

TESIS

STRATEGI OPTIMALISASI BIAYA DAN EFISIENSI PERBAIKAN JALAN *HAULING* DI PT. MARUWAI COAL (STUDI KASUS : INOVASI PENGGUNAAN MATERIAL GEOSINTETIK (*GEOCELL*) DAN KIMIA (*GEOPOLL*))

Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Mencapai Gelar Magister Teknik (MT)



Oleh :

OKY FAUZI RAHARJO

NIM : 20202300205

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
2024**

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

STRATEGI OPTIMALISASI BIAYA DAN EFISIENSI PERBAIKAN JALAN *HAULING* DI PT. MARUWAI COAL (STUDI KASUS : INOVASI PENGGUNAAN MATERIAL GEOSINTETIK (*GEOCELL*) DAN KIMIA (*GEOPOLL*))

Disusun oleh :

OKY FAUZI RAHARJO

NIM : 20202300205

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Tanggal, 31 Januari 2025

Pembimbing I,


Ir. H. Rachmat Muliyo, MT., Ph. D

NIK.210293018

Tanggal, 31 Januari 2025

Pembimbing II,


Dr. Abdul Rochim, ST., MT

NIK.210200031

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

STRATEGI OPTIMALISASI BIAYA DAN EFISIENSI PERBAIKAN JALAN *HAULING* DI PT. MARUWAI COAL (STUDI KASUS : INOVASI PENGGUNAAN MATERIAL GEOSINTETIK (*GEOCELL*) DAN KIMIA (*GEOPOLL*))

Disusun oleh :

OKY FAUZI RAHARJO

NIM : 20202300205

Dipertahankan di Depan Tim Penguji Tanggal :

(07 Februari 2025)

Tim Penguji :

1. Ketua

Ir. H. Rachmat Mudiyono, MT., Ph. D

2. Anggota

Dr. Abdul Rochim, ST., MT

3. Anggota

Prof. Ir. Pratikso, MST., Ph. D

Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Magister Teknik (MT) Semarang

Semarang, (07 Februari 2025)

Mengetahui,

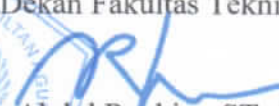
Ketua Program Studi


Prof. Dr. Ir. Antonius, MT

NIK. 210202033

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik


Dr. Abdul Rochim, ST., MT

NIK. 210200031

MOTTO

جَتِ لِنَاسٍ تَأْمُرُونَ بِالْعَمْرِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَأُولَٰئِكَ هُمُ الْمُتَّقُونَ
لَكَانَ خَيْرًا لَّهُمْ مِنْ هَٰؤُلَاءِ مَلُومُونَ وَكَانَ تَرَاثُهُمْ لُسْفُورًا

Artinya : “ Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia (selama) kamu menyuruh (berbuat) yang makhruf, mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Seandainya Ahlulkitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman dan kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik” (QS. Ali-Imron/3:110).

Balas dendam terbaik adalah menjadikan dirimu lebih baik. (Ali bin Abi Thalib).

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, dan kasih-Nya, yang telah memberikan kekuatan, kesehatan, dan kesempatan menyelesaikan Tesis ini. Tesis ini Penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua tercinta Bapak S. Harno Raharjo dan (Almh.) Ibu Haryati, Terima kasih atas segala motivasi, dan semangat yang menjadi sumber kekuatan Penulis dalam menyelesaikan Tesis ini.
2. Istri tercinta, Agustina Sulistiyowati, SE., dan anak tersayang yang selalu memberikan dukungan, kebahagiaan, kesabaran, dan cinta tanpa henti. selama proses penyusunan tesis ini.
3. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph. D., selaku dosen pembimbing I dan Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta kritik yang konstruktif dalam penyusunan tesis ini.
4. Manajemen PT. Maruwai Coal, terutama kepada:
 - Bapak M. Syafrudin S, selaku Pak KTT PT. Maruwai Coal dan Bapak Rahmat Taufik Siregar, selaku Dept. Head Mining & Engineering yang telah memberikan dukungan dan kesempatan untuk menjalankan penelitian ini.
 - Atasan Penulis langsung, Bapak I Gusti Ngurah A., Bapak Sahrul, dan Bapak Ivan K., yang telah memberikan arahan dan informasi penting untuk kelancaran penelitian ini. Terima kasih atas bantuan, kepercayaan, dan kesempatan yang telah diberikan.
5. Dosen dan Rekan sejawat di Magister Teknik Sipil UNISSULA Angkatan 53 R, yang telah memberikan ilmu, wawasan, dukungan moral dan semangat dalam setiap langkah saya.
6. Seluruh pihak yang tidak dapat Penulis sebutkan satu per satu, yang telah memberikan bantuan dan kontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam penyelesaian tesis ini.

Semoga karya ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang teknik sipil, dan memberikan inspirasi untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

ABSTRAK

PT Maruwai Coal, sebagai perusahaan tambang batubara, menghadapi tantangan dalam meningkatkan efisiensi produksi *hauling* yang dipengaruhi oleh kondisi jalan yang menurun. Pada April 2023, *ritase dump truck (DT)* hanya tercapai 1,58 *ritase/shift*, jauh dari target 2 *ritase/shift*, mengakibatkan hilangnya produksi sebesar 26% atau 91.280 ton. Penurunan ini sebagian besar disebabkan oleh penurunan nilai *Coal Hauling Road Index (CHRI)* yang mempengaruhi kualitas jalan. Penurunan performa jalan tercatat dengan nilai CHRI yang hanya 81,02% pada minggu ke-17 tahun 2023, jauh di bawah standar 90%. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi penerapan inovasi terbaru yaitu material geosintetik *geocell* dan material kimia *geopoll* dalam perbaikan jalan *hauling*, serta untuk meningkatkan nilai CHRI dan efisiensi produksi. Aplikasi *Road Maintenance* yang terhubung dengan *smartphone* digunakan untuk memonitor dan memberikan rekomendasi terkait metode perbaikan jalan, termasuk pengecekan beberapa SOP yang ada. Metode penelitian yang digunakan adalah studi kasus di segment 4 (KM39-KM52) dengan penerapan *geocell* dan *geopoll* pada area yang mengalami kerusakan berulang. Evaluasi dilakukan dengan mengukur perubahan pada nilai CHRI, kecepatan rata-rata, serta hasil produksi setelah implementasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan *geocell* berhasil meningkatkan nilai CHRI dari 83% menjadi 91,23%, serta memperpanjang masa performa umur jalan lebih dari 8 minggu. Penggunaan *geopoll* juga meningkatkan daya dukung tanah, berkontribusi pada pengurangan biaya instalasi dan perawatan sebesar 21,95%. Kecepatan rata-rata meningkat sekitar 10% dari sebelumnya, sementara produksi meningkat dari 362.419 ton/bulan menjadi 397.337 ton/bulan, menghasilkan peningkatan keuntungan sebesar \$8.243.790 atau sebesar Rp 123.656.850.000 per bulan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan *geocell* dan *geopoll* dalam perbaikan jalan *hauling* memberikan efisiensi biaya yang signifikan, meningkatkan kinerja jalan, dan mendukung peningkatan produksi yang berkelanjutan di PT Maruwai Coal.

Kata Kunci: Produksi *Hauling*, *Geocell*, *Geopoll*, Aplikasi *Road Maintenance*



ABSTRACT

PT Maruwai Coal, as a coal mining company, faces challenges in improving hauling production efficiency affected by deteriorating road conditions. In April 2023, the dump truck (DT) cycle rate only reached 1.58 cycles/shift, far from the target of 2 cycles/shift, resulting in a production loss of 26% or 91,280 tons. This decline is largely due to the decrease in the Coal Hauling Road Index (CHRI) value, which affects road quality. The decline in road performance was recorded with a CHRI value of only 81.02% in the 17th week of 2023, far below the 90% standard. The objective of this research is to evaluate the application of innovative materials, namely geosynthetic geocell and geopolymer chemical materials, in hauling road repairs, as well as to improve the CHRI value and production efficiency. The Road Maintenance application connected to smartphones is used to monitor and provide recommendations related to road repair methods, including checking several existing SOPs. The research method used is a case study in segment 4 (KM39-KM52) with the application of geocell and geopolymer in areas experiencing recurring damage. The evaluation was conducted by measuring changes in CHRI values, average speed, and production results after implementation. The research results show that the application of geocell successfully increased the CHRI value from 83% to 91.23% and extended the road performance lifespan by more than 8 weeks. The use of geopolymer also increased soil bearing capacity, contributing to a 21.95% reduction in installation and maintenance costs. The average speed increased by about 10% from before, while production rose from 362,419 tons/month to 397,337 tons/month, resulting in a profit increase of \$8,243,790 or Rp 123,656,850,000 per month. This study concludes that the use of geocell and geopolymer in hauling road repairs provides significant cost efficiency, improves road performance, and supports sustainable production increases at PT Maruwai Coal.

Keywords: Hauling Production, Geocell, Geopolymer, Road Maintenance Application



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ir. Oky Fauzi Raharjo, ST., IPM., Asean Eng. APEC Eng.

NIM : 20202300205

Dengan ini saya nyatakan bahwa Tesis yang berjudul :

Strategi Optimalisasi Biaya dan Efisiensi Perbaikan Jalan Hauling di PT. Maruwai Coal (Studi Kasus : Inovasi Penggunaan Material Geosintetik (*Geocell*) dan Kimia (*Geopoll*)).

Adalah benar hasil karya saya dan dengan penuh kesadaran bahwa saya tidak melakukan tindakan plagiasi atau mengambil alih seluruh atau sebagian besar karya tulis orang lain tanpa menyebutkan sumbernya. Jika saya terbukti melakukan tindakan plagiasi, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.

Semarang, 30 Januari 2025



Digitally
signed by Oky
Fauzi Raharjo
Date:
2025.01.30
13:32:04
+07'00'

Ir. Oky Fauzi Raharjo, ST., IPM., Asean Eng. APEC Eng.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur Penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul “Strategi Optimalisasi Biaya dan Efisiensi Perbaikan Jalan *Hauling* di PT. Maruwai Coal (Studi Kasus : Inovasi Penggunaan Material Geosintetik (*Geocell*) dan Kimia (*Geopoll*).” guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik program studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan tesis ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang serta Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan waktu dan saran selama penyusunan Tesis ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, M.T. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil.
3. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph. D selaku Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan Tesis ini.
4. Seluruh Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada Penulis.

Penulis menyadari bahwa Tesis ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tesis ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi Penulis juga bagi para Pembaca.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN TESIS	ii
LEMBAR PENGESAHAN TESIS.....	iii
MOTTO	iv
PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACK	vii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN.....	viii
KATA PENGHANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
ARTI SIMBOL DAN SINGKATAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Perumusan Masalah.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Keaslian Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Definisi Jalan <i>Hauling</i>	7
2.2 <i>Coal Hauling Road Index (CHRI)</i>	13
2.3 Geosintetik (<i>Geocell</i>) sebagai Material Pemeliharaan Jalan <i>Hauling</i> ..	15
2.3.1 Fungsi <i>Geocell</i> dalam Pemeliharaan Jalan <i>Hauling</i>	17
2.3.2 Keunggulan <i>Geocell</i> dalam Pemeliharaan Jalan <i>Hauling</i>	19
2.4 <i>Geopoll</i> sebagai Material Pemeliharaan Jalan <i>Hauling</i>	20
2.4.1 Fungsi <i>Geopoll</i> dalam Pemeliharaan Jalan <i>Hauling</i>	20
2.4.2 Keunggulan <i>Geopoll</i> dalam Pemeliharaan Jalan <i>Hauling</i>	21
2.5 Digitalisasi dan Efisiensi Operasional dalam Industri Pertambangan .	22

2.6 Teori Konsep SDM dalam Pemeliharaan Infrastruktur.....	24
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Tinjauan Umum.....	25
3.2 Lokasi Penelitian.....	25
3.3 Penilaian Kondisi Kerusakan Jalan	28
3.4 Pengumpulan Data	30
3.5 Analisa Data	32
3.6 Validitas dan Reliabilitas Data	33
3.7 Prosedur Penelitian	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian	40
4.2 Hasil Pengumpulan Data	42
4.2.1 Data Primer	42
4.2.2 Data Sekunder	48
4.3 Analisis data dan Monitoring	51
4.3.1 Nilai <i>Coal Hauling Road Index</i> (CHRI)	51
4.3.2 Monitoring Deformasi Jalan dan Nilai CBR.....	52
4.3.3 Dokumentasi Visual	53
4.3.4 Pembuatan Standarisasi Sistem Aplikasi <i>Road Maintenance</i>	53
4.3.5 Biaya Perbaikan	55
4.3.5.1 Metode <i>Patching</i>	55
4.3.5.2 Metode <i>Geocell</i>	56
4.3.5.3 Metode <i>Geopoll</i>	57
4.4 Pembahasan	58
4.4.1 Faktor Pendukung dan Kendala	59
4.4.2 Hubungan dengan Studi Terdahulu.....	59
4.4.3 Efisiensi Operasional dan Biaya.....	59
4.4.4 Efek Penerapan.....	61
4.4.5 Peran SDM dalam Operasionalisasi teknologi Baru	61
4.5 Implikasi Penelitian.....	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	64
5.1 Kesimpulan.....	64

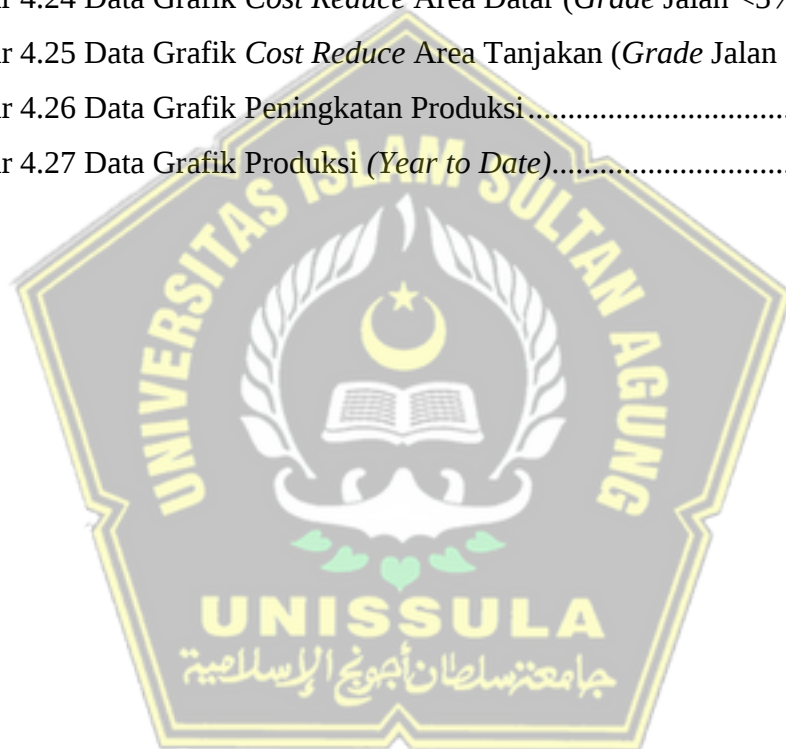
5.1.1 Analisis Faktor yang Berpengaruh Terhadap CHRI	63
5.1.2 Mengevaluasi Efektifitas dan Efisiensi Biaya Operasional dalam penerapan <i>Geocell</i> dan <i>Geopoll</i>	64
5.1.3 Mengidentifikasi Peran Sumber Daya Manusia dalam Operasionalisasi Teknologi Baru.....	65
5.2 Saran.....	65
5.2.1 Implementasi Material secara Strategis	66
5.2.2 Pengembangan Aplikasi <i>Road Maintenance</i>	66
5.2.3 Pemantauan dan Evaluasi Berkelanjutan	66
5.2.4 Pengkajian Lanjutan.....	66
5.2.5 Pengembangan Kompetensi Sumber Daya Manusia	66
DAFTAR PUSTAKA	67



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Lebar Jalan Angkut Dua Lajur Pada Jalan Lurus.....	8
Gambar 2.2 Lebar Jalan Angku Dua Lajur Pada Tikungan.....	9
Gambar 2.3 Detail Struktur Jalan PT. Maruwai Coal	12
Gambar 2.4 Tipekal Jalan	13
Gambar 2.5 Macam – Macam Geosintetik	16
Gambar 2.6 <i>Geocell</i>	17
Gambar 2.7 Perkuatan Tanah dengan Material <i>Geocell</i>	18
Gambar 3.1 Peta Lokasi PTMC dan zonasi segmen jalan angkut batubara	26
Gambar 3.2 Layout <i>Hauling Road</i> PT. Maruwai Coal	28
Gambar 3.3 Diagram Pareto Kerusakan Jalan <i>Week 1 – Week 17</i>	30
Gambar 3.4 Penilaian Kondisi Kerusakan Jalan <i>Hauling</i>	32
Gambar 3.5 Pengujian CBR Lapangan	36
Gambar 3.6 Proses Penerapan <i>Geocell</i> di Jalan <i>Hauling</i>	36
Gambar 3.7 Alur Proses Penerapan Geopoll di Jalan <i>Hauling</i>	37
Gambar 3.8 Proses Penerapan Geopoll di Jalan <i>Hauling</i>	38
Gambar 3.9 Diagram Alur Penelitian.....	39
Gambar 4.1 Bisnis Proses PT. Maruwai Coal.....	40
Gambar 4.2 Rencana Produksi Batubara PT. Maruwai Coal.....	41
Gambar 4.3 <i>Summary</i> Grafik Penilaian Kondisi Kerusakan Jalan <i>Hauling</i> ...	42
Gambar 4.4 Data Grafik Nilai CBR dengan Alat CBR Lapangan (<i>surfacing</i>)	43
Gambar 4.5 Grafik Data Nilai CBR dengan Alat CBR Lapangan (<i>surfacing</i>)	43
Gambar 4.6 Dokumentasi Uji CBR Lapangan KM 41+000.....	44
Gambar 4.7 Lokasi Kerja KM 42+200	45
Gambar 4.8 Dokumentasi Uji CBR Lapangan KM 42+200.....	45
Gambar 4.9 Dokumentasi Uji DCP KM 42+200	46
Gambar 4.10 Dokumentasi Visual Awal	46
Gambar 4.11 Data Grafik Hasil Wawancara.....	47
Gambar 4.12 Dokumentasi Pekerjaan <i>Metode Patching</i>	49
Gambar 4.13 Dokumentasi Pekerjaan <i>Metode Geocell</i>	50
Gambar 4.14 Diagram Alur Proses Pekerjaan <i>Metode Geopoll</i>	50

Gambar 4.15 Dokumentasi Pekerjaan <i>Metode Geopoll</i>	51
Gambar 4.16 Grafik Nilai CHRI Sebelum dan Sesudah Penerapan	51
Gambar 4.17 Tipikal <i>Design Jalan Hauling</i> PT. Maruwai Coal	52
Gambar 4.18 Dokumentasi Visual sebelum dan sesudah pekerjaan.....	53
Gambar 4.19 Tampilan Aplikasi <i>Road Maintenance</i>	54
Gambar 4.20 Standart Perencanaan Perbaikan	55
Gambar 4.21 <i>Desain Struktur Metode Geocell</i>	56
Gambar 4.22 Ilustrasi Pekerjaan dengan Metode <i>Geocell</i>	56
Gambar 4.23 <i>Desain Struktur Metode Geopoll</i>	57
Gambar 4.24 Data Grafik <i>Cost Reduce</i> Area Datar (<i>Grade</i> Jalan <3%)	59
Gambar 4.25 Data Grafik <i>Cost Reduce</i> Area Tanjakan (<i>Grade</i> Jalan >3%) ...	60
Gambar 4.26 Data Grafik Peningkatan Produksi	61
Gambar 4.27 Data Grafik Produksi (<i>Year to Date</i>).....	61



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Lebar Jalan Angkut Minimum	8
Tabel 2.2 Nilai Superelevasi yang diizinkan (ft/ft)	11
Tabel 2.3 Parameter Penilaian Permukaan Jalan Metode CHRI	14
Tabel 2.4 Parameter penilaian <i>crossfall</i> jalan metode CHRI	14
Tabel 2.5 Parameter penilaian lebar jalan metode CHRI	14
Tabel 2.6 Parameter penilaian drainase jalan metode CHRI	14
Tabel 2.7 Paramater penilaian tanggul metode CHRI	15
Tabel 2.8 Parameter penilaian rambu keselamatann metode CHRI	15
Tabel 2.9 Fungsi atau Kegunaan Geosintetik	17
Tabel 3.1 Konfigurasi Jalan <i>Hauling</i>	27
Tabel 3.2 <i>Summary</i> Grafik Penilaian Kondisi Kerusakan Jalan <i>Hauling</i>	30
Tabel 4.1 Faktor Kontribusi Produksi	41
Tabel 4.2 Data CBR dengan Alat Uji CBR Lapangan (<i>surfacing</i>)	44
Tabel 4.3 Data CBR dengan Alat Uji CBR Lapangan (<i>surfacing</i>)	44
Tabel 4.4 Data CBR dengan Alat Uji DCP (<i>Base</i> Jalan)	45
Tabel 4.5 Historikal Biaya Perbaikan Jalan (<i>Metode Patching</i>)	48
Tabel 4.6 Spesifikasi Teknis Material <i>Gravel</i> PT. Maruwai Coal	48
Tabel 4.7 Spesifikasi Teknis Material <i>Borrow PIT</i> PT. Maruwai Coal	49
Tabel 4.8 Deformasi Jalan Sebelum dan Sesudah Perbaikan	51
Tabel 4.9 Pemantauan Nilai CBR KM 42+200	51
Tabel 4.10 Pemantauan Nilai CBR KM 42+200 dan KM 41+000	51
Tabel 4.11 Biaya Pekerjaan Pada Area Datar (kemiringan Jalan <3%)	59
Tabel 4.12 Biaya Pekerjaan Pada Area Tanjakan (Kemiringan Jalan >3%)....	60
Tabel 4.13 Waktu Tempuh Pada Segmen 4	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A – Data Komposisi Material <i>Geopoll</i>	72
Lampiran A – Data <i>Weekly Review RTP W17</i>	72
Lampiran A – Data <i>Review CHRI W17 – W18</i>	73
Lampiran A – Data <i>Review Layering Gravel W17 – W18</i>	74
Lampiran B – Dokumentasi Prestasi dan Inspirasi Penelitian	75
Lampiran C – Data Responden	76
Lampiran D – Dokumentasi	77
Lampiran E – Data Laboratorium Material <i>Borrow Pit</i>	79



ARTI SIMBOL DAN SINGKATAN

LNR	= <i>Lampunut North Road</i>
CHR	= <i>Coal Haul Road</i>
SHR	= <i>Shared Haul Road</i>
CHPP	= <i>Coal Handling and Processing Plant</i>
KM	= Kilometer
DT	= <i>Dump Truck</i>
CHRI	= <i>Coal Hauling Road Index</i>
SDM	= Sumber Daya Manusia
Kepmen ESDM	= Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral
AASHO	= <i>American Association of State Highway Officials</i>
L	= Lebar jalan angkut minimum (m)
m	= Meter
n	= Jumlah jalur yang digunakan
Wt	= Lebar alat angkut (m)
W	= Lebar jalan pada tikungan minimum (m)
U	= Lebar jejak roda (m)
Fa	= Lebar jantai depan (m)
Fb	= Lebar jantai belakang (m)
C	= Jarak antara dua truk yang akan bersimpangan (m)
Z	= Jarak sisi luar truk ke tepi jalan (m)
R	= Jari-jari belokan (m)
e	= Superlevasi (mm/m)
f	= <i>Friction factor</i>
V	= Kecepatan kendaraan (km/jam)
Δh	= Beda tinggi antara dua titik segmen yang diukur (meter)
Δx	= Jarak antara dua titik segmen jalan yang diukur (meter)
α	= Miringan Melintang/ <i>Crossfall</i> (%)
a	= Beda tinggi antara dua titik yang diukur (m)
b	= Jarak datar antara dua titik yang diukur (m)
GCL	= <i>Geosynthetic clay liners</i>

HDPE	= <i>High-Density Polyethylene</i>
WEF	= <i>World Economic Forum</i>
IoT	= <i>Internet of Things</i>
AKT	= PT. Asmindu Koalindo Tuhup
SRP	= PT. Samudra Rezeki Perkasa
CBR	= <i>California Bearing Ratio</i>
PA	= <i>Physical Availability</i>
DCP	= <i>Dynamic Cone Penetrometer</i>
Rp	= Rupiah
m ²	= Meter Persegi
SDM	= Sumber Daya Manusia
AMIFEST	= Adaro Minerals Indonesia Inovasi Festival
PERHAPI	= Perhimpunan Ahli Pertambangan Indonesia
TKMPN	= Temu Karya Mutu & Produktivitas Nasional



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dunia Industri pertambangan batubara merupakan salah satu sektor penting dalam perekonomian Indonesia, yang berperan dalam menyediakan energi serta material untuk berbagai industri hilir, termasuk metalurgi dan infrastruktur. PT. Maruwai Coal (PT. MC) merupakan anak perusahaan PT. Adaro Energy Indonesia dan menjadi salah satu pilar bisnis pertambangan Adaro Group yang berfokus pada tambang batu bara di wilayah Lampunut Kabupaten Murung Raya, Kalimantan Tengah, Dimana PT. Maruwai Coal memiliki cadangan *Premium Hard Coking Coal* yang signifikan., yang berencana untuk meningkatkan produksi batu baranya menjadi 6 juta ton batu bara pada tahun 2024. Sebagai salah satu pilar tambang yang baru berproduksi, peningkatan kapasitas produksi juga terus dilakukan secara berkala. Secara berkala, peningkatan kapasitas produksi dilakukan dengan menyesuaikan sumber daya yang ada, kesiapan tim operasi dan tim pendukung dalam proses bisnis. Produktivitas pengangkutan batu bara mengacu pada efisiensi dan efektivitas pengangkutan batu bara dari tambang ke tujuan tertentu, seperti pelabuhan atau fasilitas pemrosesan. Meski demikian, perusahaan ini menghadapi tantangan operasional yang kompleks, terutama dalam hal transportasi hasil tambang melalui jalan *hauling*. Lokasi tambang Lampunut terhubung melalui Jalan *hauling* sepanjang 78 KM ke lokasi pelabuhan di Muara Tuhup. Jalan *hauling* adalah bagian penting dari operasi pertambangan, yang digunakan untuk mengangkut material dari lokasi penambangan ke area *port*.

