

Pengujian Daya Dukung Perkerasan Jalan Tambang dengan Dynamic Cone Penetrometer (DCP) di PT Mitra Multi Sejahtera

Muhammad Iqbal Fadillah*, Iswandaru, Zaenal

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*balsomg3@gmail.com, iswandaru230390@gmail.com, zaenal.mq66@gmail.com

Abstract. The value of the California bearing ratio is used to evaluate the need for pavement and as an effort to maintain the road. Based on SNI 03-1744-1089, it explains that CBR testing can be done in the laboratory, while conducting the test takes a long time and is relatively expensive, so there is a way to get the CBR value directly in the field using a dynamic cone penetrometer. Dynamic cone penetrometer is a tool that can be used in determining the CBR value which has been described in ASTM D6951/D6951M – 09 regarding "Standard Test Method For Use Of The Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Application". The value of the largest california bearing ratio of 22.62% is considered less on the standard road composed of rocks because the CBR value of the road consisting of rocks will get a CBR value of up to 60%. The largest soil bearing capacity value of 7.57 (x1000 psf) indicates that the condition of the road foundation in the study area is insufficient to withstand a load of 16 (x1000 psf) from the truck and its cargo so that the road surface decreases and makes the road uneven. The pavement thickness index in the form of the foundation layer and the required pavement layer in segment 1 is 35 cm and 6.4 cm, respectively, with an ITP value of 4.35, then segment 2 of 50 cm and 9.3 cm with an ITP value of 6.21. The value of ITP itself is obtained from the results of plotting by nomogram no.7, the reason for choosing nomogram no.7 is because the IPo and IPt values are sufficient to meet the requirements for using the nomogram.

Keywords: *California Bearing Ratio, Soil Bearing Capacity, Pavement Thickness Index.*

Abstrak. Nilai california bearing ratio digunakan untuk mengevaluasi kebutuhan perkerasan jalan dan sebagai upaya pemeliharaan jalan. Berdasarkan SNI 03-1744-1089 menjelaskan bahwa pengujian CBR dapat dilakukan di laboratorium sedangkan untuk melakukan pengujian membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang relatif mahal, sehingga terdapat cara untuk mendapatkan nilai CBR langsung di lapangan dengan menggunakan alat dynamic cone penetrometer. Dynamic cone penetrometer merupakan suatu alat yang dapat digunakan dalam penentuan nilai CBR yang telah dijelaskan pada ASTM D6951/D6951M – 09 mengenai "Standard Test Method For Use Of The Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Application". Nilai dari california bearing ratio terbesar senilai 22,62% dinilai kurang pada standar jalan yang berkomposisi batuan karena untuk nilai CBR dari jalan yang terdiri dari batuan akan mendapatkan nilai CBR yang mencapai 60%. Nilai daya dukung tanah terbesar senilai 7,57 (x1000 psf) menandakan kondisi pondasi jalan di daerah penelitian terbilang kurang cukup untuk menahan beban sebesar 16 (x1000 psf) dari truck dan muatannya sehingga terjadinya penurunan permukaan jalan dan membuat jalan tidak rata. Indeks tebal perkerasan berupa lapisan pondasi dan lapisan perkerasan yang dibutuhkan pada segmen 1 secara berturut-turut sebesar 35 cm dan 6,4 cm dengan nilai ITP 4,35 lalu segmen 2 sebesar 50 cm dan 9,3 cm dengan nilai ITP 6,21. Nilai dari ITP sendiri didapatkan dari hasil plotting oleh nomogram no.7, alasan memilih nomogram no.7 karena nilai IPo dan IPt cukup untuk memenuhi persyaratan penggunaan nomogram tersebut.

Kata Kunci: *California Bearing Ratio, Daya Dukung Tanah, Indeks Tebal Perkerasan.*

A. Pendahuluan

Perencanaan jalan tambang di Indonesia pada umumnya dirancang berdasarkan analisis nilai california bearing ratio (CBR) untuk menentukan tebal perkerasan jalan tambang dengan faktor lalu lintas tambang dan rencana umur tambang. Nilai california bearing ratio digunakan untuk mengevaluasi kebutuhan perkerasan jalan dan sebagai upaya pemeliharaan jalan. Berdasarkan SNI 03-1744-1089 menjelaskan bahwa pengujian CBR dapat dilakukan di laboratorium sedangkan untuk melakukan pengujian membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang relatif mahal, sehingga terdapat cara untuk mendapatkan nilai CBR langsung di lapangan dengan menggunakan alat dynamic cone penetrometer.

