

**OPTIMALISASI APLIKASI *RESIN BOLTS* PADA AREA
FAILED PULL OUT TEST DI TAMBANG BAWAH TANAH
GRASBERG BLOCK CAVE, PT. FREEPORT INDONESIA,
PAPUA**

TUGAS AKHIR

ANATASYA CLARESTA

122.13.032



**PROGRAM STUDI TEKNIK EKSPLORASI TAMBANG
FAKULTAS TEKNIK DAN DESAIN
INSTITUT TEKNOLOGI DAN SAINS BANDUNG
KOTA DELTAMAS
AGUSTUS 2017**

**OPTIMALISASI APLIKASI *RESIN BOLTS* PADA AREA
FAILED PULL OUT TEST DI TAMBANG BAWAH TANAH
GRASBERG BLOCK CAVE, PT. FREEPORT INDONESIA,
PAPUA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi Teknik Eksplorasi Tambang

ANATASYA CLARESTA

122.13.032



**PROGRAM STUDI TEKNIK EKSPLORASI TAMBANG
FAKULTAS TEKNIK DAN DESAIN
INSTITUT TEKNOLOGI DAN SAINS BANDUNG
KOTA DELTAMAS
AGUSTUS 2017**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Anatasya Claresta

NIM : 122.13.032

Tanda Tangan :

Tanggal : 1 Agustus 2017

**OPTIMALISASI APLIKASI *RESIN BOLTS* PADA AREA
FAILED PULL OUT TEST DI TAMBANG BAWAH TANAH
GRASBERG BLOCK CAVE, PT. FREEPORT INDONESIA,
PAPUA**

TUGAS AKHIR

**ANATASYA CLARESTA
122.13.032**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi Teknik Eksplorasi Tambang

Menyetujui,

Kota Deltamas, 1 Agustus 2017

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Eng. Syafrizal Lillah, S.T., M.T.

M. Arbiansyah, S.T., M.T.

NIP. 197111251998031002

NIDN. 0422117202

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Eksplorasi Tambang

Ir. Mulyono Hadiprayitno, M.Sc

NUPN. 9944000081

“O you who have believed, seek help through patience and prayer. Indeed, Allah is with the patient.” (Qur’an 2:153)

“My lord, increase me in knowledge.” (Qu’ran 20:114)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alamin puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala nikmat dan dengan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Optimalisasi Aplikasi Resin Bolts Pada Area Failed Pull Out Test di Tambang Bawah Tanah Grasberg Block Cave (GBC), PT. Freeport Indonesia, Papua”**.

Penulisan tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan dalam jenjang perkuliahan S1 Teknik Eksplorasi Tambang, Institut Teknologi dan Sains Bandung. Dalam penulisan tugas akhir ini penulis tidak terlepas dari hambatan dan kesulitan, namun berkat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, hambatan tersebut dapat diatasi dengan baik.

Selanjutnya penulis dengan tulus mengucapkan terimakasih kepada:

1. Mama, Papa, Bagas, dan seluruh keluarga yang terus memberikan semangat dan doa.
2. Dr. Eng. Syafrizal Lillah, S.T. M.T. selaku pembimbing 1 dan M. Arbiansyah, S.T., M.T. selaku pembimbing 2, yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Ir. Mulyono Hadiprayitno, M.Sc. selaku Ketua Program Studi Teknik Eksplorasi Tambang Institut Teknologi dan Sains Bandung.
4. Bapak Andyono Broto Santoso, S.T., M.T. selaku dosen yang telah banyak membantu penulis selama pengerjaan tugas akhir ini.
5. Seluruh dosen Teknik Eksplorasi Tambang Institut Teknologi dan Sains Bandung.
6. Bapak Arjuna Ginting selaku *General Manager Geoengineering Division of* PT. Freeport Indonesia.
7. Mas Januar Fajar selaku pembimbing di lapangan yang telah banyak membantu penulis selama pengambilan dan pengolahan data. Mas Ferric Mardiansyah, Mas Josua Simatupang, Bang Rizky Ginting, Mas Bagea Kriska, Mas Rhicuh Romandsyah, Mas Ahmad Zyen, Mas Donny, Kak Yali Irab, Mas Anindito Mahendra, Mba Agustina Ratnaningrum, Mba Meilin Aprilika, Kak Jessica

Novia, Mas Andreas Yufianto, Mas Fadlan Sinaga, Mas Jaka, Mas Ruthman, Mas Bagus, Kak Issir, Mas Willy, Kak Awom dan seluruh staff *Geoengineering Division of* PTFI yang tidak mungkin penulis tuliskan satu persatu.

