

**ANALISIS PENGARUH *OVERBREAK* TERHADAP BIAYA *ROCKBOLT*
DI *EXTRACTION LEVEL* PANEL 29 *WEST PT* FREEPORT
INDONESIA MENGGUNAKAN ANALISIS REGRESI
DAN SIMULASI MONTE CARLO**

SKRIPSI



ANDRAYANI ANJAS

D62116017

**DEPARTEMEN TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

MAKASSAR

2020

HALAMAN PENGESAHAN

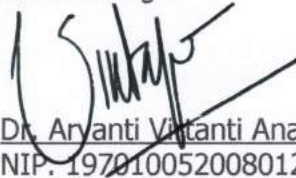


Andrayani Anjas
NIM. D62116017

**ANALISIS PENGARUH *OVERBREAK* TERHADAP BIAYA *ROCKBOLT* DI
EXTRACTION LEVEL PANEL 29 WEST PT FREEPORT INDONESIA
MENGUNAKAN ANALISIS REGRESI DAN SIMULASI MONTE CARLO**

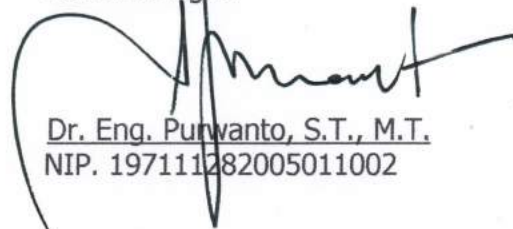
Diajukan sebagai salah syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S-1) pada
Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin
Disetujui di Makassar, 26 Oktober 2020

Pembimbing I



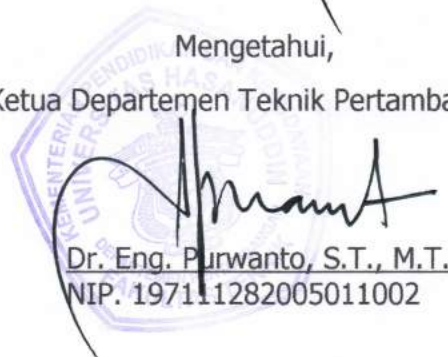
Dr. Aryanti Viantanti Anas, S.T., M.T.
NIP. 197010052008012026

Pembimbing II



Dr. Eng. Purwanto, S.T., M.T.
NIP. 197111282005011002

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Pertambangan



Dr. Eng. Purwanto, S.T., M.T.
NIP. 197111282005011002

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Andrayani Anjas

NIM : D621 16 017

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh *Overbreak* Terhadap Biaya *Rockbolt* di *Extraction Level Panel 29 West* Pt Freeport Indonesia Menggunakan Analisis Regresi dan Simulasi Monte Carlo

Bahwa benar adalah Karya Ilmiah saya dan bebas dari *plagiarism* (duplikasi).

Demikian Surat Pernyataan ini dibuat, jika kemudian hari ditemukan bukti ketidakaslian atas Karya Ilmiah ini, maka Saya bersedia mempertanggungjawabkan sesuai Peraturan Perundang-undangan yang berlaku.

Makassar, 24 November 2020

Yang bersangkutan,



(Andrayani Anjas)

ABSTRAK

Grasberg Block Cave (GBC) adalah tambang bawah tanah dengan metode *block caving* yang dikelola PT Freeport Indonesia. *Grasberg Block Cave* (GBC) terdiri dari enam level tambang diantaranya *Extraction Level Panel 29 West*. Salah satu risiko yang dapat terjadi pada pelaksanaan konstruksi terowongan adalah *overbreak*. *Overbreak* adalah kerusakan bertambah yang menyebabkan perubahan ukuran lebar atau tinggi dari desain, sehingga menyebabkan perubahan jumlah *rockbolt* yang digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *overbreak* terhadap jumlah *rockbolt* yang digunakan, serta memprediksi *overbreak* dan biaya *rockbolt* yang dikeluarkan pada *Extraction Level Panel 29 West*. Metode pengolahan data yang digunakan yaitu analisis regresi linier sederhana dan simulasi Monte Carlo. Berdasarkan analisis regresi diketahui terdapat pengaruh yang signifikan antara *overbreak* terhadap jumlah *rockbolt* yang digunakan. Hubungan (korelasi) yang kuat antara nilai *overbreak* dengan jumlah *rockbolt* ditunjukkan dengan nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,63 dan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,40 yang berarti pengaruh *overbreak* terhadap jumlah *rockbolt* adalah 40%. Simulasi Monte Carlo dan analisis regresi ($Y=2,79+0,68X$) menunjukkan rata-rata prediksi *overbreak* yang terjadi di Panel 29 West >0,5 meter, sehingga jumlah *rockbolt* yang digunakan meningkat dari 10 unit *resin bar* dan 9 unit *cable bolt* menjadi 11 unit *resin bar* dan 10 unit *cable bolt*. Hal tersebut menyebabkan biaya meningkat sebesar \$88.12 atau 10,52% dari biaya desain awal \$837.33 menjadi \$925.45.

Kata Kunci: *Grasberg Block Cave*, Tambang Bawah Tanah, Sistem Penyangga, *Resin Bar*, *Cable Bolt*

ABSTRACT

Grasberg Block Cave (GBC) is an underground mine with a block caving method managed by PT Freeport Indonesia. Grasberg Block Cave (GBC) consists of six mine levels including the Extraction Level Panel 29 West. One risk that can occur in the implementation of tunnel construction is overbreak. Overbreak is increased damage that causes changes in the size of the width or height of the design, thus causing changes in the amount of rockbolt used. This study aims to determine the effect of overbreaks on the amount of rockbolt used, as well as predict the overbreak and cost of rockbolt incurred on Extraction Level Panel 29 West. Data processing methods used are simple linear regression analysis and Monte Carlo simulation. Based on regression analysis, it is known that there is a significant influence between overbreaks on the amount of rockbolt used. A strong correlation (correlation) between overbreak value and the amount of rockbolt is shown by the correlation coefficient (R) of 0.63 and the coefficient of determination (R^2) of 0.40, which means the effect of overbreak on the amount of rockbolt is 40%. Monte Carlo simulation and regression analysis ($Y = 2.79 + 0.68X$) show the average overbreak prediction that occurs in Panel 29 West > 0.5 meters, so that the amount of rockbolt used increases from 10 units of resin bars and 9 units of cable bolts into 11 units of resin bar and 10 units of cable bolts. This causes costs to increase by \$88.12 or 10.52% from the initial design cost of \$837.33 to \$925.45.

Keywords: Grasberg Block Cave, Underground, Ground Support, Resin Bar, Cable Bolt

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Jalla Jalaluhu sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul "Analisis Pengaruh *Overbreak* Terhadap Biaya *Rockbolt* di *Extraction Level Panel 29 West* PT Freeport Indonesia Menggunakan Analisis Regresi dan Simulasi Monte Carlo". Penelitian ini membahas mengenai perbedaan biaya *rockbolt* yang dikeluarkan akibat *overbreak* di *Grasberg Block Cave* PT Freeport Indonesia.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan baik secara moril maupun materi sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Terima kasih kepada PT Freeport Indonesia yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan penelitian, terkhusus Bapak Alfan Kurniawan selaku pembimbing, Bapak Jefrison Rumbawes selaku *user* penulis selama menjalankan penelitian dan seluruh staf Departemen *Underground Geotech* GBC yang telah membantu dalam pengumpulan dan pengolahan data.

Terima kasih banyak kepada Ibu Dr. Aryanti Virtanti Anas ST.,MT., selaku Kepala Laboratorium Riset Perencanaan dan Valuasi Tambang dan Pembimbing I serta Bapak Dr. Eng. Purwanto, S.T., M.T. selaku Pembimbing II yang telah membimbing dalam penyelesaian Skripsi ini. Terima kasih kepada Bapak Dr. Eng. Ir. Muhammad Ramli, MT dan Ibu Rizki Amalia, ST., MT selaku dosen penguji. Terima kasih juga kepada seluruh dosen dan pegawai Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin.

Terima kasih kepada saudara seperjuangan saya di Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin angkatan 2016 dan seluruh anggota Laboratorium Perencanaan dan Valuasi Tambang. Terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada

kedua orang tua Bapak Anjas dan Ibu Sumarni serta seluruh keluarga besar yang telah mendukung dan membantu dalam hal materil dan moril serta selalu memberikan doa terbaik serta memotivasi penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini.

Semoga penelitian ini dapat menjadi bagian terhadap perkembangan ilmu pengetahuan terutama mengenai *overbreak* biaya *rockbolt* pada tambang bawah tanah.

