

1. Rancangan Teknis Penambangan Batu Andesit di Kuari Maloko PT. Solusi Bangun Beton Kabupaten Bogor, Jawa Barat... **Eddy Winarno, Untung Sukanto, & Dhandi Wicantyo**
2. Analisis Jarak Efektif Muck Raise terhadap Heading Pada Area West Level Undercut di Tambang Bawah Tanah Deep Mill Level Zone (DMLZ) PT. Freeport Indonesia...**R. Hariyanto, Wawong Dwi Ratminah, Nyoman Bagus Widya Partama**
3. Berburu Bijih Mangan di Ujung Timur Indonesia dengan Membawa Perlengkapan Automatic Resistivity (Ares) Dibantu Ketua dan Masyarakat Adat Desa Kaubele di Atambua...**Winda**
4. Analisis Kestabilan Lubang Bukaah Pada Terowongan Bekas Jalur Angkut Penambangan Mangan Diwatu Jonggol, Desa Karangari, Kecamatan Pengasih, Kabupaten Kulonprogo, D. I. Yogyakarta...**Singgih Saptono, Indun Titisariwati, Rasyida Hafshah**
5. Analisis Kestabilan Lereng Timbunan pada Material Tanah Lunak menggunakan Hasil Pengujian Insitu dalam Menentukan Probabilitas Longsor di Kabupaten Berau Kalimantan Timur...**Bagus Wiyono, Abdul Rauf, Muhammad Irfan Izzaddin**
6. Analisis Iklim Keselamatan (Safety Climate) Karyawan Tambang Bawah Tanah Deep Mill Level Zone PT Freeport Indonesia Mimika Papua...**Dyah Probowati, Dwi Poetranto WA, Desy Purwati Tampungolon**
7. Analisis Kestabilan Lereng Guna Mengoptimalkan Desain Pit Bottom Phase 7 PT. Amman Mineral Nusa Tenggara Kabupaten Sumbawa Barat Nusa Tenggara Barat...**Barlian Dwi Nagara, Indun Titisariwati, Dimas Prast Faturrahman**
8. Perancangan Teknis Sistem Penyaliran Tambang Batugamping pada Kuari XIII PT. Solusi Bangun Indonesia Kabupaten Cilacap Provinsi Jawa Tengah...**Peter E.R., Untung S., Shavira**
9. Rancangan Teknis Sistem Penyaliran Tambang pada Tambang Andesit CV.Ellyta Karya Pratama, Dusun Watubelah, Desa Sidomulto, Kecamatan Pengasih, Kabupaten Kulonprogo, Yogyakarta...**Hartono., Bambang Wicaksono., Bayu Angkasa Utama**
10. Pemilihan Tanaman Pada Reklamasi Lahan Bekas Tambang...**Inmarlinianto**
11. Penilaian Resiko Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja PT Area Bangun Putra Sejati Kabupaten Kulon Progo Daerah Istimewa Yogyakarta...**Dyah Probowati, Tedy Agung Cahyadi, Gunawan Nusanto, Ketut Gunawan, Ahmad Luthfi**
12. Rancangan Jalan Tambang pada Penambangan Batu Andesit di Kecamatan Kokap, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta...**Bagus Wiyono, Tedy Agung Cahyadi, Barlian Dwinagara, Hartono, Muhammad Faiz Safaat**
13. Kajian Kestabilan Waste Dump dengan Metode Waste Dump Stability Rating And Hazard Classification System Pada Tambang Andesit CV. Trikarya Kecamatan Kokap Kabupaten Kulon Progo Yogyakarta... **Wawong Dwi Ratminah, Nur Rokhimah, Priyo Widodo.**
14. Estimasi Cadangan Endapan Bauksit menggunakan Metode Ordinary Kriging pada Blok Mungguk Ruai PT. Dinamika Sejahtera Mandiri Kecamatan Toba Kabupaten Sanggau Provinsi Kalimantan Barat...**Eddy Winarno Barlian Dwinagara Sigit Dijuliyanto**
15. Analisis Produktivitas Alat Muat dan Alat Angkut Dengan Metoda Overall Equipment Effectiveness (OEE) Di PT. Tanito Harum, Tenggaraong, Kalimantan Timur...**Ketut Gunawan, Hendri Saputra, Sudaryanto, Nur Ali Amri**
16. Analisis Kestabilan Rancangan Geometri Lereng Akhir Penambangan Andesit Desa Hargowilis Kecamatan Kokap Kulon Progo...**Bagus Wiyono, Waterman Sulistyana Bargawa, Faris Abdillah**
17. Estimasi Jumlah Kupasan Tanah dalam Proyek Persiapan Area Crusher Maloko C menggunakan Metode Cross Section dengan Variabel jarak Sayatan di PT. Solusi Bangun Beton Rumpin Kabupaten Bogor, Jawa Barat ...**Kresno, Sudaryanto, Abdul Rauf, Fahmi Nugroho**
18. Kajian Teknis Produksi Alat Gali-Muat pada Kegiatan Pengupasan Tanah Penutup Tambang Batubara PT. Berau Coal, Berau, Provinsi Kalimantan Timur ...**Edy Nursanto., Suyono, Anton Sudyanto, Nurul Anisa**
19. Analisis Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Penambangan Batu Andesit Di PT. Harmak Indonesia, Desa Hargowilis, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, DIY... **Hasywir Thaib S, Dyah Probowati dan Arista Oryza**
20. Evaluasi Sistem Pemompaan dan Cerukan pada Mine Dewatering Method di Tambang Bawah Tanah Bijih Emas PT Nusa Halmahera Minerals Kabupaten Halmahera Utara Provinsi Maluku Utara ...**Peter Eka R, Suyono, Deny Rachmat**
21. Simulasi Perubahan Model Variogram Untuk Estimasi Memakai Teknik Block Kriging... **Waterman Sulistyana Bargawa**
22. Analisis Pengaruh Kelas Massa Batuan terhadap Produktivitas Hydraulic Rock Breaker pada Penambangan Batuandesit PT Trimatha Utama Mineral Kabupaten Serang Banten... **R. Hariyanto, Rika Ernawati, Novi Krisna Maryanto.**
23. Analisis Risiko Jalan Pertambangan Pada Proses Pengangkutan dari Pit Blambangan Ke Waste Dump Inpit Padjajaran berdasarkan Kepmen Esdm No.1827 K/30/Mem/2018 Pt. Tambang Tondano Nusajaya...**Kresno,Edy Nursanto & Nadine Eklisaria Limbold.**
24. Kajian Teknis Produksi Alat Gali Muat Dan Alat Angkut Pada Pengupasan Lapisan Penutup Batubara Di PT. Mitra Indah Lestari, Kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur, **Gunawan Nusanto, Anton Sudyanto, Priyo Widodo, Fajar Ramadhani Chafidzulloh**



JURNAL

Teknologi Pertambangan

DAFTAR ISI

1. Rancangan Teknis Penambangan Batu Andesit di Kuari Maloko PT. Solusi Bangun Beton Kabupaten Bogor, Jawa Barat...**Eddy Winarno, Untung Sukamto, & Dhandi Wicantyo** (1-7)
2. Analisis Jarak Efektif Muck Raise terhadap Heading Pada Area West Level Undercut di Tambang Bawah Tanah Deep Mill Level Zone (DMLZ) PT. Freeport Indonesia...**R.Hariyanto., Wawong Dwi Ratminah, Nyoman Bagus Widya Partama**..... (8-17)
3. Berburu Bijih Mangan di Ujung Timur Indonesia dengan Membawa Perlengkapan Automatic Resistivity (Ares) Dibantu Ketua dan Masyarakat Adat Desa Kaubele Di Atambua...**Winda** (18-24)
4. Analisis Kestabilan Lubang Bukaan Pada Terowongan Bekas Jalur Angkut Penambangan Mangan Diwatu Jonggol, Desa Karang Sari, Kecamatan Pengasih, Kabupaten Kulonprogo, D. I. Yogyakarta...**Singgih Saptono, Indun Titisariwati, Rasyida Hafshah**..... (25-31)
5. Analisis Kestabilan Lereng Timbunan pada Material Tanah Lunak menggunakan Hasil Pengujian Insitu dalam Menentukan Probabilitas Longsor di Kabupaten Berau Kalimantan Timur...**Bagus Wiyono, Abdul Rauf, Muhammad Irfan Izzaddin** (32-36)
6. Analisis Iklim Keselamatan (Safety Climate) Karyawan Tambang Bawah Tanah Deep Mill Level Zone PT Freeport Indonesia Mimika Papua...**Dyah Probowati, Dwi Poetranto W, Desy Purwati Tampubolon** (37-43)
7. Analisis Kestabilan Lereng Guna Mengoptimalkan Desain Pit Bottom Phase 7 PT. Amman Mineral Nusa Tenggara Kabupaten Sumbawa Barat Nusa Tenggara Barat...**Barlian Dwi Nagara, Indun Titisariwati, Dimas Prast Faturrahman** (44-58)
8. Perancangan Teknis Sistem Penyaliran Tambang Batugamping pada Kuari Xiii PT. Solusi Bangun Indonesia Kabupaten Cilacap Provinsi Jawa Tengah...**Peter Eka Rosadi., Untung Sukamto., Shavira**..... (59-65)
9. Rancangan Teknis Sistem Penyaliran Tambang pada Tambang Andesit CV.Ellyta Karya Pratama, Dusun Watubelah, Desa Sidomulto, Kecamatan Pengasih, Kabupaten Kulonprogo, Yogyakarta...**Hartono, Bambang Wicaksono & Bayu Angkasa Utama** (66-72)
10. Pemilihan Tanaman Pada Reklamasi Lahan Bekas Tambang...**Inmarlinianto** (73-76)

11. Penilaian Resiko Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja PT Area Bangun Putra Sejati Kabupaten Kulon Progo Daerah Istimewa Yogyakarta...**Dyah Probowati, Tedy Agung Cahyadi, Gunawan Nusanto, Ketut Gunawan, Ahmad Luthfi** (77-83)
12. Rancangan Jalan Tambang pada Penambangan Batu Andesit di Kecamatan Kokap, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta...**Bagus Wiyono, Tedy Agung Cahyadi, Barlian Dwinagara, Hartono & Muhammad Faiz Safaat** (84-92)
13. Kajian Kestabilan Waste Dump dengan Metode Waste Dump Stability Rating And Hazard Classification System Pada Tambang Andesit CV. Trikarya Kecamatan Kokap Kabupaten Kulon Progo Yogyakarta... **Wawong Dwi Ratminah, Nur Rokhimah, Priyo Widodo** (93-99)
14. Estimasi Cadangan Endapan Bauksit menggunakan Metode Ordinary Kriging pada Blok Mungguk Ruai PT. Dinamika Sejahtera Mandiri Kecamatan Toba Kabupaten Sanggau Provinsi Kalimantan Barat...**Eddy Winarno, Barlian Dwinagara Sigit Dijuliyanto** (100-108)
15. Analisis Produktivitas Alat Muat dan Alat Angkut Dengan Metoda Overall Equipment Effectiveness (OEE) Di PT. Tanito Harum, Tenggara, Kalimantan Timur...**Ketut Gunawan, Hendri Saputra, Sudaryanto, Nur Ali Amri** (109-116)
16. Analisis Kestabilan Rancangan Geometri Lereng Akhir Penambangan Andesit Desa Hargowilis Kecamatan Kokap Kulon Progo...**Bagus Wiyono, Waterman Sulistyana Bargawa, Faris Abdillah** (117-122)
17. Estimasi Jumlah Kupasan Tanah dalam Proyek Persiapan Area Crusher Maloko C menggunakan Metode Cross Section dengan Variabel Jarak Sayatan di PT. Solusi Bangun Beton Rumpin Kabupaten Bogor, Jawa Barat...**Kresno, Sudaryanto, Abdul Rauf, Fahmi Nugroho**..... (123-127)
18. Kajian Teknis Produksi Alat Gali-Muat pada Kegiatan Pengupasan Tanah Penutup Tambang Batubara PT. Berau Coal, Berau, Provinsi Kalimantan Timur...**Edy Nursanto., Suyono , Anton Sudiyanto, Nurul Anisa** (128-134)
19. Analisis Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Penambangan Batu Andesit Di PT. Harmak Indonesia, Desa Hargowilis, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, DIY...**Hasywir Thaib S, Dyah Probowati dan Arista Oryza** (135-147)
20. Evaluasi Sistem Pemompaan dan Cerukan pada Mine Dewatering Method di Tambang Bawah Tanah Bijih Emas PT Nusa Halmahera Minerals Kabupaten Halmahera Utara Provinsi Maluku Utara...**Peter Eka R, Suyono, Deny Rachmat** (148-156)
21. Simulasi Perubahan Model Variogram Untuk Estimasi Memakai Teknik Block Kriging ...**Waterman Sulistyana Bargawa** (157-162)
22. Analisis Pengaruh Kelas Massa Batuan terhadap Produktivitas Hydraulic Rock Breaker pada Penambangan Batuandesit PT Trinatha Utama Mineral Kabupaten Serang Banten...**R. Hariyanto, Rika Ernawati, Novi Krisna Maryanto** ... (163-171)
23. Analisis Risiko Jalan Pertambangan pada Proses Pengangkutan dari Pit Blambangan ke Waste Dump Inpit Padjajaran Berdasarkan Kepmen ESDM No.1827

