

KORELASI NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) LAPANGAN DENGAN MENGGUNAKAN ALAT DYNAMIC CONE PENETROMETER (DCP) DAN CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) MEKANIS

Helmi¹⁾ Aprianto²⁾ Vivi Bachtiar²⁾

ABSTRAK

Tes CBR sudah amat dikenal pada kebanyakan proyek di Indonesia, baik pada proyek pembuatan jalan maupun pada proyek pengurangan. Bahkan dapat dikatakan bahwa tes CBR merupakan standar tes untuk mengetahui kekuatan tanah. Padahal tes CBR ini mempunyai kekurangan yang relatif lebih banyak dibandingkan dengan tes DCP. Untuk itu digunakan tes DCP sebagai alternatif.

Pada penelitian terdahulu, telah dihasilkan beberapa grafik hubungan antara CBR dan DCP. Tetapi grafik-grafik hubungan tersebut memiliki hasil perhitungan yang berbeda antara satu dengan yang lain. Sehingga dengan penelitian ini akan ditentukan grafik dan persamaan yang menghasilkan harga yang paling mendekati CBR yang sebenarnya.

Sejumlah data yang didapatkan dengan melakukan tes CBR mekanis dan tes DCP pada lokasi pembangunan *Dry Soil Head* PLTU Sanggau. dari hasil analisa data, akhirnya dipilih metode analisa dengan menggunakan persamaan korelasi regresi garis linier sederhana yang menghasilkan persamaan korelasi antara nilai CBR DCP dan CBR Mekanis per lima tumbukan dan dibagi dengan tingkat penetrasi pada analisa DCP, $y = 0,29941 X + 2,61881$, dengan nilai regresi yang didapat hampir mendekati satu.

Kata kunci : *Dynamic Cone Penetrometer (DCP), California Bearing Ratio (CBR) Mekanis, persamaan*

1. PENDAHULUAN

Kemajuan pembangunan dewasa ini baik pembangunan di bidang fisik maupun non fisik tidak terlepas dari peran serta segenap lapisan masyarakat. Seiring dengan kemajuan ini maka dituntut pula peningkatan mutu dari sarana dan prasarana pendukung pembangunan, salah satunya adalah peningkatan mutu dari bidang transportasi, karena transportasi merupakan prasarana pendukung yang mutlak dibutuhkan.

Di Kalimantan Barat khususnya, pertumbuhan lalu lintas setiap tahunnya terus meningkat, seiring dengan meningkatnya kepemilikan terhadap kendaraan bermotor. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor ini jika tidak diimbangi dengan penambahan sarana dan prasarana jalan akan menyebabkan terjadinya hambatan.

Sehubungan dengan hal tersebut, berbagai usaha dalam memenuhi akan kebutuhan prasarana jalan yang memadai terus ditingkatkan sesuai dengan kondisi daerah dan dana yang tersedia, sehingga dalam membangun jalan itu perlu sekali dipikirkan alternatif pemilihan sistem konstruksi yang layak digunakan dan secara teknis ekonomis dapat dicapai.

Di Kalimantan Barat, problematika tanah justru mendapat perhatian utama. Hal ini

disebabkan karena dihadapkan pada kondisi tanah yang kurang baik secara teknis, dimana daya dukungnya rendah dan memiliki sifat-sifat lain yang merugikan, sehingga pada konstruksi jalan selalu timbul gelombang-gelombang yang lama kelamaan akan berlubang dan hancur.

Melihat kondisi yang demikian, maka harus diadakan perbaikan-perbaikan (stabilisasi) pada tanah tersebut guna meningkatkan kekuatan tanah yang ada. Penambahan tanah timbunan juga merupakan alternatif langkah yang ditempuh untuk perbaikan tanah dasar (*sub-grade*). Sudah tentu diutamakan tanah timbunan yang memenuhi persyaratan bagi stabilisasi baik pada pemadatan maupun daya dukungnya (yang dinilai dalam satuan **CBR**) tanah tersebut, sehingga dapat meningkatkan konstruksi perkerasan jalan tersebut. Untuk nilai pemadatan dan *California Bearing Ratio (CBR)* dapat diperoleh berdasarkan hasil di lapangan maupun di laboratorium.

Pada peningkatan rekonstruksi jalan, pendekatan praktis yakni untuk menilai kekuatan tanah dasar maupun tanah timbunan di lapangan digunakan pengukuran penetrasi *California Bearing Ratio (CBR)* di lokasi pembangunan. Pengukuran ini didasarkan pada anggapan bahwa kondisi kadar air dan kerapatan cukup mewakili kondisi rata-rata.

Metode yang sederhana walaupun tidak begitu teliti untuk pengukuran ini biasanya digunakan *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*.

Pemakaian *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)* sebagai alat ukur penetrasi di lapangan untuk mendapatkan nilai *California Bearing Ratio (CBR)* tanah dasar, keberadaannya sangat membantu sekali terutama dalam survey teknik pada perencanaan rekonstruksi. Alat ini banyak keistimewaan dibanding alat-alat penetrasi yang ada.