8. M. A. Prima Dika dan Bella Nastiti sebagai saudara terdekat penulis.
9. Reynaldo Novian Adiputra, Adjis Ibrahim, Divo Rinaldy, Qonit Ghossani, Fachmi Baihaqi, Laily Iza Maulina, Dwi Grevani Hayuti, Niken Tri Ayuning, Layli Eksak Agustiana, Vinca Alvando, Nadiyah Thirida Putri dan seluruh teman-teman Eksplorasi Tambang angkatan 2013 yang telah berjuang bersama untuk mendapatkan gelar sarjana.
10. Keluarga Cemara dan Ruddel selaku sahabat-sahabat yang telah memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis.
11. Teman-teman *Internship Students of* PTFI 2017: Nurul, Ode, Angel, Liza, Echie, Geo, Tito, Amik, Taufiq, Steve, Genio, Dio, Bontio, Arif, Benhur, Gusthy, Ikhsan, Pfindhy, Teguh, yang selalu menemani dan memberi dukungan selama penulis berada di Papua.
12. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.

Dalam penulisan tugas akhir ini tentunya penulis menyadari banyak terdapat kekurangan dari aspek kualitas maupun kuantitas. Penulis juga menyadari bahwa tugas akhir ini jauh dari kata sempurna sehingga penulis membutuhkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari berbagai pihak guna memperbaiki laporan ini agar menjadi lebih baik kedepannya. Penulis berharap, semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Bandung, 28 Juli 2017

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Institut Teknologi dan Sains Bandung, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Anatasya Claresta
NIM : 122.13.032
Program Studi : Teknik Eksplorasi Tambang
Fakultas : Teknik dan Desain
Jenis karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Institut Teknologi dan Sains Bandung **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**OPTIMALISASI APLIKASI RESIN BOLTS PADA AREA FAILED PULL
OUT TEST DI TAMBANG BAWAH TANAH GRASBERG BLOCK CAVE,
PT. FREEPORT INDONESIA, PAPUA**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Institut Teknologi dan Sains Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 1 Agustus 2017
Yang menyatakan

(Anatasya Claresta)

ABSTRAK

Saat ini PT. Freeport Indonesia (PTFI) bermaksud untuk memperkecil *cycle time* penyanggaan bawah tanah pada tahap pengembangan. Untuk mengakomodir hal tersebut, PTFI menemukan sebuah solusi yaitu dengan menggunakan *resin bolts* sebagai penyangga. *Resin Bolts* adalah kombinasi *rock bolts* jenis *Paddle Bolt* dengan semen pengikat berupa resin dan katalis. Keuntungan dari penggunaan *resin bolts* yaitu dapat langsung bekerja sebagai penyangga setelah dipasang (*immediately ground support*), dengan waktu pengeringan resin 23-32 detik untuk *medium set* dan 90-150 detik untuk *slow set*.

Pada tambang bawah tanah *Grasberg Block Cave* yang saat ini berada pada tahap pengembangan, aplikasi *resin bolts* sudah digunakan di beberapa lokasi. Akan tetapi ditemukan kendala pada penggunaannya, salah satunya adalah tidak bekerjanya *resin bolts* di beberapa kondisi massa batuan yang mengakibatkan terjadinya kegagalan atau *failure* pada saat *Pull Out Test* (POT), yaitu uji yang dilakukan untuk mengetahui kapasitas penjangkaran baut batuan. POT dikatakan berhasil apabila *resin bolts* mampu bertahan dan melewati batas beban yang diberikan pada saat pengujian. Berdasarkan standar yang dimiliki PTFI, batas beban untuk *resin bolts* adalah 12 ton.

Dilakukan penelitian dengan meninjau kembali secara geoteknik untuk melihat apakah *resin bolts* masih dapat digunakan di lokasi yang gagal dengan menggunakan kapasitas penyanggaan dari hasil POT. Dilakukan perhitungan kedalaman keruntuhan di daerah penelitian untuk menentukan faktor keamanan dari penyanggaan selama umur tambang dengan melihat tegangan maksimum pada *roof* dan *rib*. Hasil penelitian menunjukkan dengan kapasitas pada saat gagal POT, *resin bolts* masih efektif digunakan selama umur tambang dengan rekomendasi spasi hasil optimalisasi *resin bolts*.