K/30/Mem/2018 PT. Tambang Tondano Nusajaya...**Kresno,Edy Nursanto & Nadine Eklisaria Limboki** (172-185)

24. Kajian Teknis Produksi Alat Gali Muat Dan Alat Angkut Pada Pengupasan Lapisan Penutup Batubara Di PT. Mitra Indah Lestari, Kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur, **Gunawan Nusanto, Anton Sudyanto, Priyo Widodo, Fajar Ramadhani Chafidzulloh** (186-195)

ANALISIS KESTABILAN LERENG GUNA MENGOPTIMALKAN DESAIN *PIT BOTTOM* PHASE 7 PT. AMMAN MINERAL NUSA TENGGARA KABUPATEN SUMBAWA BARAT NUSA TENGGARA BARAT

¹Barlian Dwi Negara, ²Indun Titisariwati & ³Dimas Prast Faturrahman

Program Studi Teknik Pertambangan, Jurusan Teknik Pertambangan
Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta
Jl. Padjajaran, Condongcatur, Yogyakarta 55283 Indonesia
No. HP: 085702556799, email: dimasprastxii1@gmail.com

RINGKASAN

PT. Amman Mineral Nusa Tenggara yang berlokasi di Batu Hijau, Sumbawa Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat merupakan salah satu perusahaan tambang terbuka dengan metode *open pit*. Seiring dengan *phase* penambangan yang terus bergerak ke arah bawah menyebabkan luas *pit bottom* semakin menyempit dan akan menghambat proses penambangan, oleh karena itu diperlukan pengoptimalan pada desain *pit bottom*, salah satu caranya dengan menegakkan lereng yang belum mengalami penambangan.

Penegakkan pada lereng berdampak pada menurunnya kestabilan lereng dibanding pada saat tahap awal perancangan geometri lereng, sehingga diperlukan analisis untuk menentukan rekomendasi penegakan maksimal yang dapat diterapkan secara aman.

Kestabilan lereng umumnya dinyatakan dengan nilai Faktor Keamanan (FK) yang diperoleh dari Metode Kesetimbangan Batas dan metode probabilistik yang didasarkan pada perhitungan probabilitas kelongsoran (PF) lereng. Probabilitas kelongsoran lereng ditentukan dari adanya variasi nilai parameter masukan yang selanjutnya akan menghasilkan variasi nilai FK lereng.

Hasil analisis kestabilan dengan pendekatan faktor keamanan, penegakan lereng memiliki pengaruh tidak terlalu tinggi dengan tingkat penurunan rata-rata 2,79% yang disebabkan oleh penurunan berat total irisan dan kenaikan tekanan pori. Sementara pengaruh penegakkan dengan pendekatan probabilitas kelongsoran menunjukkan pengaruh tidak terlalu tinggi dengan kenaikan probabilitas kelongsoran rata-rata 1,71% yang disebabkan perubahan persentase lebar irisan dan standard deviasi. Mengacu pada Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018 dengan batas nilai $FK \geq 1,1$ dan $PF \leq 5\%$ maka ditentukan nilai *bench face angle* maksimal yang mungkin untuk diterapkan yaitu BFA 76°.

Kata Kunci: Faktor Keamanan, Probabilitas Kelongsoran, Variasi Kemiringan Lereng Tunggal.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

PT. Amman Mineral Nusa Tenggara yang berlokasi di Batu Hijau, Sumbawa Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat merupakan salah satu perusahaan pertambangan besar di Indonesia. Sistem penambangan yang digunakan yaitu sistem tambang terbuka dengan metode *open pit*. Pada metode ini penggalian atau pembongkaran dilakukan dengan membuat satu atau lebih jenjang guna mengambil cadangan terbukti yang berada dekat dengan permukaan. Kegiatan pembongkaran ini akan membentuk suatu lereng yang menyebabkan terjadinya perubahan besarnya gaya-gaya pada daerah di belakang lereng yang nantinya dapat mengganggu kestabilan lereng tersebut dan akhirnya dapat menyebabkan kelongsoran. Dikarenakan hal tersebut perlu dilakukan analisis kestabilan lereng yang ada agar tidak terjadi kelongsoran. Kestabilan lereng umumnya dinyatakan dengan nilai Faktor Keamanan (FK) yang diperoleh dari Metode Kesetimbangan Batas. Nilai $FK = 1$ dinyatakan sebagai batas kritis lereng stabil. Suatu alternatif selain pendekatan FK untuk desain lereng adalah metode probabilistik yang didasarkan pada perhitungan probabilitas kelongsoran (PF) lereng. Probabilitas kelongsoran lereng ditentukan

dari adanya variasi nilai parameter masukan yang selanjutnya akan menghasilkan variasi nilai FK lereng.

Seiring dengan *phase* penambangan yang terus bergerak ke arah bawah dengan metode *open pit*, menyebabkan luas *pit bottom* semakin menyempit dan akan menghambat proses penambangan yang ingin ditingkatkan oleh perusahaan. Oleh karena itu diperlukan perubahan pada desain *pit bottom*, salah satu caranya dengan menegakkan lereng yang belum mengalami penambangan. *Pit* Batu Hijau pada saat skripsi ini dibuat sedang melakukan pembongkaran pada *phase 6* menuju *phase 7* sehingga lereng yang akan ditegakkan berada pada desain *phase 7*. Penegakkan pada lereng akan berdampak pada menurunnya kestabilan lereng dibanding pada saat tahap awal perancangan geometri lereng, sehingga diperlukan analisis untuk menentukan rekomendasi penegakan maksimal yang dapat diterapkan secara aman.

1.2. Rumusan Masalah

Dari permasalahan diatas didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Pengaruh penegakkan lereng *overall* dan keberagaman kekuatan batuan uniaksial (UCS) terhadap kestabilan lereng pada desain *Phase 7* belum diketahui.

2. Desain geometri lereng *overall phase 7* yang menghasilkan nilai $FK \geq 1,1$ dan $PF \leq 5\%$ belum diketahui.
- 1.3. **Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah:

 1. Mengetahui pengaruh penegakkan lereng *overall* terhadap kestabilan lereng dengan pendekatan faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran.
 2. Memberikan rekomendasi desain geometri lereng *overall* yang aman pada desain *Phase 7* dengan nilai $FK \geq 1,1$ dan $PF \leq 5\%$ berdasarkan Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018
 - 1.4. **Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

 1. Kriteria keruntuhan yang digunakan yaitu *Generalized Hoek-Brown*.
 2. Analisis dilakukan pada kondisi dinamis.
 3. Penegakkan lereng diterapkan pada *bench face angle (BFA)* dengan kemiringan awal 70° hingga mencapai 80° dengan kenaikan kelipatan 2° .
 4. Tidak memperhitungkan beban tambahan pada lereng.
 5. Analisis dilakukan hanya pada lereng *overall*.
 - 1.5. **Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

 1. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian lebih lanjut.
 2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan oleh perusahaan sebagai pertimbangan untuk menentukan desain geometri lereng *overall* yang aman.
 - 1.6. **Metode Penelitian**

Dalam penelitian ini dilakukan metode penelitian sebagai berikut:

 1. Studi literatur
Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori atau penelitian sejenis yang pernah dilakukan terkait dengan penelitian ini di beberapa buku referensi, jurnal ilmiah, ataupun laporan penelitian sebelumnya. Maka dalam penulisan ini akan ditunjang dengan latar belakang serta teori yang kuat sehingga pengolahan data, pembahasan dan kesimpulan dilakukan dengan bantuan literatur yang saling berhubungan.
 2. Orientasi Lapangan
Proses orientasi lapangan atau pengenalan lapangan dilakukan untuk melihat secara langsung dan mencatat kondisi yang berkaitan dengan lokasi lereng penggalian PT. AMNT.
 3. Observasi Lapangan
Proses observasi lapangan yaitu melakukan pengamatan secara langsung dilapangan mengenai masalah – masalah yang ada di PT. AMNT.
 4. Pengumpulan Data
Data primer yang digunakan merupakan data yang berasal dari pengukuran langsung dilapangan yaitu:
 - a. Data pengukuran kekar,
 - b. Data pergerakan lereng (prisma).Data sekunder yang diperoleh dari arsip perusahaan yang telah tersedia ataupun dari uji laboratorium, yaitu:
 - a. Data geologi, hidrogeologi dan nilai RMR
 - b. Data kuat geser langsung,
 - c. Data kuat tekan uniaksial,
 - d. Data sifat fisik batuan,
 - e. Peta lokasi penambangan,
 4. Pengolahan data
Pengolahan data dilakukan untuk mendapatkan hasil yang optimal dengan menggunakan dasar pemecahan Metode Kesetimbangan Batas dengan kriteria keruntuhan *Generalized Hoek-Brown*, sehingga diperoleh suatu hasil yang diharapkan.
 5. Analisis Hasil Pengolahan Data
Hasil dari pengolahan data dianalisis dan dimodelkan dalam sebuah model 2D menggunakan software *Slide2D v.8.0* No. Lisensi 12268-001 a/n Singgih Saptono, dengan pendekatan FK dan PF lalu dibuat kesimpulan dan rekomendasi.
 6. Pembuatan Laporan Sementara (Draft)
Tahap ini merupakan tahapan terakhir yaitu penyusunan laporan hasil penelitian yang dilakukan untuk memeriksa kemungkinan terjadi kesalahan-kesalahan perhitungan dan penerapan teori.
- ## II. TINJAUAN UMUM
- 2.1. **Profil Perusahaan**

PT. Amman Nusa Tenggara merupakan perusahaan tambang yang berada di bawah PT. Amman Mineral Internasional (PT. AMI). PT. AMI adalah perusahaan Indonesia yang pemegang sahamnya adalah AP Investment dan medco Energi. PT. AMI melakukan proses transaksi pengambilalihan kepemilikan saham di PT. Newmont Nusa Tenggara dan aset-aset terkait lainnya sehingga PT. AMI menguasai 82,2% saham dan sisanya PT. Pukuafu Indah (PT. PI) sebanyak 17,8%. Akhirnya *Pit Batu Hijau* yang dimiliki oleh PT. Newmont Nusa Tenggara berganti kepemilikan dan terbentuklah PT. Amman Mineral Nusa Tenggara (PT. AMNT) tertanggal 3 November 2016.
 - 2.2. **Lokasi dan Kesampaian Daerah**

Lokasi penambangan PT. Amman Mineral Nusa Tenggara terletak di bagian Barat Daya pulau Sumbawa, tepatnya di Kecamatan Sengkokang, Kabupaten Sumbawa Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB). Secara geografis lokasi penambangan terletak antara E 476850 – E 501900 dan S 9019260 –

S 9003370 (Zona 50s). Adapun batasan PT. AMNT adalah sebagai berikut:

- Sebelah Utara : Kecamatan Jereweh dan Kecamatan Brang Ene,
- Sebelah Timur : Kecamatan Jereweh,
- Sebelah Selatan : Kecamatan Sekongkang,
- Sebelah Barat : Kecamatan Maluk.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.1. Lokasi penambangan yang berjarak 81 km dari Mataram dapat dicapai dengan menggunakan pesawat amfibi (*seaplane*) perusahaan atau menggunakan transportasi laut berupa ferry umum dari pelabuhan Kayangan dipulau Lombok. Selain itu lokasi penambangan dapat ditempuh melalui perjalanan darat dari Kota Mataram selama 2 jam menuju pelabuhan Kayangan, Lombok Timur. Kemudian dilanjutkan dengan penyeberangan laut menggunakan *boat* milik PT. Amman Mineral Nusa Tenggara menuju *Port Benete*. Dari *Port Benete* yang berjarak 25 km dari lokasi penambangan, perjalanan dapat dilanjutkan melalui perjalanan darat selama 1 jam. Jika dari Kota Sumbawa Besar, lokasi dapat ditempuh melalui perjalanan darat selama 3,5 jam melalui jalur utara. Daerah proyek Batu Hijau terdiri atas perbukitan dengan elevasi antara 300-600 mdpl.