Makassar, November 2020

Andrayani Anjas

DAFTAR ISI

	halaman
ABSTRAK.....	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Tahapan Kegiatan Penelitian.....	4
1.6 Lokasi Penelitian.....	5
BAB II SISTEM PENYANGGA, ANALISIS REGRESI, DAN SIMULASI MONTE CARLO.....	8
2.1 Penyangga.....	8
2.2 Analisis Regresi	16
2.3 Simulasi Monte Carlo	22
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Pengambilan Data	25
3.2 Pengolahan Data	28
BAB IV PREDIKSI JUMLAH DAN BIAYA ROCKBOLT	48
4.1 Desain <i>Rockbolt</i>	49

	halaman
4.2 <i>Overbreak</i>	50
4.3 Analisis Regresi Linear Sederhana	53
4.4 Simulasi Monte Carlo	55
4.5 Perhitungan Biaya <i>Rockbolt</i>	85
BAB V PENUTUP	87
5.1 Kesimpulan.....	87
3.2 Saran	87
DAFTAR PUSTAKA	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
1. 1 Peta Kesampaian Daerah PT Freeport Indonesia (<i>Mine Engineering Department</i> GBC, 2019).....	6
2. 1 Tipe-tipe <i>Steel Rib</i> (Singh, 2006)	9
2. 2 Komponen <i>Resin Bolt</i> (Hoek, 1995).....	11
2. 3 <i>Cable Bolt</i> (Hoek, 1995).....	12
2. 4 <i>Split Set</i> (Hoek, 1995)	13
3. 1 Survei Lapangan Untuk Mengetahui Posisi <i>Drift</i> Aktual di Panel 23 <i>West</i> pada Tanggal 9 Januari 2020	26
3. 2 Perhitungan Jumlah <i>Rockbolt</i> di Panel 29 <i>West</i> pada Tanggal 13 Januari pada 2020.....	27
3. 3 Tampilan Sayatan <i>Drift</i> Aktual	30
3. 4 Tampilan Data Bilangan Acak Untuk Uji Rasio Kurtosis dan <i>Skewness</i>	34
3. 5 Tampilan Kotak Dialog <i>Frequencies</i>	35
3. 6 Tampilan Centang <i>Skewness</i> dan Kurtosis	35
3. 7 Tampilan Untuk Membuat Grafik Normalitas	36
3. 8 Tampilan <i>Form</i> Masukan Data Bilangan Acak Untuk Uji Kolmogorov-Smirnov	37
3. 9 Tampilan Kotak Dialog Kolmogorov-Smirnov	38
3. 10 Tampilan Kotak Dialog Q-Q <i>Plots</i>	39
3. 11 Tampilan Kotak Dialog <i>Project Settings</i>	42
3. 12 Profil Lubang Bukaannya.....	42
3. 13 Proses Membuat Kotak <i>Add External</i>	43
3. 14 Tampilan Kotak Dialog <i>Mesh Setup</i>	43
3. 15 Proses Membuat Garis-garis <i>Mesh</i> Pada Lubang Bukaannya	44

3. 16	Proses Membuat Lubang Bukaannya Menjadi Terbuka	45
3. 17	Tampilan Kotak Dialog <i>Add Bolt Pola</i>	45
3. 18	Proses Pemasangan <i>Bolt</i> Pada Lubang Bukaannya.....	46
3. 19	Diagram Alir Penelitian	47
4. 1	Peta Geologi Panel 23 <i>West</i> (<i>Underground Geotech Department GBC, 2018</i>) .	48
4. 2	Desain <i>Rockbolt</i> pada Panel <i>Drift</i> GBC (<i>Underground Geotech Department, GBC 2018</i>)	50
4. 3	<i>Overbreak</i> pada Panel 23 <i>West</i> diambil pada Tanggal 13 Januari 2020	51
4. 4	Sayatan <i>Overbreak</i> pada Panel 23 <i>West</i>	51
4. 5	Grafik Perbandingan Antara Jumlah <i>Rockbolt</i> Aktual dan Prediksi <i>Rockbolt</i>	55
4. 6	Grafik Q-Q <i>Plot</i> Bilangan Acak <i>Drift</i> 1-20.....	58
4. 7	Profil Pola <i>Rockbolt Drift</i> 21.....	60
4. 8	Grafik Q-Q <i>Plot</i> Bilangan Acak <i>Drift</i> 21-40.....	64
4. 9	Profil Pola <i>Rockbolt Drift</i> 41.....	66
4. 10	Grafik Q-Q <i>Plot</i> Bilangan Acak <i>Drift</i> 41-60.....	69
4. 11	Profil Pola <i>Rockbolt Drift</i> 61.....	71
4. 12	Grafik Q-Q <i>Plot</i> Bilangan Acak <i>Drift</i> 61-80.....	75
4. 13	Profil Pola <i>Rockbolt Drift</i> 81.....	77
4. 14	Grafik Q-Q <i>Plot</i> Bilangan Acak <i>Drift</i> 1-80.....	83
4. 15	Profil Pola <i>Rockbolt Drift</i> 81.....	85

DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
2. 1	Kriteria Koefisien Korelasi Menurut Guilford 1956 (Suherman, 2003) 19
3. 1	Nilai <i>Overbreak</i> dan Jumlah <i>Rockbolt</i> Di Panel 23 <i>West</i> 27
4. 1	Distribusi Probabilitas <i>Overbreak Drift</i> 1-20..... 55
4. 2	Bilangan Acak <i>Drift</i> 1-20 56
4. 3	Hasil Uji Kurtosis dan <i>Skewness Drift</i> 1-20 57
4. 4	Hasil Uji Kolmogorov-Smirnov <i>Drift</i> 1-20..... 57
4. 5	Probabilitas Distribusi Bilangan Acak <i>Drift</i> 1-20..... 59
4. 6	Prediksi Perimeter <i>Drift</i> 21 59
4. 7	Distribusi Probabilitas <i>Overbreak Drift</i> 21-40 60
4. 8	Bilangan Acak <i>Drift</i> 21-40 62
4. 9	Hasil Uji Kurtosis dan <i>Skewness Drift</i> 21-40 62
4. 10	Hasil Uji Kolmogorov-Smirnov <i>Drift</i> 21-40 63
4. 11	Probabilitas Distribusi Bilangan Acak <i>Drift</i> 21-40..... 64
4. 12	Prediksi Perimeter <i>Drift</i> 41 65
4. 13	Distribusi Probabilitas <i>Overbreak Drift</i> 41-60 67
4. 14	Bilangan Acak <i>Drift</i> 41-60 68
4. 15	Hasil Uji Kurtosis dan <i>Skewness Drift</i> 41-60 68
4. 16	Hasil Uji Kolmogorov-Smirnov <i>Drift</i> 41-60 69
4. 17	Probabilitas Distribusi Bilangan Acak <i>Drift</i> 41-60..... 70
4. 18	Prediksi Perimeter <i>Drift</i> 61 71
4. 19	Distribusi Probabilitas <i>Overbreak Drift</i> 61-80 72
4. 20	Bilangan Acak <i>Drift</i> 61-80 73
4. 21	Hasil Uji Kurtosis dan <i>Skewness Drift</i> 61-80 73

	halaman
4. 22 Hasil Uji Kolmogorov-Smirnov <i>Drift</i> 61-80	74
4. 23 Probabilitas Distribusi Bilangan Acak <i>Drift</i> 61-80.....	75
4. 24 Prediksi Perimeter <i>Drift</i> 81	76
4. 25 Distribusi Probabilitas <i>Overbreak Drift</i> 1-80.....	79
4. 26 Bilangan Acak <i>Drift</i> 1-80	81
4. 27 Hasil Uji Kurtosis dan <i>Skewness Drift</i> 1-80	81
4. 28 Hasil Uji Kolmogorov-Smirnov <i>Drift</i> 1-80.....	82
4. 29 Probabilitas Distribusi Bilangan Acak <i>Drift</i> 1-80.....	83
4. 30 Prediksi Perimeter <i>Drift</i> 81	84
4. 31 Perhitungan Biaya <i>Rockbolt</i>	86

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	halaman
A. <i>Worksheet</i> Area Penelitian	93
B. <i>Ground Support Design</i>	95
C. Harga Material <i>Rockbolt</i>	97
D. Sayatan <i>Drift</i>	99
E. Distribusi Frekuensi Regresi Linear Sederhana.....	117
F. <i>Mean Average Percentage Error</i>	120

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT Freeport Indonesia merupakan sebuah perusahaan yang menambang, memproses dan melakukan eksplorasi terhadap bijih yang mengandung tembaga, emas, dan perak di daerah dataran tinggi Tembagapura, Kabupaten Mimika, Provinsi Papua dengan luas 212.950 Ha. Sistem penambangan yang digunakan adalah sistem tambang terbuka dengan metode *open pit* dan sistem tambang bawah tanah dengan metode *block caving* (PT Freeport Indonesia, 2019).