KATA KUNCI: *resin bolts, pull out test, kedalaman keruntuhan, faktor keamanan*

ABSTRACT

Currently, PT. Freeport Indonesia (PTFI) intends to reduce the cycle time of ground supports at the development stage. To accommodate it, PTFI find a solution by using resin bolts as a ground supports. Resin bolts is a combination of Paddle Bolts with resin and catalyst as cement. The advantage of using resin bolts is that it can work as an immediately ground supports after the installation, with a resin drying time 23-32 seconds for the medium set and 90-150 seconds for the slow set.

In Grasberg Block Cave underground mine which is currently at the stage of development, the application of resin bolts have been used in several locations. However, obstacles are found in their use, one of them is the non-working of resin bolts in some rock mass conditions resulting in failure during Pull Out Test (POT), a test that was conducted to determine the capacity of the rock bolts anchoring. POT succeeds when the resin bolts are able to survive and pass the load limit given during the test. Based on PTFI's standard, the load limit for resin bolts is 12 tons.

A geotechnical review was conducted to see if the resin bolts can still be used at the failed location by using the ground supports capacity from the POT results. The calculation of the depth of failure is done in the research area to determine the safety factor of ground supports during the life of mine by looking at the maximum stress on the roof and rib. The results show with capacity at the time of failed POT, resin bolts is still effective used during the life of mine with the recommendation space from optimization of resin bolts.

KEYWORDS: *resin bolts, pull out test, depth of failure, safety factor*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR ISTILAH	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN UMUM	8
2.1 Sejarah Perusahaan.....	8

2.2 Lokasi dan Kesampaian Wilayah.....	9
2.3 Topografi dan Morfologi.....	10
2.4 Iklim dan Curah Hujan.....	12
2.5 Kondisi Geologi Regional.....	13
2.6 Kondisi Geologi Lokal.....	17
2.7 Metode Penambangan	21
BAB III DASAR TEORI	24
3.1 <i>Resin Bolts</i>	24
3.2 <i>Pull Out Test</i>	27
3.3 Karakteristik Massa Batuan	28
3.4 Kriteria Keruntuhan Batuan	32
3.5 Kekuatan Massa Batuan	34
3.6 Kedalaman Keruntuhan Batuan	35
3.7 <i>Rock Mass Rating</i>	38
3.8 Faktor Keamanan	47
BAB IV DATA DAN PENGOLAHAN	49
4.1 Pengambilan Data	49
4.2 Pengolahan Data.....	50
BAB V HASIL DAN ANALISIS.....	64
5.1 Analisis Kedalaman Keruntuhan Batuan	64
5.2 Analisis Faktor Keamanan	66
5.3 Analisis Efektivitas <i>Resin Bolts</i>	79
5.4 Analisis Faktor Geologi Yang Dapat Menyebabkan Kegagalan POT.....	80
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	87
6.1 Kesimpulan	88
6.2 Saran.....	92
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Curah Hujan Rata-rata (mm) Tahun 2012-2016 (Departemen Hidrologi PTFI, 2017).....	13
Tabel 3.1 Estimasi pengukuran kuat tekan batuan utuh di lapangan (Hoek, 2000).....	29
Tabel 3.2 Nilai konstanta mi untuk batuan utuh berdasarkan litologi batuan (Hoek & Brown, 1993).....	30
Tabel 3.3 Klasifikasi <i>Geological Strength Index</i>	32
Tabel 3.4 Panduan penentuan nilai D (Hoek, 2000).....	34
Tabel 3.5 Klasifikasi ketidakstabilan lubang bukaan dan keruntuhan batuan (Martin et al, 2003).....	37
Tabel 3.6 Kekuatan batuan utuh (Bieniawski, 1989).....	40
Tabel 3.7 <i>Rock Quality Designation</i> (Bieniawski, 1989).....	41
Tabel 3.8 Spasi bidang diskontinuitas (Bieniawski, 1989).....	42
Tabel 3.9 Penggolongan dan pembobotan kekasaran (Bieniawski, 1989).....	43
Tabel 3.10 Tingkat pelapukan (Bieniawski, 1989).....	44
Tabel 3.11 Panduan klasifikasi kondisi bidang diskontinuitas (Bieniawski, 1989).....	45
Tabel 3.12 Pembobotan kondisi air tanah (Bieniawski, 1989).....	46
Tabel 3.13 Orientasi bidang diskontinuitas (Bieniawski, 1989).....	46
Tabel 3.14 Profil massa batuan berdasarkan nilai RMR (Bieniawski,1989).....	47

