

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

INAGARA
BANGUN UPN

JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN FTM-UPN "VETERAN" YOGYAKARTA

Jl. Padjajaran 104 (Lingkar Utara) Condong Catur Yogyakarta, Telp. 0274-486701 Fax 486702

JURNAL

Teknologi Pertambangan

DAFTAR ISI

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

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

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

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

RANCANGAN JALAN TAMBANG PADA PENAMBANGAN BATU ANDESIT DI KECAMATAN KOKAP, KULON PROGO, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

Bagus Wiyono, Tedy Agung Cahyadi, Barlian Dwinagara, Hartono & Muhammad Faiz Safaat

¹Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta
Afiliasi/Institusi Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta,
Jl. Padjajaran, Condongcatur, Yogyakarta 55283 Indonesia
Email : faiz.safaat@gmail.com

ABSTRACT

One of the requirements for mining activities can work well is needed a good road condition. This study aims to determine the pavement structure of the mine haul road and made geometry design of the mine hauling road. Then the pavement structure is analyzed using by finite element method. Based on the research in the field, the results of Dynamic Cone Penetrometer (DCP) with the lowest California Bearing Ratio (CBR) is 1.10% and the largest is 5.27% that did not suitable to be a subgrade layer, then carried out land removal of 641.52 m³. After removal produces a grade greater than 12% in the E-F segment and the L-M segment. To overcome the existing grade problem, it is carried out by adding 692.44 m³ of material or excavation 368.52 m³ of material to reduce the grade. The weight of the truck is 23.64 tons and the traffic volume is 25.99 vehicles/day, which can be categorized in 3rd category with a maximum vertical strain of 2500 microstrains. With a CBR subgrade layer 97.34% produces a vertical strain of 1004 microstrains in the A-A' cross section and 995 microstrains in the B-B' cross section. The road surface is constructed using rock fragments that have a CBR value is 80 % with an abrasive value of breccia stones is 29.5%. Based on the calculation using the dump truck Toyota Dyna 130HT with a width of 1.94 m, the minimum road width requirement is 3.89 m for straight roads and 4.69 m for curve. After the width of the curves, is needed for making superelevation with 9.88 m curve. Cross fall is made with a different elevation is 8 cm of straight road and 11 cm of curve road. The difference of elevation is 20 m and the maximum grade of 12% requires the length of the ramp 166.67 m with a safety berm of 0.39 m.

ABSTRAK

Salah satu syarat agar kegiatan penambangan dapat berjalan dengan baik yaitu dibutuhkan kondisi jalan yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan struktur perkerasan jalan angkut tambang dan membuat rancangan geometri jalan angkut tambang. Kemudian struktur perkerasan di analisis menggunakan metode elemen hingga. Berdasarkan penelitian dilapangan, didapatkan hasil *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) dengan nilai *California Bearing Ratio* (CBR) terkecil 1,10 % dan terbesar 5,27% yang tidak memenuhi untuk menjadi lapisan *subgrade*, maka dilakukan pemindahan tanah sebanyak 641,52 m³. Setelah pemindahan menghasilkan *grade* lebih besar dari 12% pada segmen E-F dan segmen L-M. Untuk mengatasi masalah *grade* yang ada, dilakukan dengan cara menambahkan material 692,44 m³ atau membongkar material 368,52 m³ untuk memperkecil *grade*. Berat truk 23,64 ton dan kepadatan lalu-lintas 25,99 kendaraan/hari maka dapat dikategorikan dalam kategori 3 dengan regangan vertikal maksimum 2500 *microstrain*. Dengan lapisan *subgrade* CBR 97,34% menghasilkan regangan vertikal sebesar 1004 *microstrain* pada sayatan A-A' dan 995 *microstrain* pada sayatan B-B'. Permukaan jalan dikonstruksi memakai pecahan batuan yang mempunyai nilai CBR 80% dengan nilai abrasivitas batu breksi 29,5%. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan *dump truck* Toyota Dyna 130HT dengan lebar 1,94 m, syarat lebar jalan minimum 3,89 m untuk jalan lurus dan 4,69 m untuk tikungan. Setelah lebar jalan tikungan, perlu dibuat *superelevasi* 0,136 m/m dengan jari-jari tikungan 9,88 m. *Cross fall* dibuat dengan perbedaan elevasi jalan lurus 8 cm dan jalan tikungan 11 cm. Perbedaan tinggi jenjang 20 m dan *grade* maksimal 12% diperlukan panjang jalan naik 166,67 m dengan tanggul pengaman 0,39 m.

I. PENDAHULUAN

Alat angkut tambang umumnya berdimensi lebih lebar, panjang dan lebih berat dibanding kendaraan angkut yang bergerak di jalan raya. Oleh sebab itu, geometri jalan harus sesuai dengan dimensi alat angkut yang digunakan agar alat angkut tersebut dapat bergerak leluasa pada kecepatan normal dan aman (Suwandhi, 2004).

Menurut Thompson (2015), desain struktural jalan angkut menyangkut kemampuan jalan untuk membawa muatan yang dikenakan tanpa perlu untuk pemeliharaan atau rehabilitasi yang berlebihan.