Grasberg Block Cave (GBC) merupakan salah satu area tambang bawah tanah yang memiliki cadangan bijih sebanyak 874 miliar ton dan terdiri dari delapan level tambang, yaitu level *undercut* pada ketinggian 2.850 mdpl, level *extraction* pada ketinggian 2.830 mdpl, level *service* pada ketinggian 2.810 mdpl, level *haulage* pada ketinggian 2.760 mdpl, level *crusher* pada ketinggian 2.730 mdpl, level *drainage* pada ketinggian 2.710 mdpl, level *conveyor* pada ketinggian 2.700 mdpl, dan level terminal pada ketinggian 2.535 mdpl (PT Freeport Indonesia, 2019). Level *extraction* merupakan lubang bukaan yang berfungsi sebagai tempat penarikan bijih hasil ambrukan (*broken ore*) dari level *undercut* (PT Freeport Indonesia, 2019). Pada level *extraction* terdapat dua lubang bukaan penting yaitu *drawpoint* dan *panel*. *Panel* merupakan lubang bukaan mendatar yang dibuat sebagai jalan angkut *broken ore* dari *drawpoint* menggunakan LHD (*Load-Haul-Dump*). *Extraction Level Panel 29 West* merupakan lubang bukaan paling ujung yang menghubungkan antara *fringe drift* bagian barat (*West*) pada GBC.

Pada proses pembangunan terowongan tambang bawah tanah, proses konstruksi penyangga merupakan suatu hal yang sangat penting untuk dilakukan. Proses ini harus dilakukan dengan cermat dan teliti agar biaya yang dikeluarkan menjadi efisien karena jumlah pengeluaran total dalam pembangunan suatu terowongan membutuhkan biaya besar yang mencapai kurang lebih US \$60 juta (PT Freeport Indonesia, 2019).

Salah satu risiko yang dapat terjadi pada pelaksanaan konstruksi terowongan adalah *overbreak*, yaitu kerusakan bertambah yang menyebabkan perubahan ukuran lebar atau tinggi dari desain *drift* yang telah direncanakan. *Overbreak* disebabkan oleh aktivitas *drill* dan *blast* pada terowongan, umumnya terjadi akibat *charging* bahan peledak yang berlebih hingga menyebabkan pemberaian batuan (*blasting*) yang berlebih pula. Persentase peningkatan volume profil aktual dari profil yang dirancang pada masing-masing dinding terowongan dijadikan parameter untuk nilai *overbreak* (Singh and Peter, 2005). Tambang GBC mengalami *overbreak* sekitar 90% pada konstruksi terowongan (*Underground Geotech Department GBC, 2019*).

Pada area panel terjadi *overbreak* yang berbeda-beda, sehingga jumlah *ground support* yang dipasang pada lubang bukaan bertambah dari desain yang telah direkomendasikan oleh UG *Geotech GBC*. *Ground support* bertujuan membantu dinding terowongan menyangga beban massa batuan dari atas dan samping terowongan, sehingga terowongan tetap stabil (Dwiyanto, 1994). Jenis-jenis *ground support* yang digunakan di tambang GBC terdiri dari *surface support* dan *rockbolt*. Pada bulan Januari 2020 di *Extraction Level Panel 29 West* digunakan *ground support* yang terdiri dari *resin bar*, *cable bolt*, *shotcrete*, dan *weldmesh* (*Underground Geotech Department GBC, 2019*).

Pengaruh *overbreak* terhadap jumlah *rockbolt* dapat diketahui dengan menggunakan analisis regresi, yaitu metode statistika yang digunakan untuk

membentuk model atau hubungan antara satu atau lebih variabel bebas X dengan sebuah variabel respon Y (Kurniawan, 2008) atau untuk memprediksi jumlah *rockbolt* yang dibutuhkan akibat adanya *overbreak*. Peluang terjadinya *overbreak* pada saat konstruksi sistem penyangga menyebabkan perbedaan antara biaya *rockbolt* yang direncanakan dengan biaya aktual. Jika sebuah sistem mengandung unsur yang menunjukkan adanya peluang dalam perilaku mereka, maka salah satu metode yang dapat diterapkan adalah simulasi Monte Carlo. Simulasi Monte Carlo didefinisikan sebagai semua teknik sampling statistik yang digunakan untuk memperkirakan solusi terhadap masalah-masalah kuantitatif (Fadjar, 2011). Dalam simulasi Monte Carlo sebuah model dibangun berdasarkan sistem yang sebenarnya. Dasar simulasi Monte Carlo adalah percobaan pada unsur peluang (atau bersifat probabilistik) dengan menggunakan pengambilan sampel secara acak.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memprediksi *overbreak* menggunakan analisis regresi dan simulasi Monte Carlo sehingga diketahui jumlah dan biaya *rockbolt* yang dibutuhkan.

1.2 Rumusan Masalah

Overbreak yang terjadi di *Extraction Level Panel 29 West Grassberg Block Cave* menyebabkan adanya perbedaan antara perencanaan biaya *ground support* yang telah dibuat dengan biaya aktual yang harus dikeluarkan. Rata-rata *overbreak* yang terjadi mengakibatkan penambahan dua sampai tiga komponen *rockbolt* dari desain yang telah direkomendasikan oleh UG *Geotech Department GBC*. Untuk mengurangi risiko selisih biaya yang terlalu besar dapat dilakukan dengan memprediksi kemungkinan *overbreak* yang terjadi. Oleh karena itu, rumusan masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh *overbreak* terhadap jumlah *rockbolt* yang digunakan.

2. Berapa prediksi *overbreak* dan biaya *rockbolt* yang dikeluarkan di *Extraction Level Panel 29 West*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh *overbreak* terhadap jumlah *rockbolt* yang digunakan dengan analisis regresi.
2. Memprediksi *overbreak* dan biaya *rockbolt* yang dikeluarkan pada *Extraction Level Panel 29 West* menggunakan analisis regresi dan simulasi Monte Carlo.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah pengembangan wawasan dan pengetahuan tentang pengelolaan risiko biaya pada tambang bawah tanah khususnya biaya penggunaan *rockbolt* dengan memprediksi *overbreak* yang terjadi.

1.5 Tahapan Kegiatan Penelitian

Kegiatan penelitian dilaksanakan di Departemen UG *Geotech Grassberg Block Cave*, khususnya pada *Extraction Level Panel 29 West* pada ketinggian 2.830 mdpl.

Tahapan kegiatan penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Persiapan

Tahapan persiapan merupakan tahapan awal yang berisi kegiatan pendahuluan sebelum dilakukan penelitian. Tahapan ini terdiri dari perumusan masalah yang dibahas dalam penelitian, persiapan administrasi terkait, dan pengumpulan referensi atau literatur mengenai masalah yang diteliti.

2. Studi literatur

Tahapan ini dilakukan sebelum dan selama penelitian berlangsung berupa kajian kepustakaan untuk menunjang dan memahami topik yang diteliti dan sebagai petunjuk dalam menentukan rancangan penelitian. Studi literatur dikaji melalui jurnal, buku, artikel, dan referensi lainnya terkait penelitian yang dilakukan.

3. Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan selama tiga bulan mulai 22 November 2019 sampai 23 Februari 2020. Data-data yang dikumpulkan adalah posisi *drift* aktual, *ground support* aktual yang terpasang, desain *ground support* standar, harga material, dan data survei.