Jalan *hauling* di PT. Maruwai Coal dibagi menjadi tiga seksi sebagai berikut :

- LNR (*Lampunut North Road*) sepanjang 32 KM
- CHR (*Coal Haul Road*) sepanjang 7 KM
- SHR (*Shared Haul Road*) sepanjang 39 KM

SHR (*Shared Haul Road*) awalnya dibangun dan digunakan sebagai jalan *logging*, saat ini bagian jalan ini digunakan bersama oleh PT. Maruwai

Coal, komunitas lokal, serta perusahaan pertambangan dan *logging* lainnya. Peningkatan minor telah dilakukan di berbagai lokasi sepanjang SHR (*Shared Haul Road*) termasuk perbaikan gorong-gorong, geometri jalan, dan permukaan jalan (penggerasan) dalam mode operasional.

CHR (*Coal Haul Road*) dirancang dan dibangun sebagai jalan angkut oleh PT. BHP Billiton Indonesia, pemilik sebelumnya dari PT. Adaro Minerals Indonesia. Namun, permukaan jalan asli tidak dirancang untuk target produksi sebesar 6 Mtpa. Perbaikan permukaan jalan yang ada sangat diperlukan untuk meningkatkan kapasitas jalan guna memenuhi target produksi sebesar 6 Mtpa.

LNR (*Lampunut North Road*) dibangun oleh MC untuk menghubungkan Lampunut CHPP ke CHR (*Coal Haul Road*) pada KM 46, namun permukaan jalan tidak dirancang untuk target produksi sebesar 6 Mtpa. Salah satu kendala utama yang dihadapi adalah menurunnya kondisi jalan *hauling*, yang menyebabkan terganggunya ritase *dump truck* (DT) dan penurunan produktivitas.

Pada bulan April 2023, perusahaan mencatat bahwa ritase *hauling* hanya mencapai 1,58 ritase *per shift*, jauh dari target 2 ritase *per shift*. Hal ini menyebabkan hilangnya kesempatan produksi sebesar 26%, atau sekitar 91.280 ton. Kondisi jalan *hauling* yang buruk juga tercermin dari penurunan *Coal Hauling Road Index* (CHRI), dengan performa jalan yang hanya mencapai 81,02% pada Week 17 tahun 2023. Penurunan ini secara signifikan mempengaruhi aspek operasional, dari peningkatan waktu tempuh, biaya perawatan, hingga kerusakan unit kendaraan yang lebih cepat.

Perbaikan metode pemeliharaan jalan menjadi penting dalam menjaga produktivitas *hauling*. PT Maruwai Coal mulai menerapkan metode baru dengan menggunakan aplikasi *road maintenance* yang dilengkapi dengan analisis pengamatan serta perbaikan jalan menggunakan material *geocell*. Selain memperbaiki kualitas fisik jalan, teknologi ini juga diharapkan dapat meningkatkan keterlibatan manusia (SDM) dalam pengelolaan infrastruktur secara lebih efisien dan akurat melalui pelatihan penggunaan aplikasi dan manajemen data berbasis digital.

Dari perspektif akademis, topik ini relevan untuk dieksplorasi lebih lanjut karena menyentuh aspek optimasi teknologi dalam infrastruktur tambang. Kombinasi metode material baru seperti *geocell*, *geopoll* dan pemanfaatan aplikasi berbasis digital membuka peluang riset untuk meningkatkan efisiensi operasional di sektor pertambangan dan infrastruktur terkait.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

- a) Menganalisis faktor-faktor yang berpengaruh terhadap peningkatan nilai *Coal Hauling Road Index* (CHRI), serta mengidentifikasi cara meningkatkan dan mempertahankan CHRI di atas standar operasional.
- b) Mengevaluasi efektivitas penerapan material geosintetik (*geocell*) dan kimia (*geopoll*) dalam meningkatkan kualitas fisik jalan *hauling* di Segment 4 (KM 39 – KM 52) di PT Maruwai Coal.
- c) Mengkaji peran sumber daya manusia dalam operasionalisasi teknologi baru ini, terutama dalam hal keterampilan teknis dan manajerial.

Dari perspektif akademis, tujuan penelitian ini juga untuk memberikan kontribusi bagi pengembangan konsep digitalisasi dan teknologi material di sektor infrastruktur pertambangan. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengelola tambang dan akademisi dalam mengoptimalkan manajemen jalan *hauling* secara lebih efektif dan efisien.

1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan rumusan kerangka berfikir di atas, rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini meliputi :

- a) Faktor-faktor apa saja yang memengaruhi *Coal Hauling Road Index* (CHRI), dan bagaimana perusahaan dapat mempertahankan atau bahkan meningkatkan nilai CHRI secara berkelanjutan?

- b) Bagaimana pengaruh penerapan metode perbaikan jalan menggunakan *Geocell* dan *Geopoll* terhadap peningkatan kualitas jalan *hauling* di PT. Maruwai Coal?
- c) Seberapa efektif aplikasi *road maintenance* dalam membantu pengelolaan dan standarisasi pemeliharaan jalan *hauling* di lingkungan pertambangan?
- d) Bagaimana peran SDM, baik dalam aspek teknis maupun manajemen, khususnya dalam mengimplementasikan metode baru ini secara efektif?

Dari sudut pandang akademis, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi sinergi antara teknologi perbaikan jalan, keterlibatan sumber daya manusia, dan penerapan digitalisasi dalam manajemen infrastruktur tambang. Selain itu, penelitian ini akan menggali peran kebijakan manajemen dalam mendukung inovasi teknologi yang berbasis data dan optimalisasi operasional.

1.4 Batasan Masalah

Dalam melakukan penelitian, diperlukan batasan yang jelas agar fokus dan cakupan penelitian dapat terarah dan mendalam. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a) Fokus penelitian dibatasi pada evaluasi dan analisis kondisi jalan *hauling Segment 4* (KM 39 – KM 52) di PT Maruwai Coal sebagai lokasi pilot project implementasi metode *geocell*, *geopoll* dan aplikasi *road maintenance*.
- b) Penelitian hanya akan membahas metode perbaikan menggunakan material *geocell*, *geopoll* dan aplikasi *road maintenance*, tanpa mengkaji metode perbaikan jalan *hauling* lainnya seperti *chipseal* atau *asphalt concrete*.
- c) Data yang digunakan untuk evaluasi dan analisis adalah data pada periode *Week 17* hingga *Week 36* tahun 2023, dan tidak mencakup data di luar periode tersebut.

- d) Faktor SDM yang akan dianalisis meliputi keterampilan teknis dalam pengoperasian aplikasi dan partisipasi dalam program pelatihan terkait teknologi pemeliharaan jalan.

Pembatasan ini penting untuk menjaga kedalaman analisis, mengingat keterbatasan waktu dan sumber daya yang dimiliki. Selain itu, batasan ini bertujuan agar hasil penelitian lebih fokus pada aspek inovasi teknologi dan dampaknya terhadap manajemen infrastruktur.

1.5 Keaslian Penelitian

Penelitian ini menawarkan kebaruan dari dua sisi, yaitu implementasi material *geocell*, *geopoll* dan integrasi aplikasi digital untuk manajemen pemeliharaan jalan *hauling* di lingkungan pertambangan. Sebelumnya, penelitian-penelitian terkait lebih banyak fokus pada perbaikan jalan *hauling* menggunakan material konvensional, seperti *gravel* atau *chipseal*, tanpa melibatkan aspek teknologi informasi dan keterlibatan digitalisasi. Penelitian ini juga akan memberikan wawasan tentang bagaimana inovasi ini berdampak pada produktivitas dan efisiensi operasional di sektor pertambangan, yang belum banyak dibahas di literatur akademis sebelumnya.

Di sisi akademis, penelitian ini juga berkontribusi dalam memperkaya literatur tentang optimasi infrastruktur jalan *hauling* dan sinergi antara SDM dengan teknologi baru. Implementasi aplikasi *road maintenance* menjadi topik menarik karena menggabungkan pendekatan perbaikan fisik dengan manajemen data berbasis teknologi, sehingga membuka peluang riset lebih lanjut tentang dampak digitalisasi pada sektor pertambangan dan infrastruktur.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

- a) Bagi Industri Pertambangan:
- Memberikan rekomendasi metode perbaikan jalan *hauling* yang lebih efektif dan efisien melalui penggunaan material *geocell*.

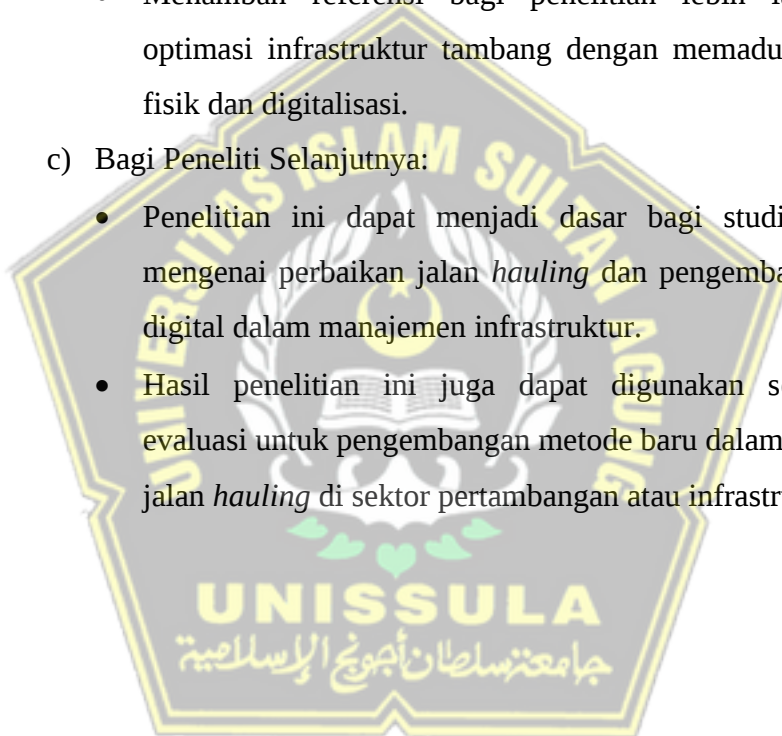
- Menyediakan panduan dalam penerapan aplikasi *road maintenance* untuk mempermudah manajemen jalan *hauling*.
- Mengurangi biaya perbaikan jalan *hauling* secara signifikan, sehingga meningkatkan produktivitas dan profitabilitas perusahaan.

b) Bagi Akademisi:

- Menyediakan kajian empiris yang mendalam mengenai penerapan teknologi material dan aplikasi digital dalam manajemen jalan *hauling* di sektor pertambangan.
- Menambah referensi bagi penelitian lebih lanjut tentang optimasi infrastruktur tambang dengan memadukan teknologi fisik dan digitalisasi.

c) Bagi Peneliti Selanjutnya:

- Penelitian ini dapat menjadi dasar bagi studi lebih lanjut mengenai perbaikan jalan *hauling* dan pengembangan aplikasi digital dalam manajemen infrastruktur.
- Hasil penelitian ini juga dapat digunakan sebagai bahan evaluasi untuk pengembangan metode baru dalam pemeliharaan jalan *hauling* di sektor pertambangan atau infrastruktur lainnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Jalan *Hauling*

Jalan *hauling* menurut Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (Kepmen ESDM) No. 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik, adalah jalan angkut khusus yang digunakan untuk pengangkutan material hasil tambang, seperti batubara atau bijih dari area penambangan ke lokasi pengolahan atau pelabuhan, menggunakan alat angkut seperti *dump truck*, truk, atau alat berat lainnya (Kepmen1827, 2018). Jalan *hauling* ini dirancang secara khusus untuk menangani beban berat dan *volume* tinggi material tambang, dengan mempertimbangkan faktor-faktor keselamatan, keandalan, dan efisiensi operasional.

Dalam aturan ini, dijelaskan bahwa jalan *hauling* harus memenuhi beberapa ketentuan, seperti:

1. Dimensi jalan

Lebar dan ketebalan jalan harus disesuaikan dengan ukuran dan kapasitas alat angkut. Lebar jalan angkut tambang pada umumnya dibuat untuk pemakaian jalur ganda dengan lalulintas satu arah atau dua arah. Dengan semakin lebar jalan angkut maka akan semakin baik proses pengangkutan dan lalulintas menjadi aman dan lancar. Akan tetapi untuk pembuatan dan perawatan akan membutuhkan biaya yang besar. Jalan angkut yang lebar diharapkan akan membuat lalulintas pengangkutan lancar dan aman. Namun, karena keterbatasan dan kesulitan yang muncul di lapangan, maka lebar jalan minimum harus diperhitungan dengan cermat. Perhitungan lebar jalan angkut yang lurus dan belok (tikungan) berbeda, karena pada posisi membelok kendaraan akan membutuhkan ruang gerak yang lebih lebar akibat jejak ban depan dan belakang yang ditinggalkan di atas jalan melebar. Di samping itu, perhitungan lebar jalan pun harus mempertimbangkan jumlah lajur, yaitu lajur tunggal untuk jalan satu arah atau lajur ganda untuk jalan dua arah.

- Lebar Jalan Lurus

Lebar jalan minimum pada jalan lurus dengan lajur ganda atau lebih, menurut *AASHO Manual Rural High Way Design*, harus ditambah dengan setengah lebar alat angkut pada bagian tepi kiri dan kanan jalan. Dari ketentuan tersebut dapat digunakan cara sederhana untuk menentukan lebar jalan angkut minimum, yaitu menggunakan *rule of thumb* atau angka perkiraan, dengan pengertian bahwa lebar alat angkut sama dengan lebar lajur.

Tabel 2.1. Lebar Jalan Angkut Minimum

Jumlah Lajur Truck	Perhitungan	Lebar Jalan Angkut Minimal
1	$1 + (2 \times \frac{1}{2})$	2,00
2	$2 + (2 \times \frac{1}{2})$	3,50
3	$3 + (2 \times \frac{1}{2})$	5,00
4	$4 + (2 \times \frac{1}{2})$	6,50

Perhitungan lebar jalan angkut pada jalan lurus dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

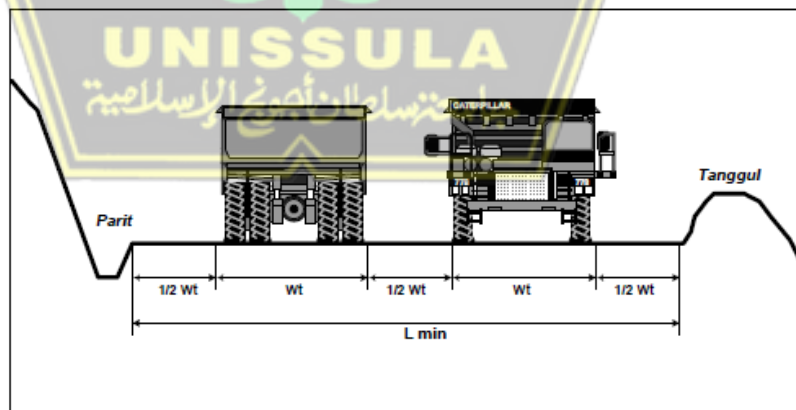
$$L = (n \times Wt) + (n + 1) \times (0,5 \times Wt) \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

L = Lebar jalan angkut minimum (m)

n = Jumlah jalur yang digunakan

Wt = Lebar alat angkut (m)



Gambar 2.1. Lebar Jalan Angkut Dua Lajur Pada Jalan Lurus

- Lebar Jalan Pada Tikungan

Lebar jalan angkut pada belokan atau tikungan selalu lebih besar daripada lebar jalan lurus. Untuk lajur ganda, maka lebar jalan minimum pada belokan didasarkan atas:

- Lebar jejak ban,
- Lebar jantai atau tonjolan (*overhang*) alat angkut bagian depan dan belakang pada saat membelok,
- Jarak antar alat angkut atau kendaraan pada saat bersimpangan, dan
- Jarak dari kedua tepi jalan.

Perhitungan lebar jalan angkut pada jalan tikungan dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$W = 2 (U + Fa + Fb + Z) + C$$

$$C = Z = \frac{U + Fa + Fb + Z}{2} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

W = Lebar jalan pada tikungan minimum (m)

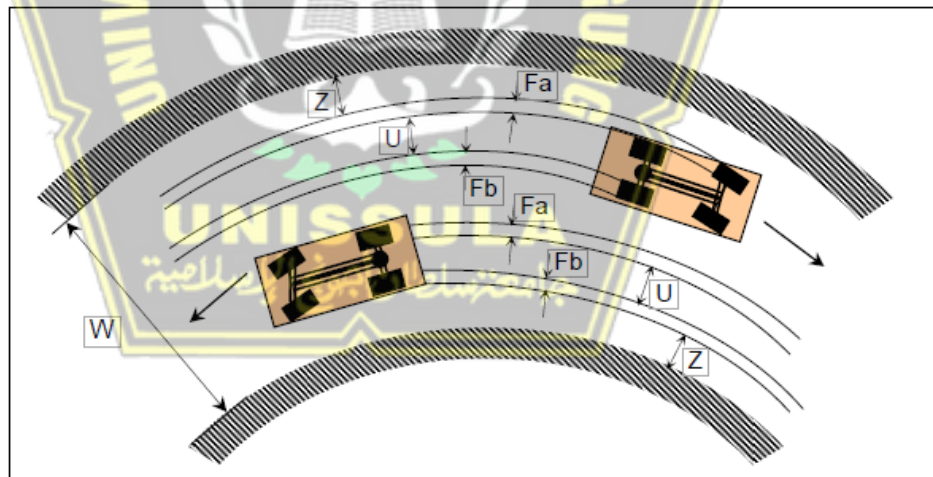
U = lebar jejak roda (m)

Fa = lebar jantai depan (m)

Fb = lebar jantai belakang (m)

C = jarak antara dua truk yang akan bersimpangan (m)

Z = jarak sisi luar truk ke tepi jalan (m)



Gambar 2.2 Lebar Jalan Angku Dua Lajur Pada Tikungan

- Jari – Jari Tikungan

Pada saat kendaraan melalui tikungan dengan kecepatan tertentu akan menerima gaya sentrifugal yang menyebabkan kendaraan tidak stabil. Untuk mengimbangi gaya sentrifugal tersebut, perlu dibuat suatu kemiringan melintang ke arah titik pusat tikungan yang disebut superelevasi (e). Gaya gesek (friksi) melintang yang cukup berarti

antara ban dengan permukaan jalan akan terjadi pada daerah superelevasi. Implementasi matematisnya berupa koefisien gesek melintang (f) yang merupakan perbandingan antara besar gaya gesek melintang dengan gaya normal. Perhitungan jari – jari tikungan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$R = \frac{v^2}{127.(e+f)} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

R = Jari-jari belokan (m)

e = Superlevasi (mm/m)

f = *Friction factor*

2. Drainase

Jalan harus dilengkapi dengan sistem drainase yang baik untuk mencegah genangan air yang dapat menyebabkan kerusakan jalan.

3. Kondisi permukaan jalan

Pada kondisi permukaan jalan harus diperhatikan agar tidak licin atau bergelombang, guna menjaga stabilitas kendaraan. Pada umumnya hal yang menjadi perhatian ialah superelevasi dan *crossfall* jalan.

• Superelevasi

Pada saat kendaraan melalui tikungan atau belokan dengan kecepatan tertentu atau menerima gaya sentrifugal yang menyebabkan kendaraan tidak stabil, untuk mengimbangi gaya sentrifugal tersebut perlu dibuat suatu kemiringan melintang ke arah titik pusat tikungan yang disebut superelevasi. (Suwandi A, 2004).