Tabel 4.1 Data <i>Pull Out Test</i>	49
Tabel 4.2 Lokasi Penelitian.....	50
Tabel 4.3 Nilai UCS dari tiap litologi di lokasi penelitian.....	51
Tabel 4.4 Hasil pembobotan RMR di semua lokasi.....	53
Tabel 4.5 Nilai tegangan di <i>Drainage Access Drift</i>	54
Tabel 4.6 Pembobotan kondisi kekar di <i>Drainage Access Drift</i>	54
Tabel 4.7 Hasil perhitungan GSI di semua lokasi penelitian.....	55
Tabel 4.8 Hasil perhitungan kriteria keruntuhan dan kekuatan massa batuan.....	55
Tabel 4.9 Penggolongan batuan di <i>Drainage Access Drift</i> dengan $\sigma_1/\sigma_c = 0.27$ dan RMR 66.....	56
Tabel 4.10 Ukuran blok massa batuan.....	57
Tabel 4.11 Hasil perhitungan kedalaman keruntuhan dengan metode empiris.....	59
Tabel 4.12 Karakteristik Material.....	61
Tabel 4.13 Karakteristik <i>Rockbolt</i> (Departemen Geoteknik PTFI).....	61
Tabel 4.14 Hasil perhitungan kedalaman keruntuhan dengan Phase ²	62
Tabel 4.15 Faktor keamanan desain tiap lokasi penelitian.....	63
Tabel 4.16 Hasil perhitungan faktor keamanan.....	63
Tabel 5.1 Perbandingan kedalaman keruntuhan metode empiris dan Phase ²	65
Tabel 5.2 FK pada <i>stage 3</i> di <i>Drainage Acc Drift</i>	67
Tabel 5.3 FK <i>roof</i> saat tegangan maksimum di <i>Drainage Acc Drift</i>	67
Tabel 5.4 FK <i>rib</i> pada saat tegangan maksimum di <i>Drainage Acc Drift</i>	68
Tabel 5.5 FK pada <i>stage 3</i> di <i>Drainage Drift 4 Sump 3</i>	68

Tabel 5.6 FK <i>roof</i> saat tegangan maksimum di <i>Drainage Drift 4 Sump 3</i>	69
Tabel 5.7 FK <i>rib</i> saat tegangan maksimum di <i>Drainage Drift 4 Sump 3</i>	70
Tabel 5.8 FK pada <i>stage 3</i> di <i>Track 45 to Rail Shop Road</i>	70
Tabel 5.9 FK <i>roof</i> saat tegangan maksimum di <i>Track 45 to Rail Shop Road</i>	71
Tabel 5.10 FK <i>rib</i> saat tegangan maksimum di <i>Track 45 to Rail Shop Road</i>	71
Tabel 5.11 FK pada <i>stage 3</i> di <i>DD28-29 XC 38 Exh Raise Bottom Acc</i>	72
Tabel 5.12 FK <i>roof</i> saat tegangan maksimum di <i>DD28-29 XC 38 Exh Raise Bottom Acc</i>	73
Tabel 5.13 FK <i>rib</i> saat tegangan maksimum di <i>DD28-29 XC 38 Exh Raise Bottom Acc</i>	73
Tabel 5.14 FK pada <i>stage 3</i> di <i>P24E Exhaust 56 Bottom Acc</i>	74
Tabel 5.15 FK pada <i>stage 3</i> di <i>BC 612 Conveyor XC 7to South</i>	75
Tabel 5.16 FK <i>roof</i> saat tegangan maksimum di <i>BC 612 Conveyor XC 7 to South</i>	75
Tabel 5.17 FK <i>rib</i> saat tegangan maksimum di <i>BC 612 Conveyor XC 7 to South</i>	76
Tabel 5.18 FK pada <i>stage 3</i> di <i>BC 613 Tail Acc 2nd Pass</i>	76
Tabel 5.19 FK <i>roof</i> saat tegangan maksimum di <i>BC 613 Tail Acc 2nd Pass</i>	77
Tabel 5.20 FK <i>rib</i> saat tegangan maksimum di <i>BC 613 Tail Acc 2nd Pass</i>	77
Tabel 5.21 FK pada <i>stage 3</i> di <i>CR 601 Apron Feeder Acc</i>	78
Tabel 5.22 FK <i>roof</i> saat tegangan maksimum di <i>CR 601 Apron Feeder Acc</i>	78
Tabel 5.23 FK <i>rib</i> saat tegangan maksimum di <i>CR 601 Apron Feeder Acc</i>	79