4. Pengolahan dan Analisis Data

Tahapan pengolahan dan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

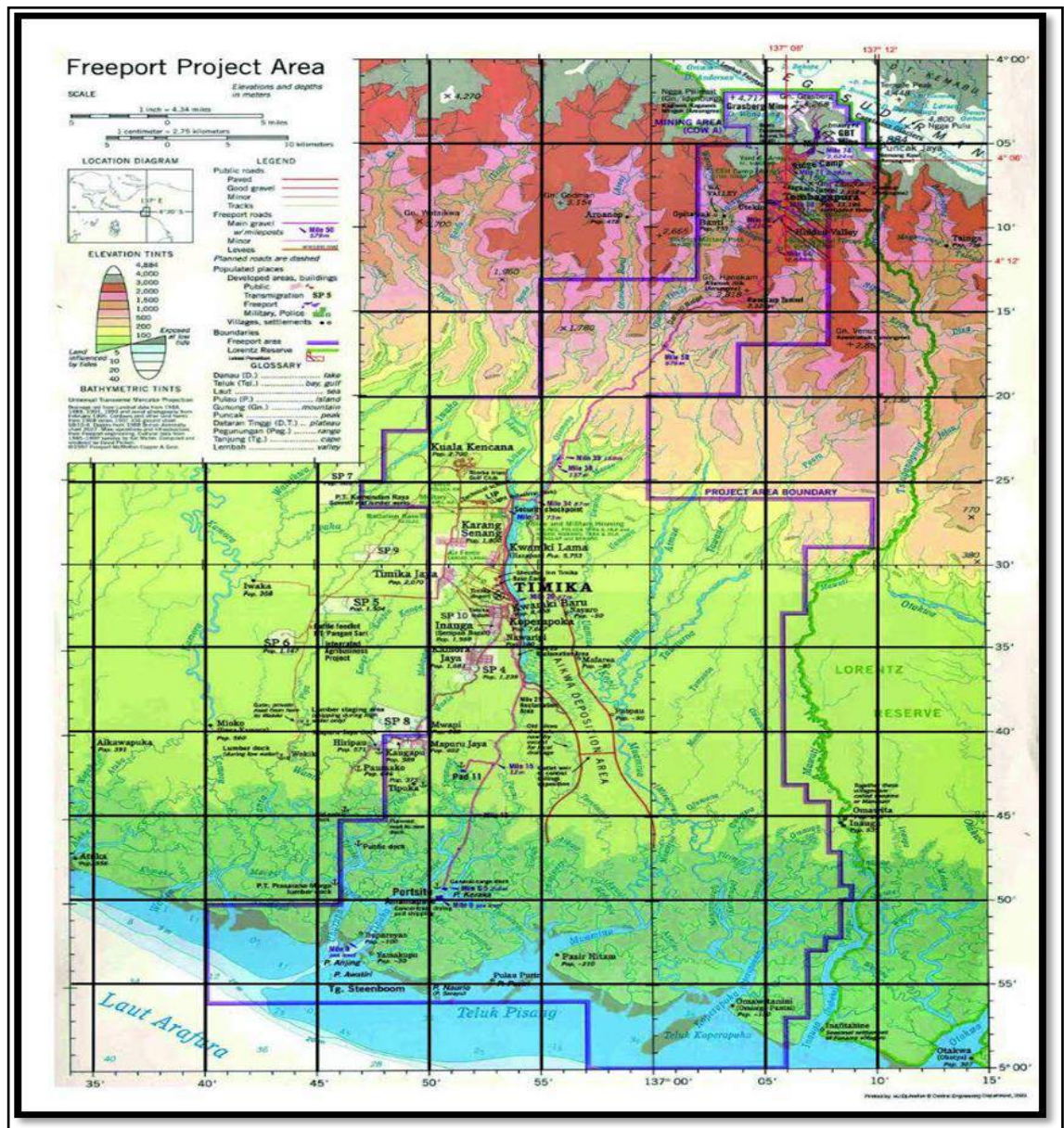
- a) *Section drift* area penelitian.
- b) Analisis regresi.
- c) Simulasi Monte Carlo.

1.6 Lokasi Penelitian

PT Freeport Indonesia merupakan perusahaan tambang terbesar di Indonesia dengan luas wilayah Kontrak Karya seluas 10.000 hektar (Gambar 1.1). PT Freeport Indonesia terletak di pegunungan Jaya Wijaya, Kecamatan Mimika Timur, Kabupaten Mimika, Propinsi Papua, dan berada pada posisi geografis $04^{\circ} 06'$ – $04^{\circ} 012'$ Lintang Selatan (*South Latitude*) dan $137^{\circ} 06'$ – $137^{\circ} 12'$ Bujur Timur (*East Longitude*).

Waktu yang harus ditempuh dari bandara udara Sultan Hasanuddin Makassar menuju bandara udara Mozes Kilangin Timika yaitu ± 3 jam. Kegiatan operasional PT Freeport Indonesia dapat dicapai melalui dua jalur yaitu jalur laut melalui pelabuhan laut Amamapare (*Portsite*) dan jalur udara dengan menggunakan bandara udara Mozes

Kilangin – Timika. Perjalanan dari Timika ke kota Tembagapura (*mile* 68) dapat ditempuh sekitar dua jam bila menggunakan bus atau dengan menggunakan jalur udara dengan helikopter (*copper*) selama 15 menit. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Peta Kesampaian Daerah PT Freeport Indonesia (*Mine Engineering Department* GBC, 2019).

Lokasi penelitian berada pada area tambang bawah tanah GBC (*Grasberg Block Cave*) yang dapat ditempuh menggunakan kendaraan kecil (*light vehicle*) dan bus dari

kota Tembagapura selama kurang lebih 30 menit sejauh 10 km. Akses menuju ke lokasi penelitian melalui ARD *portal* atau terowongan Ali Budiardjo (*AB Tunnel*) sebagai akses masuk menuju tambang bawah tanah.

BAB II

SISTEM PENYANGGA, ANALISIS REGRESI, DAN SIMULASI MONTE CARLO

2.1 Sistem Penyangga

Pembuatan terowongan untuk bangunan tambang, konstruksi jalan raya ataupun saluran air telah banyak dikembangkan di negara-negara maju. Salah satu hal yang harus diperhatikan dalam konstruksi terowongan adalah sistem penyangga yang akan digunakan. Sistem penyangga merupakan kekuatan utama terowongan dalam menahan beban terowongan. Penyangga adalah alat bantu agar kondisi massa batuan dapat menyangga dirinya sendiri sehingga mencapai keseimbangan setelah adanya gangguan berupa lubang bukaan itu sendiri. Kasus keruntuhan terowongan akibat kegagalan sistem penyangga telah banyak terjadi di beberapa negara diantaranya adalah kerusakan terowongan jalan raya yang terjadi di London, Inggris pada tahun 2005. Keruntuhan disebabkan karena sistem penyangga terowongan yang digunakan tidak kuat untuk menahan beban yang diberikan kepadanya (Woolcock, 2005).

Konsep rancangan sebuah lubang bukaan bawah tanah (*underground opening*) relatif merupakan hal yang baru karena persoalan rancangan sebuah terowongan berbeda dengan rancangan dari sebuah struktur atau bangunan yang konvensional seperti bangunan gedung atau jembatan. Dalam mekanika batuan, perancangan berhubungan dengan massa batuan yang kompleks dan sifat-sifat material spesifik sehingga tidak dapat ditentukan kebutuhan rancangan. Dalam perancangan sebuah galian bawah tanah diharapkan mampu memberikan penilaian massa batuan secara cermat. Tujuan dasar setiap rancangan untuk galian di bawah tanah harus

menggunakan massa batuan itu sendiri sebagai material struktur utamanya. Selama penggalian terowongan diharapkan menghasilkan gangguan kemantapan pada dinding terowongan sekecil mungkin dan sedikit dalam penambahan beton atau penyangga. Dalam keadaan asli, batuan keras yang memiliki tegangan tekan akan lebih kuat daripada beton mungkin dalam beberapa kasus kekuatannya sama dengan baja (Hoek and Brown, 1980).

Penyangga memiliki tiga fungsi utama, yaitu (Kaiser, 2016):

1. Penguat (*reinforce*): penyangga mempersatukan batuan secara tidak langsung memperbesar ketebalan dan menaikkan ketahanan terhadap pelengkungan
2. Pengikat (*hold*): penyangga batuan harus diikatkan pada suatu daerah yang kuat dan stabil. Penyangga dibebani secara prinsip oleh berat batuan yang disanggah.
3. Penahan (*retain*): penyangga batuan berfungsi sebagai penahan pada bagian yang tidak ter-*cover* dan memaksimalkan masing-masing fungsi penyangga sehingga kerjanya maksimal untuk menahan beban dari batuan itu sendiri.

Beberapa jenis sistem penyangga yang terdapat dalam pembuatan terowongan, yaitu (Arwan dan Sumiyanto, 2010):

1. *Shotcrete*

Shotcrete merupakan beton yang disemprotkan untuk menambah kekuatan suatu permukaan. Beton yang digunakan sebagai *shotcrete* memiliki karakteristik yang hampir sama dengan beton biasa, hanya saja modulus elastisitas beton yang digunakan sebagai *shotcrete* lebih rendah daripada beton biasa. Kekuatan *shotcrete* bertambah seiring dengan pertambahan umur *shotcrete* (Kolymbas, 2005).