Perhitungan superelevasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$E + f = V^2/127R \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

R = Jari-jari belokan (m)

e = Superlevasi (mm/m)

f = Koefisien gesekan melintang maksimum

V = Kecepatan kendaraan (km/jam)

Tabel 2.2 Nilai Superelevasi yang diizinkan (ft/ft)

Radius Tikungan	Kecepatan Kendaraan (mph)					
	10	15	20	25	30	≥35
50	0,04	0,04				
100	0,04	0,04	0,04			
150	0,04	0,04	0,04	0,05		
250	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	
300	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06
600	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05
1000	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04

(Sumber : Kaufman & Ault, 1977)

- Kemiringan Jalan (*Grade*)

Kemiringan jalan dapat terjadi karena adanya perbedaan elevasi pada kontur, sehingga terdapat jalan yang menaik maupun menurun sehingga adanya kemiringan. Kemiringan jalan ini akan berhubungan langsung dengan kemampuan suatu alat angkut, saat pengereman maupun saat mengatasi tanjakan. (Suwandi A, 2004).

$$\text{Kemiringan (\%)} = (\Delta h / \Delta x) \times 100\% \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

Δh = Beda tinggi antara dua titik segmen yang diukur (meter)

Δx = Jarak antara dua titik segmen jalan yang diukur (meter)

- *Crossfall*

Angka *crossfall* pada jalan angkut dinyatakan dalam perbandingan jarak vertikal dan horizontal dengan satuan mm/m. Pada konstruksi jalan angkut *surface mining*, besarnya *crossfall* yang dianjurkan mempunyai ketebalan sekitar 20mm hingga 40mm untuk setiap meter (Suwandi A, 2004).

$$\text{Crossfall } (\alpha) = (a/b) \times 100\% \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan :

α = miringan Melintang/*Crossfall* (%)

a = Beda tinggi antara dua titik yang diukur (m)

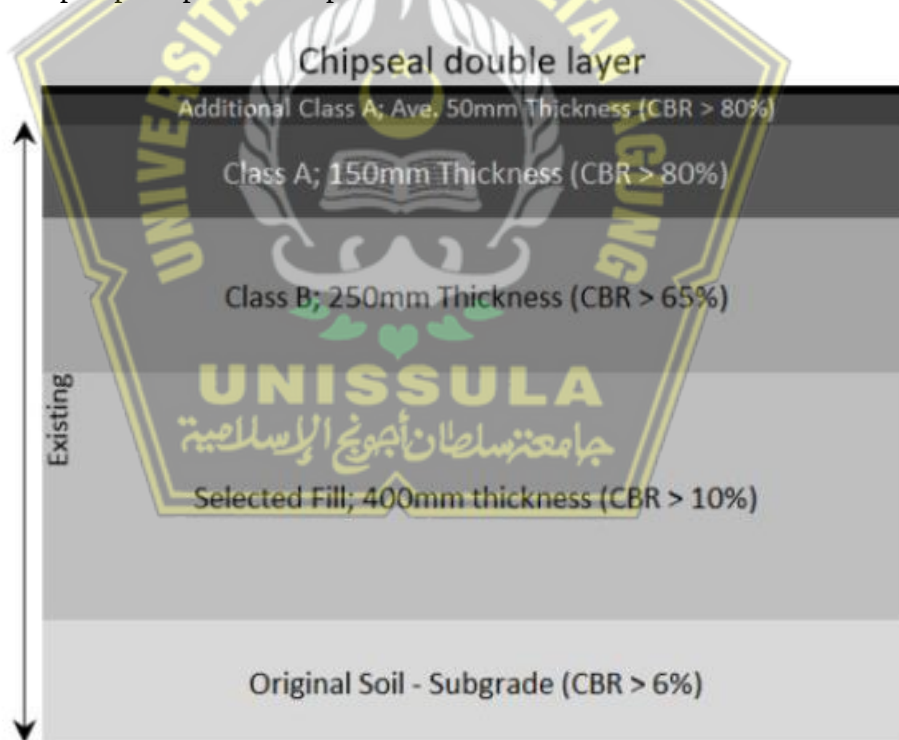
b = Jarak datar antara dua titik yang diukur (m)

4. Perawatan

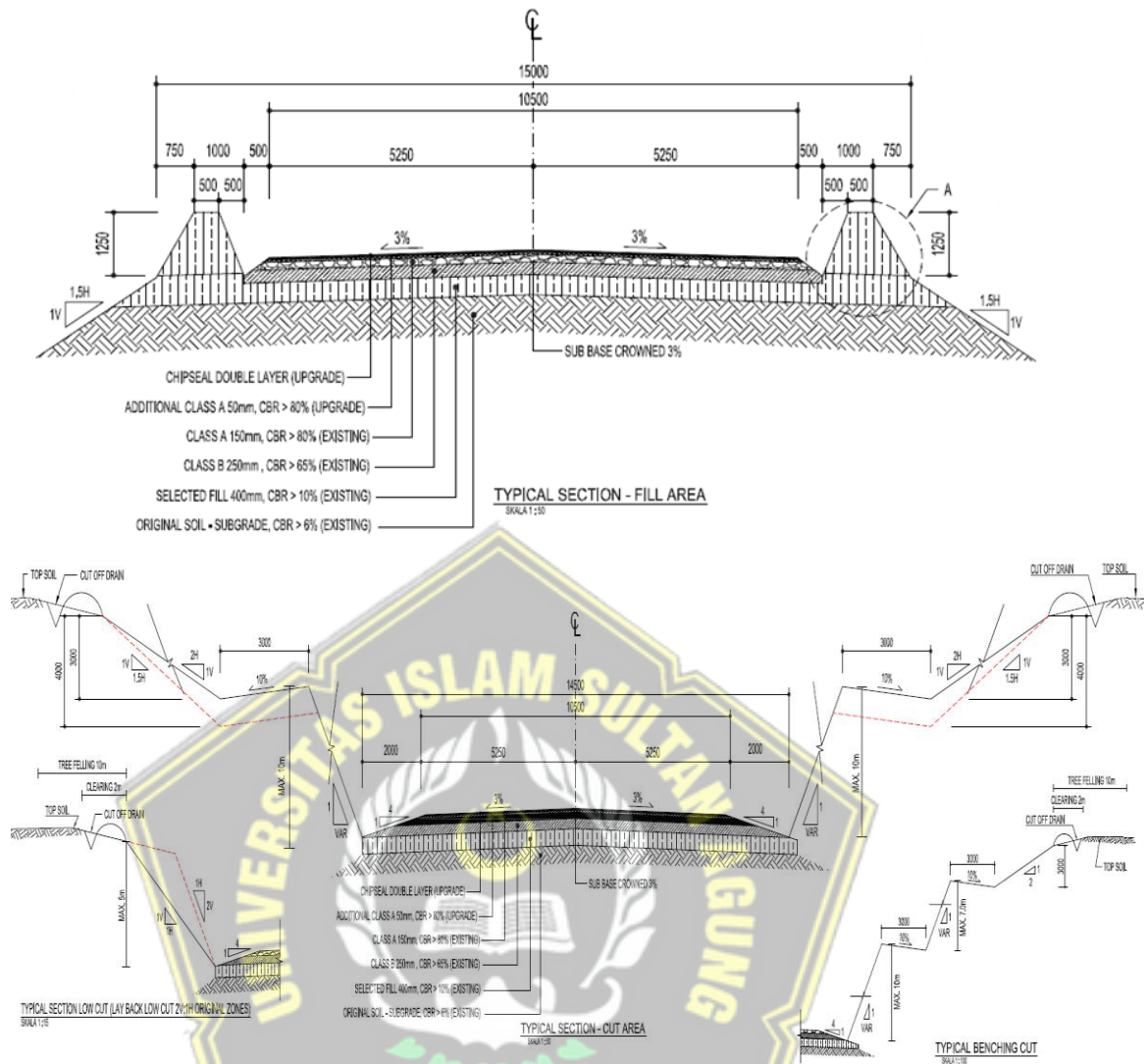
Pemeliharaan rutin jalan *hauling* sangat penting untuk memastikan keselamatan operasi dan menghindari penurunan produktivitas.

Aturan ini juga menekankan pentingnya pemantauan dan evaluasi berkala terhadap kondisi jalan *hauling* untuk menjaga tingkat keamanan dan efisiensi yang optimal dalam operasional pertambangan.

Jalan *hauling* juga sebagai jalur transportasi penting yang menghubungkan area penambangan dengan titik pengiriman atau fasilitas pengolahan. Dalam konteks pertambangan, terutama pada lokasi-lokasi yang terpencil seperti di PT Maruwai Coal, kondisi jalan *hauling* sangat mempengaruhi ritase pengangkutan, efisiensi operasional, dan keselamatan kerja. Seiring dengan peningkatan volume produksi dan beban lalu lintas berat, kualitas jalan *hauling* sering mengalami penurunan, yang pada akhirnya berdampak pada penurunan produktivitas.



Gambar 2.3 Detail Struktur Jalan PT. Maruwai Coal



Gambar 2.4 Tipekal Jalan

2.2 Coal Hauling Road Index (CHRI)

Untuk mengukur kelayakan dan kualitas jalan *hauling*, PT Maruwai Coal menggunakan metode *Coal Hauling Road Index* (CHRI) (Sidabutar, 2019). *Coal Hauling Road Index* (CHRI) adalah indeks penilaian kelayakan jalan *hauling* berdasarkan standar operasional dan keselamatan. CHRI yang rendah menunjukkan perlunya tindakan pemeliharaan segera untuk menghindari penurunan lebih lanjut yang dapat mempengaruhi produksi dan keselamatan di lapangan. Beberapa item yang dijadikan sebagai parameter penilaian *Coal Hauling Road Index* (CHRI) ialah :

I. Permukaan Jalan

Pada penilaian permukaan jalan terdapat kategori penilaian khusus sebagai parameter tim penilai, yaitu :

Tabel 2.3 Parameter penilaian permukaan jalan metode CHRI

Nilai	Skor	Deskripsi
A	100	Kondisi relatif rata/ Dapat dilalui kendaraan dengan kecepatan > 40 Km/Jam dengan aman
B	60	Kondisi jalan bergelombang atau sedikit berlubang dan dapat dilalui dengan kecepatan 20 – 40 Km/jam
C	20	Kondisi jalan berlubang dan dapat dilalui dengan kecepatan <20 km/jam

II. Crossfall Jalan

Tabel 2.4 Parameter penilaian *crossfall* jalan metode CHRI

Nilai	Skor	Deskripsi
A	100	Segment Jalan Lurus : <i>Grade</i> 1% - 2% Segment Jalan Tikungan : <i>Grade</i> 2% - 4%
B	60	Segment Jalan Lurus : <i>Grade</i> 2% - 4% Segment Jalan Tikungan : <i>Grade</i> 1% - 2%
C	20	Segment Jalan Lurus : <i>Grade</i> 0% - 1% atau <i>Grade</i> > 4% Segment Jalan Tikungan : <i>Grade</i> < 1% atau <i>Grade</i> > 4% atau Superelevasi Jalan Terbalik

III. Lebar Jalan

Tabel 2.5 Parameter penilaian lebar jalan metode CHRI

Nilai	Skor	Deskripsi
A	100	Lebar Jalan rata-rata lebih dari 10.5 Meter
B	60	Lebar Jalan antara 8 - 10 Meter
C	20	Lebar Jalan kurang dari 8 Meter

IV. Drainase Jalan

Tabel 2.6 Parameter penilaian drainase jalan metode CHRI

Nilai	Skor	Deskripsi
A	100	Ada drainase dan tidak ada genangan di sepanjang jalan
B	60	Ada drainase jalan tapi terdapat genangan air
C	20	Tidak ada jalur pembuangan air

V. Tanggul / *Bundwall*

Tabel 2.7 Parameter penilaian tanggul metode CHRI

Nilai	Skor	Deskripsi
A	100	Tanggul sesuai standar; tinggi 0.85 cm, lebar atas 0.75 cm
B	60	Tanggul tersedia namun tidak sesuai standar
C	20	Tidak terdapat tanggul

VI. Rambu – rambu keselamatan/ *Delineator*

Tabel 2.8 Parameter penilaian rambu keselamatan metode CHRI

Nilai	Skor	Deskripsi
A	100	Terdapat lebih dari 20 di setiap sisi kiri – kanan jalan
B	60	Terdapat 10 – 20 di setiap sisi kiri –kanan jalan
C	20	Terdapat kurang dari 20 di setiap sisi kiri – kanan jalan

Penelitian yang dilakukan oleh PT Maruwai Coal dalam meningkatkan CHRI menunjukkan bahwa material dan metode perbaikan jalan, termasuk *geocell*, *geopoll* sangat berpengaruh dalam memperbaiki kualitas jalan dan mempertahankan performa operasional.

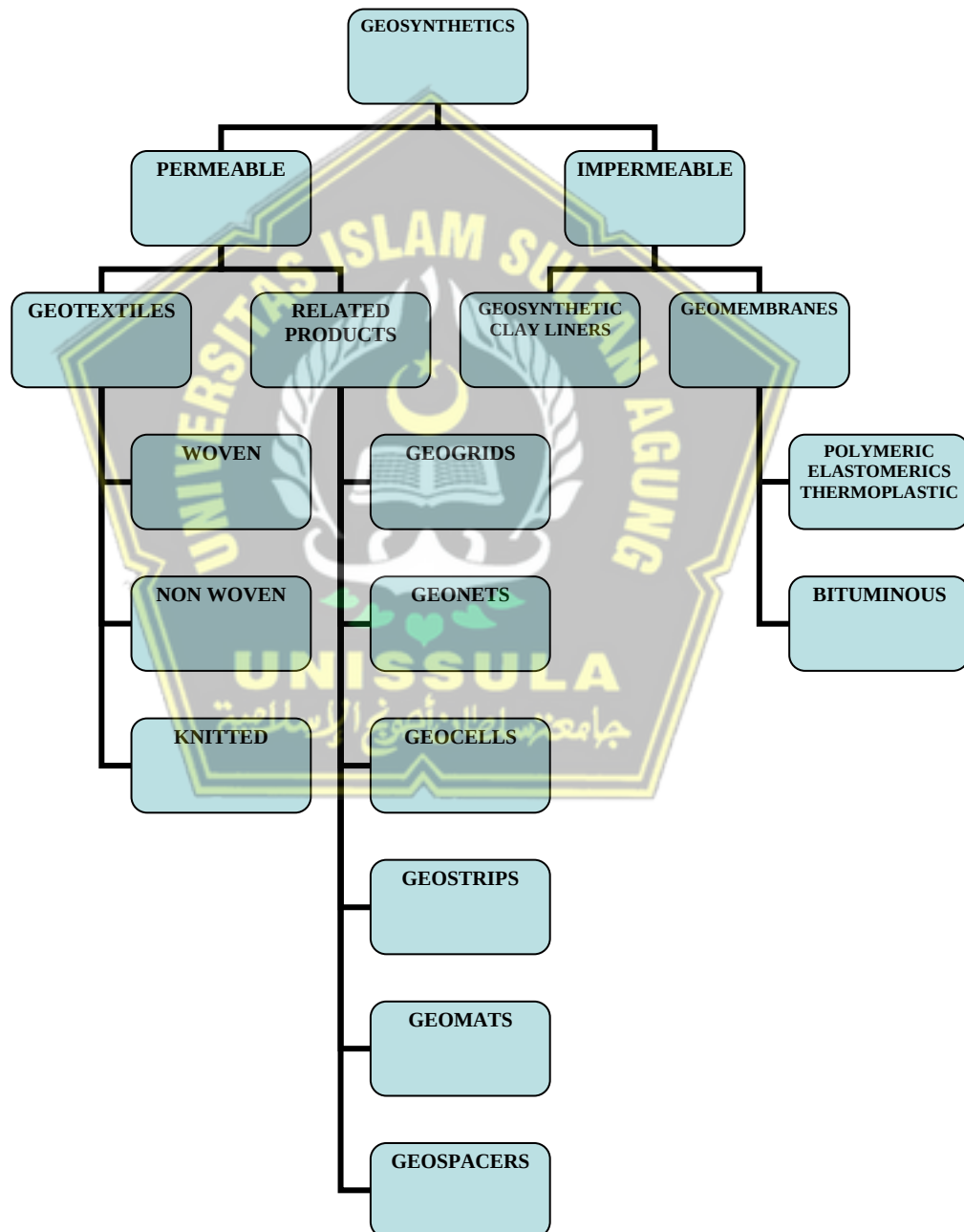
2.3 Geosintetik (*Geocell*) sebagai Material Pemeliharaan Jalan *Hauling*

Geosintetik merupakan material buatan yang digunakan dalam berbagai aplikasi teknik sipil, termasuk perkuatan tanah, drainase, dan kontrol erosi. Geosintetik sendiri berasal dari kata *geo* yang berarti tanah dan *sintetik* yang berarti tiruan. Jadi geosintetik berarti bahan tiruan (sintetik) atau bahan yang bukan merupakan bahan alami yang penggunaannya berhubungan dengan tanah atau batuan (Suryolelono, 2000). Secara umum, geosintetik dibagi menjadi dua kategori utama :

- *Material permeable* meliputi *geotekstile*, *geogrid*, *geocell*, dan *geomat*. Geotekstil bisa berbentuk woven (anyaman) dan non-woven (bukan anyaman). Geosintetik permeable ini digunakan untuk aplikasi seperti perkuatan tanah dan filtrasi.
- *Material impermeable* termasuk *geosynthetic clay liners (GCL)*, *geomembran*, dan beberapa produk elastomer dan termoplastik. Material *impermeable* berfungsi sebagai penghalang air atau cairan untuk aplikasi

seperti lapisan dasar dalam konstruksi bendungan dan tempat pembuangan limbah.

Di antara macam-macam material ini, geocell merupakan salah satu yang akan dibahas lebih lanjut. *Geocell* adalah material yang terdiri dari struktur berbentuk sel-sel heksagonal atau poligon tiga dimensi, biasanya terbuat dari bahan polimer seperti *High-Density Polyethylene (HDPE)* pada umumnya material ini digunakan untuk menstabilkan tanah dan meningkatkan daya dukung tanah di aplikasi jalan dan lereng.



Gambar 2.5 Macam – Macam Geosintetik

Tabel 2.9 Fungsi atau Kegunaan Geosintetik

Types of Geosynthetics	Separation	Filtration	Drainage	Reinforcement	Containment
Geotextiles	✓	✓	✓	✓	x
Geomembrane	x	x	x	x	✓
Geocomposites	✓	✓	✓	✓	✓
Geogrids	x	x	x	✓	x
Geosynthetic Clay liners	x	x	x	x	✓
Geocells	x	x	✓	✓	x
Geofoam	✓	x	x	x	x
Geonets	x	x	✓	x	x

Material ini digunakan sebagai stabilisator tanah dengan cara memperkuat struktur permukaan jalan, meningkatkan daya dukung tanah, dan mengurangi deformasi yang disebabkan oleh beban berat kendaraan. Dalam proyek-proyek tambang seperti di PT. Maruwai Coal, jalan *hauling* merupakan infrastruktur kunci yang mendukung proses produksi, sehingga kualitas dan keandalan jalan tersebut sangat penting. Salah satu teknologi inovatif yang dapat meningkatkan ketahanan jalan *hauling* adalah penggunaan *geocell*.



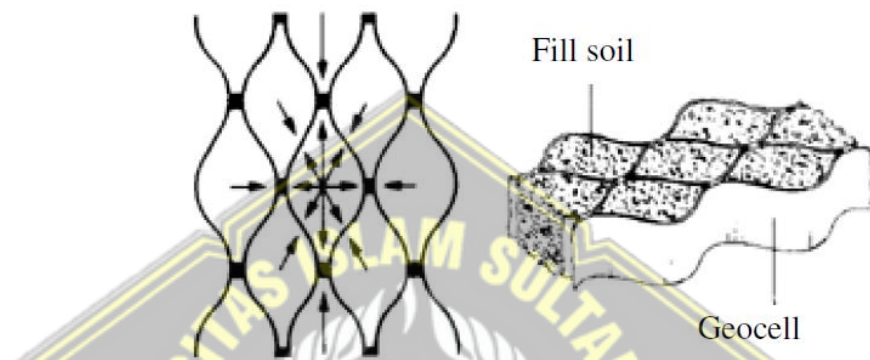
Gambar 2.6 Geocell

2.3.1. Fungsi Geocell dalam Pemeliharaan Jalan *Hauling*

Geocell memiliki beberapa fungsi utama dalam pemeliharaan dan penguatan jalan *hauling*, antara lain:

1. Penguatan Tanah dan Stabilitas Struktur

Geocell bekerja dengan menahan lateral pergerakan tanah di dalam sel-sel yang saling berhubungan. Saat digunakan di jalan *hauling*, *geocell* mencegah terjadinya pergerakan tanah lateral yang dapat menyebabkan deformasi atau amblasnya permukaan jalan akibat beban berat dari kendaraan seperti *dump truck*. *Geocell* meningkatkan kohesi antara partikel tanah sehingga tanah dasar menjadi lebih kuat dan stabil.



Gambar 2.7 Perkuatan Tanah dengan Material Geocell

2. Distribusi Beban Secara Merata

Salah satu keunggulan utama dari *geocell* adalah kemampuannya mendistribusikan beban kendaraan berat secara lebih merata di seluruh permukaan jalan. Ketika *dump truck* dan alat angkut lainnya melintasi jalan *hauling*, tekanan pada tanah sering kali tidak merata, yang menyebabkan deformasi lokal dan kerusakan jalan. *Geocell* mendistribusikan beban ke area yang lebih luas, mengurangi tekanan yang diterima oleh tanah dasar, sehingga mengurangi risiko kerusakan pada permukaan jalan.

3. Perlindungan Terhadap Erosi

Di banyak area tambang, jalan *hauling* sering kali menghadapi tantangan erosi akibat curah hujan tinggi dan aliran air permukaan. Penggunaan *geocell* membantu memperkuat lapisan permukaan jalan sehingga lebih tahan terhadap pengaruh erosi air. Sel-sel *geocell* menahan material agregat di tempatnya, sehingga mengurangi hilangnya material jalan akibat aliran air yang intens.

4. Peningkatan Daya Tahan Jalan

Dengan memanfaatkan *geocell*, jalan *hauling* memiliki masa pakai yang lebih lama karena tanah dasar yang lebih kuat dan stabil. Dalam konteks pemeliharaan jalan *hauling*, peningkatan durabilitas jalan mengurangi frekuensi perbaikan dan memperpanjang interval antara siklus pemeliharaan. Hal ini berdampak langsung pada pengurangan biaya pemeliharaan dan peningkatan efisiensi operasional.

2.3.2. Keunggulan *Geocell* dalam Pemeliharaan Jalan *Hauling*

1. Efektivitas Biaya

Penggunaan *geocell* pada jalan *hauling* diharapkan dapat mengurangi biaya pemeliharaan jangka panjang. Meskipun biaya awal pemasangan *geocell* diperkirakan lebih tinggi dibandingkan metode konvensional, seperti penggunaan material timbunan tanpa stabilisasi, investasi ini diyakini akan menghasilkan penghematan yang signifikan karena memperpanjang masa pakai jalan. Dalam penelitian ini, khususnya pada proyek yang direncanakan untuk Segment 4 (KM 39 – KM 52) di PT Maruwai Coal, diproyeksikan bahwa penggunaan *geocell* dapat menurunkan biaya instalasi dan perawatan hingga sekitar 20-25%, berdasarkan literatur dan studi-studi sebelumnya yang membahas penerapan *geocell* pada jalan *hauling* serupa.

2. Penerapan di Area yang Rentan Terhadap Kerusakan

Geocell sangat ideal digunakan di area jalan *hauling* yang memiliki tanah dasar lunak atau rentan terhadap kerusakan akibat beban berat dan curah hujan tinggi. Pada area tanjakan dan permukaan jalan yang berpotensi mengalami deformasi, *geocell* diharapkan dapat menstabilkan tanah secara efektif dan mencegah kerusakan lebih lanjut. Rencana penerapan *geocell* pada *pilot project* di PT. Maruwai Coal dapat meningkatkan kualitas jalan *hauling*, dengan proyeksi durasi "*good performance*" dan memiliki *life time* yang lebih lama dari metode lainnya.