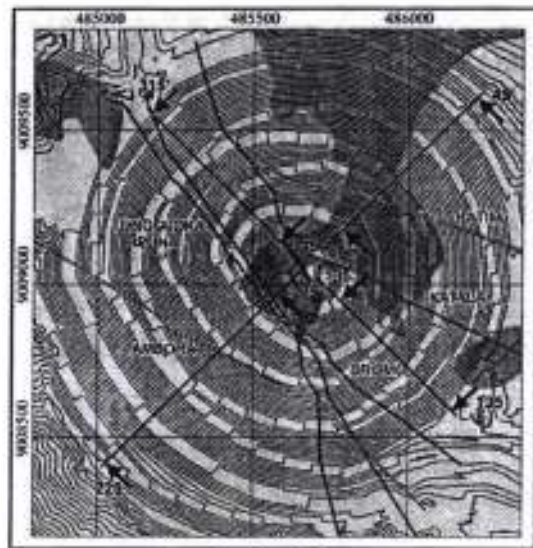
Gambar 2.1
Peta Lokasi Daerah Penambangan PT AMNT

III. HASIL PENELITIAN

3.1. Kondisi Lapangan

Lokasi penelitian berada di daerah *Pit Batu Hijau* atau lebih tepatnya pada desain *Phase 7 Pit Batu Hijau*. Desain *pit* pada *Phase 7* memiliki tinggi *bench* 15 m, kemiringan *bench* (*bench face angle/ BFA*) $\pm 70^\circ$, sudut *interramp* 39° , sudut *overall* lereng $32^\circ - 34^\circ$ dan kedalaman ± 990 m dengan elevasi *pit bottom* -390 mdpl. Pada daerah penelitian terdapat 3 litologi utama (diorit, tonalit dan vulkanik) sebagai batasan

massa batuan dengan sifat fisik dan sifat mekanik yang sama. Pada penelitian ini ditentukan 4 *section* penelitian yaitu $45-45^\circ$, $135-135^\circ$, $225-225^\circ$, dan $315-315^\circ$ berdasarkan pada *dip direction* dari 5 sesar utama pada *pit* batuhijau sehingga terbentuk *section* dengan arah tegak lurus dan sejajar sesar serta tegak lurus dengan desain lereng *phase 7 pit* batuhijau. Lima sesar ini antara lain katim ($80^\circ/205^\circ$), katala ($75^\circ/230^\circ$), bromo ($60^\circ/240^\circ$), tongoloka puna ($75^\circ/55^\circ$) dan tambora ($75^\circ/20^\circ$). Untuk jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1
Peta *Pit* Batu Hijau *Phase 7*

Adapun data geometri lereng penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1
Geometri Lereng Penambangan *Phase 7*

No	Sectio ⁿ	Slope Angle			Tinggi Lereng	
		Overall	Interramp	Single	Overall	Single
1	45-45°	32°	39°	70°	840 m	15 m
2	135-135°	34°			630 m	
3	225-225°	33°			990 m	
4	315-315°	33°			720 m	

3.2. Hasil Pengujian Sampel Batuan

Data sifat mekanik batuan meliputi kuat tekan uniaksial (UCS), *Modulus Young* (E) serta *Poisson Ratio* (μ). Data sifat fisik batuan berupa densitas batuan. Data sifat fisik dan mekanik batuan dapat dilihat pada Tabel 3.2 hingga Tabel 3.4.

Selain itu terdapat data batuan dengan struktur geologi yang dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.2

Data Sifat Fisik dan Kuat Tekan pada Batuan Diorit (*Compilation PSMP 2013 PT. Amman Mineral Nusa Tenggara*)

No	Hole Id	UCS (Mpa)	Modulus Young (Mpa)	Poisson Ratio	Densitas (MN/m ³)
1	SBD068	34,33	21.150	0,24	26,57
2	SBD383	45,79	65.800	0,35	26,97
3	SBD311	37,00	13.200	0,22	26,35
4	SBD311	45,60	10.500	0,26	25,70
5	SBD311	52,67	12.300	0,18	25,26
6	SBD311	75,40	13.600	0,21	24,99
7	SBD323	36,80	11.500	0,21	25,18
8	SBD376	78,73	29.900	0,15	26,72
9	SBD376	72,48	71.420	0,70	26,03
10	SBD562	48,05	50.960	0,23	29,31
11	SBD562	47,73	25.490	0,47	26,22
12	SBD562	38,09	13.350	0,20	23,60
13	SBD562	52,22	11.550	0,22	26,50
14	SBD009	60,80	9.900	0,20	25,98
15	SBD074	64,60	8.100	0,22	24,50
16	SBD074	76,00	7.600	0,20	26,08
17	SBD329	25,90	2.600	0,26	22,91
18	SBD329	27,10	3.100	0,16	24,08
19	SBD329	39,70	6.400	0,20	25,52
20	SBD329	45,40	5.500	0,14	23,71
21	SBD329	50,10	6.100	0,21	23,49
22	SBD334	47,40	24.000	0,17	24,36
23	SBD334	33,80	6.000	0,24	25,05

Tabel 3.3

Data Sifat Fisik dan Kuat Tekan Batuan Vulkanik
(Compilation PSMP 2013 PT. Amman Mineral Nusa Tenggara)

No	Hole Id	UCS (Mpa)	Modulus Young (Mpa)	Poisson Ratio	Densitas (MN/m ³)
1	SBD099	68,56	14.820	0,26	27,55
2	SBD122	49,20	11.700	0,21	26,87
3	SBD122	54,50	10.530	0,19	26,90
4	SBD330	43,81	8.000	0,23	25,09
5	SBD330	39,40	11.600	0,20	24,98
6	SBD330	42,14	16.000	0,17	25,94
7	SBD310	84,29	13.800	0,26	24,60
8	SBD331	60,10	26.000	0,27	27,72
9	SBD331	48,13	22.000	0,21	27,19
10	SBD331	33,60	13.200	0,28	27,24
11	SBD331	62,90	27.000	0,24	26,71
12	SBD332	55,53	18.500	0,24	26,07
13	SBD332	30,50	16.000	0,17	26,94
14	SBD310	69,97	13.800	0,26	24,60
15	SBD121	74,90	33.330	0,36	27,25
16	SBD121	42,80	27.280	0,29	25,47
17	SBD364	76,71	51.020	0,29	26,60
18	SBD377	43,36	18.500	0,61	27,71
19	SBD377	58,42	31.350	0,20	27,60
20	SBD567	74,43	28.850	0,31	32,64
21	SBD567	72,41	20.800	0,22	26,81
22	SBD583	98,79	21.420	0,19	28,39
23	SBD586	36,58	14.900	0,18	19,87
24	SBD126	57,40	16.500	0,25	24,59
25	SBD327	70,40	20.000	0,26	28,39
26	SBD327	45,50	18.100	0,25	27,09
27	SBD327	50,83	11.800	0,25	26,90
28	SBD327	71,71	16.000	0,24	27,67
29	SBD587	33,16	10.740	0,19	25,62
30	SBD075	150,40	22.880	0,19	27,18
31	SBD569	58,16	22.490	0,19	27,68
32	SBD569	48,84	22.960	0,19	27,40
33	SBD569	116,21	26.310	0,20	27,72
34	SBD576	120,64	22.370	0,19	27,36
35	SBD576	142,90	23.170	0,20	27,77
36	SBD578	61,24	21.950	0,19	27,30
37	SBD578	86,16	19.760	0,17	28,46

No	Hole Id	UCS (Mpa)	Modulus Young (Mpa)	Poisson Ratio	Densitas (MN/m ³)
38	SBD579	94,78	22.080	0,18	27,71
39	SBD579	166,03	18.460	0,19	26,75
40	SBD580	149,06	21.830	0,19	28,24
41	SBD580	152,25	22.450	0,18	22,59
42	SBD123	83,80	56.880	0,28	27,20
43	SBD123	154,30	50.890	0,26	27,40
44	SBD323	106,50	20.500	0,23	27,10
45	SBD360	155,11	78.990	0,34	28,19
46	SBD363	186,75	73.740	0,51	27,20
47	SBD389	82,20	55.320	0,21	26,54
48	SBD389	147,25	29.850	0,22	26,40
49	SBD389	122,26	44.440	0,30	26,30
50	SBD391	68,54	55.520	0,32	27,30
51	SBD558	81,19	45.810	0,31	27,35
52	SBD323	30,80	11.500	0,21	25,18
53	SBD323	89,20	20.500	0,23	27,10
54	SBD323	53,80	7.400	0,23	25,28
55	SBD323	45,30	16.000	0,32	26,56
56	SBD323	44,90	25.000	0,33	27,12
57	SBD099	72,20	17.870	0,30	27,55
58	SBD122	61,20	15.990	0,25	26,87
59	SBD122	50,50	14.390	0,23	26,90

Tabel 3.4

Data Sifat Fisik dan Kuat Tekan Batuan Tonalit
(Compilation PSMP 2013 PT. Amman Mineral Nusa Tenggara)

No	Hole Id	UCS (Mpa)	Modulus Young (Mpa)	Poisson Ratio	Densitas (MN/m ³)
1	SBD390	127,59	44.420	0,38	26,33
2	SBD390	85,51	45.610	0,35	26,40
3	SBD359	79,25	55.980	0,20	28,21
4	SBD359	72,62	83.180	0,34	28,36
5	SBD359	147,76	80.400	0,30	28,20
6	SBD359	118,00	78.000	0,32	27,96
7	SBD390	71,44	44.180	0,34	25,72
8	SBD090	125,60	16.900	0,23	26,16
9	SBD090	64,64	15.020	0,21	26,50
10	SBD105	158,56	16.600	0,24	26,34
11	SBD105	135,00	15.610	0,22	26,79
12	SBD105	146,60	16.460	0,23	26,46
13	SBD310	117,00	17.700	0,25	25,51
14	SBD310	68,20	9.900	0,22	25,23
15	SBD310	120,20	20.800	0,29	25,56
16	SBD310	94,20	21.200	0,14	25,39
17	SBD310	33,70	11.500	0,22	25,88
18	SBD310	80,30	14.800	0,34	25,39
19	SBD310	123,10	13.100	0,22	25,24
20	SBD310	98,40	13.900	0,23	25,11
21	SBD310	130,20	14.300	0,27	25,26
22	SBD310	58,40	7.200	0,27	24,60
23	SBD322	33,10	2.000	0,25	24,53
24	SBD386	108,41	33.260	0,31	25,90
25	SBD386	138,29	47.180	0,29	26,22
26	SBD390	91,59	21.270	0,22	26,28
27	SBD574	86,16	24.220	0,35	25,30
28	SBD574	87,16	19.300	0,28	26,10

Tabel 3.5

Data Sifat Mekanik pada Isian Sesar
(Compilation PSMP 2013 PT. Amman Mineral Nusa Tenggara)

No	Hole Id	Kohesi (KPa)	Sudut Gesek Dalam (°)
1	SBD197	30	30
2	SBD197	50	28
3	SBD198	26	13
4	SBD198	30	30
5	SBD359	19	28
6	SBD359	13	16
7	SBD359	23	27
8	SBD359	16	18
9	SBD360	28	18
10	SBD361	25	17
11	SBD361	30	14
12	SBD361	45	28
13	SBD363	33	13
14	SBD363	22	10
15	SBD363	36	13
16	SBD364	40	10
17	SBD364	51	14
18	SBD364	39	15
19	SBD386	37	20
20	SBD390	23	21
21	SBD390	29	25
22	SBD390	30	23
23	SBD390	37	21
24	SBD398	22	21
25	SBD398	18	27

3.3. Pengolahan Data Statistik

Pengolahan data statistik bertujuan untuk mengetahui jenis distribusi data dimana terdapat 4 jenis distribusi data yaitu normal, eksponensial, lognormal, dan gamma. Sebelum dilakukan *goodness of fit test* dilakukan uji kecukupan data pada setiap domain dan litologi. Uji ini dilakukan agar data yang nantinya digunakan cukup untuk menghitung probabilitas kelongsoran. Hasil uji kecukupan data untuk tingkat kepercayaan 90% (berdasarkan *John and Stacey*, 2010) dengan derajat ketelitian 10% dapat dilihat pada Tabel 3.6 dan Tabel 3.7.

