekomendasi persamaan yaitu

$$Y = 9.6727x^2 - 6.751x + 21.129 \tag{4}$$

Dimana : Y = Persen *Overbreak*

X = Selisih *yield*

Dari persamaan itu, jika kita misalkan pada sebuah kasus dimana pada area tersebut digunakan penyanggaan dengan panjang *bolt* pada 5 meter. Dari 1 meter itu harus digunakan untuk *Critical Bond Length*. Jadi kedalaman yang bisa diamankan untuk *zona yield* tinggal 4 meter. Maka $4\text{ m} - 2,073\text{ m} = 1,927\text{ m}$. Dimana 1,927 m adalah nilai x, jika dimasukkan ke persamaan maka $Y = 9.6727x^2 - 6.751x + 21.129$. Didapatkan nilai Y 44,04 artinya dari 5 meter *bolt* yang dipasang hanya akan bisa menahan *zona yield* pada *overbreak* 44,04%.

Dengan persamaan ini kita bisa mengetahui batas *Overbreak* yang bisa diamankan oleh penyangga. Dengan ketentuan 1 meter *bolt* disiapkan untuk *Critical bond length* (batas panjang pengamanan *bolt*). Tabel

Overbreak yang bisa diamankan setiap panjang *bolt* per meter bisa dilihat pada tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. *Overbreak* yang bisa di *cover* oleh panjang *bolt*

No	Panjang Bolt (m)	Batas <i>Overbreak</i> (%)
1	4 meter	23,18 %
2	5 meter	44,04 %
3	6 meter	84,24 %

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

1. Nilai *Overbreak* yang didapatkan pada area *Crusher* 601 kompleks adalah 24,84% sebagai nilai tertinggi yang dihasilkan pada area penelitian.
2. Pengaruh *overbreak* terhadap *yield zone* adalah semakin meningkatnya zona *yield*. Hal ini terbukti dengan pertambahan zona *yield* yang terjadi dari desain awal yaitu 2,073 meter menjadi 3,127 meter.
3. Persamaan yang didapat dari korelasi *overbreak* dan *yield zone* adalah $Y = 9.6727x^2 - 6.751x + 21.129$. Dimana Y sebagai nilai batas maksimum persen *overbreak* yang bisa diamankan oleh penyangga.
4. Rekomendasi persamaan $Y = 9.6727x^2 - 6.751x + 21.129$ sebagai parameter baru dalam departemen geotek untuk memberikan rekomendasi penyanggaan.

5.2. Saran

1. Memasukkan perhitungan persamaan *overbreak* maksimum dalam parameter penentuan rekomendasi *ground support*.
2. Melakukan pemodelan dengan *software* tiga dimensi untuk perbandingan keakuratan hasil
3. Melakukan pengecekan berkala terhadap area *crusher* setelah dilakukan pengoperasian dan produksi.
4. Melakukan *monitoring* menggunakan *ZF Scan* untuk mengetahui kondisi batuan pada terowongan setelah dibangun.

Daftar Pustaka

- [1] Asmiani, Nur, dkk. *Studi Pemboran dan Peledakan Tambang Bawah Tanah Kabupaten Halmahera Utara Provinsi Maluku Utara*. Jurnal Geomine **4**, 2. Makassar: Universitas Muslim Indonesia (2016).

- [2] Pribadi, Rifki Sholeh dan Sundeck Hariyadi. *Kajian Geologi Teknik Pada Rencana Pembuatan Tunnel Tambang Bawah Tanah*. Jurnal Teknik Geologi **1**, 17. Kalimantan Timur: Universitas Kutai Kartanegara (2015).
- [3] Tirayoh, Ellisa dan Arista Muhartanto. *Analisis Struktur Geologi dan Penambangan Bawah Tanah Terhadap Propagasi Subsidence di Daerah Ertzberg PT. Freeport Indonesia*. Jurnal Teknik Geologi **8**, 2. Jakarta: Universitas Trisakti (2014).
- [4] Firaz, Muh Fathin, dkk. *Analisis Kestabilan Lubang Bukaan Tambang Bawah Tanah Menggunakan Elemen Hingga*. Jurnal Teknik Pertambangan **3**, 2. Yogyakarta: Universitas Pembangunan Nasional (2016).
- [5] Desmawita, Ika. *Analisis Kestabilan Lubang Bukaan Berdasarkan Klasifikasi Geomekanika Pada Tambang Bawah Tanah CV Tahiti Coal*. Jurnal Bina Tambang **3**, 1. Padang: Universitas Negeri Padang (2018).
- [6] Nazri, Muhammad. *Analisis Kestabilan Lubang Bukaan dengan Menggunakan Data dari Alat Ukur Flat Jack pada Dinding Tambang Bawah Tanah PT. NAL*. Jurnal Bina Tambang **3**, 4. Padang: Universitas Negeri Padang (2018).
- [7] Prengki, I., & Heriyadi, B. (2018). Analisis Beban Runtuh dan Evaluasi Lubang Bukaan Berdasarkan Metode Rock Mass Rating dan Q-System pada Tambang Bawah Tanah CV. Bara Mitra Kencana, Kota Sawahlunto, Sumatera Barat. *Bina Tambang*, 3(4), 1729-1739.
- [8] Prasetianto, W. E., & Heriyadi, B. (2018). Analisis Penyanggaan Berdasarkan Karakteristik Batuan Pada Atap dan Dinding Lubang Tambang Batubara Bawah Tanah BMK-04 di CV. Bara Mitra Kencana, Kecamatan Talawi, Sawahlunto. *Bina Tambang*, 3(3), 1122-1132.
- [9] Hazzaliandiah, dkk. *Analisis Peledakan dan Kemajuan Front Bukaan Pada Tambang Bawah Tanah Bijih Emas PT. Cibaliung Sumber Daya*. Jurnal Teknik Pertambangan **1**, 2. Palembang: Universitas Sriwijaya (2017).
- [10] Sugiyono. *Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Jakarta: Alfabeta. (2017)
- [11] Nawawi, H. Hadari. *Metode Penelitian Deskriptif*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press. (1983)

- [12] Putra, Faisal Akbar, dkk. *Kajian Geoteknik Terhadap Rancangan Penambangan Batubara Bawah Tanah Metode Shortwall Di CV Artha Pratama Jaya*. Jurnal Teknik Pertambangan **1**, 1. Yogyakarta: universitas Pembangunan Nasional (2015).
- [13] Bieniawski Z. T. 1976. *Rock Mass Classification In Rock Engineering*. Proceeding Symposium on Exploration For Rock Engineering, ED. Z. T. Bieniawski, A. A. Balkema, Rotterdam, p 97-106.
- [14] Carter, T. G., Diederichs, M. S., & Carvalho, J. L. (2008). Application of modified Hoek-Brown transition relationships for assessing strength and post yield behaviour at both ends of the rock competence scale. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 108(6), 325-338