3. Penggunaan yang Fleksibel

Geocell dapat digunakan pada berbagai kondisi medan dan tanah, baik itu di area datar, tanjakan, maupun area yang rentan terhadap genangan air. Material ini juga kompatibel dengan berbagai jenis agregat atau material jalan, termasuk tanah alami, gravel, atau campuran beton. Fleksibilitas ini memungkinkan *geocell* menjadi solusi yang ideal untuk berbagai situasi jalan *hauling* di area tambang yang berbeda.

Dari sisi akademis, penelitian lebih lanjut dapat dilakukan untuk mengkaji lebih dalam efektivitas *geocell* di berbagai kondisi tanah dan lingkungan. Potensi inovasi lain adalah menggabungkan *geocell* dengan material ramah lingkungan atau teknik digitalisasi untuk optimasi pengawasan kualitas jalan secara *real-time*. Kombinasi ini bisa semakin meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan penggunaan *geocell* di masa depan.

2.4 *Geopoll* sebagai Material Pemeliharaan Jalan *Hauling*

Geopoll adalah material stabilisasi tanah yang digunakan untuk memperkuat struktur jalan dan permukaan tanah dengan sifat fisik dan kimia yang dapat mengikat partikel tanah menjadi lebih kuat dan stabil (Masushita Builders., 2022). *Geopoll* biasanya berbentuk cairan yang dicampurkan dengan tanah atau agregat, menghasilkan lapisan tanah yang lebih kokoh dan tahan terhadap deformasi. Dalam konteks jalan *hauling* yang sering mengalami beban berat dari kendaraan tambang, *Geopoll* dapat berfungsi sebagai alternatif material stabilisasi yang efektif dalam memperpanjang masa pakai dan meningkatkan kualitas jalan *hauling*. Penggunaan *Geopoll* pada jalan di daerah perkotaan terbukti efektif dalam memperkuat lapisan tanah dan mengurangi frekuensi pemeliharaan jalan. Meskipun *Geopoll* belum sepopuler *Geocell*, material ini memiliki potensi yang sama besar dalam meningkatkan stabilitas dan memperpanjang umur jalan *hauling*.

2.4.1. Fungsi *Geopoll* dalam Pemeliharaan Jalan *Hauling*

Penggunaan *Geopoll* dalam pemeliharaan jalan *hauling* memiliki beberapa fungsi penting:

1. Stabilisasi Tanah

Geopoll berfungsi sebagai bahan pengikat tanah yang memperkuat ikatan antar partikel tanah atau agregat. Setelah dicampur dengan tanah, *Geopoll* membentuk lapisan yang lebih stabil, meningkatkan daya dukung tanah di bawah permukaan jalan. Hal ini mengurangi risiko penurunan (*settlement*) atau deformasi yang sering terjadi akibat beban berat dari alat angkut seperti *dump truck*.

2. Meningkatkan Kekuatan dan Kekakuan Jalan

Geopoll mampu meningkatkan kekakuan (*stiffness*) tanah dasar, sehingga jalan *hauling* menjadi lebih tahan terhadap beban berulang. Dengan peningkatan kekakuan ini, deformasi permanen yang terjadi pada jalan *hauling* akibat lalu lintas berat dapat dikurangi secara signifikan, membantu mempertahankan kualitas jalan dalam jangka waktu yang lebih lama.

3. Pengurangan Permeabilitas

Salah satu masalah utama pada jalan *hauling* adalah kerusakan yang disebabkan oleh infiltrasi air yang berlebihan ke dalam lapisan tanah. *Geopoll* berfungsi untuk mengurangi permeabilitas tanah, membuat lapisan permukaan lebih tahan terhadap air dan mengurangi risiko erosi atau pelunakan tanah yang dapat mengakibatkan kerusakan jalan.

4. Efisiensi dalam Perawatan Jalan

Dengan meningkatkan kekuatan tanah dan mengurangi pergerakan tanah akibat beban berat, *Geopoll* dapat mengurangi frekuensi dan intensitas perawatan jalan *hauling*. Ini berpengaruh langsung terhadap penurunan biaya perawatan jangka panjang, terutama di area yang sering mengalami kerusakan atau deformasi.

2.4.2. Keunggulan *Geopoll* dalam Pemeliharaan Jalan *Hauling*

1. Kemudahan Aplikasi

Geopoll mudah diaplikasikan, baik dalam bentuk cairan kimia, yang dapat dicampur langsung dengan tanah di lapangan. Aplikasinya tidak memerlukan peralatan khusus, dan proses

stabilisasi tanah bisa dilakukan dalam waktu yang relatif singkat. Hal ini memberikan keuntungan operasional yang signifikan di area pertambangan dengan kondisi lapangan yang dinamis.

2. Peningkatan Daya Tahan dan Reduksi Biaya Perawatan

Dengan menambah kekuatan dan daya tahan tanah dasar, penggunaan *Geopoll* dapat meningkatkan umur jalan *hauling*. Pengurangan deformasi akibat beban berat juga berdampak langsung pada berkurangnya frekuensi perbaikan. Dalam jangka panjang, ini dapat menghasilkan pengurangan biaya operasional terkait pemeliharaan infrastruktur jalan *hauling*. *Geopoll* secara signifikan mengurangi frekuensi pemeliharaan jalan pada proyek perbaikan tanah di Kalimantan Tengah area pertambangan PT. Adaro Minerals Indonesia.

3. Fleksibilitas Penggunaan pada Berbagai Jenis Tanah

Geopoll dapat digunakan pada berbagai jenis tanah, mulai dari tanah berpasir hingga tanah liat. Fleksibilitas ini menjadikannya solusi yang ideal untuk stabilisasi jalan *hauling* di area pertambangan dengan kondisi tanah yang beragam. Penggunaannya dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik di lapangan, tergantung pada karakteristik tanah yang ada.

4. Pengurangan Risiko Kerusakan Akibat Lingkungan

Geopoll juga menawarkan perlindungan terhadap pengaruh lingkungan seperti curah hujan tinggi, genangan air, dan perubahan suhu yang ekstrim. Dengan meningkatkan kekuatan dan mengurangi permeabilitas, *Geopoll* membantu menjaga integritas struktural jalan *hauling* bahkan dalam kondisi cuaca yang sulit, mengurangi risiko kerusakan yang disebabkan oleh air dan kelembaban.

2.5 Digitalisasi dan Efisiensi Operasional dalam Industri Pertambangan

Dalam beberapa dekade terakhir, industri pertambangan telah mengalami transformasi signifikan berkat penerapan teknologi digital yang dikenal sebagai *Mining 4.0*. Transformasi ini mencakup penggunaan sistem

otomatisasi, pemantauan *real-time*, dan analisis data berbasis teknologi digital untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi biaya. Menurut laporan *World Economic Forum (2020)*, digitalisasi dalam industri pertambangan dapat meningkatkan efisiensi operasional hingga 25%, sekaligus mengurangi biaya operasional hingga 20%.

Digitalisasi memainkan peran kunci dalam memodernisasi proses pertambangan, mulai dari eksplorasi, penambangan, pengangkutan hasil tambang, hingga manajemen infrastruktur, seperti jalan *hauling*. Salah satu komponen penting dari digitalisasi di sektor pertambangan adalah penerapan *Internet of Things (IoT)*, analisis big data, otomatisasi peralatan, dan manajemen berbasis aplikasi digital. Dalam konteks jalan *hauling*, aplikasi digital untuk manajemen perawatan jalan dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya, mempercepat pengambilan keputusan, dan memperpanjang masa pakai jalan *hauling*.

Keuntungan digitalisasi di sektor pertambangan meliputi:

- **Peningkatan Akurasi Data:** Teknologi digital memungkinkan pengambilan data yang lebih akurat dan *real-time*, yang dapat digunakan untuk analisis prediktif dan pengambilan keputusan yang lebih baik.
- **Manajemen Sumber Daya yang Lebih Baik:** Dengan adanya aplikasi digital, manajemen sumber daya seperti material, alat, dan tenaga kerja dapat dilakukan dengan lebih efisien.
- **Pengurangan Risiko Keselamatan:** Digitalisasi memungkinkan identifikasi dan mitigasi risiko keselamatan lebih cepat, yang berdampak pada pengurangan kecelakaan kerja.

Dalam konteks PT Maruwai Coal, penggunaan aplikasi *road maintenance* harapannya dapat menjadi salah satu program bentuk implementasi digitalisasi yang memberikan dampak positif dalam efisiensi operasional dan perbaikan jalan *hauling*.

Dengan berkembangnya teknologi digital, masa depan industri pertambangan semakin mengarah pada proses yang lebih cerdas, lebih cepat, dan lebih efisien. Digitalisasi dalam pengelolaan jalan *hauling* telah menjadi komponen

penting yang memungkinkan perusahaan tambang untuk mengoptimalkan operasional mereka sambil menjaga keselamatan dan menekan biaya.

2.6 Teori Konsep SDM dalam Pemeliharaan Infrastruktur

Keberhasilan penerapan teknologi dalam pemeliharaan jalan *hauling* tidak terlepas dari peran penting sumber daya manusia (SDM). Teori yang mendasari pentingnya peran SDM dalam proyek infrastruktur antara lain teori *Human Capital* yang dikembangkan oleh Becker (1993). Menurut teori ini, investasi dalam peningkatan keterampilan dan pengetahuan SDM dapat menghasilkan peningkatan produktivitas. Dalam konteks pemeliharaan jalan *hauling*, keterampilan teknis yang dibutuhkan termasuk pengoperasian alat berat, pemahaman tentang material seperti *geocell*, serta kemampuan untuk menggunakan aplikasi digital.

Beberapa faktor penting terkait SDM dalam pemeliharaan jalan *hauling* adalah:

- Pelatihan dan Pengembangan Keterampilan: Pelatihan dalam penggunaan aplikasi *road maintenance* dan metode perbaikan *geocell* sangat penting agar SDM dapat menjalankan tugas dengan optimal.
- Keterlibatan dalam Proses Inovasi: SDM yang terlibat langsung dalam pengawasan dan pemeliharaan infrastruktur harus dilibatkan dalam proses inovasi teknologi agar ada pemahaman mendalam tentang penerapan teknologi baru.
- Peningkatan Efisiensi Melalui Teknologi: Integrasi teknologi dalam proyek infrastruktur dapat meningkatkan efisiensi kinerja SDM, dengan catatan pelatihan dan adopsi teknologi dilakukan secara komprehensif (Bryant, 2019),

Dengan demikian, kombinasi antara teknologi dan SDM yang kompeten menjadi kunci keberhasilan dalam memelihara infrastruktur pertambangan secara efektif..

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tinjauan Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan *Geocell* dan *Geopoll* dalam pemeliharaan jalan *hauling* di PT Maruwai Coal, Kalimantan Tengah. Penggunaan kedua material ini difokuskan untuk melihat seberapa signifikan kontribusi material tersebut dalam meningkatkan kualitas jalan *hauling*, mengurangi biaya pemeliharaan, dan meningkatkan efisiensi operasional pengangkutan batubara. Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus kuantitatif, di mana data diambil dari kondisi nyata di lapangan sebelum dan sesudah penerapan *Geocell* dan *Geopoll* pada segmen jalan *hauling* yang telah dipilih.

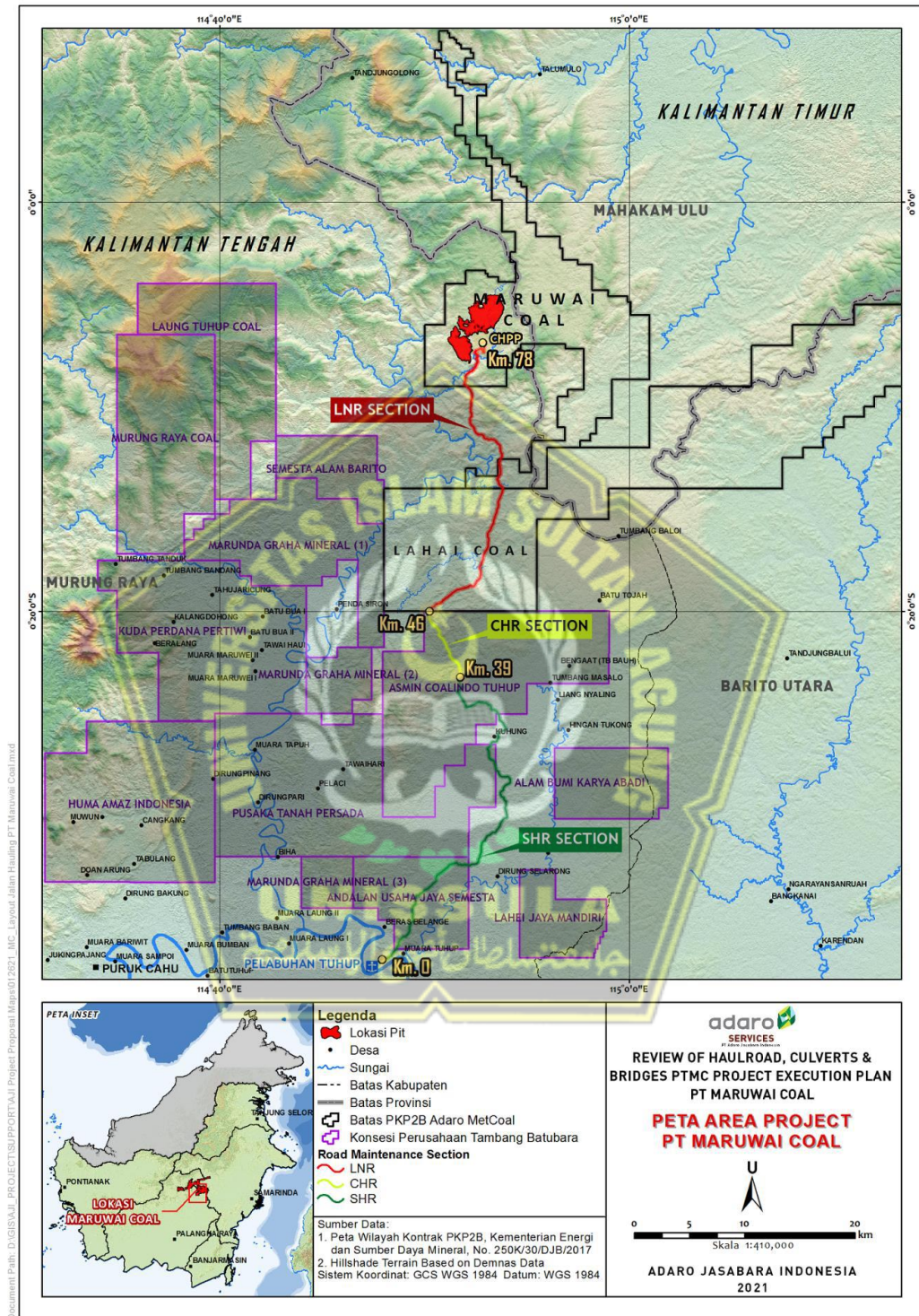
Pada penelitian ini juga memberikan kontribusi terhadap literatur yang membahas penggunaan material geosintetik dalam memperkuat infrastruktur pertambangan, yang menjadi aspek penting dalam industri pertambangan dengan beban kendaraan berat dan kondisi jalan yang menantang. Penelitian ini berupaya untuk menghadirkan keseimbangan antara teori dan praktik di lapangan, di mana hasilnya diharapkan tidak hanya relevan bagi sektor pertambangan tetapi juga bagi pengembangan infrastruktur secara umum.

Selain itu, pada penelitian ini memiliki dimensi humanis yang mengedepankan pentingnya peran sumber daya manusia (SDM) dalam penerapan teknologi baru di lapangan. Keterlibatan SDM yang terlatih menjadi kunci dalam memastikan implementasi yang sukses dan berkelanjutan dari penggunaan *Geocell* dan *Geopoll*.

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT Maruwai Coal, Kalimantan Tengah, sebuah perusahaan tambang batubara yang beroperasi di daerah dengan tantangan geoteknis yang kompleks, terutama terkait kondisi tanah yang labil dan lalu lintas berat yang intensif. Segmen 4 (KM 39 – KM 52) dipilih sebagai area fokus penelitian karena segmen ini diketahui sering mengalami kerusakan

signifikan pada jalan *hauling*, yang mengakibatkan peningkatan biaya perbaikan dan waktu tempuh pengangkutan yang lebih lama.



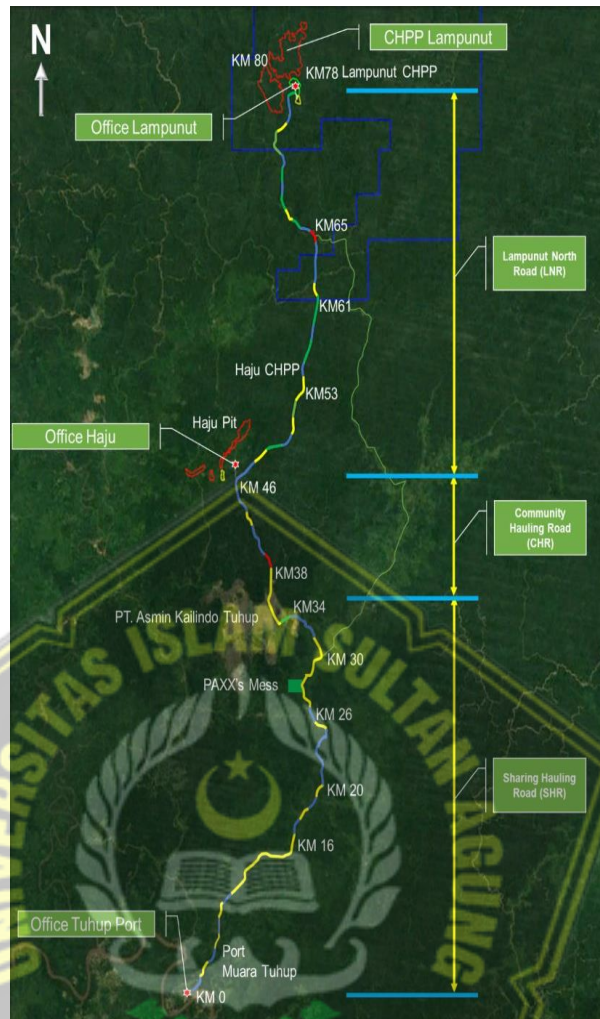
Gambar 3.1 Peta Lokasi PTMC dan zonasi segmen jalan angkut batubara (AJI, 2021)

Lokasi ini tidak hanya relevan dari segi teknis, tetapi juga merupakan contoh nyata bagaimana kondisi alam di Indonesia, khususnya di Kalimantan, menuntut solusi inovatif dalam manajemen infrastruktur jalan tambang. Jalan *hauling* di daerah ini sering kali menghadapi tantangan berupa curah hujan tinggi, sifat tanah yang lunak, serta beban kendaraan yang sangat berat. Oleh karena itu, lokasi ini menjadi ideal untuk menerapkan material *Geocell* dan *Geopoll* dalam rangka memperbaiki kualitas jalan *hauling*.

PT Maruwai Coal juga berkomitmen untuk meningkatkan efisiensi operasionalnya dengan mengadopsi teknologi pemeliharaan yang lebih baik. Hal ini sejalan dengan visi perusahaan untuk mencapai produktivitas yang lebih tinggi tanpa mengorbankan keselamatan operasional dan kelestarian lingkungan.

Tabel 3.1 Konfigurasi Jalan *Hauling*

Bagian	Panjang (km)	Keterangan
<i>Shared Haul road (SHR)</i>	39	- Jalan yang digunakan bersama oleh MC dan perusahaan lain seperti: Perusahaan pertambangan: 1. PT Asmino Koalindo Tuhup (AKT) 2. PT Lahai Coal 3. PT Pusaka Tanah Persada 4. PT Andalan Usaha Jaya Semesta 5. PT Energi Persada Khatulistiwa Perusahaan Penebangan Kayu: 1. PT Samudra Rejeki Perkasa (SRP) Yang lain: 1. Masyarakat - Awalnya dibangun dan digunakan sebagai jalan <i>logging</i>
<i>Coal Haul Road (CHR)</i>	7	Jalan milik PT Lahai Coal yang telah digunakan sejak tahun 2015, yang nantinya akan digunakan bersama Lahai Coal dan Maruwai Coal
<i>Lampunut North Road (LNR)</i>	32	- Jalan baru yang menghubungkan lokasi tambang Lampunut dengan simpang Haju PT Lahai Coal - Jalan ini sepenuhnya digunakan oleh PT Maruwai Coal



Gambar 3.2 Layout *Hauling Road* PT. Maruwai Coal

3.3 Penilaian Kondisi Kerusakan Jalan

Penilaian kondisi kerusakan jalan dilakukan untuk memahami kondisi awal jalan *hauling* sebelum penerapan *Geocell* dan *Geopoll*, serta untuk mengukur peningkatan kualitas jalan setelah perbaikan. Penilaian ini mencakup beberapa aspek penting, yaitu:

1. *Coal Hauling Road Index* (CHRI):

CHRI merupakan indikator utama yang digunakan oleh PT Maruwai Coal untuk menilai kondisi jalan *hauling*. Nilai *Coal Hauling Road Index* (CHRI) mencerminkan kualitas keseluruhan jalan, mulai dari permukaan, daya dukung, hingga keamanan operasional. Penelitian ini

akan memonitor perubahan nilai *Coal Hauling Road Index* (CHRI) sebelum dan sesudah penerapan material *Geocell* dan *Geopoll*.

2. Deformasi Jalan:

Jalan *hauling* yang sering dilalui kendaraan berat seperti dump truck cenderung mengalami deformasi, yaitu penurunan atau pergerakan permukaan jalan yang signifikan. Deformasi ini dapat mempengaruhi kenyamanan berkendara, memperpanjang waktu tempuh, serta meningkatkan risiko kecelakaan. Oleh karena itu, penilaian deformasi dilakukan secara mendalam, dengan pengukuran menggunakan alat uji deformasi dan uji *California Bearing Ratio* (CBR) untuk mengetahui kekuatan tanah sebelum dan sesudah perbaikan.

3. Erosi:

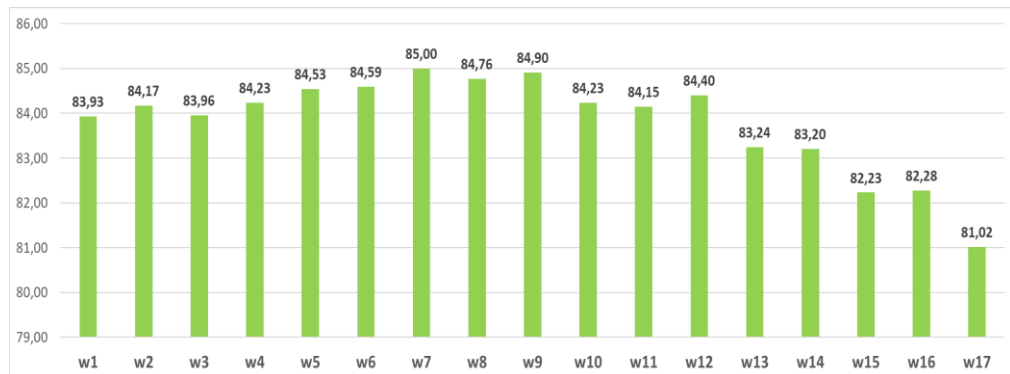
Kondisi iklim tropis di Kalimantan Tengah menyebabkan curah hujan tinggi yang dapat mengakibatkan erosi permukaan jalan *hauling*. Jalan yang mengalami erosi tidak hanya menjadi lebih tidak stabil, tetapi juga dapat menurunkan nilai *Coal Hauling Road Index* (CHRI) secara drastis. Pengukuran tingkat erosi dilakukan melalui observasi visual dan pengukuran *volume material* yang hilang akibat erosi.