Metode desain struktural CBR yang dikembangkan oleh Kaufman dan Ault (1977) telah banyak diterapkan pada desain jalan angkut dimana bahan yang tidak diolah digunakan berdasarkan dari pengujian penetrasi CBR. Sedangkan menggunakan metode desain mekanistik, spesifikasi ketebalan lapisan dan pematatan adalah berdasarkan pembatasan regangan yang diinduksi beban di tanah dasar yang lebih lunak / insitu hingga di bawah nilai kritis tertentu. Nilai-nilai ini dikaitkan dengan kategori jalan yang dirancang, ukuran truk, dan umur operasi jalan.

Untuk menghindari antrian alat angkut pada saat naik dan turun, maka akan dibuat jalan baru dengan satu jalur. Jalan harus mampu menahan berat dari dump truck Toyota Dyna 130HT bermuatan 24 ton. Jalan yang akan dibuat merupakan jalan turun dari elevasi 290 ke 270 m dengan panjang kurang lebih 200 m dan melewati daerah timbunan disposol yang memiliki daya dukung tanah yang lemah. Daya dukung tanah yang lemah pada jalan mengakibatkan terjadinya amblesan oleh karena itu perlu adanya perkerasan lapisan jalan.

Penelitian sebelumnya, antara lain oleh Widiastuti (2018) mengulas hasil penelitian tentang perkiraan umur masa layanan desain struktur perkerasan eksisting dan alternatif pada ruas jalan Legundi-Kanigoro-Planjan. Membandingkan desain struktur perkerasan lentur antara metode empiris Bina Marga 2017 dan metode mekanistik empiris menggunakan aplikasi Kenpave.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan struktur perkerasan jalan angkut tambang dan membuat rancangan geometri jalan angkut tambang.

II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini pengumpulan, pengolahan, dan analisis data dilakukan dengan mengikuti prinsip rujukan diantaranya, meliputi: SNI, ASTM, dan AASHTO. Pengumpulan data dilakukan melalui pengujian, seperti: pengujian DCP, pengujian CBR, dan pengujian abrasivitas. Selanjutnya dilakukan pengolahan data untuk menemukan hasil dari perhitungan dan dilakukan analisis data.



Gambar 2.1
Diagram Alir Metode Penelitian

2.1. Pengujian *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP)

Cara uji ini merupakan suatu prosedur yang cepat untuk melaksanakan evaluasi kekuatan tanah dasar dan lapis fondasi jalan, dengan menggunakan DCP. Pengujian dilaksanakan dengan mencatat jumlah pukulan (*blow*) dan penetrasi dari konus (kerucut logam) yang tertanam pada tanah/lapisan fondasi karena pengaruh penumbuk kemudian dengan menggunakan grafik dan rumus, pembacaan penetrometer diubah menjadi pembacaan yang setara dengan nilai CBR (SE Men PU No. 4M/2010).

Hasil pengujian DCP terdiri dari jumlah pukulan dan kedalaman penetrasi. Secara umum nilai DCP dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PI = \frac{\Delta D_p}{\Delta B_c}$$

Keterangan :

PI = Nilai DCP

ΔD_p = Kedalaman penetrasi (mm)

ΔB_c = banyaknya pukulan

Hasil pengujian DCP, yang berupa nilai indeks DCP dapat dikonversikan menjadi nilai CBR menggunakan rumus hubungan CBR dan DCP yang disarankan oleh Wabster et al (1994), dengan DCP merupakan kedalaman penetrasi persatu kali pukulan (mm/pukulan).

$$CBR = \frac{292}{(DCP)^{1.12}}$$

2.2. Pengujian *California Bearing Ratio* (CBR)

Pengujian (CBR) adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan terhadap bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Penetrasi diukur menggunakan alat uji penetrasi. Nilai CBR dihitung pada penetrasi sebesar 0.1 inci dan penetrasi sebesar 0.2 inci dan selanjutnya hasil kedua perhitungan tersebut dibandingkan sesuai dengan SNI 1744-2012 diambil hasil terbesar (SNI-1744, 2012).

$$CBR = \frac{\text{Beban terkoraksi}}{\text{Beban standar}} \times 100\%$$

2.3. Agregat Material

Menurut Sukirman (1999), Agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan penyal (*solid*). Daya tahan agregat merupakan ketahanan agregat untuk tidak hancur/pecah oleh pengaruh mekanis atau kimiawi. Daya tahan agregat terhadap beban mekanis diperiksa dengan melakukan pengujian abrasi menggunakan alat abrasi Los Angeles, sesuai dengan SNI 2417:2008. Keausan material didapatkan dari persamaan :

$$\text{Keausan} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

Keterangan :

- A : berat benda uji semula, (gram)
- B : berat benda uji tertahan saringan No.12 (1,70 mm), (gram)