Dynamic cone penetrometer merupakan suatu alat yang dapat digunakan dalam penentuan nilai CBR yang telah dijelaskan pada ASTM D6951/D6951M – 09 mengenai “Standard Test Method For Use Of The Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Application”. Analisis daya dukung tanah digunakan untuk mengetahui komposisi dari jalan tambang yang optimal agar travelling time pada dump truck berkurang sehingga didapatkan produktivitas alat angkut yang baik.

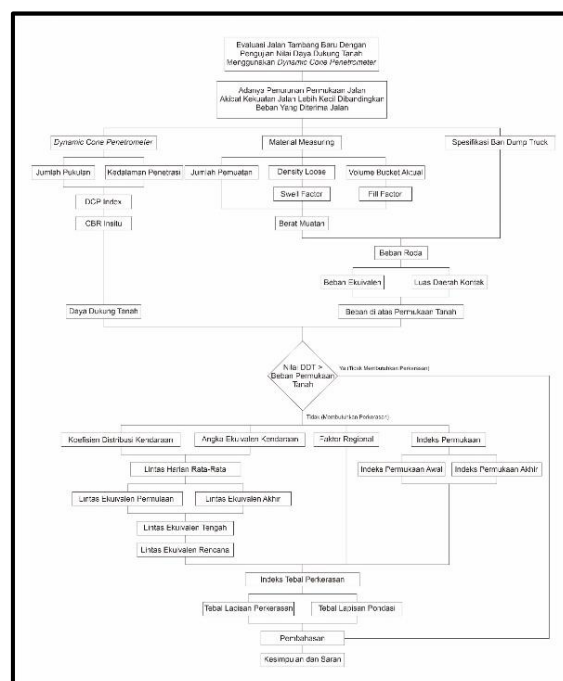
Alasan dilakukannya analisis ini adalah untuk mengevaluasi kondisi jalan tambang yang baru dibuka untuk menentukan standarisasi dari setiap perkerasan jalan sehingga mendapatkan komposisi jalan yang optimal.

Dari penelitian ini yang dilakukan, terdapat beberapa masalah yang harus dikaji, diantaranya yaitu: “Berapakah ketebalan lapisan – lapisan untuk perkerasan jalan?”. Selanjutnya, tujuan dalam penelitian ini meliputi:

1. Mengetahui komposisi dan kondisi jalan yang ada di lokasi penelitian;
2. Mengetahui nilai CBR dan daya dukung tanah pada jalan tambang;
3. Mengetahui perbandingan antara nilai daya dukung tanah dan beban yang diterima oleh jalan tambang;
4. Menganalisis ketebalan lapisan – lapisan untuk perkerasan jalan.

B. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan dalam kegiatan penelitian ini yakni dengan pendekatan kuantitatif yang dilakukan dengan mengambil data di lapangan lalu diolah hingga mendapatkan analisis akan kegiatan penelitian yang telah dilakukan. Teknik analisis data yang digunakan dengan mempertimbangkan nilai california bearing ratio dan daya dukung tanah untuk mendapatkan rekomendasi perkerasan jalan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian**C. Hasil Penelitian dan Pembahasan****Prosedur Penelitian**

Pada pengujian menggunakan dynamic cone penetrometer didapatkan data berupa kedalaman penetrasi dan banyaknya pukulan. Pukulan pada setiap titik dibagi rata menggunakan ketentuan yang biasa digunakan untuk pengujian ini yaitu sebanyak 5 kali pukulan per titik. Berdasarkan kondisinya, jalan dibagi menjadi dua segmen diantaranya adalah jalan yang telah lama dibuat dan jalan yang baru dibuka sehingga akan terdapat perbedaan yang cukup signifikan. Spesifikasi alat yang digunakan berupa DCP dengan berat hammer 8 kg, konus dengan sudut 45° dengan panjang ruler 100 cm.