Tabel 3.6
Hasil Uji Kecukupan Data pada Variabel Kuat Tekan Uniaksial (UCS)

Litologi	Banyak Data	ΣUCS	(ΣUCS) ²	ΣUCS ²	Tingkat Kepercayaan	Derajat Ketelitian (%)	Banyak Data Seharusnya	
					(%)			z
Diorit	23	1.136	1.289.796	61.341	90%	1,64	10%	21,40
Vulkanik	59	4.633	1.460.167	455.166	90%	1,64	10%	57,32
Tonalit	28	2.801	7.845.489	310.643	90%	1,64	10%	24,78

Tabel 3.7
Hasil Uji Kecukupan Data pada Variabel Kohesi (c) dan Sudut Gesek Dalam (φ)

Struktur	Variabel (X)	Banyak Data	ΣX	(ΣX) ²	ΣX ²	Tingkat Kepercayaan	Derajat Ketelitian (%)	Banyak Data Seharusnya	
						(%)			z
Sesar	c (KPa)	25	752	565.504	25.03	90%	1,64	10%	24,31
	φ (°)	25	500	250.000	11.00	90%	1,64	10%	22,89

Goodness of Fit Test dilakukan pada data kuat tekan uniaksial pada batuan serta kohesi dan sudut gesek dalam pada struktur geologi dengan hasil seperti pada Tabel 3.8 dan Tabel 3.9.

Tabel 3.8
Hasil *Goodness of Fit Test* pada Variabel Kuat Tekan Uniaksial (UCS)

Litologi	Banyak Data	Distribusi Data	Rata - Rata	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max
			(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
Diorit	23	Lognormal	49,38	15,47	23,48	46,40
Vulkanik	59	Lognormal	78,52	39,70	48,02	119,11
Tonalit	28	Normal	100,04	33,58	66,94	100,74

Tabel 3.9
Hasil *Goodness of Fit Test* pada Variabel Kohesi (c) dan Sudut Gesek Dalam (φ)

Struktur Geologi	Variabel	Banyak Data	Distribusi Data	Rata - Rata	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Sesar	c (KPa)	25	Lognormal	30	10	17	29
	φ (°)	25	Gamma	20	6	10	19

3.4. Penentuan Nilai *Geological Strength Index*

Cara penentuan estimasi nilai *Geological Strength Index* atau GSI diperoleh dengan *Structural Rating* dan *Surface Condition Rating* berdasarkan pada pendekatan nilai RMR (*Rock Mass Rating*) dengan persamaan, yaitu:

$$GSI = RMR - 5$$

Nilai RMR didapatkan dari data lubang bor yang telah diinterpolasi dan dimodelkan dalam bentuk *3D Block Model RMR* seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2

3D Block Model RMR Pit Batu Hijau
Setelah itu dilakukan pembuatan *section* pada *3D Block Model* sehingga menjadi *2D Block Model*. Pada model ini dilakukan penyederhanaan nilai RMR dengan kelipatan 10 seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3

2D Block Model RMR Pit Batu Hijau Section

2D Block Model RMR selanjutnya diubah menjadi 2D Block Model GSI dengan nilai konversi pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10
Konversi RMR ke GSI

No	RMR	GSI
1	30	25
2	40	35
3	50	45
4	60	55
5	70	65

3.5. Hasil Perhitungan Parameter Kriteria *Generalized Hoek - Brown*

Pada kriteria keruntuhan *Generalized Hoek - Brown* terdapat nilai parameter berupa konstanta M_b dan a , dengan data masukan berupa GSI, konstanta material untuk batuan *intact* (m_i) dan *disturbance factor* (D) dan kekuatan massa batuan UCS.

Kriteria keruntuhan ini digunakan dalam analisis stabilitas lereng untuk material batuan dengan $UCS \geq 1$ MPa seperti yang terlihat dalam Tabel 3.11.

Tabel 3.11
Nilai Parameter *Generalized Hoek-Brown*

Kode Material	Parameter <i>Generalized Hoek-Brown</i>					
	GSI	D	m_i	m_b	s	a
D GSI25	25	0	25	1,717	2,40E-04	0,531
D GSI35	35	0	25	2,453	7,30E-04	0,516
D GSI45	45	0	25	3,506	2,22E-03	0,508
D GSI55	55	0	25	5,011	6,74E-03	0,504
D GSI65	65	0	25	7,163	2,05E-02	0,502
V GSI25	25	0	25	1,717	2,40E-04	0,531
V GSI35	35	0	25	2,453	7,30E-04	0,516
V GSI45	45	0	25	3,506	2,22E-03	0,508
V GSI55	55	0	25	5,011	6,74E-03	0,504
V GSI65	65	0	25	7,163	2,05E-02	0,502
T GSI25	25	0	29	1,991	2,40E-04	0,531
T GSI35	35	0	29	2,846	7,30E-04	0,516
T GSI45	45	0	29	4,067	2,22E-03	0,508
T GSI55	55	0	29	5,813	6,74E-03	0,504
T GSI65	65	0	29	8,309	2,05E-02	0,502

Hasil yang diperoleh digunakan sebagai material properties untuk pemodelan lereng dengan menggunakan program *Slide2D v.8.031*.

3.6. Penentuan Daerah Dampak Peledakan

Asumsi yang digunakan dalam menghitung ketebalan zona kerusakan yaitu, peledakan produksi dengan beberapa kontrol, seperti adanya satu atau lebih *buffer rows*, dan memiliki *free face*, $D = 0,5$ hingga 1 H. Oleh karena itu didapatkan ketebalan zona kerusakan yaitu 15 m.

Dikarenakan terdapat daerah dengan ketergangguhan tinggi akibat dari peledakan ($D = 1$) maka, parameter kriteria *Generalized Hoek-Brown* dihitung dengan memasukkan nilai $D = 1$, sehingga didapat hasil pada Tabel 3.12.

Tabel 3.12
Nilai Parameter dengan Ketergangguhan Tinggi, $D = 1$

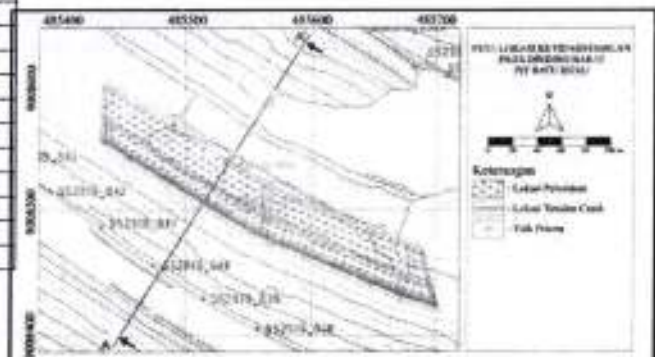
Kode Material	Parameter <i>Generalized Hoek-Brown</i>					
	GSI	D	m_i	m_b	s	a
D GSI25D	25	1	25	0,118	3,73E-06	0,531
D GSI35D	35	1	25	0,241	1,97E-05	0,516
D GSI45D	45	1	25	0,492	1,04E-04	0,508
D GSI55D	55	1	25	1,005	5,53E-04	0,504
D GSI65D	65	1	25	2,052	2,93E-03	0,502
V GSI25D	25	1	25	0,118	3,73E-06	0,531
V GSI35D	35	1	25	0,241	1,97E-05	0,516
V GSI45D	45	1	25	0,492	1,04E-04	0,508
V GSI55D	55	1	25	1,005	5,53E-04	0,504
V GSI65D	65	1	25	2,052	2,93E-03	0,502
9T GSI25D	25	1	29	0,137	3,73E-06	0,531
9T GSI35D	35	1	29	0,279	1,97E-05	0,516
9T GSI45D	45	1	29	0,570	1,04E-04	0,508
9T GSI55D	55	1	29	1,165	5,53E-04	0,504
T GSI65	65	1	29	2,380	2,93E-03	0,502

3.7. Penentuan *Seismic Coefficient*

Dalam penentuan *seismic coefficient* bisa dilakukan ditentukan berdasarkan 2 hal, yaitu; berdasarkan analisis balik pada lereng yang mengalami kelongsoran akibat getaran dari hasil peledakan dan berdasarkan sejarah kegempaan yang pernah terjadi disuatu daerah.

3.7.1. *Seismic Coefficient* berdasarkan Analisis Balik

Analisis balik dilakukan pada lereng yang mengalami ketidakstabilan akibat getaran dari hasil peledakan yaitu pada dinding barat dari elevasi 370 – 330 mdpl atau lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6

Peta Lokasi Ketidakstabilan pada Dinding Barat Pit Batu Hijau

Pada lokasi ketidakstabilan dilakukan pengukuran kekar yang ada dikarenakan skala analisis yang lebih detail sehingga memerlukan data input struktur geologi yang lebih lengkap. Hasil dari analisis balik dapat dilihat pada Tabel 3.13.

Tabel 3.13
Hasil Analisis Balik dalam Faktor Keamanan (FK)

No	Seismic Coefficient	FK (Morgenstern-Price)	FK (Corrected Janbu)
1	0,10	1,09	1,10
2	0,11	1,08	1,09
3	0,12	1,07	1,07
4	0,13	1,04	1,04
5	0,14	1,03	1,03
6	0,15	1,01	1,02
7	0,16	1,00	0,99
8	0,17	0,99	0,98
9	0,18	0,97	0,97
10	0,18	0,96	0,95
11	0,19	0,95	0,94
12	0,20	0,94	0,93

Sehingga didapatkan nilai *seismic coefficient* yaitu 0,16 g.

3.7.2. Seismic Coefficient berdasarkan Data Kegempaan

Untuk menggambarkan gaya seismik pada analisis *pseudo-static* digunakan parameter *seismic coefficient* (*k*) yang memiliki nilai sesuai kondisi lereng yang ada. Adapun persamaan untuk menghitung *seismic coefficient* (*k*) yaitu:

$$k = \left(\frac{PGA \times F_{PGA} \times \alpha}{z} \right)$$

Sehingga didapatkan nilai *seismic coefficient* 0,16 g berdasarkan pada peta kegempaan Indonesia tahun 2017.

3.8. Permodelan Geoteknik

Setelah terkumpul parameter – parameter yang dibutuhkan, selanjutnya dilakukan tahap permodelan geoteknik secara 2D. Terdapat 4 model yang dibutuhkan, yaitu; model geologi, model struktur, model hidrogeologi dan model massa batuan.