2.4. Metode Rancangan Struktural

Menurut Thompson (2015), desain struktural jalan angkut menyangkut kemampuan jalan untuk membawa muatan yang dikenakan tanpa perlu untuk pemeliharaan atau rehabilitasi yang berlebihan. Jalan angkut memburuk seiring berjalannya waktu efek dari beban lalu lintas dan kekuatan struktur *subgrade*. Metode desain struktural CBR yang dikembangkan oleh Kaufman dan Ault (1977) telah banyak diterapkan pada desain jalan angkut dimana bahan yang tidak diolah digunakan berdasarkan dari pengujian penetrasi CBR. Ada beberapa cara untuk menghitung tebal lapisan perkerasan jalan yaitu:

a. Perhitungan Tebal Perkerasan dengan Metode Tanpa Bahan Pengikat (*unbound method*)

Menurut Sudarsono (1993), dalam metode tanpa bahan pengikat diasumsikan bahwa penyusun lapisan perkerasan terdiri dari butiran lepas yang mempunyai sifat menyebarkan gaya tekan ke segala arah dengan sudut rata-rata 45° terhadap garis vertikal, sehingga penyebaran gaya membentuk sebuah kerucut dengan sudut puncak 90°.

Menurut Sudarsono (1993), untuk perhitungan ketebalan konstruksi perkerasan bias menggunakan nilai CBR, rumus umum yang digunakan adalah:

$$\sigma_1 = \epsilon \cdot E$$

keterangan:

- σ_1 = kekuatan tanah dasar (kg/cm^2)
- ϵ = konstanta
- E = daya dukung tanah (kg/cm^2)

Nilai dari ϵ (epsilon) yang merupakan suatu konstanta dan nilai E , menurut Darmon adalah E (kg/cm^2) = ± 100 CBR (%), nilai E antara 50-200

CBR, tetapi untuk tanah diambil $E = 100$ CBR, sedangkan untuk nilai $\epsilon = 0,008$, sehingga :

$$\sigma_1 = 0,008 \cdot 100 \text{ CBR}$$

$$\sigma_1 = 0,8 \text{ CBR}$$

Jika memasukan nilai σ_1 , didapatkan:

$$h = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_1}}$$

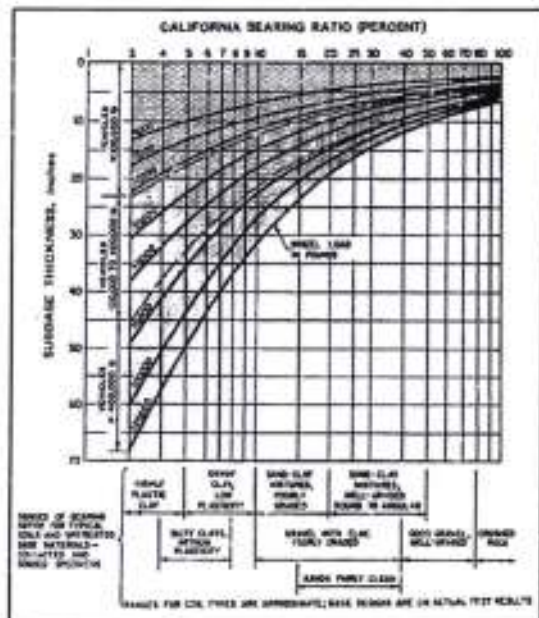
$$h = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot 0,8 \text{ CBR}}}$$

Keterangan :

- h = tebal lapisan perkerasan (cm)
- P = tekanan gandar tunggal maksimum (ton)
- σ_1 = kekuatan tanah dasar (kg/cm^2)
- γ = koefisien keamanan untuk getaran-getaran akibat lalu lintas
- CBR = nilai CBR tanah (%)

a. Perhitungan Tebal Perkerasan dengan Kurva CBR Kaufman & Ault

Menurut Kaufman & Ault (1977), ketebalan lapisan penyusun jalan dapat ditentukan berdasarkan nilai CBR dan beban roda alat angkut yang melalui jalan tersebut, dengan menggunakan kurva CBR (Gambar 2.2).



Gambar 2.2. Kurva CBR (Kaufman & Ault, 1977)

b. Perhitungan Tebal Perkerasan dengan Rumus Thompson

Menurut Thompson (2015), ketebalan material didapatkan dari persamaan :

$$Z_{CBR} = \frac{9,81 t_w}{P} \left[0,104 + 0,331 e^{(-0,0287 t_w)} \right] \left[\left(2 \times 10^{-5} \right)^{\left(\frac{CBR}{P} \right)} \right] \left[\left(\frac{CBR}{P} \right)^{-(0,415 + P \times 10^{-4})} \right]$$

Awalnya, beban roda truk meningkat sebesar 20% untuk mereplikasi efek peningkatan tekanan yang dihasilkan oleh gandar roda ganda belakang yang terjadi lebih dalam pada lapisan jalan konsep *Equivalent Single Wheel Load (ESWL)*.