Setelah dilakukan pengukuran didapatkan 12 titik pengamatan untuk segmen 1 dan 38 titik pengamatan untuk segmen 2. Berikut adalah rekapitulasi data pengujian menggunakan DCP pada segmen 1.

Tabel 1. Pengujian DCP Segmen 1

Project		: Tugas Akhir	Date		: 30 Agustus 2021
Location		: PT. Mitra Multi Sejahtera	Personel		: M Iqbal Fadillah
Material Classification		: Gravel Poor-graded	Hammer Weight		: 8 kg
Pavement Condition		: Applicable	Water Table Depth		: Unknown
Observation Point	Number of Blow	Penetration Depth (mm)	DCP Index (mm/blow)	Hammer Factor	CBR (%)
1	5	50	10	1	22,15
2	5	31	6,2	1	37,84
3	5	32	6,4	1	36,51
4	5	52	10,4	1	21,20
5	5	32	6,4	1	36,51
6	5	45	9	1	24,92
7	5	50	10	1	22,15
8	5	46	9,2	1	24,32
9	5	32	6,4	1	36,51
10	5	51	10,2	1	21,66
11	5	44	8,8	1	25,56
12	5	48	9,6	1	23,19

Nilai DCP Index merupakan hasil awal dari pengolahan data dynamic cone penetrometer dengan parameter jumlah pukulan dengan kedalaman penetrasi.

$$\text{DCP Index} = \frac{50}{5} = 10$$

Lalu untuk perhitungan nilai CBR berdasarkan nilai DCP Index dapat dihitung menggunakan rumus CBR dengan parameter DCP Index sebagai berikut:

$$\text{CBR} = \frac{292}{10^{1,12}} = 22,15\%$$

California Bearing Ratio dan Daya Dukung Tanah

Berdasarkan hasil pengolahan data nilai dari CBR insitu di daerah penelitian sebesar 22,62% pada segmen 1 dan 7,07% pada segmen 2. Nilai ini memperlihatkan bahwa kondisi jalan tersebut berada pada klasifikasi kondisi jalan yang sangat standar, maka apabila ada gangguan terhadap jalan seperti hujan ataupun bertambahnya aktivitas lalu lintas pada jalan tersebut akan berdampak cukup besar seperti berkurangnya kekuatan jalan ataupun nilai dari daya dukung tanah, meningkatnya rolling resistance pada jalan, hingga potensi longsornya badan jalan pada lereng sebelahnya.

Jalan tambang yang baru dibuka ataupun dibuat memiliki kondisi yang rusak bahkan hingga membuat dump truck menjadi miring, hal tersebut dipengaruhi oleh nilai CBR yang rendah sehingga dapat berpengaruh terhadap nilai daya dukung tanah di lokasi penelitian. Pada jalan tambang baru atau jalan segmen 2 memiliki nilai CBR segmen yang rendah dan diperlihatkan pada perhitungan berdasarkan persamaan berikut:

$$CBR_{\text{segmen}} = 27,86 - \frac{(37,84 - 21,20)}{3,18} = 22,62 \%$$

Hasil tersebut disajikan pada tabel dibawah ini yang dapat dilihat bahwa perbedaan dari nilai CBR segmen begitu jauh jika dibandingkan dengan segmen 1, tentu hal ini dapat berpengaruh terhadap rolling resistance dan memiliki masalah besar pada saat hujan.

Tabel 2. Rekapitulasi Data CBR Segmen

Segmen	CBR Max (%)	CBR Min (%)	CBR Rata-Rata (%)	R	CBR Segmen (%)
1	37,84	21,20	27,86	3,18	22,62
2	16,51	4,69	10,79	3,18	7,07

Nilai daya dukung tanah dapat mempengaruhi kekuatan jalan, semakin kecil nilai dari daya dukung tanah maka semakin besar juga penurunan yang akan terjadi, sehingga analisis untuk nilai daya dukung tanah dasar dapat dikaji untuk menentukan apakah jalan butuh perkerasan atau tidak. Nilai dari daya dukung tanah pada segmen 1 sebesar 7,57 dan pada segmen 2 sebesar 5,37 yang berarti dibutuhkan perkerasan jalan agar mengurangi potensi penurunan permukaan tanah.