4. Kondisi Permukaan Jalan:

Kondisi permukaan jalan sangat penting untuk menjamin kelancaran operasional *hauling*. Penelitian ini akan menilai kekerasan dan kestabilan permukaan jalan, dengan fokus pada area yang paling sering rusak sebelum perbaikan. Observasi dilakukan melalui inspeksi lapangan, dokumentasi foto, serta pemantauan berkala setelah penerapan *Geocell* dan *Geopoll*.

Penilaian kondisi kerusakan jalan sangat penting untuk memberikan dasar yang kuat bagi analisis dampak dari penerapan *Geocell* dan *Geopoll*. Dengan menggunakan metode penilaian yang sistematis, penelitian ini dapat memberikan bukti empiris mengenai efektivitas kedua material tersebut dalam mengatasi masalah jalan *hauling* di area tambang.

Tabel 3.2. *Summary* Grafik Penilaian Kondisi Kerusakan Jalan *Hauling* W1 – W17



Sumber : CHRI Internal PT. MC (Week 17 hingga Week 36 Tahun 2023)



Gambar 3.3 Diagram Pareto Kerusakan Jalan Week 1 – Week 17

3.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan kombinasi antara data primer dan data sekunder. Proses pengumpulan data dilakukan secara hati-hati untuk memastikan bahwa hasil penelitian valid dan dapat diandalkan.

1. Data Primer: Data primer diperoleh melalui observasi langsung, pengukuran lapangan, dan wawancara dengan tim teknis yang terlibat dalam proyek perbaikan jalan *hauling*. Data ini meliputi:

- a) Pengukuran *Coal Hauling Road Index* (CHRI):

Nilai *Coal Hauling Road Index* (CHRI) diukur menggunakan metode standar yang diterapkan oleh PT Maruwai Coal, yaitu

dengan mengukur faktor-faktor seperti permukaan jalan, lebar jalan, *crossfall*, superelevasi, kondisi tanggul, kondisi rambu keselamatan dan kerusakan yang terjadi di sepanjang jalan *hauling*.

b) Pengukuran deformasi dan kekuatan tanah:

Data deformasi diperoleh dengan menggunakan alat uji deformasi, sementara kekuatan tanah diukur melalui uji *California Bearing Ratio (CBR)* yang dilakukan di lapangan maupun di laboratorium.

c) Observasi visual:

Tim penelitian melakukan observasi langsung terhadap kondisi jalan *hauling*, baik sebelum maupun sesudah penerapan *Geocell* dan *Geopoll*. Observasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi kerusakan yang tidak terdeteksi oleh alat ukur, seperti erosi permukaan atau retakan mikro.

d) Wawancara:

Wawancara dilakukan dengan manajer proyek dan operator kendaraan yang sehari-hari menggunakan jalan *hauling* tersebut. Tujuan dari wawancara ini adalah untuk memahami bagaimana kerusakan jalan mempengaruhi operasional tambang, serta untuk mendapatkan umpan balik mengenai efektivitas perbaikan jalan setelah penerapan material.

2. Data Sekunder: Data sekunder diperoleh dari laporan teknis PT Maruwai Coal dan dokumen historis terkait dengan kondisi jalan *hauling*. Data sekunder ini meliputi:

a) Laporan pemeliharaan jalan:

Laporan ini mencakup biaya perbaikan, frekuensi pemeliharaan, serta waktu henti operasional akibat kerusakan jalan sebelum penerapan *Geocell* dan *Geopoll*.

b) Dokumentasi historis:

Dokumen yang mencatat perubahan *Coal Hauling Road Index (CHRI)* dari waktu ke waktu, serta data pengangkutan batubara yang mencerminkan efisiensi operasional tambang sebelum dan sesudah perbaikan jalan.

Pengumpulan data dilakukan secara berulang pada interval waktu tertentu, sehingga hasil yang diperoleh dapat memberikan gambaran yang komprehensif tentang dampak perbaikan jalan *hauling*.



Gambar 3.4. Penilaian Kondisi Kerusakan Jalan *Hauling*

3.5 Analisa Data

Data yang dikumpulkan dianalisis menggunakan pendekatan analisis komparatif dan statistik deskriptif untuk melihat perubahan signifikan yang terjadi setelah penerapan *Geocell* dan *Geopoll*.

1. Analisis Komparatif: Analisis ini digunakan untuk membandingkan data sebelum dan sesudah penerapan material. Beberapa parameter utama yang dianalisis meliputi:

- a) *Coal Hauling Road Index* (CHRI):

Data CHRI sebelum dan sesudah penerapan material dianalisis untuk melihat seberapa besar peningkatan kualitas jalan *hauling*. Nilai *Coal Hauling Road Index* (CHRI) yang lebih tinggi setelah penerapan *Geocell* dan *Geopoll* menunjukkan peningkatan performa jalan yang signifikan.

- b) Deformasi Jalan:

Data deformasi diukur dalam bentuk penurunan permukaan jalan (dalam sentimeter) sebelum dan sesudah penerapan *Geocell* dan *Geopoll*. Pengurangan deformasi yang signifikan akan menunjukkan efektivitas material dalam menstabilkan permukaan jalan *hauling*.

- c) Biaya Pemeliharaan:

Pengurangan biaya pemeliharaan juga dianalisis dengan membandingkan total biaya pemeliharaan sebelum dan sesudah

penerapan material. Penurunan biaya pemeliharaan adalah indikator penting yang menunjukkan penghematan operasional.

2. Statistik Deskriptif: Statistik deskriptif digunakan untuk memberikan gambaran umum tentang peningkatan rata-rata Nilai *Coal Hauling Road Index* (CHRI), pengurangan deformasi, dan penghematan biaya pemeliharaan. Selain itu, grafik dan tabel akan digunakan untuk memvisualisasikan perubahan tersebut, sehingga dapat memberikan representasi yang lebih jelas mengenai efektivitas penggunaan *Geocell* dan *Geopoll*.

- Grafik peningkatan *Coal Hauling Road Index* (CHRI): Grafik ini akan menunjukkan perubahan nilai *Coal Hauling Road Index* (CHRI) dari waktu ke waktu, memberikan gambaran tentang peningkatan performa jalan *hauling* pasca perbaikan.
- Grafik penurunan deformasi: Grafik deformasi akan memvisualisasikan pengurangan deformasi jalan setelah penerapan material.
- Grafik penghematan biaya pemeliharaan: Data penghematan biaya juga akan ditampilkan dalam bentuk grafik untuk menunjukkan efisiensi biaya setelah penggunaan *Geocell* dan *Geopoll*.

3.6 Validitas dan Reliabilitas Data

Validitas dan reliabilitas data merupakan aspek krusial dalam penelitian ini untuk memastikan bahwa hasil yang diperoleh akurat dan dapat diandalkan.

1. Validitas Data:

Dalam proses memastikan validitas data, penelitian ini menggunakan metode triangulasi data, yaitu membandingkan hasil pengukuran dari beberapa sumber yang berbeda. Data yang diperoleh dari pengukuran lapangan dibandingkan dengan laporan teknis dari PT Maruwai Coal, serta hasil wawancara dengan tim operasional. Dengan demikian, kesesuaian antara hasil pengukuran dan data historis dapat divalidasi. Validitas data diukur melalui *cross-check* dengan standar yang berlaku dalam pemeliharaan jalan *hauling* di industri pertambangan. Standar yang digunakan dalam penelitian ini mencakup parameter *Coal*

Hauling Road Index (CHRI) yang telah diadopsi sebagai standar kualitas jalan *hauling* oleh PT Maruwai Coal dan perusahaan tambang lainnya.

2. Reliabilitas Data: Reliabilitas data diuji melalui pengukuran berulang pada titik yang sama. Pengukuran *Coal Hauling Road Index* (CHRI), deformasi jalan, dan kekuatan tanah dilakukan pada beberapa interval waktu berbeda untuk melihat konsistensi hasil. Jika hasil pengukuran menunjukkan pola yang sama dalam setiap pengujian, maka data tersebut dianggap reliabel. Selain itu, alat uji yang digunakan dalam pengukuran, seperti alat uji CBR (*California Bearing Ratio*) dan alat ukur deformasi, telah melalui proses kalibrasi untuk memastikan akurasi. Reliabilitas pengukuran juga didukung oleh pengawasan dari tim teknis yang memiliki keahlian dalam pemeliharaan jalan *hauling*.

Dengan pendekatan yang sistematis terhadap validitas dan reliabilitas, penelitian ini memastikan bahwa hasilnya dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

3.7 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan melalui beberapa tahap yang sistematis, yang bertujuan untuk memastikan bahwa setiap langkah penelitian dilakukan sesuai dengan rencana dan target yang telah ditentukan. Berikut adalah tahapan prosedur penelitian:

- Identifikasi Lokasi Penelitian: Proses ini dimulai dengan pemilihan segmen jalan *hauling* yang menjadi objek penelitian. Segment 4 (KM 39 – KM 52) dipilih berdasarkan tingkat kerusakan yang tinggi serta pentingnya segmen ini dalam operasional pengangkutan batubara. Setelah lokasi diidentifikasi, dilakukan survei awal untuk mengumpulkan data mengenai kondisi jalan, baik dari segi *Coal Hauling Road Index* (CHRI), deformasi, maupun kondisi permukaan.
- Pengukuran Awal Kondisi Jalan: Pengukuran awal dilakukan untuk mengetahui kondisi jalan sebelum penerapan *Geocell* dan *Geopoll*. Pada tahap ini, diambil data terkait nilai *Coal Hauling Road Index* (CHRI), deformasi jalan, dan kekuatan tanah menggunakan uji

California Bearing Ratio (CBR). Selain itu, tim penelitian juga melakukan observasi visual terhadap kerusakan permukaan jalan dan tingkat erosi yang terjadi.

- Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) merupakan salah satu metode yang paling penting dalam bidang teknik sipil, terutama dalam perancangan dan pemeliharaan infrastruktur jalan.

Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) dilakukan dengan cara mengukur ketahanan tanah terhadap tekanan vertikal, yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan daya dukung tanah dasar sebelum perbaikan. Uji ini penting untuk mengukur seberapa efektif *Geocell* dan *Geopoll* dalam meningkatkan daya dukung tanah, sehingga dapat diperoleh data yang komprehensif mengenai peningkatan kekuatan tanah setelah intervensi.

Metode ini melibatkan proses penetrasi piston ke dalam tanah untuk mengukur resistensi tanah terhadap tekanan yang diberikan. Semakin tinggi daya tahan tanah terhadap penetrasi piston, semakin baik kemampuan tanah tersebut dalam menahan beban yang diterima dari lalu lintas kendaraan berat. Hal ini sangat penting, terutama di area jalan *hauling* pada proyek pertambangan, di mana tanah sering kali terpapar beban dinamis yang signifikan dari kendaraan besar seperti *dump truck*. Uji CBR (*California Bearing Ratio*) menyediakan data kuantitatif yang dapat digunakan untuk menentukan sejauh mana kondisi awal tanah sebelum penerapan perbaikan dan untuk mengukur efektivitas *Geocell* dan *Geopoll* dalam memperkuat struktur tanah tersebut.

Hasil uji CBR (*California Bearing Ratio*) memiliki peran krusial dalam menentukan efektivitas penggunaan *Geocell* dan *Geopoll*. Jika setelah penerapan material tersebut ditemukan peningkatan signifikan pada nilai CBR (*California Bearing Ratio*), hal ini menunjukkan bahwa material tersebut efektif dalam meningkatkan daya dukung tanah dasar, sehingga mampu mendukung beban lalu lintas kendaraan

dengan lebih baik dan mengurangi risiko deformasi yang dapat terjadi pada jalan *hauling*.

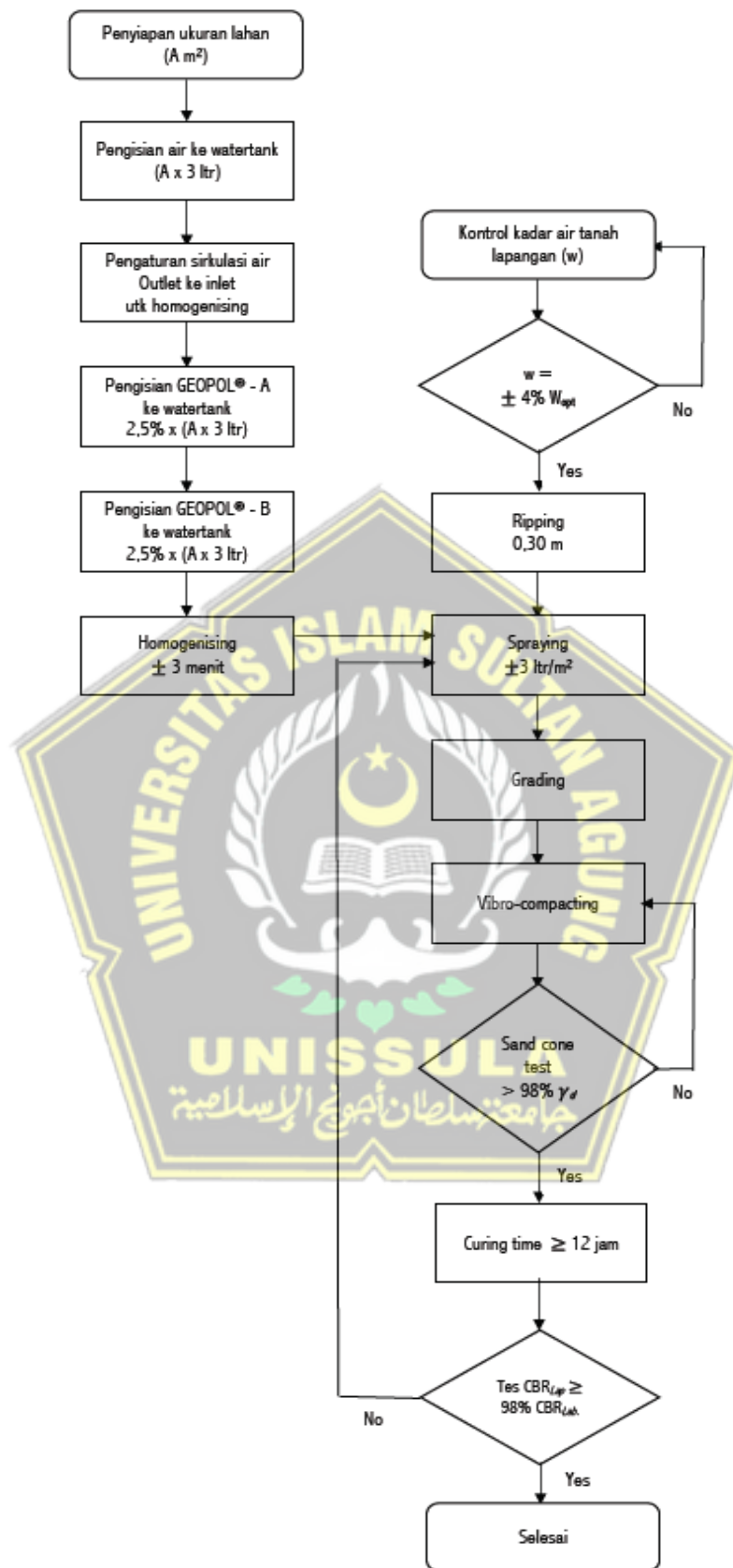


Gambar 3.5 Pengujian CBR Lapangan

- Penerapan *Geocell* dan *Geopoll*: Setelah pengukuran awal selesai, material *Geocell* dan *Geopoll* diterapkan pada segmen jalan *hauling* yang telah ditentukan. Proses penerapan dilakukan dengan mematuhi prosedur teknis yang ditetapkan, termasuk persiapan tanah dasar, pemasangan material, dan pengisian agregat. Pengawasan dilakukan selama proses pemasangan untuk memastikan bahwa material dipasang sesuai dengan spesifikasi teknis.



Gambar 3.6 Proses Penerapan *Geocell* di Jalan *Hauling*

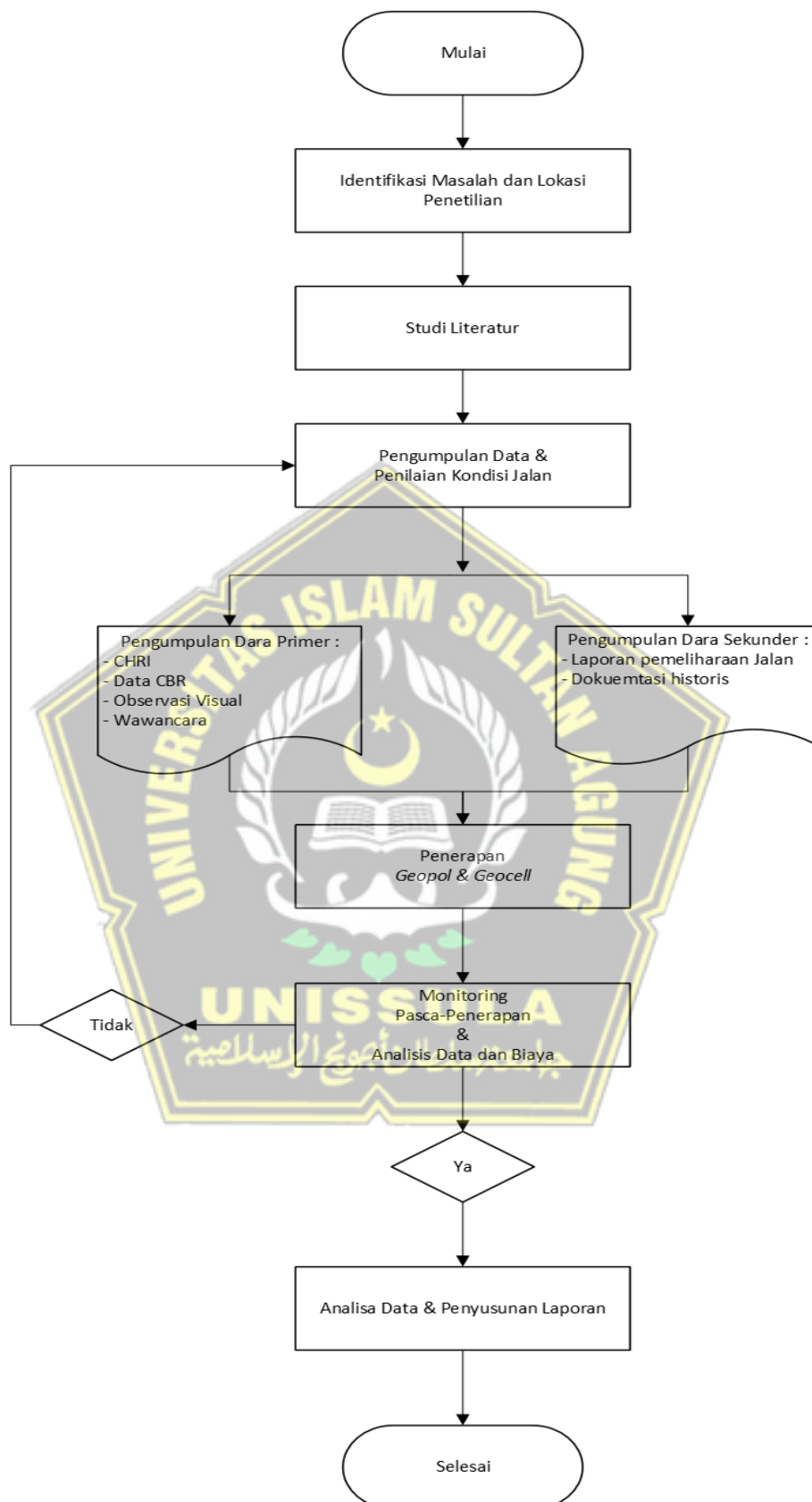


Gambar 3.7 Alur Proses Penerapan Geopoll di Jalan *Hauling*



Gambar 3.8 Proses Penerapan Geopoll di Jalan *Hauling*

- **Pemantauan Pasca-Penerapan:** Setelah penerapan *Geocell* dan *Geopoll* selesai, dilakukan pemantauan ulang untuk melihat perubahan yang terjadi pada jalan *hauling*. Pemantauan ini mencakup nilai *Coal Hauling Road Index* (CHRI), deformasi, dan kekuatan tanah. Selain itu, observasi visual juga dilakukan untuk memastikan bahwa kondisi permukaan jalan telah mengalami perbaikan signifikan.
- **Analisis Data dan Penyusunan Laporan:** Data yang dikumpulkan dianalisis menggunakan metode komparatif dan statistik deskriptif. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memberikan gambaran yang jelas tentang efektivitas penerapan material. Setelah itu, disusun laporan penelitian yang mencakup hasil analisis dan rekomendasi teknis untuk penggunaan *Geocell* dan *Geopoll* dalam pemeliharaan jalan *hauling*.



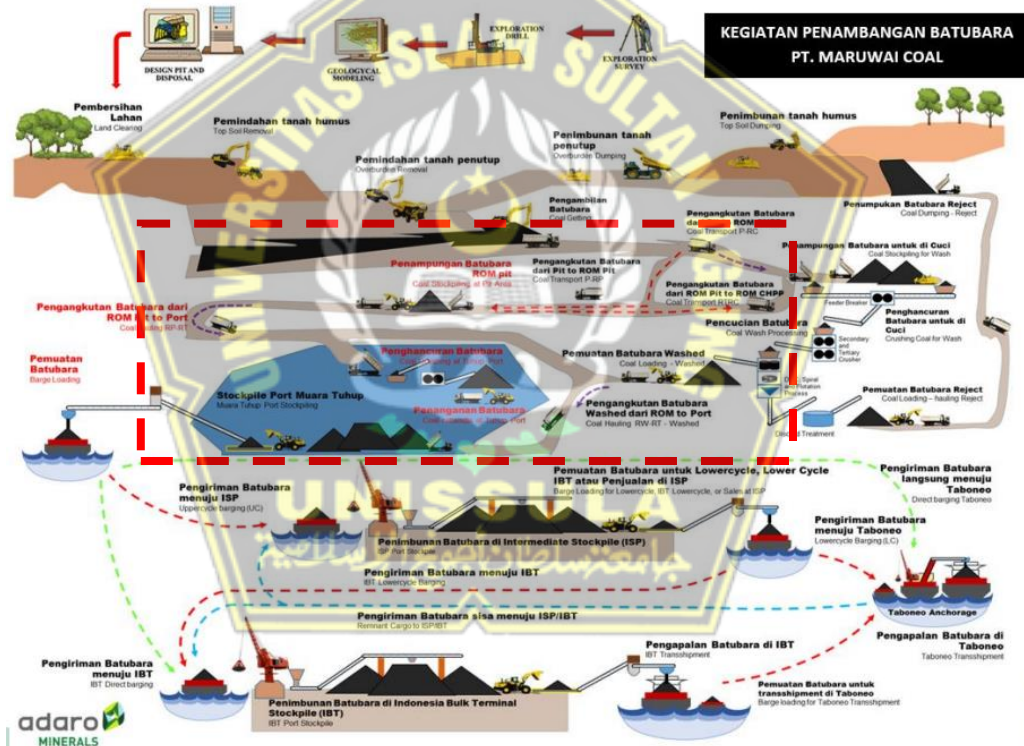
Gambar 3.9 Diagram Alur Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Segmen 4 (KM 39–KM 52) jalan *hauling* di PT Maruwai Coal terlihat pada BAB III sub-gambar 3.1 Peta Lokasi PT. Maruwai Coal dan zonasi segmen jalan angkut batubara (AJI, 2021) halaman 40, Jalan *hauling* ini merupakan jalur utama untuk transportasi batubara dari lokasi tambang menuju pelabuhan. Pada gambar dibawah ini menggambarkan bisnis proses pada PT. Maruwai Coal, untuk sub-penelitian ini terfokus pada perbaikan jalan utama untuk transportasi batubara.