Ketebalan material ekuivalen didapatkan dari persamaan:

$$Z_{ESWL} = Z_{CBR} + \left[0,184 + \left(0,086 CBR + \frac{17,76 CBR}{t_w} \right) \right]^{-1}$$

Keterangan :

Z_{ESWL} = Ketebalan material ekuivalen (m)

Z_{CBR} = Ketebalan material (m)

T_w = Beban ban truk (ton)

P = Tekanan ban (kPa)

CBR = *California Bearing Ratio* (%)

2.5. Metode Rancangan Mekanistik

Menurut Thompson (2015), modulus elastisitas (E_{eff}) yang efektif dan *Poisson's ratio* (μ , biasanya 0,35 yang disarankan oleh Freeme (1983) untuk mewakili sebagian besar material granular yang digunakan) mendefinisikan sifat material lapisan

yang diperlukan untuk menghitung regangan vertikal (ϵ_v) di jalan. Regangan yang diinduksi di jalan adalah fungsi dari nilai modulus elastisitas yang bekerja pada setiap lapisan dalam struktur. Nilai modulus elastisitas dari beberapa lapisan dapat dilihat pada Tabel 2.1. Perkiraan nilai modulus elastisitas menurut TRB / AASHTO (Powell, 1984) yaitu:

$$E_{eff} = 17,63 CBR^{0,64}$$

Keterangan:

E_{eff} = modulus elastisitas (MPa)

CBR = nilai CBR (%)

Nilai modulus yang diambil untuk lapisan dasar batuan sisa peledakan biasanya 1500-3000 MPa dan ditentukan dari perhitungan kembali dari data uji lapangan. Nilai ini sebanding dengan lapisan yang distabilkan dengan semen dan berhubungan erat dengan lapisan batuan sisa yang dipadatkan dengan baik. Pada pemadatan buruk, material berkualitas buruk atau beban berlebihan, nilai modulus dikurangi menjadi 1500-2000 MPa (Thompson, 2015).

Menurut Thompson (2015), sistem klasifikasi volume kendaraan dapat digunakan sebagai awal untuk menentukan desain yang sesuai untuk konstruksi atau mengevaluasi dan merehabilitasi jalan tambang yang ada. Data dari klasifikasi jalan, dapat digunakan untuk membantu memilih nilai regangan pembatas. Pemilihan kategori jalan yang akan dibangun berdasarkan pada volume kendaraan, berat kendaraan maksimum yang melewati dan masa operasi terkait, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1
Data Desain Struktural yang Optimal untuk Jalan Angkut Tambang (Thompson, 1996)

Lapisan	Tebal Lapisan (mm)	Perkerasan Mod AASHTO (%)	CBR (%)	Target modulus elastisitas efektif	Deskripsi Material
1	200	98	90	150	<i>Ferricrete</i> pilihan
2	500		>200	3000	Batupasir, ukuran blok < 300 mm
3	insitu		17	85	Perkerasan insitu

Catatan: beban roda maksimum 429 kN, tegangan maksimum 640 kPa

Tabel 2.2
Kategori Volume Kendaraan (Thompson, 2015)

Kategori	Volume Kendaraan	Kendaraan terberat (ton)	Indeks Kinerja	Deskripsi
1	>100	376	3	Jalan permanen pengangkutan utama jalan dari pit ke ROM atau pembuangan limbah. Masa operasi setidaknya 10-20 tahun.
2	50-100	376	2	Jalan menengah semi-permanen hingga volume tinggi, atau didalam pit atau pembuangan limbah blok jalan diluar tambang. Masa operasi 5-10 tahun.

3	<50	288	1	Jalan menengah semi permanen sampai volume rendah, akses didalam pit atau diluar pit sektor pembuangan. Beroperasi di bawah 2 tahun.
Catatan Indeks kinerja didefinisikan sebagai: 1 Cukup memadai dalam jangka pendek, tetapi membutuhkan perawatan intensif, direncanakan untuk mengantisipasi volume lalu lintas atau berat truk yang berlebihan 2 Baik dengan perawatan rutin 3 Sangat baik dengan persyaratan perawatan yang rendah				

2.6. Metode Elemen Hingga

Menurut Fish, J. dan Belytschko, T. (2007), metode elemen hingga atau *Finite Element Method (FEM)*, adalah metode numerik untuk penyelesaian masalah teknik dan fisika matematis. Penyelesaian Metode Elemen Hingga menghasilkan persamaan dari masalah yang dianalisis dalam sistem persamaan serentak yang harus diselesaikan.

Faktor utama untuk mengontrol kinerja struktural jalan angkut yaitu beban yang diterima, kekuatan *subgrade*, ketebalan struktur dan kekuatan lapisan perkerasan. Batas atas 2000 *microstrain* umumnya ditetapkan untuk nilai regangan lapisan. Nilai regangan melebihi 2500 *microstrain* dikaitkan dengan kinerja struktur pada lalu lintas yang paling ringan dan jangka pendek jalan. Menurut R.J. Thompson (2015), nilai dari regangan vertikal untuk berbagai kategori jalan dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3
 Nilai Maksimum Regangan Vertikal (Thompson, 2015)

Kategori	Regangan elastis vertikal maksimum (<i>microstrains</i>)	
	Volume kendaraan >100 <i>kt/day</i>	Volume kendaraan <100 <i>kt/day</i>
1	900	1500
2	1500	2000
3	2000	2500

2.7. Geometri Jalan

Alat angkut atau truk-truk tambang umumnya berdimensi lebih lebar, panjang dan lebih berat dibanding kendaraan angkut yang bergerak di jalan raya. Oleh sebab itu, geometri jalan harus sesuai dengan dimensi alat angkut yang digunakan agar alat angkut tersebut dapat bergerak leluasa pada kecepatan normal dan aman (Suwandhi, 2004).