Berdasarkan nilai dari CBR dari masing-masing segmen dapat didapatkan nilai dari daya dukung tanah yang dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah:

$$DDT = 1,6649 + (4,3595 \times (\text{Log } 22,62)) = 7,57$$

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa nilai dari segmen 1 lebih besar dibandingkan segmen 2 yang diakibatkan kondisi jalan yang buruk pada segmen 2, sehingga dibutuhkan kajian yang lebih lanjut pada perkerasan jalan.

Tabel 3. Rekapitulasi Data Daya Dukung Tanah

Segmen	CBR Segmen (%)	Daya Dukung Tanah
1	22,62	7,57
2	7,07	5,37

Kebutuhan minimal daya dukung tanah dapat dilihat dari nilai ground pressure, nilai ini memiliki beberapa parameter seperti tandem axle dan bearing area untuk mendapatkan nilai tersebut dapat dihitung dengan nilai dari tandem axle sebesar 15.432 lbs dan besarnya tekanan ban sebesar 100 psi melalui persamaan berikut:

$$\text{Bearing area (in}^2\text{)} = \frac{0,9 \times 15432}{100} = 138,888 \text{ in}^2$$

Sehingga akan didapatkan nilai melalui persamaan 3.5 dari ground pressure sebesar:

$$\text{Ground Pressure} = \frac{15432}{138,888} = 111,1 \text{ psi} \approx 16000 \text{ psf}$$

Dari nilai tersebut menunjukkan bahwa nilai DDT lebih kecil dari nilai ground pressure maka akan dibutuhkan perkerasan, untuk perbandingan nilai daya dukung tanah dengan ground pressure yaitu $7,57 < 16$.

Lalu Lintas dan Faktor Regional

Pada jalan pengangkutan di tempat penelitian, umur rencana dari jalan tersebut direncanakan selama 10 tahun dengan asumsi perkembangan dari lalu lintas sebesar 1% karena penambahannya kepadatan lalu lintas pada tambang tidak akan berkembang terlalu pesat,

perkembangan hanya dapat berasal dari pembelian alat baru ataupun penambahan armada pengangkut yang bergantung kepada jumlah produksi yang ingin dicapai. Sehingga untuk lintas harian rata-rata pada jalan tersebut dengan total ritase hasil rata-rata sebanyak 48,78 kali.

Sehingga nilai LHR yang didapat ialah sebagai berikut:

$$\text{LHR} = 48,78 (1 + 0,01)^{10} = 53,88$$

Nilai 53,88 mengekspresikan bahwa hingga 10 tahun umur tambang jumlah dari perkembangan lalu lintas akan meningkat sebesar 5,1. Kemudian dari hasil perhitungan lintas harian rata-rata maka dapat dihitung nilai lintas ekuivalen permulaan yaitu :

$$\text{LEP} = 53,88 \times 1 \times 0,5415 = 29,18$$

Setelah mendapatkan nilai dari lintas ekuivalen permulaan maka dapat dihitung kembali untuk lintas ekuivalen akhir yaitu :

$$\text{LEA} = 53,88 \times 1 \times 0,5415 \times (1 + 0,01)^{10} = 32,23$$

Kemudian, untuk mendapatkan nilai tengah dari lintas ekuivalen maka digunakan merupakan pembagian sederhana yaitu:

$$\text{LET} = \frac{29,18 + 32,23}{2} = 30,705$$

Setelah didapatkan lintas ekuivalen tengah, maka nilai lintas ekuivalen rencana yang didapatkan sebagai berikut:

$$\text{LER} = 30,705 \times \frac{10}{10} = 30,705$$

Maka, besarnya lintas ekuivalen yang akan melintasi jalan pengangkutan selama masa pelayanan yang berarti dari awal direncanakan hingga akhir umur rencana didapatkan nilai sebesar 30,705.