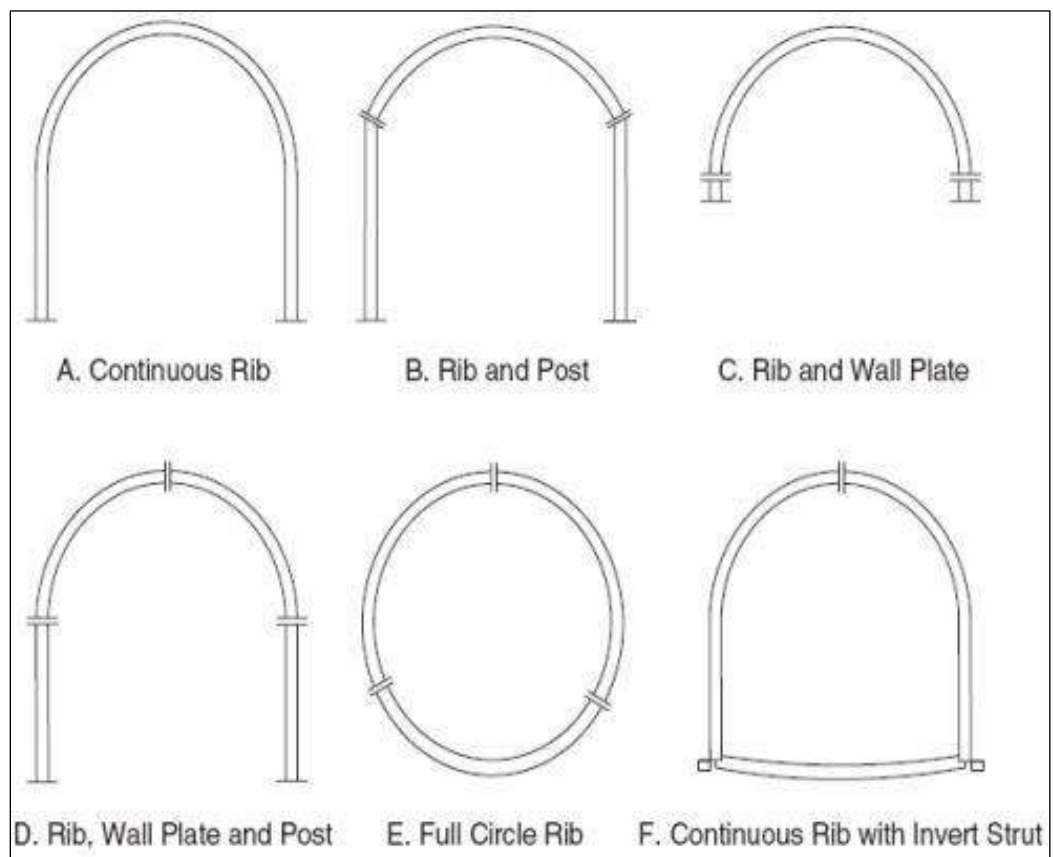
2. *Rockbolt*

Rockbolt adalah bahan batang yang terbuat dari baja dan berpenampang bulat

yang digunakan untuk menyangga massa batuan. Kekuatan *rockbolt* biasanya diukur dengan melaksanakan uji tarik (*pull test*) di lapangan. Berdasarkan *Handbook of Road Power* (2006), kekuatan perkuatan ini ditentukan oleh beberapa parameter diantaranya diameter, panjang, dan jarak antar *rockbolt* (Masoudi et al, 2018).

3. *Steel Rib*

Steel rib merupakan salah satu jenis penyangga konstruksi terowongan yang terbuat dari baja. Tipe *steel rib* dapat dilihat dalam Gambar 2.1 (Singh, 2006).



Gambar 2.1 Tipe-tipe *Steel Rib* (Singh, 2006).

Penyanggaan bertujuan membantu dinding terowongan menyangga beban massa batuan dari atas dan samping terowongan, sehingga terowongan tetap stabil. Berdasarkan fungsinya, penyanggaan pada terowongan dapat dibedakan menjadi dua

macam, yaitu (Dwiyanto, 1994):

1. Penyangga sementara (temporer).
2. Penyangga permanen.

Penyangga sementara biasanya digunakan pada saat berlangsungnya konstruksi terowongan sebelum dipasang penyangga yang permanen. Di samping itu, penggalian suatu terowong-uji (*test adit*) biasanya juga memerlukan penyangga sementara.

Jika ditinjau dari segi bahannya, maka penyangga dapat menggunakan salah satu atau gabungan dari bahan (Dwiyanto, 1994):

- a. Kayu.
- b. Baja.
- c. Beton monolit.
- d. Beton tembak (*shotcrete*) dan jaring kawat (*wire mesh*).

Penyangga jenis kayu lebih umum digunakan di tambang bawah tanah, sebab biasanya umur terowongan relatif singkat dan biaya harus ditekan serendah mungkin.

Jenis penyangga yang lain digunakan pada terowongan sipil (Dwiyanto, 1994).

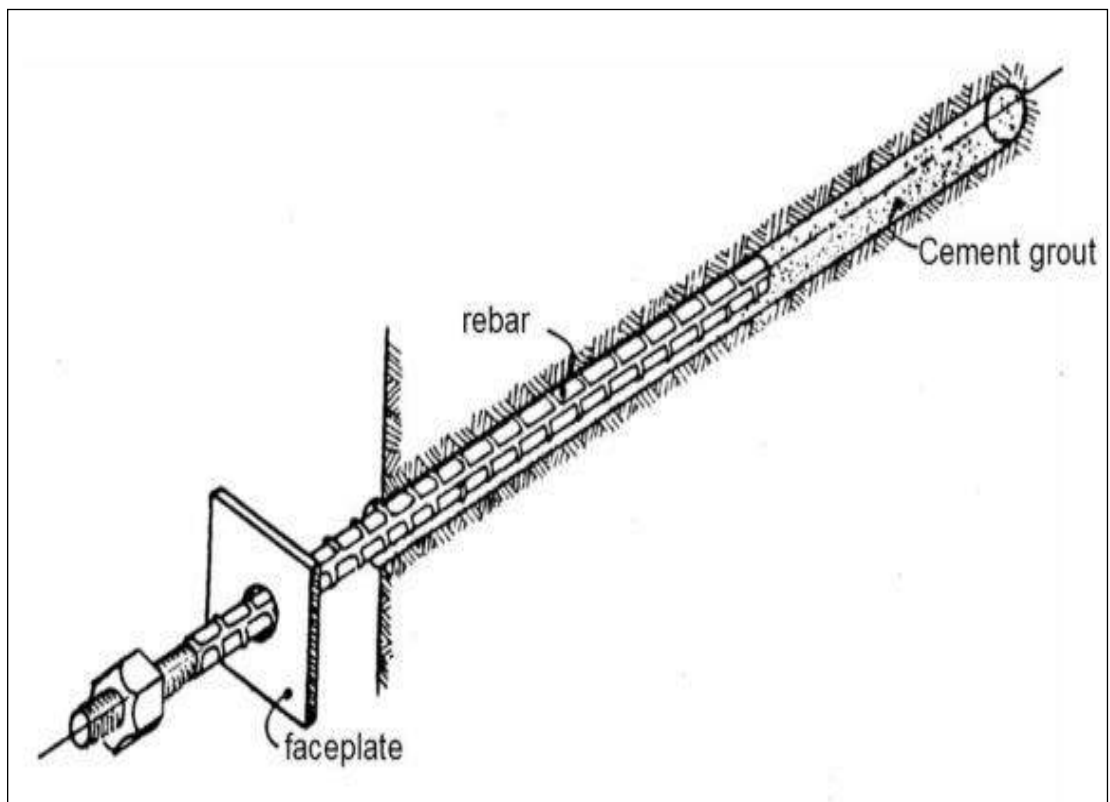
2.1.1 *Rockbolt*

Rockbolt tidak termasuk jenis penyangga struktural melainkan sebagai bahan penguatan. *Rockbolting* adalah teknik penguatan batuan di tambang menggunakan baut batuan. Penguatan batuan merupakan metode yang digunakan untuk meningkatkan kualitas massa batuan pada beberapa tipe deformasi. *Rockbolt* terdiri dari tiga jenis, yaitu *resin bolt*, *cable bolt*, dan *split set* (Hoek *et al*, 1995).