2.7.1. Lebar jalan pada jalan lurus

Kriteria lebar untuk jalur yang ditempuh dari segmen pengangkutan lurus harus didasarkan pada kendaraan terluas yang digunakan (Hustrulid & Kuchta, 1995). Lebar jalan angkut minimum dapat dipakai dengan jalur ganda atau lebih menurut

AASHO *Manual Rural High Way Design* pada jalur lurus adalah

$$L = n \cdot Wt + (n + 1) 0,5 \cdot Wt$$

Dimana :

L = Lebar jalan angkut minimum (m)

n = Jumlah jalur

Wt = Lebar total alat angkut (m)

2.7.2. Lebar jalan pada tikungan

Lebar jalan angkut pada tikungan yang dipengaruhi oleh jari-jari tikungan dan konstruksi kendaraan yang akan digunakan, dihitung dengan persamaan:

$$Lb = n (U + Fa + Fb + Z) + C$$

$$Fa = Ad \sin \alpha$$

$$Fb = Ab \sin \alpha$$

$$Z = \frac{Wt + Fa + Fb}{2}$$

Keterangan:

Lb = Lebar minimum jalan pada belokan (m)

n = Jumlah jalur

U = Lebar jarak jejak roda (m)

Fa = Lebar jantai depan (m)

Fb = Lebar jantai belakang (m)

Ad = Jarak as roda depan dengan bagian depan truk (m)

Ab = Jarak as roda belakang dengan bagian belakang truk (m)

α = Sudut penyimpangan roda depan

C = Jarak antara dua truk yang bersimpangan (m)

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

2.7.3. Radius jalan angkut

Menurut Lanly (1998), jari-jari tikungan berhubungan dengan konstruksi jalan yang akan digunakan oleh alat angkut, khususnya jarak horizontal antara poros roda depan dan belakang. Radius belokan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$R = \frac{L1}{\sin \alpha}$$

Keterangan :

R = jari-jari belokan jalan angkut (m)

L1 = jarak antara poros roda depan dan belakang (m)

α = sudut penyimpangan roda depan (°).

2.7.4. Superelevasi

Menurut Hustrulid & Kuchta (1995) perbandingan tinggi antara bagian dalam dan luar jalan tambang disebut *superelevasi*. *Superelevasi* didapatkan dari persamaan:

$$e + f = \frac{V^2}{127xR}$$

Keterangan :

R = Radius tikungan (m)

V = Kecepatan truk (km/jam)

e = *superelevasi* (m/m),

f = koefisien gesek melintang,

2.7.5. Kemiringan Badan Jalan (*Cross Fall*)

Tingkat *cross fall* yang memungkinkan pemindahan air permukaan secara cepat tanpa mempengaruhi kontrol alat angkut harus diperhitungkan (Kaufman, 1977). Menurut Hustrulid & Kuchta (1995), sebagian besar jalan tambang dibangun dari kerikil dan pecahan batuan. Dalam hal ini, *cross fall* harus ½ inci/ft (0,04 ft/ft). Sedangkan menurut Kepmen ESDM No. 1827 menyatakan bahwa dalam pembuatan jalan tambang diperlukan kemiringan melintang (*cross fall*) paling kurang 2% (dua persen) dari lebar jalan.

2.7.6. Kemiringan Jalan Angkut (*Grade*)

Kemiringan jalan tambang (*Grade*) dapat berupa jalan menanjak ataupun jalan menurun, yang disebabkan perbedaan ketinggian pada jalur jalan. Kemiringan jalan tambang dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Grade (\%)} = \frac{\Delta h}{\Delta x} \times 100\%$$

Keterangan :

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

Δx = Jarak antara dua titik yang diukur (m)

Sedangkan menurut Kepmen ESDM No. 1827 menyatakan bahwa kemiringan (*grade*) jalan tambang maksimal 12% (dua belas persen) setelah mempertimbangkan kemampuan alat angkut, material pembentuk jalan dan rasio penggunaan bahan bakar.