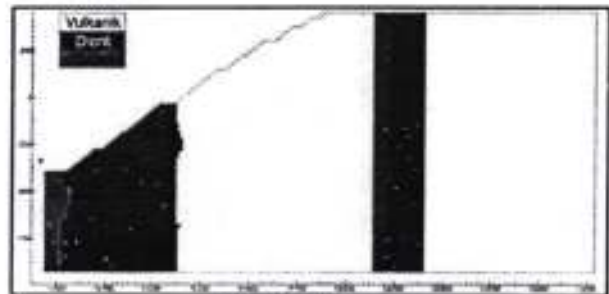
3.8.1. Model Geologi

Model geologi pada penelitian ini menggunakan batasan berdasarkan perbedaan litologi yang ada pada *Pit Batu Hijau*. Terdapat 3 litologi umum yang ada di daerah penelitian yaitu, Diorit, Tonalit dan Vulkanik. Model Litologi didapatkan dari data lubang bor yang telah diinterpolasi dan dimodelkan dalam bentuk 3D *Block Model* seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7
3D *Block Model* Litologi Pit Batu Hijau

Setelah itu dilakukan pembuatan *section* pada 3D *Block Model* sehingga menjadi 2D *Block Model* seperti pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8
2D *Block Model* Litologi Pit Batu Hijau Section 45 – 45'

3.8.2. Model Struktur

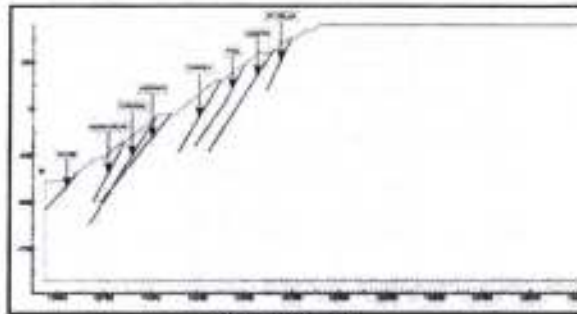
Model struktur untuk desain lereng dibagi menjadi dua tingkat, yaitu struktur *major* (lipatan, sesar dengan skala *interramp* dan *overall*) dan *rock fabric* (kekar dan sesar dengan skala *bench*). Sesar cenderung bersifat menerus dan memiliki jarak yang panjang serta bukaan yang relatif luas. Oleh karena itu sesar akan mempengaruhi desain pada skala *interramp* maupun *overall*.

Dikarenakan penelitian ini memiliki skala *overall* maka dimodelkan jenis struktur mayor yaitu sesar (*Intermediet* dan *Mayor*) yang mengikuti model 3D yang telah tersedia. Salah satu contoh dalam pengolahan data model 3D Struktur yaitu pada pengolahan *section 45 – 45'*. Model 3D pada *section* ini dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9
Model 3D Struktur Mayor Batu Hijau Section 45 – 45'

Dari model 3D dilakukan pembuatan *section* 2D sehingga didapatkan *section* 45 – 45' seperti pada Gambar 3.12 dengan data rata - rata *dip* dan *dip direction* pada Tabel 3.10.



Gambar 3.10

Model 2D Struktur Mayor Batu Hijau *Section* 45 – 45'

Tabel 3.14

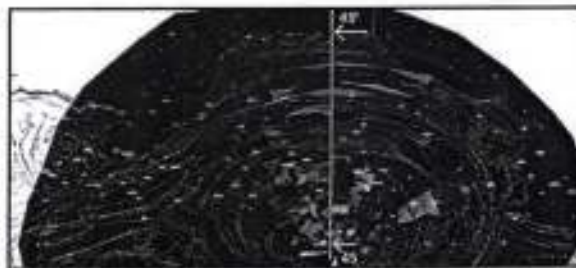
Data Rata - Rata *Dip* dan *Dip Direction Section* 45 – 45'

(Departement Geoteknik dan Hidrogeologi PT. AMNT, 2019)

No	Struktur	<i>Dip</i>	<i>Dip Direction</i>	Ketebala n	Tipe Isian
1	P7 NS 01	71	207	200 mm	Clay Gouge
2	North	69	219		Clay Gouge, Quartz
3	Yuli	64	220		Clay Gouge
4	Charly	60	240		Clay Gouge
5	Kerinci	55	217	500 mm	Clay, slickenside
6	Ciremai	60	200	1000 mm	Slickenside, Gauge, breccia
7	Katim Splay	50	235	300 mm	Clay Gauge
8	Katim	80	205		Clay Gauge

3.8.3. Model Hidrogeologi

Kondisi air tanah di daerah penelitian dapat diamati secara langsung melalui sumur pantau di beberapa titik. Data yang didapat lalu diinterpolasikan menjadi model 3D berdasarkan data muka air tanah tertinggi seperti pada Gambar 3.11.

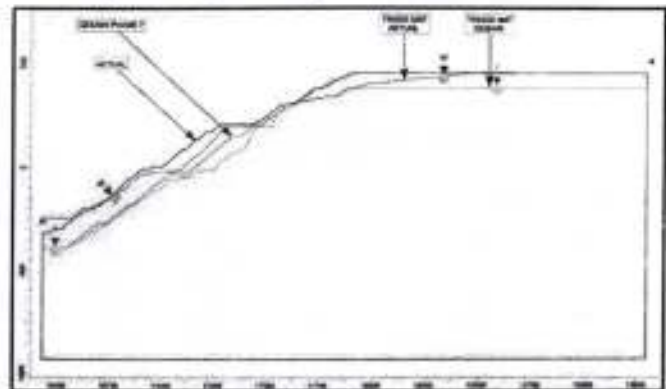


Gambar 3.11

Model 3D Muka Air Tanah *Pit* Batu Hijau

Setelah diperoleh model 3D dilakukan pembuatan *section* 2D tinggi muka air tanah. Namun model ini hanya relevan pada lereng aktual saat penelitian ini dilakukan, tidak pada desain lereng *Phase* 7. Oleh karena itu, dibuat model muka air tanah perkiraan berdasarkan hasil ekstrapolasi dari model muka air tanah aktual tertinggi berdasarkan pada

perubahan geometri lereng yang ada. Adapun contoh hasil interpolasi dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12

Model 2D Muka Air Tanah pada *Section* 45 – 45'

3.8.4. Model Massa Batuan

Pada penelitian ini digunakan batasan massa batuan berdasarkan 3 litologi utama (diorit, tonalit dan vulkanik) dengan sifat fisik dan sifat mekanik yang sama. Batasan massa batuan nantinya akan mengikuti model litologi secara 3D yang kemudian diubah menjadi model 2D berdasarkan sayatan melintang pada tiap *section*nya.

3.9. Keperahan Longsor

Dikarenakan analisis kestabilan lereng pada skala *overall* sehingga diasumsikan longsor bersifat *overall*. Jika longsor bersifat *overall*, dengan tinggi lereng dari 630 m hingga 840 m maka kemungkinan konsekuensi yang terjadi, yaitu terhentinya produksi lebih dari 24 (dua puluh empat) jam dan/atau cadangan hilang dan tidak bisa diambil. Untuk adanya korban jiwa kemungkinan dapat dicegah. Hal ini didukung dengan keberadaan instrumen pemantauan lereng yang memadai seperti *robotic total station* (RTS), *slope stability radar* (SSR) dan *crack meter*, sehingga dapat mencegah tingginya tingkat keparahan longsor.

3.10. Hasil Analisis Kesetabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng penggalian pada penelitian ini menggunakan metode Kesetimbangan Batas dengan kriteria keruntuhan yang digunakan yaitu *Generalized Hoek-Brown*. Pendekatan yang dilakukan ada 2 yaitu pendekatan faktor keamanan (FK) dan probabilitas kelongsoran (PF). Lereng dianalisis dan dimodelkan dalam sebuah model 2D menggunakan software *Slide2D v.8.031* No. Lisensi 12268-001 a/n Singgih Suptono.

3.10.1. Nilai Faktor Keamanan Dan Probabilitas Kelongsoran

Pada nilai FK terdapat 2 macam yaitu deterministik dan rata - rata. FK deterministik merupakan nilai FK berdasarkan parameter kekuatan batuan rata - rata sedangkan FK rata - rata merupakan nilai FK dari berbagai variasi parameter kekuatan batuan kemudian dirata-rata. Nilai FK yang digunakan

yaitu FK deterministik. Adapun hasil perhitungan faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran dapat dilihat pada Tabel 3.15

Tabel 3.15 Hasil Analisis Kestabilan Lereng

Section	Faktor Keamanan		Probabilitas Kelongsoran	
	Deterministik	Rata - Rata		
45 - 45'	BFA 70°	1,13	1,12	1,03%
	BFA 72°	1,12	1,11	1,84%
	BFA 74°	1,11	1,10	2,27%
	BFA 76°	1,10	1,09	4,29%
	BFA 78°	1,09	1,08	7,39%
	BFA 80°	1,07	1,06	10,68%
135 - 135'	BFA 70°	1,19	1,17	0,00%
	BFA 72°	1,18	1,16	0,00%
135 - 135'	BFA 74°	1,17	1,15	0,20%
	BFA 76°	1,15	1,13	0,60%
	BFA 78°	1,13	1,11	2,60%
	BFA 80°	1,10	1,08	9,20%
225 - 225'	BFA 70°	1,17	1,15	0,00%
	BFA 72°	1,16	1,14	1,29%
	BFA 74°	1,15	1,12	2,30%
	BFA 76°	1,14	1,12	2,38%
	BFA 78°	1,13	1,11	3,06%
225 - 225'	BFA 80°	1,12	1,10	5,10%
	BFA 70°	1,16	1,16	0,00%
	BFA 72°	1,15	1,15	0,20%
	BFA 74°	1,15	1,15	0,60%
315 - 315'	BFA 76°	1,13	1,13	1,00%
	BFA 78°	1,11	1,11	2,60%

3.10.2. Data Irisan

Data irisan didapatkan dengan bantuan *software Slide2D v.8.031* melalui *interpret* setiap irisannya. Pada setiap *section* memiliki 50 irisan, sehingga data yang ditampilkan merupakan data total dari beberapa parameter di tiap *section*nya seperti pada Tabel 3.16.

Tabel 4.16 Data Total Nilai Parameter Tiap Irisan

Section #	Bench Face Angle	Faktor Keamanan	Kekuatan Geser (kPa)	Tegangan Geser (kPa)	Berat Total Irisan (kN)	Tekanan Pori (kPa)	Gaya Seismik /Lebar Irisan (kPa)
45-45'	70°	1,13	118.934	105.205	5.086.793	57.905	29.308
	72°	1,12	118.382	105.416	5.060.306	58.252	29.407
	74°	1,11	118.014	106.128	4.997.720	58.945	29.925
	76°	1,10	117.479	106.702	4.928.982	59.298	30.087
	78°	1,09	116.705	107.167	4.833.374	59.326	30.196
	80°	1,07	115.837	107.855	4.783.291	60.024	30.433
135-135'	70°	1,19	129.258	108.711	4.528.489	65.077	33.748
	72°	1,18	128.766	108.939	4.495.197	65.764	34.334
	74°	1,17	128.217	109.400	4.417.942	66.124	34.422
	76°	1,15	127.924	110.949	4.369.464	68.241	34.850

225-225'	78°	1,13	126.581	111.722	4.328.020	68.914	35.233
	80°	1,10	123.257	111.950	4.266.668	69.305	35.431
	70°	1,17	145.962	124.968	8.391.093	77.430	37.236
	72°	1,16	145.750	125.323	8.265.081	78.146	37.490
	74°	1,15	144.691	125.600	8.199.753	78.607	37.954
	76°	1,14	144.206	126.386	8.134.258	78.970	38.177
315-315'	78°	1,13	143.663	126.799	8.075.693	79.243	38.278
	80°	1,12	142.751	127.570	7.946.840	79.681	38.499
	70°	1,16	130.817	112.822	4.777.287	57.759	33.006
	72°	1,15	130.303	113.012	4.732.926	58.853	33.471
	74°	1,15	129.644	113.127	4.703.462	59.050	33.519
	76°	1,13	129.104	114.252	4.661.226	59.172	33.719
	78°	1,11	128.144	115.031	4.567.707	59.260	34.296
	80°	1,10	127.672	116.596	4.419.251	59.788	34.466

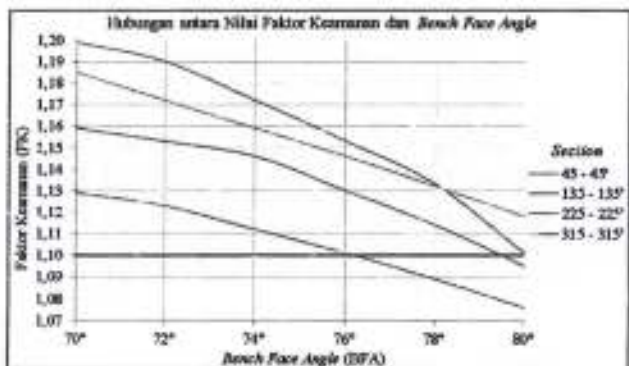
IV. PEMBAHASAN

4.1. Pengaruh Penegakan Lereng

Penegakan lereng dapat mempengaruhi kestabilan dengan mengurangi kekuatan geser pada suatu lereng. Untuk mengetahui pengaruh penegakan lereng dilakukan analisis kestabilan lereng dengan penambahan variasi kemiringan lereng tunggal dari 70° hingga 80° yang diterapkan pada daerah di bawah elevasi 0 mdpl.