1. *Resin Bolt*

Resin bolt merupakan jenis baut batuan (*rockbolt*) yang bahan perekat/pengikatnya menggunakan bahan kimia "*grouting*" terkandung dalam *cartridge* (kapsul) atau berbentuk sosis di dalam plastik dengan dua kompartemen; satu untuk resin dan

yang lainnya untuk katalis yang membantu meningkatkan ikatan *rockbolt* ke dalam batu selama pemasangan. Dalam pemasangan, *cartridge* (resin pengaturan cepat atau lambat atau keduanya) dimasukkan ke dalam lubang bor diikuti oleh *bolt* yang kemudian dipintal menggunakan alat bor. Komponen *resin bolt* dapat dilihat pada Gambar 2.2 (Hoek *et al*, 1995).

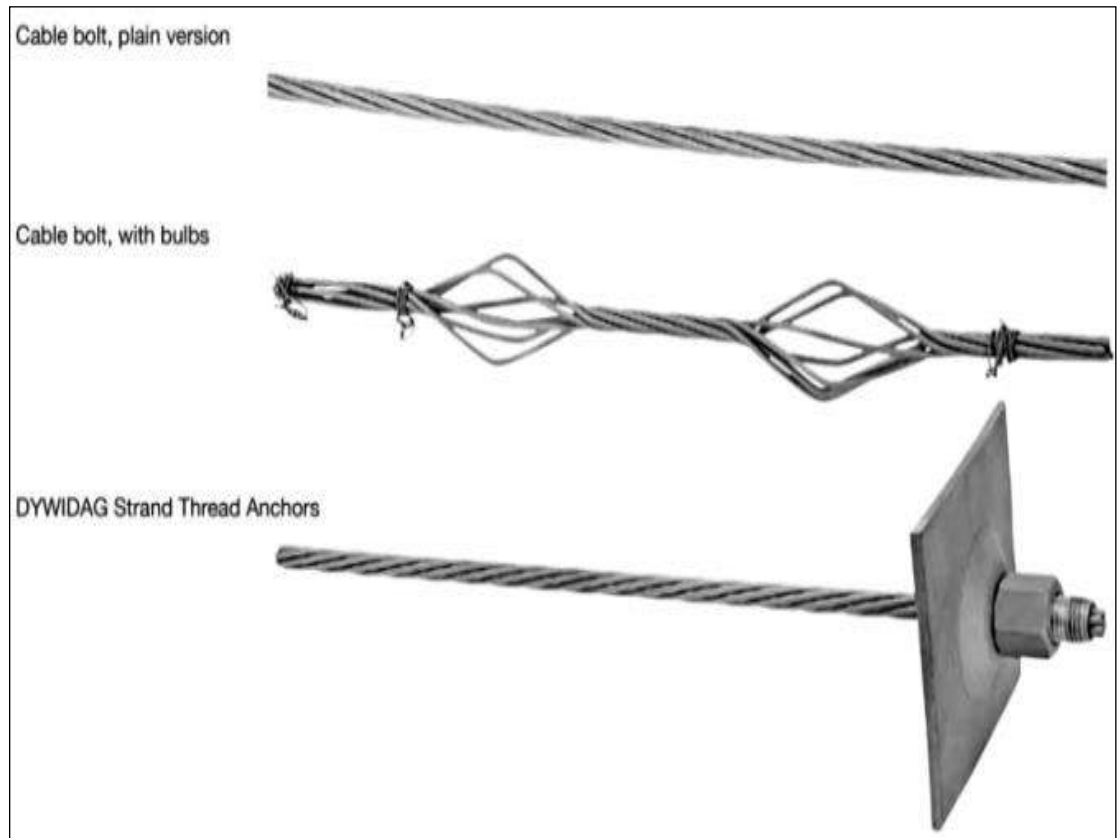


Gambar 2.2 Komponen *Resin Bolt* (Hoek *et al*, 1995).

2. *Cable Bolt*

Cable bolt merupakan jenis *rockbolt* yang fleksibel karena bahannya terbuat dari kawat baja yang dianyam. Fleksibilitasnya yang tinggi memungkinkan digunakan untuk mengurangi bahkan menghentikan deformasi batuan kurang dari panjang penyangga yang diperlukan. Selain itu, *cable bolt* tahan terhadap abrasi dan benturan yang membuatnya lebih rentan terhadap kerusakan selama aktivitas peledakan. Komponen *cable bolt* dapat dilihat pada Gambar 2.3 (Hoek *et al*, 1995).

Penggunaan semen untuk memasang *grout* membuat pemasangan kabel lebih sulit. Hal tersebut disebabkan rasio air-semen nat harus diatur agar nat mengendap di lubang bor dan bekerja sesuai kebutuhan.

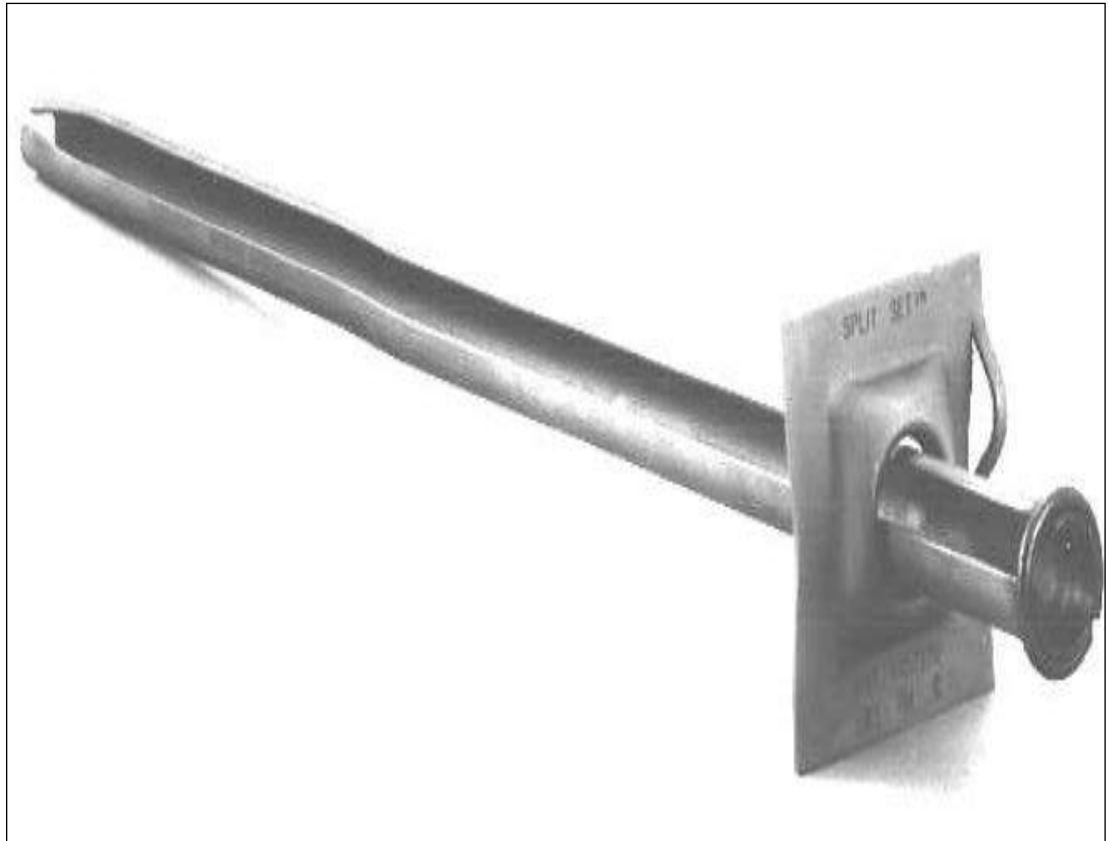


Gambar 2.3 *Cable Bolt* (Hoek *et al*, 1995).

3. *Split set*

Split set digunakan untuk mengikat massa besar batu di dinding gantung dan di sekitar penggalian besar. Baut kabel jauh lebih besar dari baut dan lebar batu standar, biasanya antara 10–25 meter. *Split set* adalah jenis fleksibel elemen pendukung *rockbolt* yang terbuat dari kawat baja. Selain fleksibilitasnya, *split set* tahan terhadap abrasi dan benturan yang membuatnya lebih rentan terhadap kerusakan selama aktivitas peledakan dan juga tahan terhadap korosi karena penggunaan nat selama instalasi yang melindungi lubang bor dari masuknya air

tanah. Penggunaan jangkar kabel yang paling awal diketahui dalam industri pertambangan adalah di Free State, Geduld Mines Ltd (Hoek *et al*, 1995). Komponen *split set* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 *Split Set* (Hoek *et al*, 1995).