Dump truck yang beroperasi di jalan tambang sebanyak 7 dump truck tetapi jumlah dump truck yang digunakan selalu menyesuaikan dengan kondisi produksi tetapi memiliki target sebanyak 6 ritase selama 1 jam sehingga total ritase pada 1 shift sebanyak 48,78. Perhitungan kepadatan lalu lintas akan terlihat pada nilai LER sebesar 30,705, nilai ini juga digunakan untuk menentukan nilai ITP pada grafik nomogram.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik kabupaten cianjur, kecamatan cikalong memiliki intensitas curah hujan 3685,3 mm/tahun, sehingga untuk faktor iklim berada pada klasifikasi iklim II yang berada di atas 900mm/tahun, grade jalan atau kelandaian pada jalan tambang memiliki kelandaian rata-rata sebesar 12% maka untuk tipe jalan ini masuk kepada tipe kelandaian III, persen kendaraan berat yang dimiliki hampir seluruhnya didominasi oleh kendaraan berat maka dari itu asumsi untuk persen kendaraan berat berada di atas 30%. Sehingga untuk nilai dari faktor regional pada jalan ini memiliki nilai 3,0 - 3,5. Dengan asumsi kelandaian yang masih dekat dengan 10% maka faktor regional berdasarkan hasil dari pembobotan mendapatkan nilai 3,095.

Tabel 4. Faktor Regional

	Kelandaian I (<6 %)		Kelandaian II (6 - 10 %)		Kelandaian III (>10 %)	
	% Kendaraan Berat		% Kendaraan Berat		% Kendaraan Berat	
	≤ 30%	> 30%	≤ 30%	> 30%	≤ 30%	> 30%
Iklim I < 900 mm/th	0,5	1,0 - 1,5	1,0	1,5 - 2,0	1,5	2,0 - 2,5
Iklim II > 900 mm/th	1,5	2,0 - 2,5	2,0	2,5 - 3,0	2,5	3,0 - 3,5

Indeks Permukaan dan Indeks Tebal Perkerasan

Komposisi lapis permukaan pada jalan tambang didominasi oleh jalan tanah dan sedikit berkerikil maka jika dilihat pada tabel diatas, nilai IPO untuk jenis lapis permukaan ini adalah bernilai 2,4.

Tabel 5. Indeks Permukaan Awal

Jenis Lapis Permukaan	Ipo	Roughness (mm/km)
Lapisan Aspal Buton	≥ 4	≤ 1000
	3,9 - 3,5	< 1000
Lapisan Aspal Buton Beragregat	3,9 - 3,5	≤ 2000
	3,4 - 3,0	> 2000
<i>Hot Rolled Asphalt</i>	3,9 - 3,5	≤ 2000
	3,4 - 3,0	> 2000
Laburan Aspal Dua Lapis	3,9 - 3,5	≤ 2000
Laburan Batu Satu Lapis	3,4 - 3,0	≤ 2000
Lapis Penetrasi Macadam	3,4 - 3,0	≤ 3000
	2,9 - 2,5	> 3000
Lapis Tipis Aspal Buton Murni	2,9 - 2,5	-
Laburan Aspal	2,9 - 2,5	-
Lapisan Tipis Aspal Pasir	2,9 - 2,5	-
Jalan Tanah	$\leq 2,4$	-
Jalan Kerikil	$\leq 2,4$	-

Lalu pada indeks permukaan akhir nilai dari lintas ekuivalen rencana yang telah dihitung pada lalu lintas harian memiliki nilai LER sebesar 30,705 dengan klasifikasi jalan lokal karena tidak dipergunakan untuk komersial, maka nilai dari indeks permukaan akhir berdasarkan hasil dari nilai pembobotan didapatkan nilai dari IPT sebesar 1,5.

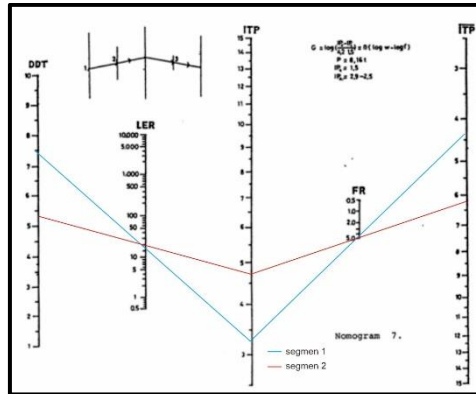
Tabel 6. Indeks Permukaan Akhir

LER	Klasifikasi Jalan			
	Lokal	Kolektor	Arteri	Tol
< 10	1,0 - 1,5	1,5	1,5 - 2,0	-
10 - 100	1,5	1,5 - 2,0	2,0	-
100 - 1000	1,5 - 2,0	2,0	2,0 - 2,5	-
> 1000	-	2,0 - 2,5	2,5	2,5