Gambar 4.1 Bisnis Proses PT. Maruwai Coal

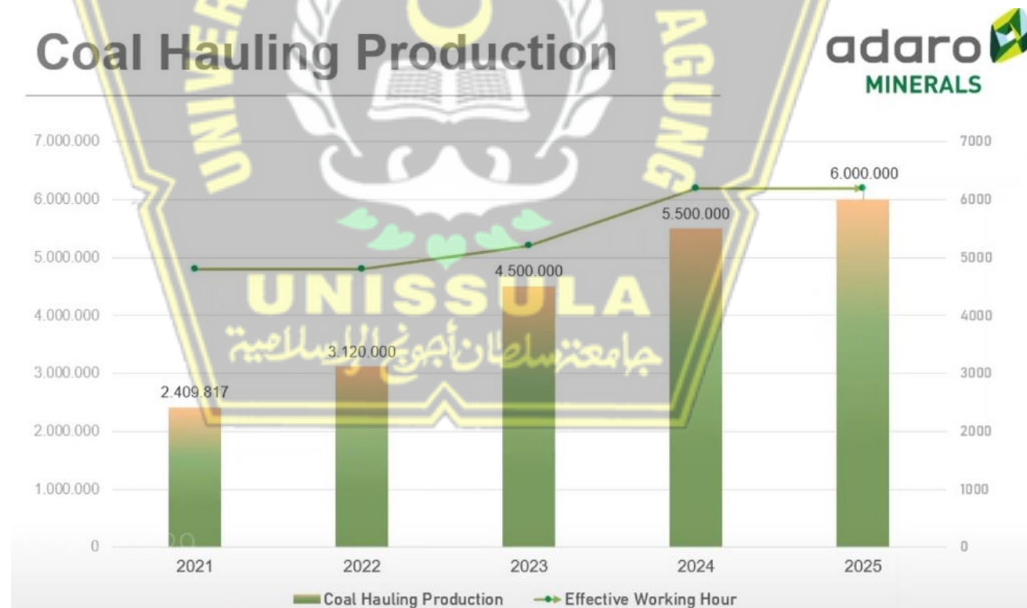
Kondisi awal jalan *hauling* di segmen ini menunjukkan tingkat kerusakan yang tinggi akibat beban kendaraan berat, pengaruh cuaca ekstrem seperti naiknya intensitas hujan yang tinggi yang mana hal ini dapat memicu erosi dan deformasi pada jalan, dan beberapa faktor lainnya. Beberapa permasalahan yang diidentifikasi ialah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Faktor Kontribusi Produksi

	Faktor Kontribusi	Detail	Penanggung Jawab
Factor Produksi	<i>Man power/</i> Tidak ada operator Dump Truck	Plan : 139 <i>Manpower per shift</i> Actual : 127 Day shift dan 122 Night Shift	Kontraktor
	<i>Physical Availability (PA) Dump Truck</i>	Plan PA : 94% Actual PA : 91%	Kontraktor
	<i>Coal Hauling Road Index</i>	Plan : 90% Actual : 83%	Kontraktor & Owner

Pada penelitian ini terfokuskan pada item *Coal Hauling Road Index* (CHRI) dimana kondisi jalan *hauling* terlihat mengalami erosi permukaan yang signifikan, serta sehingga nilai *Coal Hauling Road Index* (CHRI) yang rendah sebesar 83%, hal ini menunjukkan kondisi jalan yang kurang memadai untuk mendukung aktivitas *hauling* secara optimal.

Melihat data produksi pada PT. Maruwai Coal, nilai Produksi semakin meningkat dari tahun ke tahun.



Gambar 4.2 Rencana Produksi Batubara PT. Maruwai Coal

Setelah penerapan *Geocell* dan *Geopoll*, hasil pengamatan menunjukkan perubahan signifikan pada kualitas jalan *hauling*. *Geocell* diterapkan untuk meningkatkan stabilitas tanah dengan mendistribusikan beban secara merata melalui struktur selulernya. Sementara itu, *Geopoll* digunakan untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar melalui stabilisasi kimia. Hasil

perbaikan terlihat dari peningkatan nilai *Coal Hauling Road Index* (CHRI), pengurangan deformasi, dan penurunan *volume* erosi. Kondisi ini didokumentasikan secara rinci melalui pengukuran lapangan, pengujian material, dan analisis visual, yang menunjukkan efektivitas masing-masing material dalam meningkatkan kualitas jalan hauling.

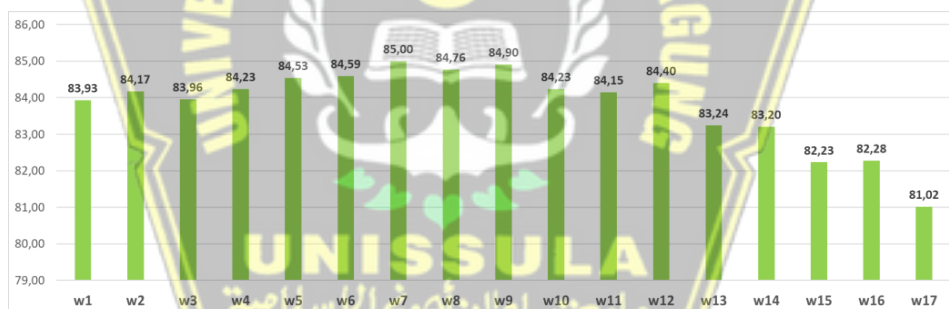
4.2. Hasil Pengumpulan Data

Hasil pengumpulan data disajikan untuk menggambarkan perubahan yang terjadi sebelum dan sesudah penerapan *Geocell* dan *Geopoll*. Data meliputi :

4.2.1. Data Primer

a. Data *Coal Hauling Road Index* (CHRI)

Data *Coal Hauling Road Index* (CHRI) digunakan sebagai indikator utama untuk menilai kualitas jalan *hauling* di PT. Maruwai Coal berdasarkan tingkat kerusakan dan kemampuan jalan mendukung aktivitas *hauling*. Dalam penelitian ini, pengukuran dilakukan secara periodik dari *Week 1 - Week 17*, mencakup evaluasi kondisi jalan sebelum dan sesudah penerapan *Geocell* dan *Geopoll*.



Sumber : CHRI Internal PT. MC (Week 17 hingga Week 36 Tahun 2023)

Gambar 4.3. *Summary* Grafik Penilaian Kondisi Kerusakan Jalan *Hauling* W1 – W17 Segment CHR (Segment 4)

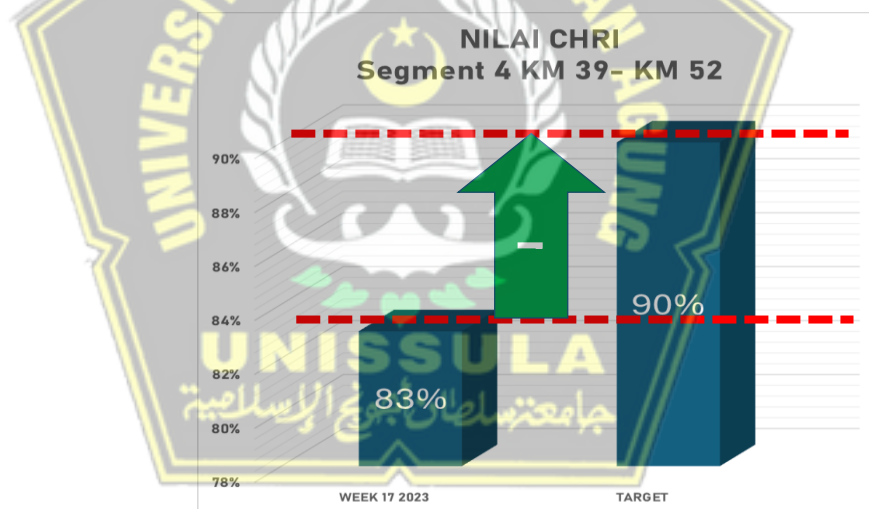
Pada grafik diatas ini menunjukkan adanya penurunan nilai *Coal Hauling Road Index* (CHRI) dari *Week 1 – Week 17* serta dalam pengelompokan data persegmen terlihat sebagai berikut :

- Segmen 1 hingga Segmen 3 sedang dilakukan pekerjaan *upgrading* dari *team Project* PT. BUMA,
- Segmen 4 memiliki kerusakan yang cukup tinggi dibandingkan dengan segmen 5 – 6. Pada segmen 4 ini nilai *Coal Hauling Road*

Index (CHRI) hanya menunjukkan nilai rata – rata sebesar 83% yang mengindikasikan kondisi jalan tidak optimal sehingga terjadi GAP sebesar 7% dari target perusahaan 90%.



Gambar 4.4 Data Grafik Nilai CBR dengan Alat Uji CBR Lapangan
(surfacing)



Gambar 4.5 Grafik Data Nilai CBR dengan Alat Uji CBR
Lapangan (surfacing)

b. Data pengukuran deformasi dan kekuatan tanah

Data pengukuran deformasi dan kekuatan tanah diperoleh dari data CBR (*California Bearing Ratio*) yangmana data tersebut mencerminkan daya dukung tanah dasar jalan hauling sebelum perbaikan. Penelitian ini dilakukan pada 2 tempat yang berbeda dalam segment 4 dengan metode yang berbeda, lokasinya sebagai berikut :

I. Segmen 4 di KM 41 +000

Pada segmen ini menggunakan metode *Geopoll* dengan hasil uji CBR (*California Bearing Ratio*) Segmen 4 di KM 41+000 menunjukkan nilai rata-rata sebesar **48%**, masih memiliki nilai di bawah standar yaitu **80%** untuk jalan hauling dengan penggunaan material *surfacing* kelas A.

Table 4.2 Data CBR dengan Alat Uji CBR Lapangan (*surfacing*)

No	Lokasi	Alat Uji	Nilai CBR (%)
1	Segment 4 KM 41+000 (Sisi Muatan)	CBR Lapangan	48%



Gambar 4.6 Dokumentasi Uji CBR Lapangan KM 41+000

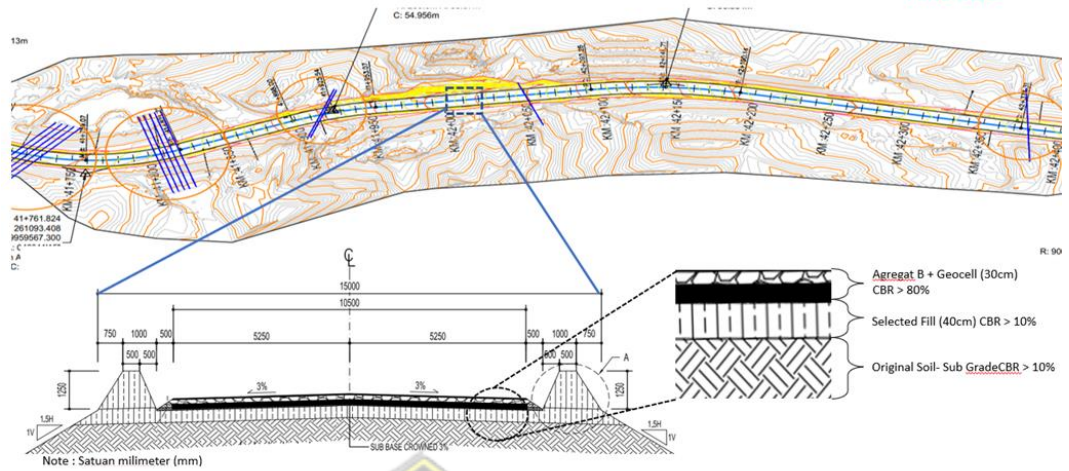
II. Segmen 4 di KM 42+200

Pada segmen ini menggunakan metode *Geocell* dengan hasil uji CBR (*California Bearing Ratio*) Segmen 4 di KM 42+200 menunjukkan nilai rata-rata sebesar **28%**, yang jauh di bawah standar minimal **80%** untuk jalan *hauling* dengan penggunaan material *surfacing* kelas A (mengacu pada gambar 2.3 Detail Struktur Jalan PT. Maruwai Coal Hal 15). Nilai ini menunjukkan bahwa material tanah dasar tidak mampu menahan beban kendaraan berat, sehingga memicu deformasi.

Table 4.3 Data CBR dengan Alat Uji CBR Lapangan (*surfacing*)

No	Lokasi	Alat Uji	Nilai CBR (%)
1	Segmen 4 KM 42+200 (Sisi Muatan)	CBR Lapangan	28 %
2	Segmen 4 KM 42+200 (Sisi Kosongan)	CBR Lapangan	84 %

Rencana Desain Perbaikan



Gambar 4.7 Lokasi Kerja KM 42+200



Gambar 4.8 Dokumentasi Uji CBR Lapangan KM 42+200

Table 4.4 Data CBR dengan Alat Uji DCP (*Base jalan*)

No	Lokasi	Alat Uji	Nilai CBR (%) Sebelum Pemadatan	Nilai CBR (%) Setelah Pemadatan
1	Segmen 4 KM 42+200 (Sisi Muatan)	DCP	9.5 %	12.0 %
2	Segmen 4 KM 42+200 (Sisi Kosongan)	DCP	10.2 %	14.8 %



Gambar 4.9 Dokumentasi Uji DCP KM 42+200

c. Dokumentasi Visual

Dokumentasi visual dilakukan untuk mendukung data dalam penelitian ini, pada gambar dibawah ini dilakukan pengukuran lapangan dan pemberian Gambaran kondisi actual jalan hauling PT. Maruwai Coal pada segmen 4 (KM 42+200) sebelum dilakukan perbaikan.



Gambar 4.10 Dokumentasi Visual Awal

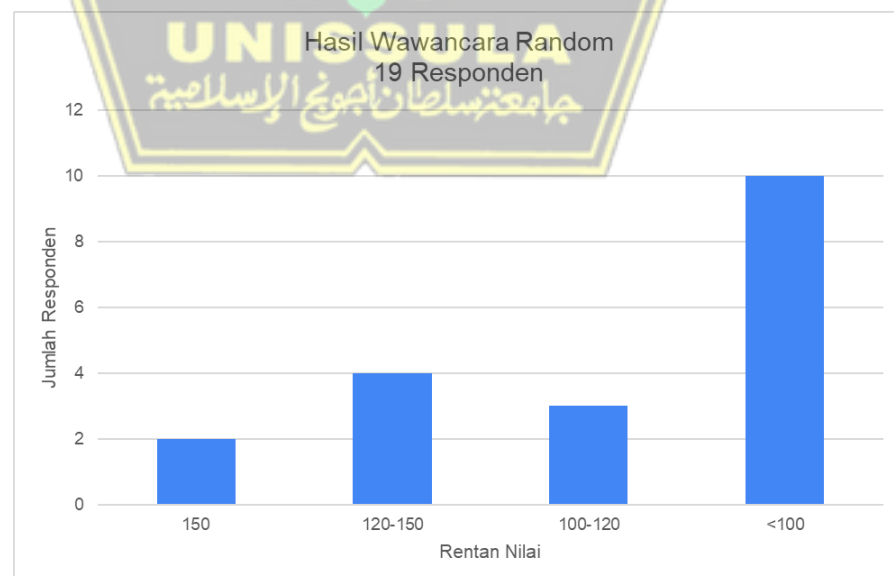
d. Wawancara

Hasil wawancara dilaksanakan dengan tim teknis, manajemen PT. Maruwai Coal dengan metode diskusi dan dilakukan pengambilan data melalui kuesioner kepada 19 responden secara random pengguna jalan *hauling* untuk mengetahui pengetahuan jalan *hauling*, dimana hasilnya ialah memberikan wawasan penting terkait kondisi jalan *hauling* sebelum perbaikan, serta pandangan mereka terhadap kebutuhan perbaikan menggunakan *Geocell* dan *Geopoll*.

Sebagian besar responden menyatakan bahwa kondisi jalan *hauling* sebelum perbaikan berada pada tingkat yang kurang memadai untuk mendukung aktivitas *hauling* secara efisien. Hasil Penilaian Responden memberikan penilaian terhadap kondisi jalan *hauling* menggunakan skala nilai. Berikut adalah hasil pengelompokan berdasarkan rentang nilai:

- **150 (Sempurna)** : 2 orang (10.5%).
- **120-150** : 4 orang (21%).
- **100-120** : 3 orang (15.8%).
- **< 100** : 10 orang (52.6%).

Data ini menunjukkan mayoritas responden (52.6%) memberikan nilai di bawah 100, yang mengindikasikan kondisi jalan yang sangat buruk dan memerlukan tindakan perbaikan segera.



Gambar 4.11 Data Grafik Hasil Wawancara

4.2.2. Data Sekunder

a. Laporan Pemeliharaan Jalan

Laporan pemeliharaan jalan *hauling* sebelumnya memberikan gambaran rinci tentang biaya yang dikeluarkan untuk menjaga jalan tetap operasional, khususnya di Segmen 4 (KM 39–KM 52). Metode yang digunakan selama periode tersebut adalah metode *patching*, di mana material *gravel* lokal ditambahkan untuk menutupi kerusakan pada permukaan jalan.

Biaya pemeliharaan ini dibedakan berdasarkan karakteristik topografi jalan, yaitu area datar dengan kemiringan kurang dari 3% dan area tanjakan atau turunan dengan kemiringan lebih dari 3%. Data menunjukkan bahwa area tanjakan dan turunan memerlukan biaya pemeliharaan yang lebih tinggi karena tingkat deformasi dan erosi yang lebih besar akibat tekanan beban kendaraan berat dan pengaruh curah hujan.

Tabel berikut akan menyajikan detail biaya pemeliharaan berdasarkan metode *patching* yang dilakukan pada area datar dan tanjakan/turunan.

Tabel 4.5 Historikal Biaya Perbaikan Jalan (*Metode Patching*).

Lokasi	Biaya Material	Biaya Alat	Biaya Instalasi	Biaya Perawatan	Total
Area Datar (Kemiringan Jalan < 3%)	41.702.892	5.090.500	46.793.392	7.791.000	54.584.392
Area Tanjakan/ Turunan (Kemiringan Jalan > 3%)	41.702.892	5.090.500	46.793.392	15.582.000	62.375.392

Material *gravel* yang digunakan dalam pemeliharaan jalan *hauling* merupakan salah satu komponen utama untuk menjaga stabilitas jalan di Segmen 4 (KM 39–KM 52). Informasi lengkap mengenai spesifikasi teknis material *gravel* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.6 Spesifikasi Teknis Material *Gravel* PT. Maruwai Coal

Summary Report							
Permintaan	: Internal CRSO						
Pekerjaan	: Pengadaan gravel operation Th. 2023 PT. Maruwai caal						
Waktu Pemeriksaan	: 18-22 Pebruari 2023						
Material	: CV. KIP						
Trip	5						
No	Barge/LCT	Jenis Pemeriksaan		Hasil	Spesifikasi	Keterangan	
1	Empat Sudara 06	Abrasi		25%	0 - 40 %	Done	
2		Analisa saringan		Kombinasi Aggregate Batu Pecah			
				Fraksi 3-5	0%	Done	
				Fraksi 2-3	55%		
				Fraksi 2-1	41%		
				Fraksi 1-1	4%		
				Filler	0%		
3		Density	Padat	1,65 t/m3		Min 2	Done
			Gembur	1.48 t/m3			
4			Kadar lumpur		6.20%	0 - 1 %	Done

Tabel 4.7 Spesifikasi Teknis Material *Borrow PIT* PT. Maruwai Coal

SULTAMA

SUMMARY REPORT

Project : AMI 39 Km Haulroad Upgrading

Location : Muara Tuhup, Kalimantan Tengah

Test point : Borrow Pit Talakon (11 Mei 2024)

Sampling by : QC BUMA

Date : 26 Mei 2024

Laporan Pengujian Material Borrow Pit Talakon (11 Mei 2024) Abu-Abu

No	Jenis Pengujian	Keterangan	Hasil Pengujian		Spesifikasi	Metode	
1	Kadar air	W _m	9,80			ASTM D2216	
2	Berat Jenis	G _s	2,88			ASTM D854-02	
3	Atterberg Limit	Batas Cair (LL)	21,63%			ASTM D4318	
		Batas Plastis (PL)	17,73%				
		Indeks Plastisitas (PI)	3,90%				
4	Hidrometer dan Analisis Saringan	Saringan No. (mm)	% Lolos Saringan		ASTM D422		
		3/4"		19,000		100,00%	
		3/8"		9,500		100,00%	
		No.4		4,750		94,88%	
		No.8		2,360		92,88%	
		No.16		1,180		91,64%	
		No.30		0,600		91,08%	
		No.50		0,300		88,64%	
		No.100		0,150		88,08%	
		No.200		0,075		77,11%	
				0,0259		66,38%	
				0,0173		48,86%	
				0,0076		34,07%	
				0,0035		28,97%	
				0,0029		18,46%	
			0,0012	8,62%			
			0,0000	0,00%			
		Kerikil	Kandungan Tanah			6,81%	
		Pasir				17,67%	
		Lempung				66,14%	
						28,97%	
				ML			
		Jenis tanah		Sandy silt			USCB (Unified Soil Classification System)
		Koefisien keseragaman (C _u)		23,21			ASTM D422
		Koefisien gradasi (C _c)		0,84			
		MOD (gr/cm ³)		2,10			SNI 1743:2008
		95% MOD (gr/cm ³)		1,88			
		OMC (%)		6,00			SNI 1744:2012
		CBR Desain (Soaked)	0,1" (%)	2,84			
			0,2" (%)	3,08			
		CBR Desain (Unsoaked)	0,1" (%)	29,80			SNI 1744:2012
0,2" (%)	23,87						

