

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|---------|
| RINGKASAN | iv |
| <i>SUMMARY</i> | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| Dipersembahkan..... | vii |
| DAFTAR ISI..... | viii |
| DAFTAR GAMBAR | x |
| DAFTAR TABEL..... | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xiv |
| BAB | |
| I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3. Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.4. Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.5. Tahapan Penelitian | 2 |
| 1.6. Metodologi Penelitian | 3 |
| 1.7. Manfaat Penelitian | 4 |
| II TINJAUAN UMUM | 5 |
| 2.1. Lokasi Kesampaian Daerah..... | 5 |
| 2.2. Iklim dan Curah Hujan..... | 5 |
| 2.3. Keadaan Geologi Daerah Penelitian | 8 |
| 2.4. Keadaan Cadangan dan Kualitas Batubara | 10 |
| 2.5. Sistem Penambangan | 12 |
| III LANDASAN TEORI..... | 16 |
| 3.1. Konfigurasi Lereng | 16 |
| 3.2. Karakterisasi Massa Batuan | 19 |
| 3.3. Kriteria Keruntuhan <i>Generalized</i> Hoek-Brown..... | 19 |
| 3.4. Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb | 22 |
| 3.5. Klasifikasi Massa Batuan | 23 |
| 3.6. Distribusi Data untuk Analisis Statistika | 29 |

| BAB | Halaman |
|---|---------|
| 3.7. Uji Kolmogorov-Smirnov (K-S)..... | 32 |
| 3.8. Analisis Kestabilan Lereng | 33 |
| 3.9. Analisis Balik | 44 |
| 3.10. Jenis Potensi Longsor di Tambang Batubara..... | 53 |
| 3.11. Model Hidrogeologi pada Analisis Kestabilan Lereng..... | 57 |
| 3.12. Beban Dinamis pada Analisis Kestabilan Lereng..... | 62 |
| 3.13. Stabilisasi Lereng | 65 |
| IV HASIL PENELITIAN..... | 69 |
| 4.1. Lokasi Penelitian | 69 |
| 4.2. Penampang Geologi | 70 |
| 4.3. <i>Material Properties</i> | 72 |
| 4.4. Penentuan <i>Geological Strength Index (GSI)</i> | 72 |
| 4.5. Parameter Input pada Kriteria Keruntuhan Hoek-Brown | 79 |
| 4.6. Prediksi Ks dan Perhitungan <i>Site Coefficient</i> | 80 |
| 4.7. Analisis Balik di Blok 27 | 80 |
| 4.8. Analisis Balik di Blok 32 | 81 |
| 4.9. Komputasi Geometri Awal dan <i>Redesign Final Pit</i> di Blok 27..... | 82 |
| 4.10. Komputasi Geometri Awal dan <i>Redesign Final Pit</i> di Blok 32..... | 84 |
| 4.11. Komputasi Geometri Awal dan <i>Redesign Final Pit</i> di Blok 43..... | 86 |
| V PEMBAHASAN | 88 |
| 5.1. Analisis Balik Berdasarkan Kejadian Longsor | 88 |
| 5.2. Analisis Kestabilan Lereng pada Desain <i>Final Pit</i> | 98 |
| VI KESIMPULAN DAN SARAN..... | 105 |
| 6.1. Kesimpulan | 105 |
| 6.2. Saran..... | 106 |
| DAFTAR PUSTAKA | 107 |

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|---|---------|
| 1.1 Diagram alir penelitian | 3 |
| 2.1 Peta lokasi kesampaian daerah | 6 |
| 2.2 Grafik curah hujan maksimal dan rata-rata harian | 7 |
| 2.3 Batas Cekungan Barito | 8 |
| 2.4 Peta geologi regional di lokasi penelitian | 11 |
| 2.5 Kegiatan <i>land clearing</i> | 13 |
| 2.6 Kegiatan pengupasan <i>top soil</i> | 13 |
| 2.7 Kegiatan pengeboran lubang ledak..... | 13 |
| 2.8 Kegiatan <i>charging</i> bahan ledak | 13 |
| 2.9 Kegiatan peledakan..... | 14 |
| 2.10 Pembongkaran dan pemuatan batubara oleh EX 545 dan EX 544..... | 14 |
| 2.11 Kegiatan peremukan batubara | 15 |
| 2.12 <i>Washing facility</i> | 15 |
| 2.13 LD yang mengangkut batubara..... | 15 |
| 2.14 Pemuatan batubara dari <i>stockpile</i> ke barging | 15 |
| 3.1 Konfigurasi lereng | 17 |
| 3.2 Prosedur dalam desain lereng geoteknik | 17 |
| 3.3 Diagram Mohr dan <i>failure envelope</i> | 22 |
| 3.4 Hubungan antara luasan area <i>sampling</i> dengan bidang diskontinyu | 23 |
| 3.5 Prosedur dan perhitungan RQD | 26 |
| 3.6 <i>Probability Density Function</i> (PDF) pada probabilitas longsor..... | 29 |
| 3.7 Frekuensi kumulatif empirik dan teoritis..... | 32 |
| 3.8 Gaya-gaya yang bekerja pada bidang miring | 33 |
| 3.9 Irisan pada pemodelan LEM: (a) vertikal; (b) non-vertikal..... | 35 |
| 3.10 Gaya-gaya pada irisan Metode Morgentern-Price | 37 |
| 3.11 Gaya-gaya pada irisan Metode Spencer | 39 |