Setelah dilakukan analisis dari indeks permukaan awal dan indeks permukaan akhir dengan masing-masing nilai sebesar 2,4 dan 1,5 dengan nilai G yang dihitung berdasarkan persamaan dibawah:

$$G = \frac{\log(2,4 - 1,5)}{4,2 - 1,5} = -0,016$$

Nilai G mengekspresikan perbandingan kehilangan tingkat pelayanan dari IPO hingga IPT sepanjang umur rencana, dengan nilai IPO dan IPT seperti gambar diatas maka untuk mencari nilai dari indeks tebal perkerasan menggunakan nomogram nomor 7, alasan penggunaan nomogram 7 dibandingkan dengan nomogram nomor 9 dikarenakan nilai IPT yang terlalu jauh dengan IPT hasil perhitungan sehingga akan lebih representatif jika menggunakan nomogram nomor 7 meskipun nilai dari IPO lebih besar 0,1 dari nilai IPO yang didapatkan dari tabel dengan nilai daya dukung tanah dari masing - masing segmen sebesar 7,57 dan 5,37 serta nilai FR sebesar 3,095 maka didapatkan nilai ITP untuk segmen satu sebesar 4,35 dan nilai ITP untuk segmen dua sebesar 6,21.



Gambar 2. Nomogram 7

Setelah didapatkan nilai ITP maka dapat ditentukan terlebih dahulu jenis bahan apa yang ingin digunakan untuk perkerasan, dalam kasus ini penggunaan batu becah kelas B cukup untuk menjadi material lapisan perkerasan lalu dihitung untuk tebal perkerasan pada jalan tambang dengan persamaan berikut:

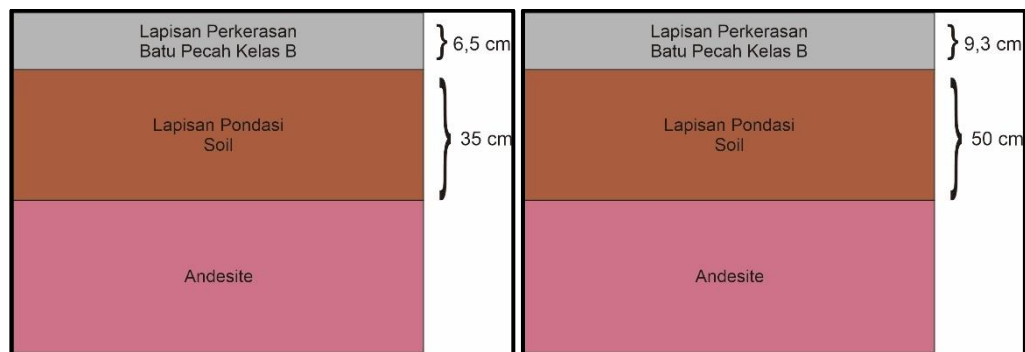
Untuk segmen 1

$$4,35 = (0,1 \times 35) + (0,13 \times D_2) = 6,5 \text{ cm}$$

Untuk segmen 2

$$6,21 = (0,1 \times 50) + (0,13 \times D_2) = 9,3 \text{ cm}$$

Indeks tebal perkerasan dilakukan dengan dua material yaitu material tanah yang memiliki koefisien kekuatan relatif sebesar 0,1 sebagai lapisan pondasi dan material batu pecah kelas 2 yang memiliki koefisien kekuatan relatif 0,13 pada kasus ini menggunakan split berukuran 1-3 cm sebagai lapisan perkerasan.