Diperiksa oleh :
PT. SULTAMA Mandiri Utama

Quality Control

Fandi

Engineer

Andri Winata

Muara Tuhup, 26 Mei 2024

Dibuat oleh :
PT. Sultama

Winarto

UNISSULA

جامعة البصرة الإسلامية

PT. SULTAMA INDOnesia DESKINIA

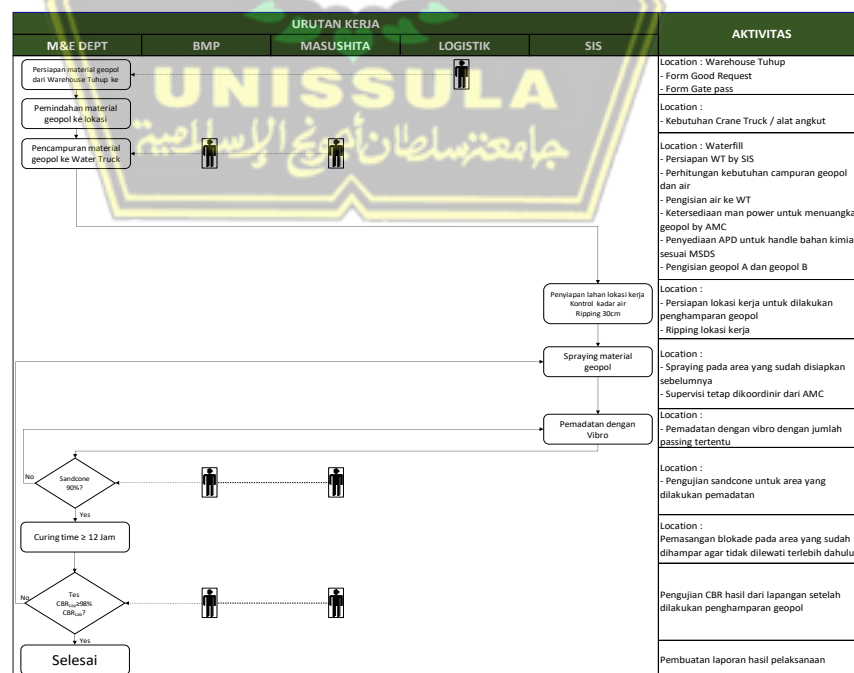
b. Dokumentasi Historis



Gambar 4.12 Dokumentasi Pekerjaan *Metode Patching*



Gambar 4.13 Dokumentasi Pekerjaan Metode Geocell



Gambar 4.14 Diagram Alur Proses Pekerjaan Metode Geopoll

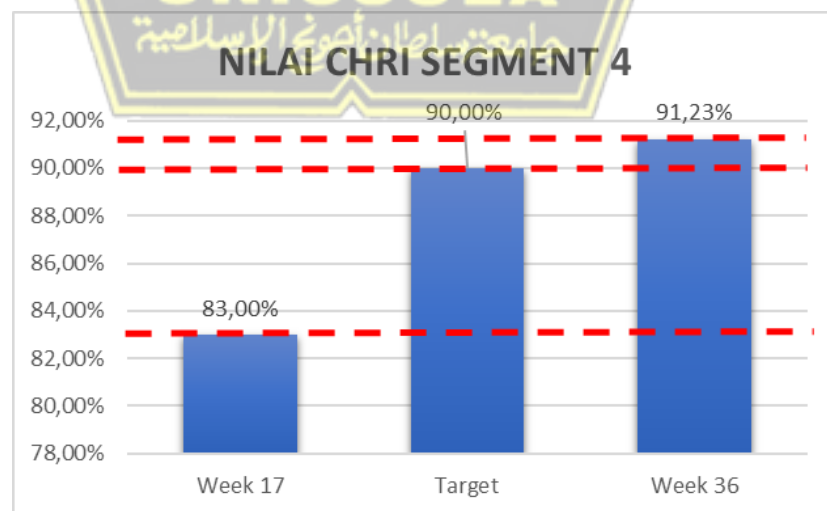


Gambar 4.15 Dokumentasi Pekerjaan Metode Geopoll

4.3. Analisis Data dan Monitoring

4.3.1. Nilai (Coal Hauling Road Index) CHRI

Nilai (Coal Hauling Road Index) CHRI digunakan untuk menilai kualitas jalan *hauling*. Sebelum perbaikan, nilai (Coal Hauling Road Index) CHRI tercatat sebesar **83%**, menunjukkan kondisi jalan yang kurang optimal. Setelah penerapan *Geocell*, nilai (Coal Hauling Road Index) CHRI meningkat menjadi **91.23%**, sementara penerapan *Geopoll* meningkatkan nilai (Coal Hauling Road Index) CHRI menjadi **89.75%**.



Gambar 4.16 Perubahan Grafik Nilai CHRI Sebelum dan Sesudah Penerapan Material

4.3.2. Monitoring Deformasi Jalan dan Nilai CBR Pada Jalan *Hauling*

Deformasi jalan diukur untuk mengevaluasi stabilitas struktural jalan *hauling*. Sebelum perbaikan, deformasi mencapai **15 cm**. Setelah penerapan *Geocell*, deformasi berkurang menjadi **6 cm**, sedangkan penerapan *Geopoll* mengurangi deformasi menjadi **7 cm**. Data ini dilakukan pengamatan selama 8 minggu.

Tabel 4.8 Deformasi Jalan Sebelum dan Sesudah Perbaikan

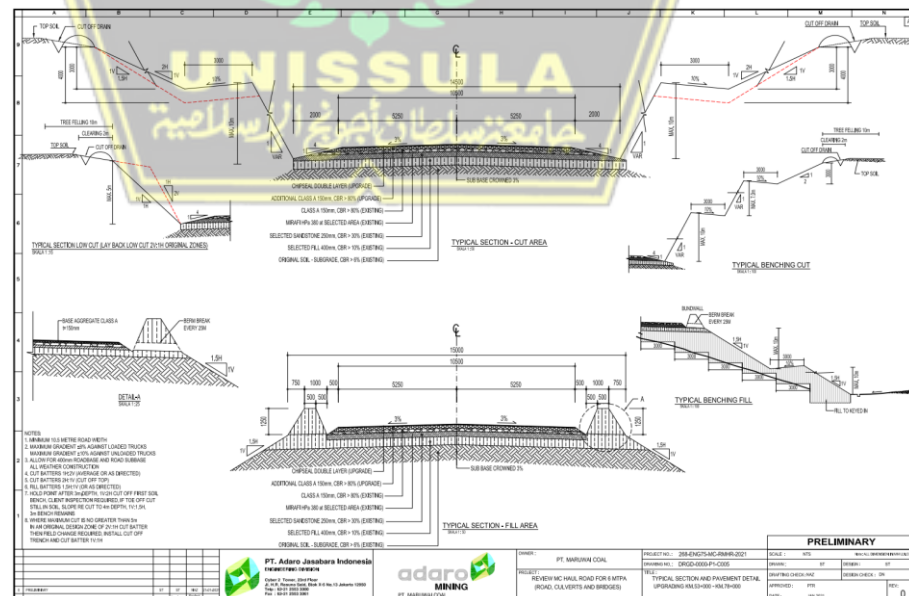
Parameter	Sebelum Perbaikan	Setelah Perbaikan (Metode <i>Geocell</i>)	Setelah Perbaikan (Metode <i>Geopoll</i>)
Deformasi (cm)	15	6	7

Tabel 4.9 Pemantauan Nilai CBR KM 42+200

Lokasi	Sebelum Perbaikan <i>Geocell</i> H-3	Setelah Perbaikan <i>Geocell</i> M+0	Setelah Perbaikan <i>Geocell</i> M+1	Setelah Perbaikan <i>Geocell</i> M+2
Tanggal	22/07/2023	25/07/2023	25/08/2023	20/09/2023
Muatan	28%	84%	84%	83%
Kosongan	84%	86%	86%	85%

Tabel 4.10 Pemantauan Nilai CBR KM 42+200 dan KM 41+000

Lokasi	Sebelum Perbaikan <i>Geocell</i> H-3	Setelah Perbaikan <i>Geocell</i> M+0	Setelah Perbaikan <i>Geocell</i> M+1	Setelah Perbaikan <i>Geocell</i> M+2
Tanggal	22/07/2023	25/07/2023	25/08/2023	20/09/2023
<i>Geocell</i> (KM 42+200) Muatan	28%	84%	84%	83%
<i>Geocell</i> (KM 42+200) Kosongan	84%	86%	86%	85%
<i>Geopoll</i> (KM 41+000) Muatan	48%	84%	78%	83%



Gambar 4.17 Tipikal *Design* Jalan *Hauling* PT. Maruwai Coal

4.3.3. Dokumentasi Visual

Dokumentasi visual dilakukan untuk mendukung analisis hasil penelitian. Foto kondisi jalan sebelum dan sesudah penerapan material menunjukkan perbedaan signifikan dalam stabilitas dan kualitas permukaan jalan.



Gambar 4.18 Dokumentasi Visual sebelum dan sesudah pekerjaan

4.3.4. Pembuatan Standarisasi Sistem dengan Aplikasi *Road Maintenance*

Pembuatan standarisasi sistem dengan menggunakan aplikasi *Road Maintenance* bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan pemeliharaan jalan *hauling* di PT Maruwai Coal. Aplikasi ini dirancang untuk memberikan solusi berbasis data dalam merencanakan, melaksanakan, dan memantau pemeliharaan jalan secara sistematis.

A. Fitur utama aplikasi

- Pencatatan Kondisi Jalan

Sistem mampu mencatat parameter kondisi jalan seperti (*Coal Hauling Road Index*) CHRI, deformasi, dan erosi secara *real-time*.

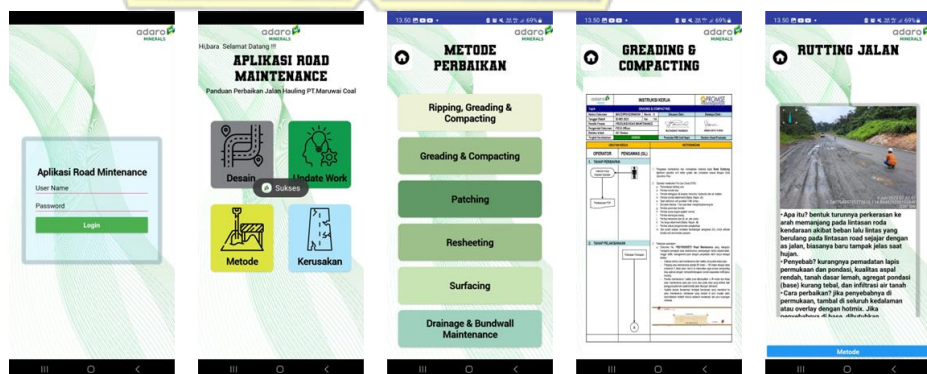
- Perencanaan Pemeliharaan
Aplikasi menyediakan modul untuk mengidentifikasi prioritas perbaikan berdasarkan tingkat kerusakan jalan.
- Pemantauan Kinerja
Integrasi data *standard* prosedur kerja, aplikasi memungkinkan evaluasi efektivitas perbaikan yang telah dilakukan.

B. Manfaat implementasi

- Efisiensi Operasional
Mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk pengambilan keputusan terkait pemeliharaan jalan.
- Transparansi Data
Semua aktivitas pemeliharaan terdokumentasi dengan baik, sehingga mempermudah evaluasi dan audit.
- Optimalisasi Biaya
Perencanaan yang lebih baik mengurangi risiko biaya berlebih akibat perbaikan yang tidak terencana.

C. Relevansi dengan Penelitian

Standarisasi melalui aplikasi ini sejalan dengan temuan penelitian yang menyoroti pentingnya pemantauan kondisi jalan secara terus-menerus untuk mendukung keberlanjutan kualitas jalan *hauling*. Dengan data dari aplikasi, efektivitas penggunaan *Geocell* dan *Geopoll* dapat dipantau secara lebih akurat dan menghasilkan rekomendasi kebijakan pemeliharaan yang optimal.



Gambar 4.19 Tampilan Aplikasi *Road Maintenance*

4.3.5. Biaya perbaikan

4.3.5.1. Metode Patching

	CBR Lapangan	Tebal Minimal	Material
Chipseal	Mengacu ke desain / TS Chipseal		
Base	Min. 95%	20 cm	Base A
Sub base	Min. 60%	40 cm	Min. Base B atau sesuai dengan target nilai CBR
Sub grade	Min. 11%	100 cm	Sesuai dengan target nilai CBR

Gambar 4.20 Standart Perencanaan Perbaikan

a) Luasan area kerja

Panjang x lebar area = 10.5 m x 9 m = 92.4 m²

Ketebalan = 0.10 m

b) Biaya Material

Material	Jumlah	Satuan	Harga (Rupiah)
Borrow (ketebalan 0,2m)	20,328	m3	1.910.832
Gravel (Ketebalan 0,45m)	45,738	m3	39.792.060
Total			41.702.892

c) Biaya Instalasi

Alat	Jumlah	Durasi (jam)	Harga Sewa/Jam	Total
Exca	1	3	486.000	1.458.000
Grader	1	1	871.000	871.000
Compact	1	1	427.500	427.500
DumpTruck	2	2	583.500	2.334.000
Total				5.090.500

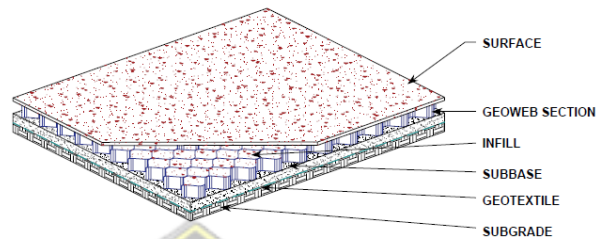
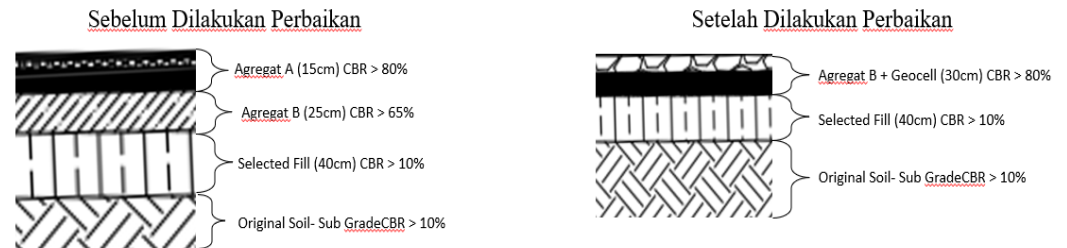
d) Biaya Perawatan

Alat	Jumlah	Durasi (jam)	Harga Sewa/Jam	Total
Grader	1	1	871.000	871.000
Compact	1	1	427.500	427.500
Total				2.597.000

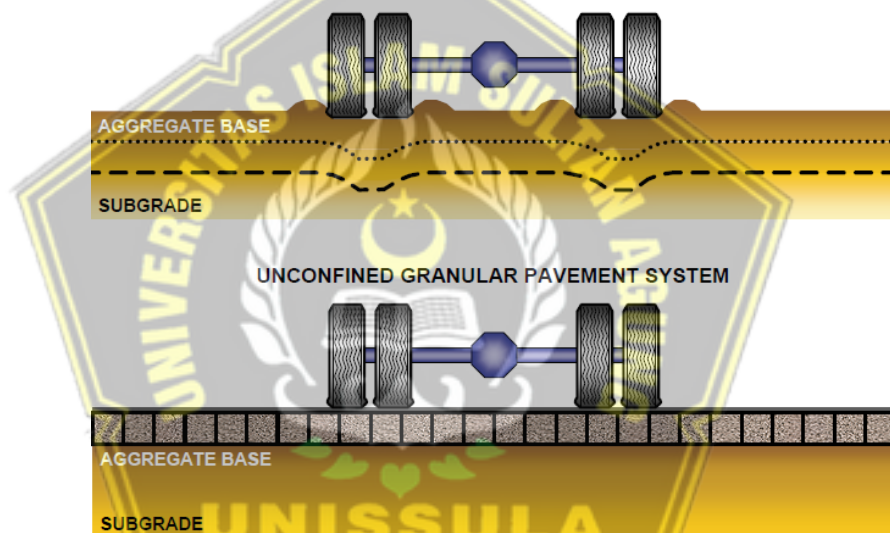
e) Total Biaya dengan metode Patching :

- Area dengan *grade* jalan < 3% atau area datar sebesar **Rp. 54.584.392** (dengan hasil pemantauan selama 1 bulan pada area ini memiliki umur 5 minggu “*Good performance*” dan 3 minggu “*poor*” sehingga perlu dilakukan perbaikan 2 kali)
- Area dengan *grade* jalan < 3% atau area datar sebesar **Rp. 62.375.392** (dengan hasil pemantauan selama 1 bulan pada area ini memiliki umur 3 minggu “*Good performance*” dan 5 minggu “*poor*” sehingga perlu dilakukan perbaikan 5 kali)

4.3.5.2. Metode Geocell



Gambar 4.21 Desain Struktur Metode Geocell



Gambar 4.22 Ilustrasi Pekerjaan dengan Metode Geocell

a) Luasan area kerja

$$\text{Panjang x lebar area} = 10.5 \text{ m} \times 9 \text{ m} = 92.4 \text{ m}^2$$

$$\text{Ketebalan} = 0.10 \text{ m}$$

b) Biaya Material

Material	Jumlah	Satuan	Harga
Geocell	96	m2	5.280.000
Geotextile	96	m2	4.320.000
Gravel (Ketebalan 0,3m)	30,492	m3	26.528.040
Total			36.128.040

c) Biaya Instalasi

Alat	Jumlah	Durasi (jam)	Harga Sewa / Jam	Total
Exca	1	5	486.000	2.430.000
Grader	1	2	871.000	1.742.000
Compact	1	2	427.500	855.000
Dump Truck	2	2	583.500	2.334.000
			Total	7.361.000

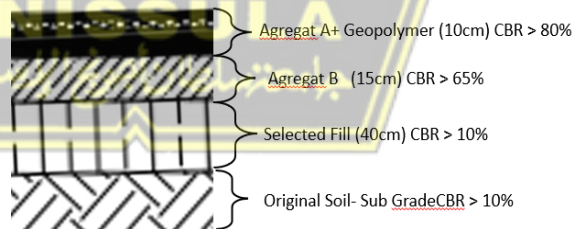
d) Biaya Perawatan

Alat	Jumlah	Durasi (jam)	Harga Sewa/Jam	Total
Grader	1	1	871.000	871.000
Compact	1	1	427.500	427.500
			Total	2.597.000

e) Total Biaya dengan metode *Geocell* :

- Area dengan *grade* jalan < 3% atau area datar sebesar **Rp. 46.086.040** (dengan hasil pemantauan selama 1 bulan pada area ini memiliki umur 8 minggu “*Good performance*” dan 0 minggu “*poor*” sehingga perlu dilakukan perbaikan 1 kali/8minggu)
- Area dengan *grade* jalan < 3% atau area datar sebesar **Rp. 48.683.040** (dengan hasil pemantauan selama 1 bulan pada area ini memiliki umur 8 minggu “*Good performance*” dan 0 minggu “*poor*” sehingga perlu dilakukan perbaikan 2 kali/8 minggu)

4.3.5.3. Metode Geopoll



Gambar 4.23 Desain Struktur Metode Geopoll

a) Luasan area kerja

Panjang x lebar area = 10.5 m x 9 m = 92.4 m²

Ketebalan = 0.10 m

b) Biaya Material

Material	Jumlah	Satuan	Harga
Borrow (ketebalan 0,2m)	20,328	m3	1.910.832
Geopolymer	14	Liter	2.240.000
Gravel (Ketebalan 0,35m)	35,574	m3	30.949.380
		Total	35.100.212

c) Biaya Instalasi

Alat	Jumlah	Durasi (jam)	Harga Sewa / Jam	Total
Exca	1	3	486.000	1.458.000
Grader	1	2	871.000	1.742.000
Compact	1	2	427.500	855.000
LV	1	3	95.000	285.000
Dump Truck	2	2	583.500	2.334.000
			Total	6.674.000

d) Biaya Perawatan

Alat	Jumlah	Durasi (jam)	Harga Sewa/Jam	Total
Grader	1	1	871.000	871.000
Compact	1	1	427.500	427.500
			Total	2.597.000

e) Total Biaya dengan metode *Geopoll* :

- Area dengan *grade* jalan < 3% atau area datar sebesar **Rp. 44.371.212** (dengan hasil pemantauan selama 1 bulan pada area ini memiliki umur 8 minggu “*Good performance*” dan 0 minggu “*poor*” sehingga perlu dilakukan perbaikan 1 kali/8 minggu)
- Area dengan *grade* jalan < 3% atau area datar sebesar **Rp. 52.162.212** (dengan hasil pemantauan selama 1 bulan pada area ini memiliki umur 4 minggu “*Good performance*” dan 4 minggu “*poor*” sehingga perlu dilakukan perbaikan 4 kali/8 minggu)

4.4. Pembahasan

Pembahasan dalam bab ini mencakup analisis hasil penelitian terkait penerapan *Geocell* dan *Geopoll* pada jalan *hauling*, serta dampaknya terhadap kualitas jalan, efisiensi operasional, biaya, dan produktivitas tambang. Berdasarkan data yang dikumpulkan, berbagai parameter seperti (*Coal Hauling Road Index*) CHRI, deformasi, dan daya dukung tanah menunjukkan peningkatan yang signifikan setelah implementasi kedua material ini.

4.4.1. Faktor Pendukung dan Kendala

Faktor-faktor yang mendukung keberhasilan penelitian ini meliputi pemilihan material yang sesuai dengan karakteristik tanah, serta metode pemasangan yang dilakukan secara profesional. Namun, kendala seperti kondisi cuaca dan akses lokasi yang sulit menjadi tantangan utama selama penelitian.

4.4.2. Hubungan dengan Studi Terdahulu

Penelitian ini sejalan dengan temuan Sukmana et al. (2018) dan Wijaya et al. (2020) yang menunjukkan bahwa *Geocell* efektif dalam memperbaiki kualitas jalan pada tanah lunak. *Geopoll*, seperti yang didiskusikan oleh Nugroho et al. (2021), juga memberikan kontribusi yang signifikan, terutama pada lokasi dengan kadar air tinggi.

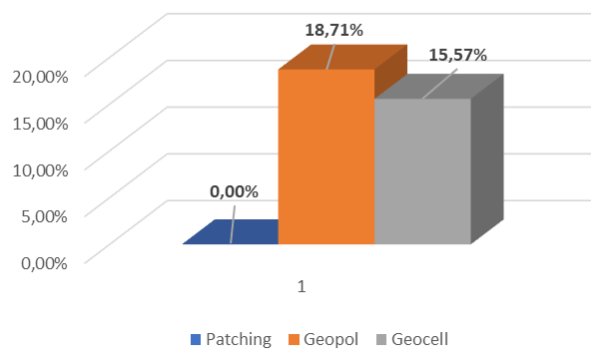
4.4.3. Efisiensi Operasional dan Biaya

Penerapan *Geocell* dan *Geopoll* tidak hanya meningkatkan kualitas jalan *hauling*, tetapi juga memberikan dampak positif terhadap efisiensi operasional. Dengan berkurangnya deformasi dan erosi, frekuensi perbaikan jalan dapat diminimalkan, sehingga mengurangi biaya pemeliharaan jangka panjang.