4.1.1. Pendekatan Faktor Keamanan

Kestabilan lereng umumnya dinyatakan dengan nilai Faktor Keamanan (FK) yang diperoleh dari Metode Kesetimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*). Hasil analisis kestabilan lereng dengan pendekatan FK dapat dilihat pada Gambar 4.1.



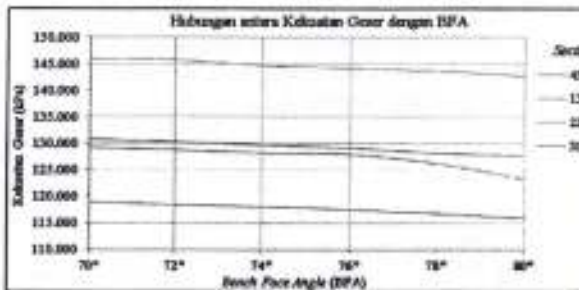
Gambar 4.1

Grafik Hubungan antara Nilai Faktor Keamanan dan BFA

Dari hasil dari analisis (Gambar 4.1) diketahui bahwa pada *Section* 45-45' didapatkan nilai FK $\geq 1,1$ pada BFA 70° hingga BFA 76°. Pada *section* 135-135',

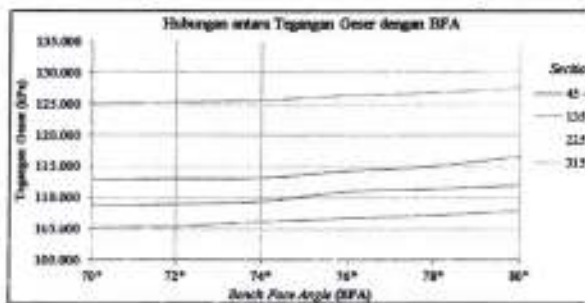
dan 225-225' didapatkan nilai $FK \geq 1,1$ pada BFA 70° hingga BFA 78°. Terakhir pada *section* 315-315' didapatkan nilai $FK \geq 1,1$ pada BFA 70° hingga BFA 80°.

FK berasal dari perbandingan antara kekuatan geser (*shear strength*) dengan tegangan geser (*shear stress*). Adapun hal yang perlu diperhatikan pada hasil analisis kestabilan lereng yaitu tegangan geser dan kekuatan geser seperti dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3.



Gambar 4.2

Grafik Hubungan antara Kekuatan Geser dengan BFA



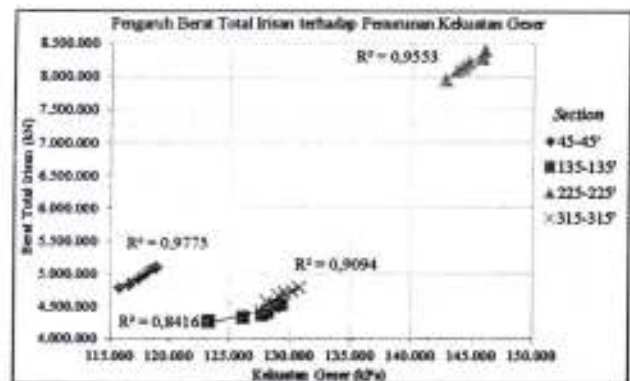
Gambar 4.3

Grafik Hubungan antara Tegangan Geser dengan BFA

Jika dilihat dari grafik diatas, kekuatan geser mengalami penurunan begitu juga dengan tegangan geser. Penurunan rata-rata kekuatan geser pada tiap *section* yaitu 1,39% pada *section* 45-45', 1,88% pada *section* 135-135', 1,20% pada *section* 225-225' dan 1,41% pada *section* 315-315'.

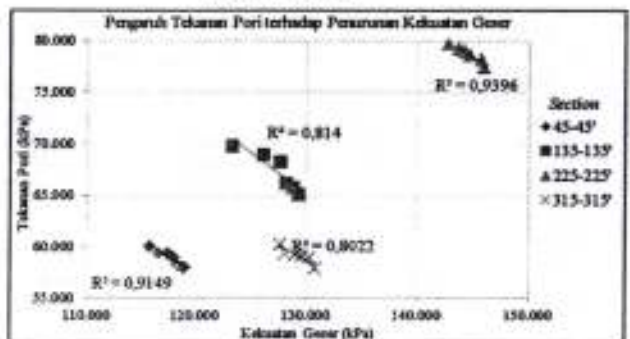
Kenaikan rata-rata tegangan geser pada tiap *section* yaitu 1,38% pada *section* 45-45', 1,63% pada *section* 135-135', 1,09% pada *section* 225-225' dan 1,40% pada *section* 315-315'.

Penurunan kekuatan geser dan kenaikan tegangan geser terjadi karena penurunan berat total irisan, peningkatan tekanan pori dan peningkatan gaya seismik pada lereng yang ditegakkan. Hal ini terbukti pada tingkat hubungan yang digambarkan dengan koefisien determinan dimana dapat dilihat pada Gambar 4.4 - Gambar 4.9.



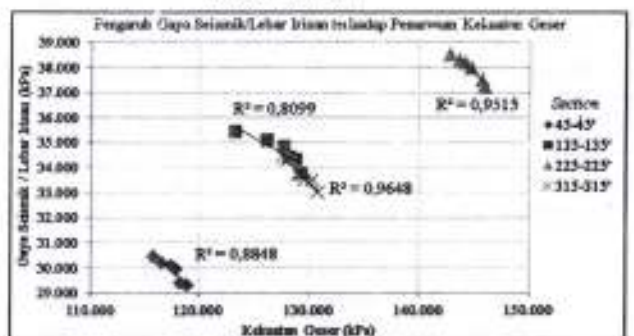
Gambar 4.4

Grafik Pengaruh Berat Total Irisan terhadap Penurunan Kekuatan Geser



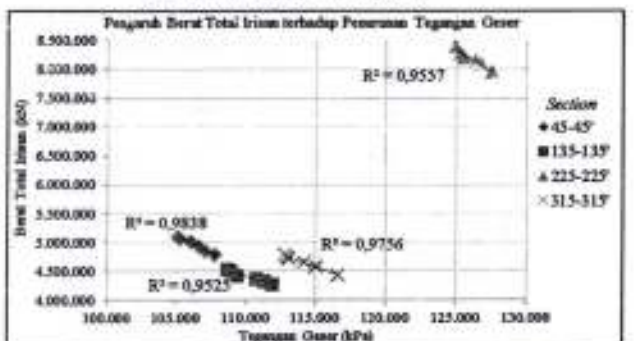
Gambar 4.5

Grafik Pengaruh Tekanan Pori terhadap Penurunan Kekuatan Geser



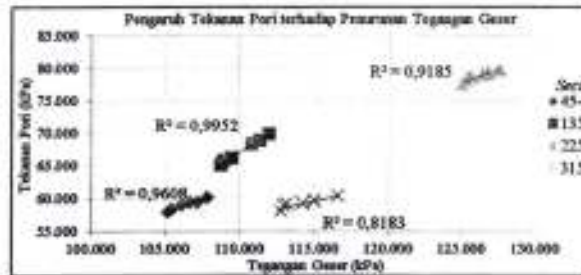
Gambar 4.6

Grafik Pengaruh Gaya Seismik/Lebar Irisan terhadap Penurunan Kekuatan Geser



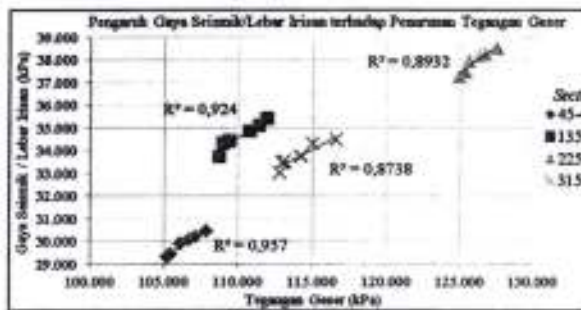
Gambar 4.7

Grafik Pengaruh Berat Total Irisan terhadap Penurunan Tegangan Geser



Gambar 4.8

Grafik Pengaruh Tekanan Pori terhadap Penurunan Tegangan Geser



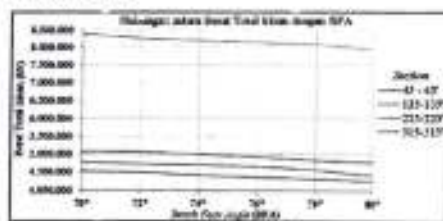
Gambar 4.9

Grafik Pengaruh Gaya Seismik/Lebar Irisan terhadap Penurunan Tegangan Geser

Dari grafik diatas didapatkan nilai R dari R^2 keseluruhan $> 0,9$ dimana menunjukkan bahwa tiga parameter diatas memiliki hubungan sangat kuat terhadap penurunan kekuatan geser dan kenaikan tegangan geser. Namun hal lain yang perlu dibahas yaitu seberapa besar pengaruh kedua faktor tersebut terhadap penurunan kekuatan geser pada pada setiap penegakkan lereng yang dilakukan.

1. Berat Total Irisan

Semakin tegak lereng yang dianalisis maka semakin kecil massa yang berada diatas bidang lemah sehingga tegangan normal yang membuat lereng mempertahankan kestabilannya akan semakin kecil. Begitu pula dengan tegangan geser yang dipengaruhi oleh besarnya nilai berat blok atau total irisan (W). Penurunan berat total irisan dapat dilihat pada Gambar 4.10.



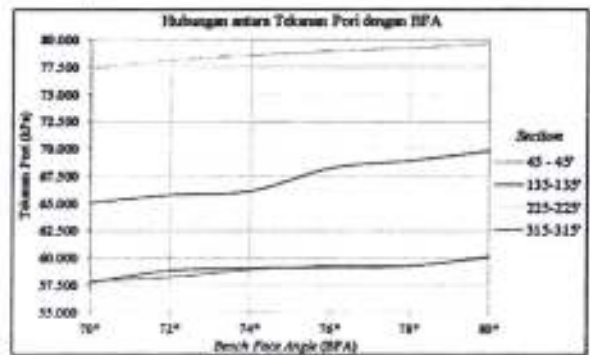
Gambar 4.10

Grafik Hubungan Antara Berat Total Irisan dengan BFA

Penurunan rata - rata berat total irisan pada tiap *section* yaitu 3,26% pada *section* 45-45', 3,38% pada *section* 135-135', 3,18% pada *section* 225-225' dan 3,36% pada *section* 315-315'.