| Gambar | Halaman |
|--|---------|
| 3.12 Gaya-gaya pada irisan Sarma | 41 |
| 3.13 Elemen dan <i>node</i> pada pemodelan FEM | 42 |
| 3.14 Perbedaan <i>forward analysis</i> dengan <i>back analysis</i> | 45 |
| 3.15 Pengukuran <i>plate bearing</i> secara insitu | 46 |
| 3.16 Perubahan tegangan horizontal pada penggalian lereng: (a) sebelum penggalian; (b) setelah penggalian | 48 |
| 3.17 <i>Refining mesh</i> pada <i>potential slip surface</i> di FEM..... | 50 |
| 3.18 Korelasi ϵ dan RMR pada longsor <i>wedge</i> dan <i>planar</i> | 52 |
| 3.19 Korelasi ϵ dan RMR pada longsor massa batuan dan <i>toppling</i> | 52 |
| 3.20 Ilustrasi <i>low wall</i> dan <i>high wall</i> (Alejano dan Juncal, 2010)..... | 54 |
| 3.21 Jenis-jenis longsor yang berpotensi terjadi di <i>low wall</i> : (a) longsor bidang; (b) <i>slab failure</i> akibat kehadiran patahan; (c) <i>bi-planar</i> ; (d) <i>ploughing</i> ; (e) <i>euler-type buckling</i> ; (f) <i>three hinge buckling</i> | 54 |
| 3.22 Siklus hidrologi..... | 58 |
| 3.23 Korelasi MAT dengan hujan | 58 |
| 3.24 Pengaruh fitur geologi terhadap keadaan MAT: (a) variasi tekanan MAT terhadap kekar; (b) keadaan MAT pada lereng dengan dengan batuan berpori dan kekar; (c) sesar sebagai kondisi <i>low</i> dan <i>high</i> <i>conductivity</i> | 59 |
| 3.25 Ilustrasi pada persamaan tegangan total | 61 |
| 3.26 Penentuan nilai <i>Hu</i> pada MAT di SLIDE | 61 |
| 3.27 <i>Geophone</i> dan <i>microphone</i> yang dipasang pada <i>vibration</i> meter..... | 64 |
| 3.28 Ilustrasi pemasangan <i>horizontal drain hole</i> pada lereng | 66 |
| 3.29 Ilustrasi perkuatan lereng: (a) <i>toe buttress</i> ; (b) <i>rock bolting</i> | 67 |
| 3.30 Ilustrasi <i>unloading</i> pada <i>crest</i> lereng | 68 |
| 4.1 Peta lokasi penelitian | 69 |
| 4.2 Struktur batuan <i>carbonaceous</i> : (a) <i>Carbonaceous Claystone</i> ; (b) <i>Carbonaceous Sandstone</i> | 71 |
| 4.3 Peta pengeboran geoteknik | 73 |
| 4.4 Penampang sayatan (A-A') pada Blok 27 | 74 |

| Gambar | Halaman |
|---|---------|
| 4.5 Penampang sayatan (B-B') pada Blok 32..... | 74 |
| 4.6 Penampang sayatan (C-C') pada Blok 43..... | 75 |
| 4.7 Perbedaan antara kekar mekanik dan struktur sekunder kekar..... | 76 |
| 4.8 Pengukuran kekar di Blok 32 pada litologi <i>siltstone</i> | 77 |
| 4.9 Singkapan <i>arboneous Sandstone</i> di Blok 28 | 77 |
| 4.10 <i>Aperture</i> dan <i>infilling</i> : (a) isian material pasir di Blok 43; (b) isian material <i>clay</i> di Blok 32; (c) <i>aperture joint</i> yang tertutup (<i>close</i>)..... | 78 |
| 4.11 Keadaan air tanah di lokasi penelitian: (a) <i>completely dry</i> ; (b) <i>wet</i> ; (c) <i>flowing</i> | 79 |
| 4.12 Grafik <i>plotting scaled distance-PPV</i> | 80 |
| 4.13 Grafik <i>plotting scaled distance-PGA</i> | 80 |
| 5.1 Bekas kejadian longsor di Blok 27 | 88 |
| 5.2 Penampang sayatan bekas longsor di Blok 27..... | 89 |
| 5.3 Kekar mekanik akibat getaran peledakan | 91 |
| 5.4 Lokasi kejadian longsor di Blok 32-33..... | 94 |
| 5.5 Penampang sayatan sebelum dan sesudah kejadian longsor di Blok 32 ... | 94 |
| 5.6 Aliran permukaan dari atas <i>pit</i> | 96 |
| 5.7 Lapisan batubara dan <i>carbonaceous claystone</i> yang tipis sebagai rembesan setelah hujan | 96 |
| 5.8 Perpindahan yang terus berlanjut setelah kejadian longsor | 96 |
| 5.9 <i>Release surface</i> di Blok 32 | 97 |
| 5.10 Rekahan di Blok 32 yang menerus ke <i>release surface</i> | 97 |
| 5.11 Rekahan di Blok 32 yang menerus ke <i>release surface</i> | 100 |