Tabel 4.11 Biaya Pekerjaan Pada Area Datar (kemiringan Jalan <3%)

	Biaya Material	Biaya Alat	Biaya Instalasi	Biaya Perawatan	Total	Umur Jalan	Cost Reduce (%)
Patching	Rp 41.702.892	Rp 5.090.500	Rp 46.793.392	Rp 7.791.000	Rp 54.584.392	5 Minggu	0%
Geopoll	Rp 35.100.212	Rp 6.674.000	Rp 41.774.212	Rp 2.597.000	Rp 44.371.212	8 Minggu	18,71%
Geocell	Rp 36.128.040	Rp 7.361.000	Rp 43.489.040	Rp 2.597.000	Rp 46.086.040	8 Minggu	15,57%

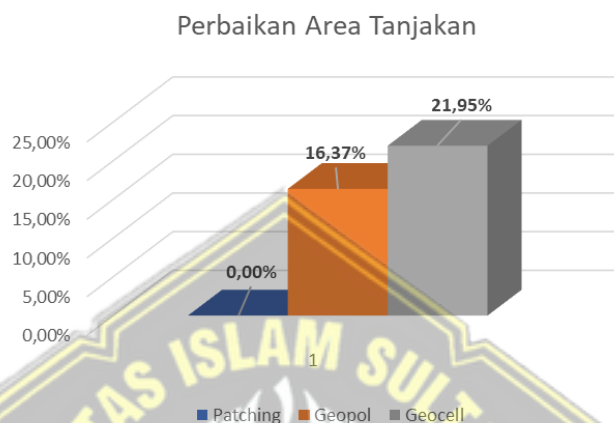
Perbaikan Area Datar



Gambar 4.24 Data Grafik *Cost Reduce %* Area Datar (kemiringan Jalan <3%)

Tabel 4.12 Biaya Pekerjaan Pada Area Tanjakan (Kemiringan Jalan >3%)

	Biaya Material	Biaya Alat	Biaya Instalasi	Biaya Perawatan	Total	Umur Jalan	Cost Reduce (%)
Patching	Rp 41.702.892	Rp 5.090.500	Rp 46.793.392	Rp 15.582.000	Rp 62.375.392	3 Minggu	0%
Geopoll	Rp 35.100.212	Rp 6.674.000	Rp 41.774.212	Rp 10.388.000	Rp 52.162.212	4 Minggu	16,37%
Geocell	Rp 36.128.040	Rp 7.361.000	Rp 43.489.040	Rp 5.194.000	Rp 48.683.040	8 Minggu	21,95%

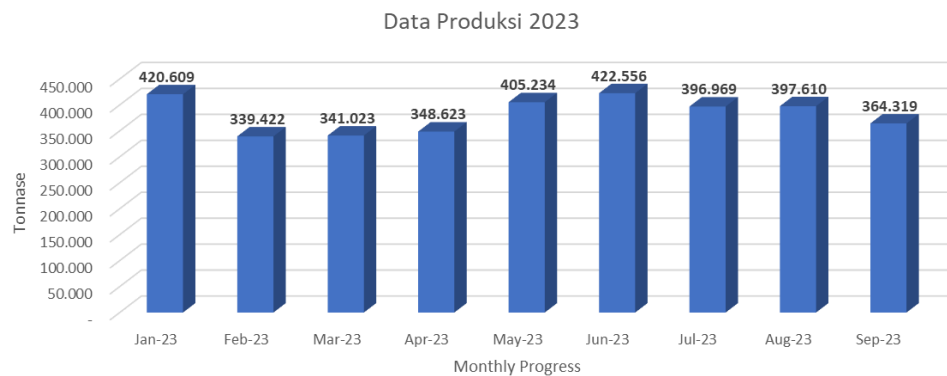


Gambar 4.25 Data Grafik *Cost Reduce %* Area Tanjakan (Kemiringan Jalan >3%)

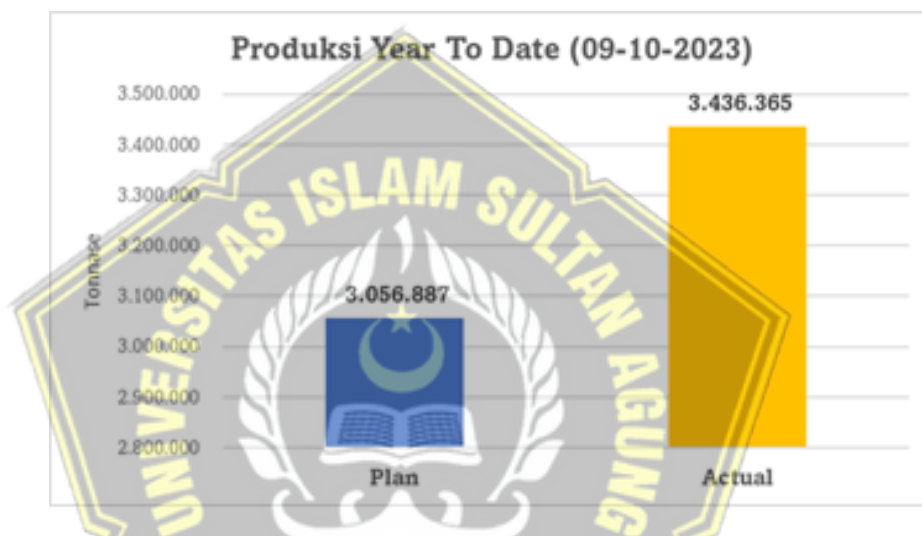
Selain itu, jalan yang lebih stabil mendukung peningkatan produksi melalui pengurangan waktu tempuh *hauling*, memungkinkan kendaraan berat mengangkut material dengan lebih efisien dan aman. Pada penelitian ini berdampak positif kepada meningkatnya nilai produksi batubara di PT. Maruwai Coal.

Tabel 4.13 Waktu Tempuh Pada Segmen 4

Waktu Tempuh Pada Segmen 4 (KM 38 – KM 53)		
Deskripsi	Sebelum	Sesudah
Rata – rata Waktu Tempuh (Menit)	24.8	22.5
Rata – rata Kecepatan (Km/Jam)	35.08	38.66



Gambar 4.26 Data Grafik Peningkatan Produksi



Gambar 4.27 Data Grafik Produksi (Year to Date)

4.4.4. Efek Penerapan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Geocell* memiliki keunggulan lebih besar dibandingkan *Geopoll* dalam meningkatkan stabilitas jalan hauling. Struktur *Geocell* mampu mendistribusikan beban kendaraan berat secara merata, sehingga mengurangi deformasi dan meningkatkan nilai *Coal Hauling Road Index* (CHRI). *Geopoll*, meskipun kurang unggul dibandingkan *Geocell*, tetap memberikan kontribusi positif melalui stabilisasi kimia yang meningkatkan daya dukung tanah.

4.4.5. Peran Sumber Daya Manusia dalam Operasionalisasi Teknologi Baru

Implementasi teknologi baru seperti *Geocell* dan *Geopoll* tidak hanya bergantung pada material, tetapi juga pada kesiapan sumber daya manusia (SDM) yang terlibat dalam operasionalisasi. Dalam penelitian

ini, peran SDM mencakup keterampilan teknis, manajerial, dan adaptasi terhadap perubahan sistem.

a) Keterampilan Teknis

- Penerapan *Geocell* dan *Geopoll* memerlukan pemahaman teknis yang baik, mulai dari persiapan material hingga instalasi di lapangan.
- Berdasarkan wawancara dengan tim teknis, sebagian besar pekerja telah mendapatkan pelatihan dasar tentang penggunaan material baru, meskipun ada kebutuhan pelatihan tambahan untuk mengoptimalkan efektivitas teknologi ini.

b) Keterampilan Manajerial

- Manajemen perawatan jalan *hauling* menjadi lebih terarah dengan adanya aplikasi *Road Maintenance*, yang memungkinkan pemantauan kondisi jalan secara *real-time*.
- Tim manajemen membutuhkan keterampilan analisis data untuk memanfaatkan aplikasi ini secara optimal, termasuk merencanakan perawatan berdasarkan prioritas kerusakan.

c) Tantangan dan Strategi Mitigasi

- Tantangannya ialah adopsi teknologi baru seringkali menemui hambatan, seperti resistensi terhadap perubahan dan keterbatasan pengetahuan awal tentang teknologi.
- Strategi Mitigasi ialah pelatihan berkelanjutan, pendampingan teknis di lapangan, dan pengembangan modul pelatihan yang terintegrasi dengan sistem aplikasi *Road Maintenance* diusulkan sebagai langkah mitigasi.

4.5. Implikasi Penelitian

Penelitian ini memberikan implikasi penting bagi pengelolaan jalan *hauling* di sektor pertambangan:

- Praktis

Penerapan *Geocell* direkomendasikan untuk segmen jalan *hauling* dengan deformasi tinggi seperti area tanjakan dan turunan, sedangkan

Geopoll cocok untuk stabilisasi kimia pada lokasi dengan anggaran terbatas seperti area yang rata.

- Akademis

Penelitian ini memperkaya literatur tentang penggunaan material geosintetik untuk perbaikan jalan hauling.

Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya meliputi evaluasi kombinasi penggunaan *Geocell* dan *Geopoll*, serta penerapan material ini pada berbagai jenis tanah lainnya.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan pada Segmen 4 (KM 39–KM 52) jalan *hauling* di PT. Maruwai Coal, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

5.1.1. Menganalisis Faktor-Faktor yang Berpengaruh terhadap Peningkatan Nilai *Coal Hauling Road Index (CHRI)*

- a. Faktor material, dimana penerapan penerapan *Geocell* di area tanjakan atau turunan dengan kemiringan lebih dari 3% mampu mendistribusikan beban kendaraan *hauling* secara merata, sehingga meningkatkan nilai CHRI dari 83% menjadi 91.23%. Sementara itu, *Geopoll* memberikan stabilisasi kimia pada area datar, meningkatkan nilai CHRI hingga 89.75%.
- b. Faktor Lingkungan, dimana kondisi tanah dasar yang lemah dan curah hujan tinggi memengaruhi efektivitas stabilisasi. Implementasi *Geocell* dan *Geopoll* secara strategis berdasarkan topografi mampu mengurangi dampak negatif lingkungan terhadap kualitas jalan.
- c. Faktor Operasional, dimana frekuensi pemeliharaan yang lebih rendah dan perencanaan berbasis data melalui aplikasi *Road Maintenance* mendukung pengelolaan jalan yang lebih baik, sehingga nilai CHRI dapat dipertahankan di atas standar operasional.

5.1.2. Mengevaluasi efektivitas dan efesiensi biaya operasional dalam penerapan *Geocell* dan *Geopoll* untuk meningkatkan kualitas jalan *hauling*

- a. *Geocell* terbukti efektif untuk meningkatkan kualitas jalan *hauling* di area tanjakan atau turunan dengan kemiringan lebih dari 3%, meningkatkan nilai Nilai *Coal Hauling Road Index (CHRI)* dari

83% menjadi 91.23%. Stabilitas jalan hauling di area ini juga memberikan kontribusi pada umur jalan yang lebih lama.

b. *Geopoll* menunjukkan hasil terbaik di area datar dengan kemiringan kurang dari 3%, dengan peningkatan nilai Nilai *Coal Hauling Road Index* (CHRI) hingga 89.75%. Efek stabilisasi kimia material ini memberikan ketahanan tambahan pada jalan hauling.

c. *Evaluasi biaya*

- Penggunaan *Geocell* dan *Geopoll* terbukti mampu mengurangi frekuensi pemeliharaan jalan *hauling* dari rata-rata 3-5 kali per bulan menjadi hanya 1-2 kali per bulan, sehingga menurunkan biaya pemeliharaan hingga 18.71–21.95%. Hal ini memberikan keuntungan untuk Perusahaan menghemat pengeluaran pada *cost road maintenance*.
- Stabilitas jalan yang lebih baik mendukung efisiensi operasional *hauling*, dengan peningkatan produktivitas akibat pengurangan waktu tempuh. Sebelumnya rata – rata ritase 1,8 *Dump Truck/ Shift* menjadi 2 *Dump Truck/ Shift* dengan penambahan 26.19% dari rencana Produksi sebelumnya. Hal ini memberikan keuntungan perusahaan pada produksi sebesar \$21.552.336 atau sebesar Rp 323.285.040.000.

5.1.3. Mengidentifikasi Peran Sumber Daya Manusia dalam Operasionalisasi Teknologi Baru

a. Keterampilan Teknis

Implementasi teknologi *Geocell* dan *Geopoll* memerlukan peningkatan keterampilan teknis bagi tim pelaksana, khususnya dalam instalasi material dan pemeliharaan jalan. Pelatihan dan pendampingan lapangan memainkan peran penting dalam memastikan keberhasilan teknologi ini.

b. Manajerial

Penerapan aplikasi *Road Maintenance* mendukung manajemen pemeliharaan yang lebih efisien, namun memerlukan pelatihan

tambahan bagi tim manajerial untuk memaksimalkan analisis data dari aplikasi tersebut.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh, disarankan langkah-langkah berikut untuk optimalisasi penggunaan material dan sistem pemeliharaan jalan *hauling*:

5.2.1. Implementasi Material secara Strategis

Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menerapkan penggunaan *Geocell* dan *Geopoll* di area jalan *hauling* yang lebih luas dengan kondisi tanah yang bervariasi. Hal ini dapat membantu untuk menilai efektivitas material ini pada kondisi yang berbeda, seperti pada jalan yang lebih sering terkena beban berat atau cuaca ekstrem.

5.2.2. Pengembangan Aplikasi *Road Maintenance*

Sistem aplikasi yang telah diuji perlu terus dikembangkan, dengan menambahkan fitur-fitur seperti prediksi kerusakan berdasarkan data historis dan integrasi dengan sistem operasional tambang.

5.2.3. Pemantauan dan Evaluasi Berkelanjutan

Diperlukan evaluasi berkala terhadap efektivitas material yang digunakan, serta penyesuaian metode perbaikan berdasarkan hasil pemantauan lapangan.

5.2.4. Pengkajian Lanjutan

Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi efisiensi jangka panjang dari *Geocell* dan *Geopoll*, termasuk dampaknya terhadap lingkungan dan biaya operasional dalam skala lebih besar.

5.2.5. Pengembangan Kompetensi Sumber Daya Manusia

Penelitian lebih lanjut disarankan untuk mengadakan pelatihan intensif terkait penerapan *Geocell* dan *Geopoll*, serta pemanfaatan aplikasi *Road Maintenance* untuk memastikan keberhasilan operasional teknologi baru ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Atkinson, T., *Design and Layout of Haul Roads, SME Mining Engineering Handbook. 2nd Edition, Littleton, CO : SME 1992.*
- Bayraktar, O. Y. (2020). *Use of geosynthetics in road construction.* KUJES, 6(2), 107–113. (<https://www.researchgate.net/publication/347843679>).
- Bergado, D.T., Sun, H., dan Zhang, L. (2020). *Innovative approaches in road construction using geosynthetics.* *Geotechnical Research*, 38(5), 321-328.
- Bhange, N. A., & Nandagawali, P. R. (2020). *Use of geocell in road construction.* *Journal of Analysis and Computation (JAC). Proceedings of the National E-conference on "Research & Innovation, 2020".* (Retrieved from <http://www.ijaonline.com>).
- Bhatia, S.K., Dash, S.K., dan Rajagopal, K. (2018). *Field performance of geocell reinforced unpaved roads over soft soil.* *Geotextiles and Geomembranes*, 46(1), 68-78.
- Biswas, A., dan Krishna, A. M. (2017). *Geocell-Reinforced Foundation Systems: A Critical Review.* *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 3(2), 1–18. (<https://doi.org/10.1007/s40891-017-0093-7>).
- Cuelho, E. V., dan Perkins, S. W. (2017). *Geosynthetic subgrade stabilization – field testing and design method calibration.* *Transportation Geotechnics*, 10, 22–34. (<https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2016.10.002>).
- Dash, S.K., Bhattacharya, A., dan Rajagopal, K. (2016). *Comparative study on geocell and geotextile reinforced roads.* *Geosynthetics International*, 23(4), 278-288.
- Departemen Pekerjaan Umum, dan Direktorat Jenderal Bina Marga.(2009). *Pedoman No. 003/BM/2009 Perencanaan dan Pelaksanaan perkuatan tanah dengan geosintetik.*
- Fitriani, E. N., dan Ashadi, R. F. (2023). *Penanggulangan longsoran dengan menggunakan geocell.* *Jurnal Konstruksia*, 15(1), 137–144. (<https://doi.org/10.24853/jk.15.1.137-144>).
- Gupta, R., Pokharel, S.K., dan Han, J. (2021). *Sustainability assessment of geocell reinforced pavements.* *Journal of Cleaner Production*, 312, 127572.
- Han, J., Thakur, J. K., Parsons, R. L., Pokharel, S. K., Leshchinsky, D., dan Yang, X. (2013). *A summary of research on geocell-reinforced base courses.* *Design and Practice of Geosynthetic-Reinforced Soil Structures*, July 2015, 331–340. (<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4185.7129>).
- Han, J., Zhang, L., dan Pokharel, S.K. (2022). *Geocell-reinforced pavement: A review of current practices and future prospects.* *Journal of Civil Engineering*, 44(3), 654-661.

- Harahap, D., Setiawan, B., dan Manurung, H. (2019). Penggunaan *geocell* untuk meningkatkan kualitas perkerasan jalan di Papua. *Jurnal Teknik Geoteknik*, 5(2), 45-52.
- Herdiansyah, S., Zaenal, dan Iswandar. (2022). Kajian Teknis Geometri Jalan Tambang untuk Mengurangi Dampak *Slippery* sebagai Upaya Meningkatkan Produksi Nikel PT ANTAM (Persero) Tbk di Kecamatan Maba, Kabupaten Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara. *Bandung Conference Series: Mining Engineering*, 2(2), 441–447. (<https://doi.org/10.29313/bcsme.v2i2.4018>)
- Ibrahim, Hasan, A., & Yuniar. (2013). *Stabilisasi tanah lempung dengan bahan kimia asam fosfat sebagai lapisan fondasi jalan*. *PILAR*, 8(1). Retrieved from (<https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/pilar/article/view/416>).
- Keputusan Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral Republik Indonesia No. 1827 K/30/MEM/2018 Tentang “Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik”.
- Kodikara, J., Islam, T., dan Sounthararajah, A. (2018). *Review of soil compaction: History and recent developments*. *Transportation Geotechnics*, 17(September), 24–34. (<https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2018.09.006>)
- Leshchinsky, B., dan Ling, H. (2013). *Effects of Geocell Confinement on Strength and Deformation Behavior of Gravel*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139(2), ([https://doi.org/10.1061/\(asce\)gt.1943-5606.0000757](https://doi.org/10.1061/(asce)gt.1943-5606.0000757))
- Liu, H., Han, J., dan Zhang, L. (2019). *Field study on the use of geocell for road base reinforcement in mining areas*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 145(8), 04019042.
- Masushita Builders. (2022). *Produk Masushita Builders*. Kantor pusat: Bandung, Indonesia. Diakses dari <https://masushitabuilders.com/produk-masushita-builders.html#/>
- Moghaddas Tafreshi, S.N., Dawson, A.R., dan Rahmanzadeh, M. (2020). *Cost-benefit analysis of geocell application in road construction*. *Construction and Building Materials*, 230, 116998.
- Musdalifah. (2021). Analisis deformasi tanah lempung dengan perkuatan model konfigurasi *bucket geogrid*. *ILTEK: Jurnal Teknologi*, 16(2). (<https://doi.org/10.47398/iltek.v16i2.639>)
- Pokharel, S.K., Han, J., dan Parsons, R.L. (2017). *Performance evaluation of geocell-reinforced road bases under traffic loading*. *Journal of Transportation Engineering*, 143(7), 04017029.
- Rajagopal, K., Pokharel, S.K., dan Moghaddas Tafreshi, S.N. (2019). *Utilization of geocell reinforcement in flexible pavement over weak subgrade*. *International Journal of Pavement Engineering*, 14(4), 487-495.

- Ramesh, A., Nageshwar Rao, C., dan Kumar, M. (2019). *Experimental study on geocell and of fibre reinforced soil sub-grade under static and repetitive load*. In *Lecture Notes in Civil Engineering* (Vol. 29). Springer Singapore. (https://doi.org/10.1007/978-981-13-6713-7_11)
- Santoso, E., Sukmana, D., dan Wijaya, R. (2020). Evaluasi penggunaan geocell pada proyek infrastruktur jalan di Bali. *Jurnal Pembangunan Infrastruktur*, 15(3), 67-75
- Sidabutar, G. (2019). Metodologi Perancangan Jalan Angkut Batubara Dari Aspek Sipil Dan Manajemen Keselamatan Di Pt Lahai Coal. *Prosiding Temu Profesi Tahunan PERHAPI*, 1(1), 61–74. (<https://doi.org/10.36986/ptptp.v0i0.6>)
- Sirait, B. (2021). *Pavement Design of Coal Mine Hauling Road in Indonesia using California Bearing Ratio (CBR) data*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 789(1). (<https://doi.org/10.1088/1755-1315/789/1/012075>)
- Siregar, T., Nugroho, A., dan Rahmawati, L. (2021). Penggunaan geocell dalam pengembangan jalan di lahan gambut di Riau. *Jurnal Rekayasa Tanah dan Air*, 14(2), 88-95.
- Suhendik, A. A., Oktaviani, R., dan Trides, T. (2022). Studi Perbaikan Perkerasan Lapis Jalan Tambang dengan Nilai CBR dan DCP. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 75–83. (<https://doi.org/10.29313/jrtp.v2i1.1019>)
- Sunarjono, S., Riyanto, A., Harnaeni, S. R., dan Harijanto, S. (2021). Perbaikan struktur perkerasan jalan dengan menggunakan geotekstil (studi kasus ruas jalan Caruban – Ngawi KM 158+600 sampai 160+600). *Simposium Nasional RAPI XX – 2021, FT UMS*.
- Suryolelono, K. B., 2000, *Geosintetik Geoteknik*, Edisi 1, Cetakan 1, Navitri, Yogyakarta.
- Suwandhi, A. (2004). *Perencanaan jalan tambang*, (1-25). Diktat Perencanaan Tambang Terbuka. Unisba.
- Tampubolon, E., dan Dwito., AH. (2023). *Optimization of effective working hours for coal transportation from ROM to Port : Study at PT. Maruwai Coal Central Kalimantan*. (<https://doi.org/10.1051/bioconf/20248906002>)
- Tutumluer, E., Kang, M., dan Qamhia, I. I. A. (2024). *Geosynthetic stabilization of road pavements, railroads, and airfields*. *Transportation Geotechnics*. (<https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2024.101321>)
- Waheed, A., Arshid, M. U., Khalid, R. A., dan Gardezi, S. S. S. (2021). *Soil improvement using waste marble dust for sustainable development*. *Civil Engineering Journal*, 7(9). (<https://doi.org/10.28991/cej-2021-03091746>)
- Wijaya, H., Sentosa, G. S., Marcellia, T. A., Prihatiningsih, A., dan Putra, R. (2023). Penggunaan geocell untuk stabilisasi dan perlindungan erosi pada

- lereng. JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil, 6(4), 1095–1102.
(<https://doi.org/10.24912/jmts.v6i4.27066>)
- Wijaya, R., Rahmawati, L., dan Setiawan, B. (2020). Analisis kinerja geocell pada jalan tambang batubara di Kalimantan Selatan. Jurnal Infrastruktur Indonesia, 9(3), 58-65.
- Wilis, S. M. P., et al. (2024). Analisis nilai CBR sebagai parameter kritis untuk perencanaan jalan raya. Jurnal Riset Rekayasa Sipil Universitas Sebelas Maret, 7(2). ISSN 2579-7999. Retrieved from
(<https://jurnal.uns.ac.id/jrrs/article/view/85903/44915>)
- Yudhistira, A., Nugroho, A., dan Harahap, D. (2019). Efektivitas penggunaan geocell dalam perbaikan tanah lunak di Kalimantan Timur. Jurnal Geoteknik Indonesia, 7(1), 33-40.
- Yuniar, D., Djakfar, L., Wicaksono, A., dan Efendi, A. (2020). *Travel time optimization of coal-hauling based on special road topography and environment. Journal of Green Engineering*, 10(10), 9789–9800.
- Zhang, L., Sun, H., dan Gupta, R. (2017). *Influence of geocell type on pavement performance and longevity. International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 3(2), 10-15.