2.7.7. Tanggul Pengaman (*Safety Berm*)

Menurut Hustrulid & Kuchta (1995), untuk tanggul tersebut, pedoman dalam rancangannya adalah paling tidak tingginya harus sama atau lebih besar dari nilai *static rolling radius* roda alat angkut. Persamaan menghitung besarnya nilai *static rolling radius* dapat digunakan dengan persamaan:

$$TH = 1,05 \times 2 \times SRR$$

Keterangan:

SRR = *static rolling radius* (m)

TH = tinggi roda alat angkut (m)

Menurut Kepmen ESDM No. 1827 menyatakan bahwa pada sisi luar badan jalan tambang diperlukan tanggul pengaman dengan tinggi minimum ¼ (tiga per empat) dari diameter roda kendaraan terbesar.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian DCP

Pengujian DCP mengacu pada SE Men PU No. 4M/2010, tahap pengujian DCP dilakukan dengan mencatat jumlah pukulan dan penetrasi dari konus yang tertanam pada tanah/lapisan pondasi karena pengaruh penumbuk. Pengujian DCP lapangan dilakukan di lapangan dengan membagi 4 segmen dengan 26 titik pengambilan data. Hasil uji DCP dalam tabel 3.1.

Tabel 3.1
Hasil Uji DCP

Segmen	CBR segmen (%)	DDT (kg/cm ²)
1	5,27	4,81
2	1,10	1,84
3	2,13	3,10
4	3,30	3,92

Hasil pengujian DCP di lapangan tidak memenuhi untuk menjadi *subgrade*, maka dilakukan pemindahan tanah sebanyak 641,52 m³. Setelah pemindahan menghasilkan *grade* lebih besar dari 12% yaitu segmen E-F 17,14%, dan segmen L-M 25,05%. Menurut Kepmen ESDM No. 1827, *Grade* maksimal yang diperbolehkan adalah 12%. Untuk mengatasi masalah kemiringan jalan yang ada, dapat dilakukan dengan cara penimbunan material atau melakukan pembongkaran untuk memperkecil *grade*. Alternatif 1 dilakukan dengan cara menimbun material sebanyak 692,44 m³. Sedangkan, alternatif 2 dilakukan dengan cara membongkar material sebanyak 368,52 m³.

3.2. Pengujian CBR

Prosedur pengujian CBR laboratorium mengacu pada SNI 1744:2012. Tahap pengujian DCP dilakukan dengan membandingkan penetrasi sebesar 0.1 inci dan 0.2 inci pada tiga contoh tanah berkadar air optimum. Sampel tanah harus dipadatkan sebanyak 10, 30 dan 65 tumbukan per lapis. Metode yang dipilih yaitu uji CBR terendam, maka diperlukannya perendaman selama 96 jam (4 hari) dengan dilakukan pembacaan arloji ukur setiap hari untuk mengetahui pengembangannya. Kadar air diukur untuk sebelum dan sesudah direndam. Hasil pengujian CBR laboratorium dibuat dalam Tabel 3.2. Pengujian CBR Laboratorium dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah UPN "Veteran" Yogyakarta.

Tabel 3.2
Hasil Uji CBR Laboratorium

Sampel	CBR Desain (%)	DDT (kg/cm ²)
Tanah berpasir	33	8,28
Tanah disposal	10,6	6,13
Abu batu andesit	45	8,87
Tanah penutup	13,9	6,65

3.3 Pengujian Abrasivitas

Abrasivitas merupakan sifat batuan dalam menggores permukaan material lain. Sifat ini umumnya digunakan sebagai parameter yang mempengaruhi keausan. Prosedur pengujian abrasivitas mengacu pada SNI 2417:2008. Hasil uji abrasivitas dalam tabel 3.3.

Tabel 3.3
Hasil Uji Abrasivitas

Sampel	Abrasivitas (%)
Batu Andesit	21,5
Batu Breksi	29,5

Hasil pengujian abrasivitas didapatkan hasil untuk batu andesit 21,5% dan batu breksi 29,5%. Jadi, untuk batu andesit dan batu breksi memiliki nilai keausan agregat < 40%, maka baik digunakan dalam bahan perkerasan jalan karena dapat menahan keausan akibat dari ban kendaraan yang lewat. Dalam keadaan ini digunakan batu breksi sebagai lapisan *Surface* karena batu breksi bukan merupakan bahan galian utama yang diambil.

3.4. Metode Rancangan Struktural

Struktur jalan baru dapat berupa tanah asli, tanah timbunan, atau tanah galian yang sudah dipadatkan hingga kepadatan 95% dari kepadatan maksimum. Dengan demikian daya dukung tanah dasar tersebut merupakan nilai kemampuan lapisan tanah memikul beban setelah tersebut tanah dipadatkan. Tebal lapisan pada lapisan *subgrade* seperti dalam Tabel 3.4.

Tabel 3.4
Tebal Lapisan untuk Sampel CBR

Material	CBR Desain (%)	Tebal Lapisan (cm)		
		<i>Unbound Method</i>	Kurva CBR Kaufman & Ault	Rumus Thompson
<i>Subgrade</i>	97,34	8	8	4

3.5. Metode Rancangan Mekanistik

Menggunakan metode desain mekanistik, spesifikasi ketebalan lapisan dan pematatan adalah berdasarkan pembatasan regangan yang diinduksi beban di tanah dasar. Dengan memvariasikan ketebalan lapisan dasar batuan sisa yang dipilih, solusi untuk regangan maksimum pada setiap lapisan perkerasan yang memiliki regangan di bawah kriteria regangan batas. Hasil perhitungan Modulus elastisitas (E_{eff}) material yang akan digunakan sebagai lapisan perkerasan jalan dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5
Nilai Modulus Elastisitas