DAFTAR TABEL

| Tabel | Halaman |
|-------|---|
| 2.1 | Tabulasi data curah hujan maksimal harian 7 |
| 2.2 | Kualitas batubara jenis kokas yang dijual 12 |
| 3.1 | Kriteria dapat diterima pada FK dan PoF 18 |
| 3.2 | Kategori keparahan longsor 18 |
| 3.3 | Penentuan nilai m_i 20 |
| 3.4 | Penentuan <i>disturbance factor</i> pada lereng 21 |
| 3.5 | <i>Geomechanics Classification</i> atau RMR 25 |
| 3.6 | Tabel penentuan GSI..... 27 |
| 3.7 | Nilai kritis terhadap level signifikansi 32 |
| 3.8 | Ambang batas regangan 53 |
| 3.9 | Spesifikasi alat vibracord FX vibration meter 63 |
| 4.1 | Tabulasi data ketebalan litologi pada pemodelan di tiap blok 70 |
| 4.2 | Parameter <i>material properties</i> batuan pada permodelan 75 |
| 4.3 | Data hasil pengukuran <i>piezometer</i> 78 |
| 4.4 | Tabulasi nilai m_i pada pemodelan 79 |
| 4.5 | Hasil komputasi dan simulasi longsor pada Blok 27 81 |
| 4.6 | Hasil komputasi dan simulasi longsor pada Blok 32 82 |
| 4.7 | Geometri desain awal dan <i>redesign</i> di Blok 27 83 |
| 4.8 | Hasil komputasi lereng tunggal dan lereng keseluruhan di Blok 27 83 |
| 4.9 | Geometri desain awal dan <i>redesign</i> di Blok 32 84 |
| 4.10 | Hasil komputasi lereng tunggal dan lereng keseluruhan di Blok 32 85 |
| 4.11 | Geometri desain awal dan <i>redesign</i> di Blok 43 86 |
| 4.12 | Hasil komputasi lereng tunggal dan lereng keseluruhan di Blok 43 87 |
| 5.1 | Persentase perubahan <i>material properties</i> di Blok 27 93 |
| 5.2 | Persentase penurunan <i>material properties</i> di Blok 32 98 |
| 6.1 | Hasil akhir geometri <i>redesign</i> yang dinyatakan aman 105 |

DAFTAR LAMPIRAN

| LAMPIRAN | Halaman |
|---|---------|
| A. PETA SITUASI TAMBANG PER JUNI 2022, STRUKTUR, DAN LOKASI SAYATAN MODEL LERENG | 114 |
| B. BUKTI KEHADIRAN BATUAN <i>CARBONACEOUS</i> DI SEKITAR PERLAPISAN BATUBARA | 115 |
| C. <i>GOODNESS OF FIT TEST</i> DENGAN MENGGUNAKAN METODE KOMOLGOROV SMIRNOV (K-S) | 117 |
| D. PENGUKURAN KEKAR | 127 |
| E. PENGOLAHAN DATA GSI PADA BLOK 27 | 130 |
| F. PENGOLAHAN DATA GSI PADA BLOK 32 | 137 |
| G. PENGOLAHAN DATA GSI PADA BLOK 43 | 142 |
| H. INTERPOLASI MUKA AIR TANAH..... | 148 |
| I. KEGIATAN PELEDAKAN | 151 |
| J. HASIL ANALISIS BALIK | 158 |
| K. PETA <i>FINAL PIT</i> DI <i>PIT SOUTH</i> | 166 |
| L. HASIL ANALISIS <i>FINAL DESAIN</i> DI BLOK 27 | 167 |
| M.HASIL ANALISIS <i>FINAL DESAIN</i> DI BLOK 32..... | 184 |
| N. HASIL ANALISIS <i>FINAL DESAIN</i> DI BLOK 43..... | 202 |