2. Tekanan Pori

Semakin tinggi tekanan pori menyebabkan daya dukung lereng semakin berkurang. Keberadaan air tanah menunjukkan adanya tekanan pori, kenaikan muka air tanah berbanding lurus dengan tekanan pori. Adanya *seepage* atau rembesan menandakan bahwa pada titik tersebut memiliki tekanan pori tinggi. Kenaikan tekanan pori pada lereng yang ditegakkan dapat dilihat pada Gambar 4.11.



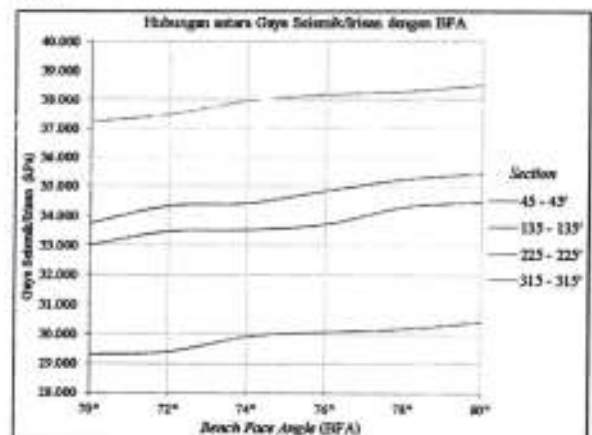
Gambar 4.11

Grafik Hubungan Antara Tekanan Pori dengan BFA

Kenaikan rata-rata tekanan pori pada tiap *section* yaitu 2,13% pada *section* 45-45', 3,92% pada *section* 135-135', 1,89% pada *section* 225-225' dan 2,39% pada *section* 315-315'.

3. Gaya Seismik

Kenaikan gaya seismik akan meningkatkan gaya dorong pada lereng juga mengurangi tegangan normal yang ada sehingga akan menyebabkan ketidakstabilan pada lereng. Keberadaan gaya seismik akan menimbulkan rekahan baru atau membuat rekahan lama terbuka. Kenaikan gaya seismik pada lereng yang ditegakkan dapat dilihat pada Gambar 4.12.



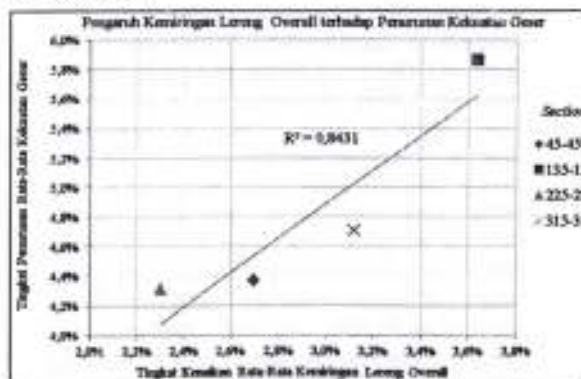
Gambar 5.12

Grafik Hubungan antara Gaya Seismik/Irisan dengan BFA

Kenaikan rata-rata gaya seismik pada tiap *section* yaitu 2,33% pada *section* 45-45°, 3,09% pada *section* 135-135°, 2,21% pada *section* 225-225° dan 2,61% pada *section* 315-315°.

Jika dilihat dari tiga faktor diatas, penurunan berat total isian memiliki pengaruh cukup tinggi jika dibanding dengan faktor tekanan pori dan gaya seismik dengan penurunan rata-rata berurutan 3,29%, 2,58% dan 2,56%. Pada kekuatan geser akan menurun lebih tinggi dibanding kenaikan tegangan geser. Hal ini karena pada kekuatan geser, tiga faktor tersebut mengalami perubahan yang menurunkan kekuatan geser. Pada tegangan geser kenaikannya tidak terlalu tinggi dibanding penurunan kekuatan geser dikarenakan berat total irisan mengalami penurunan yang akan menurunkan nilai tegangan gesernya. Namun dikarenakan terdapat pengaruh tekanan pori dan gaya seismik yang meningkat sehingga tegangan geser tetap mengalami kenaikan.

Hal lain lagi yang menjadi pembahasan yaitu perbedaan tingkat penurunan rata-rata kekuatan geser pada tiap *section*nya. Dari hasil analisis dapat diketahui perbedaan tingkat penurunan pada setiap *section* disebabkan oleh perbedaan kenaikan kemiringan lereng *overall*. Semakin tinggi kenaikan kemiringan lereng *overall* maka semakin tinggi penurunan kekuatan geser pada tiap *section*nya. Pengaruh kenaikan kemiringan lereng *overall* dapat dilihat pada Gambar 4.13.

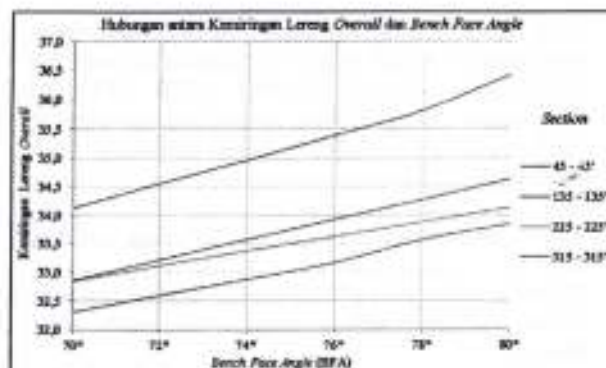


Gambar 4.13

Pengaruh Kemiringan Lereng *Overall* terhadap Penurunan Kekuatan Geser

Tingkat pengaruh berdasarkan analisis regresi linear menunjukkan angka R dari R² keseluruhan > 0,9 yang menunjukkan bahwa hubungan kenaikan kemiringan lereng *overall* terhadap penurunan kekuatan geser sangat kuat.

Hasil kemiringan lereng *overall* setelah dilakukan penegakan pada *bench face angle* dapat dilihat pada Gambar 4.14.



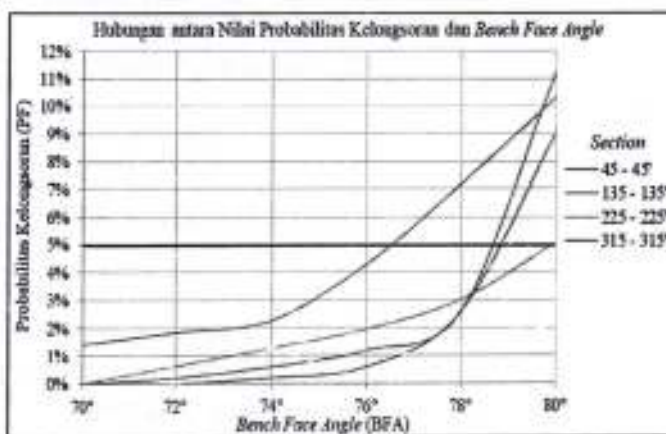
Gambar 4.14

Grafik Hubungan antara Kemiringan Lereng *Overall* dan *Bench Face Angle*

Kenaikan rata-rata kemiringan lereng *overall* pada tiap *section* yaitu 4,37% pada *section* 45-45°, 5,87% pada *section* 135-135°, 4,41% pada *section* 225-225° dan 4,71% pada *section* 315-315° (Lampiran I). Perbedaan kenaikan kemiringan lereng *overall* pada tiap penegakan *bench face angle* disebabkan oleh tinggi lereng *overall* yang berbeda-beda, semakin rendah tinggi lereng *overall*nya maka kenaikan kemiringan lereng *overall* semakin besar.

4.1.2. Pendekatan Probabilitas Kelongsoran

Suatu alternatif selain pendekatan FK untuk desain lereng adalah metode probabilistik yang didasarkan pada perhitungan probabilitas longsor (PF) lereng dengan menggambarkan variasi karakteristik massa batuan yang ada. Nilai probabilitas kelongsoran (PF) ≤ 5% menurut Kepinen ESDM No. 1827 Th 2018 sebagai acuan dalam dilakukannya penegakan pada BFA. Adapun hasil dari analisis yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15

Hubungan antara Nilai Probabilitas Kelongsoran dan BFA

Pada setiap penegakan *bench face angle* (BFA) akan menaikkan nilai PF dengan tingkat kenaikan yang berbeda-beda. Perbedaan ini dikarenakan *base material* (material pada bidang lemah) pada tiap penegakan memiliki tingkat pengaruh yang berbeda-

beda. Tingkat pengaruh *base material* berdasarkan pada persentase lebar irisan dan standard deviasi (SD) pada nilai kekuatan batuan UCS (*Uniaxial Compressive Strength*) serta kohesi dan sudut gesek dalam pada sesar. Semakin besar persentase lebar irisan maka pengaruhnya juga semakin besar. Semakin besar nilai standard deviasi (SD) maka tingkat kenaikan pada nilai PF akan semakin besar.

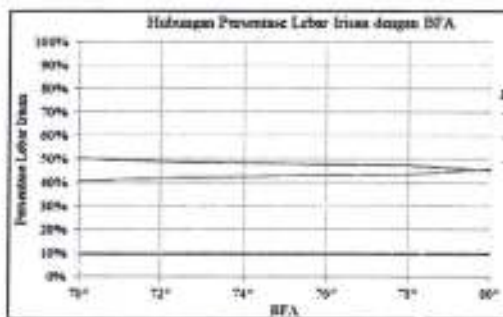
Base material pada penelitian ada 4, yaitu batuan diorit, batuan vulkanik, batuan tonalit dan sesar. Nilai standard

deviasi UCS masing – masing yaitu, batuan diorit 15,47 MPa, batuan vulkanik 39,70 MPa dan batuan tonalit 33,58 MPa.

Nilai standard deviasi kohesi dan sudut gesek dalam pada sesar masing – masing 10 KPa dan 6°.

1. *Section 45 – 45'*

Section 45 - 45' memiliki ketinggian *overall slope* 840 m dengan *overall slope angle* 32°. Dari hasil dari analisis (Gambar 4.13) diketahui bahwa pada BFA 70° hingga BFA 76° lereng memiliki probabilitas kelongsoran (PF) yang masih diperbolehkan dengan nilai paling tinggi 4,29% . Kenaikan nilai PF terbesar mencapai 3,12% , kenaikan ini tidak terlalu tinggi jika dibanding pada *section* lainnya. *Base material* pada *section 45 – 45'* terdiri dari batuan diorit dan vulkanik serta sesar. Jika dilihat dari standard deviasi (SD), batuan vulkanik memiliki peran besar dalam kenaikan nilai PF. Namun jika dilihat dari persentase lebar irisan, batuan vulkanik hanya memiliki pengaruh 40,60% – 45,53% sehingga menyebabkan kenaikan pada nilai PF tidak terlalu tinggi. Untuk persentase lebar irisan *base material* yang lain dapat dilihat pada Gambar 4.16.



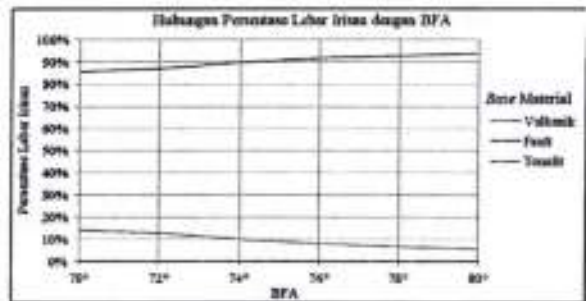
Gambar 4.16

Grafik Hubungan Persentase Lebar Irisan dengan BFA

2. *Section 135 – 135'*

Section 135-135' memiliki ketinggian *overall slope* 630 m dengan *overall slope angle* 35°. Dari hasil dari analisis (Gambar 4.13) diketahui bahwa pada BFA 70° hingga BFA 78° lereng memiliki probabilitas kelongsoran (PF) yang masih diperbolehkan dengan nilai paling tinggi 2,60% . Kenaikan nilai PF terbesar mencapai

6,40% , kenaikan ini cukup tinggi jika dibanding pada *section* lainnya. *Base material* pada *section 135 – 135'* terdiri dari batuan vulkanik dan tonalit serta sesar. Jika dilihat dari standard deviasi (SD), batuan vulkanik memiliki peran besar dalam kenaikan nilai PF. Jika dilihat dari persentase lebar irisan, batuan vulkanik juga memiliki pengaruh tinggi, yaitu 87,09% – 93,93% sehingga menyebabkan kenaikan pada nilai PF cukup tinggi. Untuk persentase lebar irisan *base material* yang lain dapat dilihat pada Gambar 4.17.