Material	CBR Desain (%)	E_{eff} (MPa)
----------	----------------	-----------------

Batuan Pecah	80	291,23
<i>Subgrade</i>	97,34	330,19

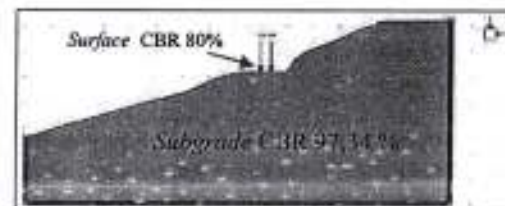
3.6. Analisis Lapisan Perkerasan

Pada analisis lapisan perkerasan dilakukan pemodelan yang tujuan utamanya untuk mengetahui regangan vertikal dari material yang diuji. Pemodelan

(Gambar 3.1) yang digunakan adalah model perkerasan dengan CBR lapisan perkerasan sebagai berikut:

- Lapisan *Surface* : pecahan batuan CBR 80%
- Lapisan *Subgrade* : tanah insitu CBR 97,34%

Berat truk 23,64 ton dan kepadatan lalu-lintas 25,99 kendaraan/hari maka dapat dikategorikan dalam kategori 3 dengan regangan vertikal maksimum 2500 *microstrain*. Tebal lapisan perkerasan pada setiap segmen untuk menghasilkan regangan vertikal maksimum kurang dari 2500 *microstrain*.



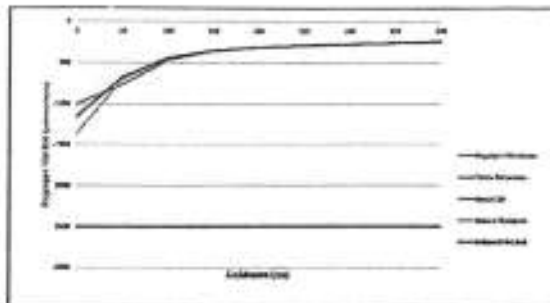
Gambar 3.1

Model Perkerasan pada Sayatan B-B'

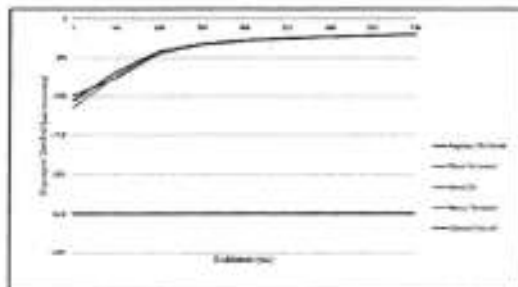
Hasil pemodelan sayatan A-A' dan sayatan B-B' dengan lebar 80 m didapatkan bahwa jalan tanpa perkerasan menghasilkan regangan vertikal maksimum 1004 *microstrain* pada sayatan A-A' dan 995 *microstrain* pada sayatan B-B'. Jalan dengan lapisan perkerasan menurut kurva CBR Kaufman & Ault menghasilkan regangan vertikal maksimum 1160 *microstrain* pada sayatan A-A' dan 1061 *microstrain* pada sayatan B-B'. Lapisan perkerasan menurut persamaan R.J. Thompson menghasilkan regangan vertikal maksimum 1365 *microstrain* pada sayatan A-A' dan 1144 *microstrain* pada sayatan B-B'. Lapisan perkerasan menurut *Unbound Method* menghasilkan regangan vertikal maksimum 1160 *microstrain* pada sayatan A-A' dan 1061 *microstrain* pada sayatan B-B'. Keempat analisis menghasilkan nilai regangan vertikal maksimum kurang dari 2500 *microstrain* maka dapat diterapkan untuk lapisan jalan.

Bertambahnya tebal lapisan akan meningkatkan kekuatan dari lapisan jalan. Semakin tebal lapisan perkerasan maka semakin kecil nilai regangan vertikal yang diterima oleh jalan, dapat dilihat bahwa lapisan perkerasan menurut Kurva CBR Kaufman & Ault dengan tebal lapisan *surface* 8 cm memiliki regangan vertikal lebih kecil daripada

lapisan perkerasan menurut Rumus R.J. Thompson dengan tebal lapisan *surface* 4 cm, seperti pada Gambar 3.1 dan 3.2.