2.1.2 *Overbreak*

Sistem *drill* dan *blast* digunakan dalam penggalian batuan keras karena ekonomis dan kemampuan beradaptasi terhadap perubahan kondisi massa batuan. Secara umum selama operasi penambangan pada terowongan *overbreak* disebabkan oleh praktik peledakan atau kualitas massa batuan yang buruk. Peledakan merupakan metode fragmentasi batuan keras yang paling murah, namun biaya yang terkait dengan kerusakan ledakan dalam hal keselamatan dan produktivitas tambang menjadi semakin penting. Kerusakan batu karena peledakan secara langsung berkaitan dengan

tingkat *stress* yang dialami oleh batu dan kondisi pra-peledakannya. Dalam lingkungan dengan tekanan tinggi dan di bawah kondisi geologi yang tidak menguntungkan, gangguan yang terkait dengan peledakan dapat menyebabkan masalah kontrol tanah dan pengenceran yang luas. Kerusakan batuan yang disebabkan oleh peledakan dan batu yang tersisa harus menopang beban dalam bentuk punggung, dinding atau pilar sehingga terjadi *overbreak*. Itulah sebabnya kerusakan ledakan menentukan hubungan penting antara proses penggalian dan stabilitas struktural massa batuan (Singh and Peter, 2004).

Selama proses penggalian, distribusi tekanan *in situ* dan pelepasan energi seismik juga menyebabkan kerusakan massa batuan yang disebabkan oleh peledakan. Perbedaan yang jelas antara keduanya adalah bahwa kerusakan yang ditimbulkan ledakan sangat terlokalisasi di sekitar perimeter langsung area ledakan. Dampak kerusakan massal batuan yang diinduksi ledakan pada pertambangan meliputi (Brucker *et al*, 2019):

1. Pengenceran bijih.
2. Masalah kendali tanah.
3. Fragmentasi yang buruk.
4. Tanah yang rusak akibat pengeboran dan pengisian bahan peledak.
5. Penurunan kekuatan batuan.
6. Pengurangan kekuatan batuan dalam rentang waktu maksimum tanpa sistem penyangga.
7. Peningkatan biaya dalam pemasangan dan pemeliharaan sistem penyangga.

2.1.3 Komponen Biaya Konstruksi Terowongan

Terowongan adalah lubang bukaan mendatar atau sedikit miring yang dibuat di bawah tanah, gunung, sungai, laut, daerah industri, bahkan permukiman padat penduduk. Terowongan yang dibuat untuk mengambil bahan galian di bawah tanah

dikenal dengan terowongan tambang. Terowongan dapat diklasifikasikan berdasarkan berbagai kriteria. Apabila ditinjau berdasarkan fungsinya terowongan dibagi ke dalam dua bagian, yaitu (Rahardjo, 2004):

1. Terowongan lalu lintas yang terdiri dari enam jenis: terowongan kereta api, terowongan jalan raya, terowongan pejalan kaki, terowongan navigasi, terowongan transportasi di bawah kota, dan terowongan transportasi di tambang bawah tanah.
2. Terowongan angkutan yang terdiri dari lima jenis: terowongan stasiun pembangkit listrik tenaga air, terowongan penyediaan air, terowongan penyediaan air, terowongan untuk saluran air kotor, terowongan yang digunakan untuk kepentingan umum, dan terowongan untuk angkutan di dalam daerah industri pabrik.

Pada pembangunan terowongan sering dijumpai masalah yang tidak biasa terjadi pada rancangan bangunan biasa. Masalah yang sering dijumpai pada pembangunan terowongan meliputi massa batuan yang memiliki sifat heterogen, anisotrop dan diskontinyu. Faktor-faktor geologi menjadi hal yang sangat penting dalam perancangan suatu galian bawah tanah atau terowongan karena berkaitan dengan kekuatan batuan. Pada proses konstruksi terowongan, proses perancangan penyangga merupakan suatu hal yang sangat penting untuk dilakukan. Proses ini harus dilakukan dengan cermat dan teliti agar didapatkan efisiensi biaya pengeluaran pada proyek pembangunan terowongan tersebut (Dwiyanto, 1994).

Manajemen konstruksi adalah suatu proses manajemen untuk pelaksanaan konstruksi dalam rangka untuk mencapai sasaran dalam bentuk produk konstruksi secara rasional, efisien, dan efektif. Manajemen konstruksi adalah suatu cara untuk mengelola pelaksanaan proyek dimana tahapan pelaksanaan diperlukan sebagai satu kesatuan sistem membangun. Manajemen konstruksi adalah suatu proses pengelolaan

pekerjaan pelaksanaan pembangunan fisik yang ditangani secara multi disiplin dimana tahapan-tahapan persiapan perencanaan perancangan, pelaksanaan pekerjaan, dan penyerahan pengoperasiannya diperlukan sebagai suatu sistem yang terpadu dengan tujuan untuk mencapai hasil yang optimal dalam aspek memperkecil biaya dan mempertahankan kualitas proyek (Tarore dan Mandagi, 2006).

Komposisi biaya konstruksi diartikan sebagai suatu susunan sejumlah uang yang telah atau akan dikeluarkan dalam kegiatan pembangunan atau konstruksi yang menyatu dengan lahan tempat kedudukannya (Soeharto, 1999). Komponen biaya konstruksi digunakan dalam perhitungan pembangunan infrastruktur termasuk pembangunan terowongan. Komponen biaya dalam konstruksi bangunan meliputi (AACE, 1992):

1. Biaya Langsung

Biaya langsung proyek konstruksi adalah komponen biaya yang berkaitan langsung dengan volume pekerjaan yang tertera dalam *item* pembayaran atau komponen hasil akhir proyek berdasarkan gambar rencana dan spesifikasi teknis dalam kontrak konstruksi. Komponen biaya langsung terdiri dari biaya upah tenaga kerja, operasi peralatan, material, dan semua biaya yang berada di bawah kendali sub-kontraktor.

2. Biaya tidak langsung

Biaya tidak langsung proyek konstruksi adalah biaya yang tidak berkaitan secara langsung dalam pelaksanaan proyek konstruksi, namun mendukung dalam pelaksanaan proyek konstruksi yang terkait dengan beberapa pekerjaan konstruksi. Biaya tidak langsung dialokasikan untuk pekerjaan yang berdasarkan pada beberapa komponen biaya langsung seperti waktu penyelesaian pekerjaan, biaya material atau keduanya. Biaya tak langsung ikut mempengaruhi pengeluaran dalam pekerjaan sebuah konstruksi.

2.2 Analisis Regresi

Analisis regresi merupakan metode statistika yang banyak digunakan dalam penelitian. Istilah regresi pertama kali diperkenalkan oleh Sir Francis Galton pada tahun 1886. Menurut Galton, analisis regresi berkenaan dengan studi ketergantungan dari suatu variabel yang disebut variabel tak bebas (*dependent variable*) pada satu atau lebih variabel yang menerangkan dengan tujuan untuk memperkirakan ataupun meramalkan nilai- nilai dari variabel tak bebas, apabila nilai variabel yang menerangkan sudah diketahui. Variabel yang menerangkan sering disebut variabel bebas (*independent variable*) (Sudjana, 2009).

Secara umum, analisis regresi adalah kajian terhadap hubungan satu variabel yang disebut sebagai variabel yang diterangkan dengan satu atau dua variabel yang menerangkan. Variabel yang diterangkan selanjutnya disebut sebagai variabel respon, sedangkan variabel yang menerangkan biasa disebut variabel bebas (Gujarati, 2003). Regresi merupakan suatu alat ukur yang digunakan untuk mengukur ada atau tidaknya hubungan antar variabel. Dalam analisis regresi, suatu persamaan regresi atau persamaan penduga dibentuk untuk menerangkan pola hubungan variabel-variabel apakah ada hubungan antara dua variabel atau lebih. Hubungan yang diperoleh pada umumnya menyatakan hubungan fungsional antara variabel-variabel (Shyti *et al*, 2018).

Analisis regresi adalah suatu metode statistik yang mengamati hubungan antara variabel terikat Y dan serangkaian variabel bebas X_1, \dots, X_p . Tujuan dari metode ini adalah untuk memprediksi nilai Y untuk nilai X yang diberikan. Model regresi linier sederhana adalah model regresi yang paling sederhana yang hanya memiliki satu variabel bebas X . Analisis regresi memiliki beberapa kegunaan, salah satunya untuk

melakukan prediksi terhadap variabel tak bebas Y. Model regresi linier sederhana ditunjukkan pada Persamaan 2.1 (Smadi *et al*, 2012).

$$Y = a + bX \dots\dots\dots (2.1)$$

Y adalah variabel tak bebas yang diramalkan, X adalah variabel bebas, a adalah *intercept*, yaitu nilai Y pada saat X=0, dan b adalah *slope*, yaitu perubahan rata-rata Y terhadap perubahan satu unit X. Koefisien a dan b adalah koefisien regresi dimana nilai a dan b dapat dicari menggunakan Persamaan 2.2 dan 2.3, dan nilai n adalah jumlah data (Smadi *et al*, 2012).