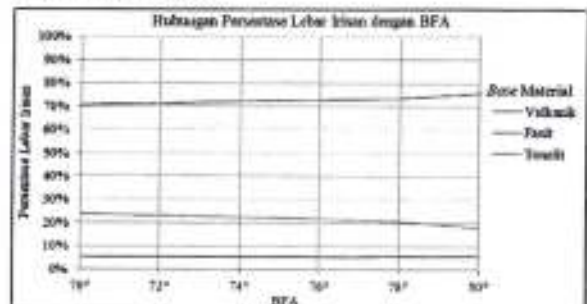


Gambar 4.17

Grafik Hubungan Persentase Lebar Irisan dengan BFA

3. *Section 225 – 225'*

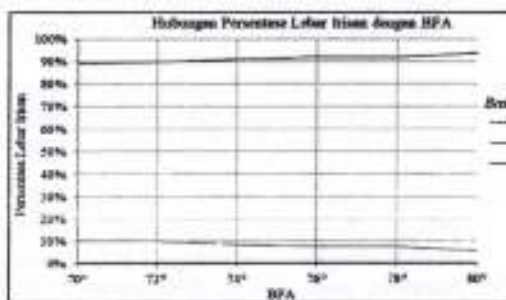
Section 225-225' memiliki ketinggian *overall slope* 990 m dengan *overall slope angle* 33°. Dari hasil dari analisis (Gambar 4.13) diketahui bahwa pada BFA 70° hingga BFA 78° lereng memiliki probabilitas kelongsoran (PF) yang masih diperbolehkan dengan nilai paling tinggi 3,02% . Kenaikan nilai PF terbesar mencapai 2,03% , kenaikan ini paling rendah jika dibanding pada *section* lainnya. *Base material* pada *section 225 – 225'* terdiri dari batuan vulkanik dan tonalit serta sesar. Jika dilihat dari standard deviasi (SD), batuan vulkanik memiliki peran besar dalam kenaikan nilai PF. Jika dilihat dari persentase lebar irisan, batuan vulkanik memiliki pengaruh cukup tinggi, yaitu 70,60% – 75,87% . Namun karena terdapat batuan tonalit dengan nilai UCS tinggi dengan persentase lebar irisan 23,98% – 18,36% , hal ini menyebabkan kenaikan pada nilai PF cenderung rendah. Untuk persentase lebar irisan *base material* yang lain dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18
Grafik Hubungan Persentase Lebar Irisan dengan BFA

4. *Section 315 – 315'*

Section 315-315' memiliki ketinggian *overall slope* 720m dengan *overall slope angle* 32°. Dari hasil dari analisis (Gambar 4.13) diketahui bahwa pada BFA 70° hingga BFA 78° lereng memiliki probabilitas kelongsoran (PF) yang masih diperbolehkan dengan nilai paling tinggi 2,60% . Kenaikan nilai PF terbesar mencapai 8,60% , kenaikan ini paling tinggi jika dibanding pada *section* lainnya. *Base material* pada *section 315 – 315'* terdiri dari batuan vulkanik dan tonalit serta sesar. Jika dilihat dari standard deviasi (SD), batuan vulkanik memiliki peran besar dalam kenaikan nilai PF. Jika dilihat dari persentase lebar irisan, batuan vulkanik juga memiliki pengaruh tinggi, yaitu 89,21% – 93,91% , sehingga menyebabkan kenaikan pada nilai PF tinggi. Untuk persentase lebar irisan *base material* yang lain dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19
Grafik Hubungan Persentase Lebar Irisan dengan BFA

4.2. Rekomendasi Desain Geometri Lereng

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng dengan pendekatan faktor keamanan (FK) dan probabilitas kelongsoran (PF) pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.13, didapatkan desain geometri lereng *Phase 7* (BFA) yang sesuai dengan kepmen ESDM No. 1827 yaitu BFA 76° pada *section 45-45'* dan BFA 78° pada *section 135-135'*, 225-225' serta 315-315'. Namun karena mempertimbangkan tingkat kesukaran dalam penerapan dilapangan maka dipilih nilai BFA sama pada seluruh bagian Lereng dengan nilai terlandai yaitu BFA 76°.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis kestabilan lereng disimpulkan bahwa:

1. Terdapat dua pendekatan dalam penentuan kesetabilan lereng, yaitu faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran.
 - a. Pada pendekatan faktor keamanan, penegakan lereng memiliki pengaruh

tidak terlalu tinggi dengan tingkat penurunan rata – rata 2,79% yang disebabkan oleh penurunan berat total irisan dan kenaikan tekanan pori.

- b. Keberagaman kekuatan massa batuan (UCS) menunjukkan pengaruh tidak terlalu tinggi dengan kenaikan probabilitas kelongsoran rata-rata 1,71% yang disebabkan perubahan persentase lebar irisan dan standard deviasi.

2. Mengacu pada Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018 dengan batas nilai $FK \geq 1,1$ dan $PF \leq 5\%$ maka ditentukan nilai *bench face angle* maksimal yang mungkin untuk diterapkan yaitu BFA 76°.

5.2. Saran

1. Dilakukan analisis kestabilan lereng menggunakan metode *finite element* pendekatan *strength reduction faktor* untuk mengetahui pengaruh penegakkan lereng dan tingkat perpindahannya.
2. Dilakukan analisis *rock fall* untuk mengetahui apakah desain lebar *bench* dapat diperkecil guna menambah bagian geometri lereng yang dapat divariasikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anumandla S., Sristi R. D., and Shantanu D.. 2018. *Multimodel Response Assessment For Monthly Rainfall Distribution In Some Selected Indian Cities Using Best Fit Probability As A Tool*. Department of Electrical Engineering, IIT Hyderabad, Kandi, India.
2. Arif, I. 2016. *Geoteknik Tambang*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, Indonesia.
3. Azizi M. A. dan R. H. Eko.. 2011. *Karakterisasi Parameter Masukan untuk Analisis Kestabilan Lereng Tunggal*. Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3 Palembang, Indonesia.
4. Azizi, M. A. dkk. 2012. *Analisis Risiko Kestabilan Lereng Tambang Terbuka*. Prosiding Simposium dan Seminar Geomekanika ke-1. Indonesia.
5. *Compilation PSMP*. 2013. *Rock Properties in Batu Hijau Mining*. Departement Geoteknik dan Hidrogeologi PT. Amman Mineral Nusa Tenggara. (Unpublished Report).
6. Chowdhury R., Phil F., and Gautam B.. 2010. *Geotechnical Slope Analysis*. Taylor & Francis Group, London, UK
7. Departement Geoteknik dan Hidrogeologi. 2019. *Data Curah Hujan Pit Batu Hijau pada Stasiun RF06C dan WS01B Tahun 2009 – 2018*. PT. Amman Mineral Nusa Tenggara. (Unpublished Report).
8. Departement Geoteknik dan Hidrogeologi. 2019. *Data Piezometer Pit Batu Hijau per Maret 2019*. PT. Amman Mineral Nusa Tenggara. (Unpublished Report).

9. Departement Geoteknik dan Hidrogeologi. 2019. Data Sesar Pit Batu Hijau berdasarkan Pengeboran Geoteknik. PT. Amman Mineral Nusa Tenggara. (Unpublished Report).
10. Garwin, S.. 2000. *The setting, geometry and timing of intrusion-related hydrothermal systems in the vicinity of the Batu Hijau porphyry copper-gold deposit, Sumbawa, Indonesia*. The University of Western Australia. (Unpublished Newmont Nusa Tenggara Company Report).
11. Golder Associates. 1999. *Batu Hijau Project, Indonesia: Waste Dump Management Plan: Volume 3 - Hydrogeology*. PT. Newmount Nusa Tenggara. (Unpublished Report).
12. Hustrulid, W.A., M.K. McCarter and D.J.A. van Zyl. 2001. *Slope Stability in Surface Mining*. Society for Mining, Metallurgical and Exploration (SME), Littleton, Colorado.
13. Hoek E., C. C. Torres and B. Corkum. 2002. *Hoek-Brown Failure Criterion-2002 Edition*. Proc.North Am. Rock Mech. Soc.Meeting, Toronto.
14. Hoek E, Read J, Karzulovic A., and Chen Z.Y.. 2000. *Rock slopes in Civil and Mining Engineering*. International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, GeoEng2000, Melbourne.
15. Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). 2018. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Bumi Indonesia tahun 2017. Pusat Studi Gempa Nasional, Pusat Litbang Perumahan dan Pemukiman, Kementrian PUPR. Indonesia.
16. Keputusan Menteri (Kepmen) ESDM Nomer 1827 K/30/MEM/2018 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik
17. Kliche. C. A.. 1999. *Rock Slope Stability*. Society for Mining, Metallurgical an Exploration (SME), Littleton, Colorado.
18. LKFT UGM. 2012. *Kajian Hidrogeologi Komprehensif Daerah Pertambangan Batu Hijau, Kabupaten Sumbawa Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat*. Lombok: (Unpublished Report).
19. Lorax S.. 2014. *Hydrogeological Assessment of the Batu Hijau Mine and Implications for Closure Detailed Report*. Lombok: PT. Newmont Nusa Tenggara (Unpublished Report).
20. Read, J. and P. Stacey. 2010. *Guidelines for Open Pit Slope Design*. CSIRO PUBLISHING, Collingwood VIC 3066. Australia.
21. Rocscience. 2018. *Tutorial 8: Probabilistic Analysis*. Tutorial Manual. Rocscience Inc.
22. Singh, B. and R.K. Goel, 1999. *Rock Mass Classification - A Practical Approach in Civil Engineering*. Elsevier. India.
23. Supranto J. 2008. *Statistika Teori dan Aplikasi Edisi Ketujuh*. Erlangga. Jakarta, Indonesia.
24. Sutalaksana, I. Z. 1979. *Teknik Tata Cara Kerja*. MTI ITB, Bandung.
25. Tse, Y. K.. 2009. *Nonlife Actuarial Models: Theory, Methods and Evaluation*. Cambridge University Press. Singapore.
26. Togani C. U., Rini K.. 2016. *Pemilihan Distribusi Probabilitas Pada Analisa Hujan Dengan Metode Goodness Of Fit Test*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Indonesia.
27. Wyllie, D. C.. 2018. *Rock Slope Engineering Civil Applications 5th Edition*. CRC Press, Taylor and Francis Group. Boca Raton.
28. Wyllie, D. C. and C. W. Mah. 2004. *Rock Slope Engineering Civil and Mining 4th Edition*. The Institute of Mining and Metallurgy and E. Hoek and J. W. Bray 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon. England.
29. Bambang Triatmodjo, 2008, *Hidraulika II*, Beta Offset Yogyakarta, Perum FT-UGM No. 3 Seturan Caturtunggal Yogyakarta 55281,
30. Chay Asdak, 1995, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gadjah Mada University Press, P.O. Box 14 Bulaksumur Yogyakarta 55281,
31. Currie, John M., 1973, *Unit Operations in Mineral Processing*, Department of Chemical and Metallurgical Technology, British Columbia,
32. Rahardjo, dkk. (1977), Pringgoprawiro (1988), Sujanto, dkk. (1975), Suroso, dkk. (1986) dalam *Dokumen Studi Kelayakan CV. Gunung Mulia, CV. Gunung Mulia, Purworejo,*
33. Rudy Sayoga G., 1999, *Sistem Penyaliran Tambang*, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Institut Teknologi Bandung,