Gambar 3. Penampang Segmen 1 dan Segmen 2

Sehingga didapatkan rekapitulasi data secara umum dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 7. Rekapitulasi Indeks Tebal Perkerasan

Segmen	Koef. Kekuatan Bahan Lapisan Pondasi	Koef. Kekuatan Bahan Lapisan Perkerasan	Indeks Tebal Permukaan	Tebal Lapisan Pondasi (cm)	Tebal Lapisan Perkerasan (cm)
Segmen 1	0,1	0,13	4,35	35	6,5
Segmen 2	0,1	0,13	6,21	50	9,3

D. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dalam penelitian ini, peneliti menyimpulkan beberapa hasil penelitian sebagai berikut:

1. Komposisi jalan yang berada di daerah penelitian didominasi oleh soil sehingga pada saat kondisi setelah hujan area di sepanjang jalan tambang mengalami pengurangan kekuatan lapisan tanah dikarenakan tingkat saturasi dari tanah meningkat drastis sehingga membuat kondisi jalan semakin memburuk.
2. Nilai CBR segmen 1 sebesar 22,62% dan segmen 2 sebesar 7,07%, nilai ini dikatakan sangat rendah dimana untuk mendapatkan jalan yang tidak akan mengalami penurunan harus memiliki nilai CBR minimal 60%. Nilai daya dukung tanah segmen 1 sebesar 7,57 dan segmen 2 sebesar 5,37, nilai ini tergolong nilai yang rendah karena untuk dapat menopang beban kendaraan jika menggunakan lapisan perkerasan berupa batu pecah dengan ketebalan yang ditentukan maka nilai daya dukung tanah pada jalan tersebut akan memiliki nilai 20.
3. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis nilai dari daya dukung tanah pada jalan maksimal sebesar 7,57 psf sedangkan beban yang diterima oleh jalan sebesar 16 psf. Hal ini menunjukkan bahwa jalan tambang membutuhkan perkerasan.
4. Untuk ketebalan pada masing - masing segmen berbeda tipis dikarenakan nilai ITP yang tidak berbeda jauh, segmen 1 memiliki tebal lapisan pondasi 35 cm sehingga membutuhkan lapisan perkerasan setebal 6,5 cm dan segmen 2 memiliki tebal lapisan pondasi 50 cm sehingga membutuhkan lapisan perkerasan setebal 9,3 cm.

Acknowledge

1. Orang tua penulis yang telah mendukung penulis baik secara langsung ataupun secara tidak langsung;
2. Dr. Ir Yunus Ashari M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Pertambangan Unisba;
3. Ir. Zaenal, M.T. sebagai koordinator skripsi, kasie laboratorium perencanaan, dan co pembimbing yang telah memberikan arahan selama skripsi;
4. Iswandaru S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan ilmu yang sangat banyak kepada penulis;
5. Dono Guntoro Ir. M.T. sebagai teman diskusi mengenai logika berpikir mahasiswa yang baik;
6. Noor Fauzi Isniarno S.Si., M.T. sebagai dosen wali;
7. Nirmaya Wulandari sebagai orang yang selalu menemani penulis dalam pengerjaan tugas.
8. Teman angkatan 2016 yang telah memberikan support yang besar bagi penulis.

Daftar Pustaka

- [1] AASHTO, 1993. "Guide For Design Pavement Structures". American Association Of State Highway and Transportation Officials : Washington D.C.
- [2] ASTM D6951, 2009, "Standard Test Method for Use Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications", American Standard for Testing Material: Washington D.C.
- [3] Austroad. 2017. "Guide To Pavement Technology Part 2 : Pavement Structural Design". Austroad : Sydney.
- [4] Kementerian Pekerjaan Umum. 2010, "Pemberlakuan Pedoman Cara Uji California Bearing Ratio (CBR) dengan Dynamic Cone Penetrometer (DCP)". Jakarta : Menteri Pekerjaan Umum
- [5] Mohajerani, A, 2012, "A New Lightweight Dynamic Cone Penetrometer For Laboratory And Field Applications", Australian Geomechanics Journal : Australia
- [6] Planning Scheme Policy, 2008, "Engineering Design Guidelines : Pavement Design". Mackay City Council.
- [7] Sriharyani, L., 2016, "Kajian Penggunaan Dynamic Cone Penetrometer Untuk Uji Lapangan Tanah Dasar". Universitas Muhammadiyah Metro: Lampung
- [8] SNI 03-1738, 1989, "Metode Pengujian CBR Lapangan", BSN: Indonesia
- [9] SKBI - 2.3.26, 1987, "Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan

Metode Analisa Komponen”, Departemen Pekerjaan Umum : Indonesia

- [10] Tatang, D.A, 2005, “Pengujian Daya Dukung Perkerasan Jalan Menggunakan Dynamic Cone Penetrometer” Indonesia