Tabel 5.24 <i>Uniaxial Compressive Strength</i> (UCS).....	80
Tabel 5.25 <i>Rock Quality Designation</i> (RQD).....	81
Tabel 5.26 Spasi kekar	81
Tabel 5.27 Persistensi kekar.....	82
Tabel 5.28 Apertur	83
Tabel 5.29 Kekasaran.....	83
Tabel 5.30 Material pengisi.....	84
Tabel 5.31 Keterlapukkan	85
Tabel 5.32 Kondisi air tanah	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Alir Penelitian.....	6
Gambar 2.1 Peta Lokasi PT. Freeport Indonesia (PT. Freeport Indonesia)	9
Gambar 2.2 Penampang topografi PT. Freeport Indonesia (PT. Freeport Indonesia).....	12
Gambar 2.3 Peta Geologi Distrik <i>Ertsberg-Grasberg</i> (Call & Nicholas, 2008) ..	16
Gambar 3.1 <i>Possimix Bolt</i> dan <i>Paddle Bolt</i> (www.dsiminingproducts.com)	25
Gambar 3.2 Resin dan katalis	25
Gambar 3.3 Kegiatan <i>Pull Out Test</i> (Departemen <i>Quality Control</i> PTFI).....	27
Gambar 3.4 Ilustrasi tunnel berbentuk lingkaran dengan radius ekuivalen (a) dan kedalaman keruntuhan batuan (Rf)	36
Gambar 3.5 Prosedur pengukuran RQD (Alter Deere, 1989)	41
Gambar 4.1 Rasio index kerusakan dengan klasifikasi stabilitas Hoek-Brown (Hoek-Brown, 1980)	58
Gambar 4.2 Kondisi Batas dan Model di <i>Drainage Access Drift</i>	60
Gambar 4.3 Hasil pemodelan dengan Phase ² di <i>Drainage Access Drift</i>	62

DAFTAR ISTILAH

- a. *Block caving* adalah metode penambangan bawah tanah yang dilakukan dengan membuat daerah ambrukan pada badan bijih.
- b. *Crosscut* (XC) adalah suatu lubang bukaan mendatar yang memotong jurus endapan bijih.
- c. *Drainage* adalah tempat penyaliran air.
- d. *Drawpoint* adalah tempat penampungan *broken ore* atau bijih yang terberaikan.
- e. *Drawbell* adalah jalur masuknya bijih hasil peledakan dari daerah *undercut* menuju daerah *drawpoint*.
- f. *Drift* adalah suatu lubang bukaan mendatar yang dibuat dekat atau pada endapan bijih dan arahnya sejajar jurus.
- g. *Exhaust* adalah tempat mengalirkan udara kotor.
- h. *Intake* adalah tempat mengalirkan udara bersih.
- i. *Level* adalah *drift* atau *crosscut* yang dibuat dengan jarak-jarak yang teratur kearah vertikal.
- j. Panel adalah lubang bukaan sebagai jalan angkut bijih yang telah terberaikan (*broken ore*) dari lubang bukaan penarikan bijih.
- k. *Raise* adalah lubang bukaan vertikal atau agak miring yang dibuat dari level bawah ke level diatasnya.
- l. *Rib* adalah bagian dinding lubang bukaan.
- m. *Roof* adalah bagian atap lubang bukaan.
- n. *Spalling* adalah proses induksi tegangan pada rekahan yang baru tumbuh sejajar dengan batas penggalian, menghasilkan *slab* atau lempeng tipis pada batuan.
- o. *Squeezing* adalah kondisi pemampatan batuan akibat adanya pergeseran yang berasosiasi dengan pergerakan kearah perimeter lubang bukaan.
- p. *Sump* adalah suatu sumur dangkal untuk menampung air kemudian dipompakan ke permukaan.
- q. *Tail Access* adalah bagian ujung atau akhir dari *conveyor*.
- r. *Undercut* adalah tempat kegiatan pemboran dan pemberaian material pada tambang *block caving* untuk membuat rongga awal ambrukan.

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A** Peta dan Foto Lokasi Penelitian
- Lampiran B** Hasil Pembobotan *Rock Mas Rating* dan Klasifikasi Jenis Batuan Tiap Lokasi Penelitian
- Lampiran C** Tabel Nilai Tegangan (MPa) Tiap *Stage* Pada Lokasi Penelitian
- Lampiran D** Tabel Perhitungan Kedalaman Keruntuhan Pada *Stage* 3 dan Pada Saat Tegangan Maksimum Pada Tiap Lokasi Penelitian
- Lampiran E** Hasil Pemodelan Dengan Phase^2 Pada Tiap Lokasi Penelitian