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$a = \frac{\sum Y - b(\sum X)}{n} \dots\dots\dots (2.3)$$

Persamaan model regresi sederhana hanya memungkinkan bila pengaruh yang ada itu hanya dari variabel bebas (*independent variable*) terhadap variabel tak bebas (*dependent variable*). Jadi harga b merupakan fungsi dari koefisien korelasi. Bila koefisien korelasi tinggi, maka harga b juga besar, sebaliknya bila koefisien korelasi negatif maka harga b juga negatif, dan sebaliknya bila koefisien korelasi positif maka harga b juga positif (Sudjana, 2009).

2.2.1 Koefisien Korelasi

Koefisien korelasi adalah nilai yang digunakan untuk menentukan kuat atau tidaknya hubungan antara X dan Y. Hubungan antar variabel bisa bernilai positif ataupun negatif. Hubungan X dan Y dikatakan positif apabila kenaikan (penurunan X) pada umumnya diikuti oleh kenaikan (penurunan) Y. Sebaliknya dikatakan negatif kalau kenaikan (penurunan) X pada umumnya diikuti oleh penurunan (kenaikan) Y. Nilai koefisien korelasi ini paling sedikit -1 dan paling besar 1. Jadi jika r = koefisien korelasi, maka nilai r dapat dinyatakan $-1 \leq r \leq 1$ yang artinya (Anas dan Sutrimo, 2016):

1. $r = 1$; menunjukkan hubungan X dan Y sempurna dan positif.
2. $r = -1$; menunjukkan hubungan X dan Y sempurna dan negatif.
3. $r = 0$; menunjukkan hubungan X dan Y lemah sekali atau tidak ada hubungan.

Kriteria koefisien korelasi dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kriteria koefisien korelasi menurut Guilford 1956 (Suherman, 2003).

Koefisien korelasi	Kategori
$= 0,20$	Hubungan rendah sekali
$> 0,20 - 0,40$	Hubungan rendah tapi pasti
$> 0,40 - 0,70$	Hubungan yang cukup berarti
$> 0,70 - 0,90$	Hubungan yang kuat
$> 0,90$	Hubungan yang sangat tinggi

Berdasarkan Tabel 2.1 maka dapat diketahui kriteria koefisien dari setiap besaran koefisien korelasi yang diperoleh dari hasil analisis.

2.2.2 Koefisien Determinasi

Koefisien determinasi merupakan proporsi varian Y yang diterangkan oleh pengaruh linier dari X. Koefisien determinasi merupakan nilai yang dipergunakan untuk mengukur besarnya sumbangan atau andil variabel X terhadap variasi atau naik turunnya Y (Supranto, 2004).

$$KD = r^2 \times 100\% \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

KD = koefisien determinasi

r^2 = koefisien korelasi

Koefisien determinasi mempunyai kegunaan sebagai ukuran ketepatan suatu garis regresi yang diterapkan terhadap suatu kelompok data hasil observasi. Semakin besar nilai R^2 yang dimiliki suatu data maka semakin bagus atau tepat suatu garis regresi, sebaliknya semakin kecil nilai R^2 yang dimiliki suatu data maka semakin tidak tepat garis regresi untuk mewakili data hasil observasi. Kegunaan lain dari koefisien determinasi adalah untuk mengukur besarnya proporsi (presentase) jumlah variasi Y yang diterangkan oleh model regresi (Supranto, 2004).

2.2.3 Uji Hipotesis

Pengujian hipotesis dilakukan untuk menganalisis hasil dari model persamaan regresi berganda. Uji hipotesis yang digunakan adalah Uji Parsial (Uji t). Uji parsial atau uji t digunakan untuk menguji seberapa jauh pengaruh variabel independen atau variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini secara individual dalam menerangkan variabel dependen atau variabel tak bebas secara parsial (Ghozali, 2012). Nilai t dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.6.

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan :

t = nilai uji t

r = koefisien korelasi

n = jumlah data

Dasar pengambilan keputusan yang digunakan dalam uji t, yaitu:

- a. Jika nilai probabilitas signifikansi $> 0,05$, maka hipotesis ditolak. Hipotesis ditolak mempunyai arti bahwa variabel bebas tidak berpengaruh signifikan terhadap variabel tak bebas.
- b. Jika nilai probabilitas signifikansi $< 0,05$, maka hipotesis diterima.

Hipotesis diterima mempunyai arti bahwa variabel independen berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen.

2.2.4 Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) adalah metode yang digunakan untuk menghitung perbedaan antara data asli dan data hasil peramalan. Suatu model mempunyai kinerja sangat bagus jika nilai MAPE berada di bawah 10%, dan mempunyai kinerja bagus jika nilai MAPE berada di antara 10% dan 20% (Raharja, 2010).

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) dihitung dengan menggunakan kesalahan absolut pada tiap periode dibagi dengan nilai observasi yang nyata periode itu. Setelah itu, merata-rata kesalahan persentase absolut tersebut (Margi dan Pendawa, 2015). Nilai MAPE dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.7.

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{(X_t - F_t)}{X_t} \right| (100)}{n} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

MAPE = mean absolute percentage error

n = jumlah data

X_t = nilai hasil aktual

F_t = nilai hasil pendugaan

2.3 Simulasi Monte Carlo

Manajemen risiko adalah cara untuk mengidentifikasi dan mengukur seluruh risiko dalam suatu proyek atau bisnis sehingga dapat diambil keputusan bagaimana mengelola risiko tersebut (Flanagan and Norman, 1993). Proses manajemen risiko proyek terdiri dari beberapa tahap, yaitu identifikasi risiko, analisis dan penilaian risiko, tanggapan serta pengendalian terhadap risiko (Burke, 2006). Manajemen risiko adalah

efek akumulasi dari peluang kejadian yang tidak pasti yang mempengaruhi sasaran dan tujuan proyek. Analisis risiko terdiri dari analisis risiko kualitatif dan kuantitatif. Analisis risiko secara kuantitatif adalah proses analisis dampak risiko dengan memberikan *rate* berupa angka terhadap variabel risiko yang telah teridentifikasi. Proses analisis ini dapat dilakukan dengan simulasi Monte Carlo. Dalam sebuah simulasi, pengujian dilakukan menggunakan data nyata yang dikombinasikan dengan bilangan acak sehingga bisa mendapatkan estimasi hasil untuk masalah yang ingin dipecahkan, baik secara parsial maupun total (Dagpunar, 2007).

Simulasi Monte Carlo didefinisikan sebagai semua teknik sampling statistik yang digunakan untuk memperkirakan solusi terhadap masalah-masalah kuantitatif. Dalam simulasi Monte Carlo sebuah model dibangun berdasarkan sistem yang sebenarnya. Setiap variabel dalam model tersebut memiliki nilai yang memiliki probabilitas yang berbeda yang ditunjukkan oleh distribusi probabilitas atau biasa disebut dengan *probability distribution function* dari setiap variabel. Metode Monte Carlo mensimulasikan sistem tersebut berulang-ulang kali, ratusan bahkan sampai ribuan kali tergantung sistem yang ditinjau dengan cara memilih sebuah nilai *random* untuk setiap variabel dari distribusi probabilitasnya. Hasil yang didapatkan dari simulasi tersebut adalah sebuah distribusi probabilitas dari nilai sebuah sistem secara keseluruhan (Fadjar, 2011).

Sejak pertama kali digunakan untuk keperluan militer pada Manhattan Project (Eckhardt, 1987), simulasi Monte Carlo telah diaplikasikan pada berbagai bidang antara lain manajemen proyek, transportasi, desain komputer, finansial, meteorologi, biologi dan biokimia. Dalam bidang manajemen proyek simulasi Monte Carlo digunakan untuk menghitung atau mengiterasi biaya dan waktu sebuah proyek dengan menggunakan nilai-nilai yang dipilih secara *random* dari distribusi probabilitas biaya dan waktu yang

mungkin terjadi dengan tujuan untuk menghitung distribusi kemungkinan biaya dan waktu total dari sebuah proyek (Kwak *and* Ingall, 2007).