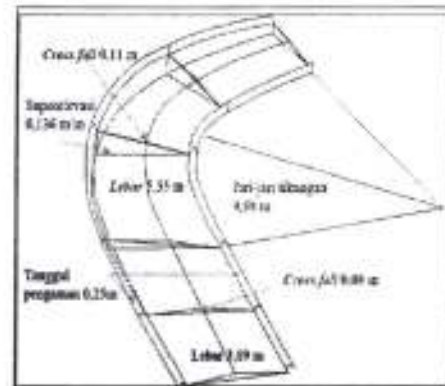
Gambar 3.2
Grafik Hubungan Regangan Vertikal dengan Kedalaman pada Sayatan A-A'



Gambar 3.3
Grafik Hubungan Regangan Vertikal dengan Kedalaman pada Sayatan B-B'

3.7. Geometri Jalan Angkut

Rancangan geometri jalan angkut dibuat berdasarkan lebar dari alat mekanis yaitu Toyota Dyna 130HT dengan lebar 1,945 m. Jalan yang dibuat menggunakan sistem satu jalan dengan satu arah. Perancangan jalan tambang dilakukan terhadap lebar jalan pada kondisi lurus 3,89 m dan lebar jalan pada tikungan 4,69 m. Perancangan jalan dengan dimensi yang terlalu kecil dapat menciptakan resiko terjadinya kecelakaan. Selain itu, jalan yang sempit seringkali menciptakan lingkungan berkendara yang tidak nyaman. Radius tikungan 9,88 m, semakin besar jari-jari tikungan akan lebih memberikan rasa aman bagi operator karena kendaraan tidak perlu mengurangi kecepatannya seperti pada jari-jari tikungan yang lebih kecil.



Gambar 4.17
Geometri Jalan Angkut

Superelevasi 0,136 m/m, penentuan nilai superelevasi dipengaruhi oleh kecepatan kendaraan yang melintasi tikungan, karena apabila kecepatan kendaraan tidak sesuai dapat mengakibatkan kendaraan tergelincir. *Cross fall* jalan lurus 0,08 m dan *Cross fall* jalan tikungan 0,11 m, pemilihan nilai *cross fall* 40 mm/m karena kondisi jalan angkut yang relatif kasar dan tidak ada permasalahan lumpur, sehingga diharapkan kemiringan permukaan jalan dapat mengalirkan air ke tepi jalan dan tidak terjadi genangan air.

Kemiringan jalan 12%, sesuai pada Kepmen ESDM No. 1827, *Grade* maksimal yang diperbolehkan adalah 12% sehingga jika terdapat jalan tambang dengan *grade* lebih besar dari 12% harus dilakukan kajian spesifikasi teknis pada jalan tambang dan alat angkut serta analisis risiko. Tanggul pengaman 0,25 m, Tujuan utama dari tanggul pengaman adalah untuk mengembalikan kembali kendaraan ke jalurnya dan jauh dari tepi. Gambar 4.17 menggambarkan rancangan geometri yang direkomendasikan.

IV. KESIMPULAN

Struktur lapisan perkerasan menggunakan lapisan subgrade CBR 97,34% dan lapisan *surface* batu breksi CBR 80% tebal 8 cm dengan abrasivitas 29,5%.

Geometri jalan angkut berdasarkan dimensi *dump truck* Toyota Dyna 130HT dengan lebar 1,945 m dihasilkan lebar jalan pada kondisi lurus 3,89 m, lebar jalan pada tikungan 4,69 m, radius tikungan 9,88 m, *cross fall* jalan lurus 0,08 m, *cross fall* jalan tikungan 0,11 m, *superelevasi* 0,136 m/m, kemiringan jalan 11,94%, dan tanggul pengaman 0,39 m

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Harmak Indonesia yang sudah memberikan tempat untuk penelitian dan UPN "Veteran" Yogyakarta

yang sudah memberikan tempat untuk pengujian laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Fish, J., Belytschko, T., 2007, *A First Course in Finite Element*, John Wiley & sons LTD, West Sussex.
- Hustrulid W and Kuchta M. 1995. *Open Pit Mine Planning & Design Volume 3*, A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.
- Kaufman, W.W., & J.C. Ault. 1977. *Design of Surface Mine Haulage Roads – A Manual*. USBM IC 8758.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2018. *Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2010. *Pemberlakuan Pedoman Cara Uji California Bearing Ratio (CBR) dengan Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*. Jakarta : Kementerian Pekerjaan Umum.
- Lanly J.P., 1998, *Watershed Management Field Manual : Road Design and Construction in Sensitive Watersheds*, FAO Conservation Guide 13/5, Rome
- SNI 1742-2008. 2008. *Cara Uji Kepadatan Ringan untuk Tanah*. Jakarta : Bahan Standarisasi Nasional.
- SNI 1744-2012. 2012. *Metode Uji CBR Laboratorium*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2417-2008. 2008. *Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles*. Jakarta : Bahan Standarisasi Nasional.
- Sudarsono, D.U. 1993. *Konstruksi Jalan Raya*. Jakarta : YBPPU.
- Sukirman, S. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung : NOVA.
- Suwandhi, Awang. 2004, *Perencanaan Jalan Tambang*, Universitas Islam Bandung.
- Thompson, R.J. 2015. *Principles of Mine Haul Road Design and Construction*. Forthcoming.
- Thompson, R.J. and Visser, A.T. 1996. *Towards a Mechanistic Structural Design Method for Surface Mine Haul Roads*. SAICE Journal/SAISI-joernal.
- Widiastuti, Annisa P. 2018. *Analisis Perbandingan Desain Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Empiris Dan Metode Mekanistik Empiris Pada Ruas Jalan Legundi-Kanigoro-Planjan*. Yogyakarta : Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.