Berdasarkan keistimewaan di atas jelas bahwa pengukuran di lapangan dengan menggunakan alat *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)* cocok sekali untuk digunakan pada daerah yang luas seperti Kalimantan Barat misalnya, dimana pada daerah ini fasilitas transportasi relatif sukar dan mahal.

Untuk mengantisipasi kekurangan dalam pengujian *California Bearing Ratio (CBR)* di lapangan dengan menggunakan alat uji *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)* perlu dikoreksi dengan suatu hasil hasil pengujian lapangan yang lain, dalam hal ini dengan menggunakan tes *California Bearing Ratio (CBR)* Mekanis. Dengan menggunakan faktor perbandingan dari hasil informasi suatu alat yang lebih spesifik penggunaannya untuk tekstur tanah dimana pengujian dilaksanakan.

Di dalam disain penelitian yang akan penulis lakukan kemungkinan masalah yang akan timbul adalah: Sejauh mana perbedaan antara nilai kekuatan tanah yang diberikan dari hasil pengujian dengan alat uji *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)* dibandingkan dengan hasil pengujian dengan tes *California Bearing Ratio (CBR) Mekanis*.

2. METODOLOGI

Waktu melaksanakan penelitian dilakukan pada bulan Februari 2013. Tempat melaksanakan penelitian di lapangan dilakukan diberbagai daerah area

2.1. *California Bearing Ratio (CBR) Mekanis*

Maksud Percobaan

Maksud dari percobaan ini adalah untuk menentukan nilai *California Bearing Ratio (CBR)* dari contoh-contoh tanah yang diperoleh dari lokasi tempat penelitian dilaksanakan.

Nilai *California Bearing Ratio (CBR)* adalah bilangan perbandingan (dalam persen) antara

1. Adakah hubungan/korelasi antara *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)* dan *California Bearing Ratio (CBR) Mekanis*, serta seberapa besar faktor korelasi yang dihasilkan dari tingkat perbedaan hasil data yang diperoleh.

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menggambarkan sejauh mana ketelitian hasil pengukuran kekuatan tanah yang diperoleh dengan menggunakan alat *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)* sebagai alat ukur dibandingkan dengan pengukuran kekuatan tanah dengan tes *California Bearing Ratio (CBR) Mekanis*.

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah menentukan daya dukung lapisan tanah, dengan menggunakan alat *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)* dan *California Bearing Ratio (CBR) Mekanis* dan membuat persamaan-persamaan korelasi nilai hasil *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)* dan *California Bearing Ratio (CBR) Mekanis*.

Sebagai penelitian yang berskala kecil maka penelitian ini dapat dikembangkan lagi menjadi suatu penelitian yang berskala besar dimana untuk ini diperlukan waktu yang cukup dan biaya yang relatif besar.

Hasil dari penelitian ini diharapkan berguna sebagai acuan untuk menggunakan alat *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)* sebagai alat ukur pada diskripsi tanah yang sama dengan diskripsi tanah dilokasi dimana penelitian dilaksanakan.

tekanan yang diperlukan untuk menembus tanah dengan piston berpenampang bulat seluas 3 inci² dengan kecepatan penetrasi 0,05 inci/menit terhadap tekanan yang diperlukan untuk menembus suatu bahan standard tertentu. Penentuan nilai *California Bearing Ratio (CBR)* di sini dilakukan terhadap contoh tanah setelah dipadatkan secara standar. Alat-alat Yang Digunakan

1. Dongkrak *California Bearing Ratio (CBR)* mekanis dengan kapasitas 10 ton, dilengkapi dengan "swivelhead" dan alat pengukur beban, cincin penguji (*proving ring*) dengan kapasitas 1,5 ton, 3 ton, 5 ton (3000 lb, 6000 lb, 10000 lb) atau

- sesuai dengan kebutuhan, torak (piston) penetrasi dan pipa-pipa penyambung.
2. Dua buah arloji penunjuk untuk mengukur penetrasi dengan ketelitian 0,01 mm atau 0,001" dilengkapi balok penyokong dari besi profil sepanjang lebih kurang 2,5 meter.
 3. Keping beban yang bergaris tengah 25 cm atau 10" berlubang di tengah dengan berat 5 kg atau 10 lb dan beban-beban tambahan seberat 2,5 kg atau 5 lb yang dapat ditambahkan bilamana perlu.
 4. Sebuah truk yang dibebani sesuai dengan kebutuhan dan di bawahnya dapat dipasang sebuah dongkrak *California Bearing Ratio (CBR)* mekanis.
 5. Dua dongkrak truk, alat-alat penggali, alat-alat penumbuk, alat-alat perata dan lain-lain.

Persiapan benda uji

Untuk pengujian *California Bearing Ratio (CBR)* langsung di tempat, tidak diperlukan benda uji.

Persiapan tempat

- a. Menggali sampai lapisan yang dikehendaki dan ratakan permukaan daerah ini hingga datar (*waterpas*) seluas kira-kira 60 x 60 cm². bersihkan semua bahan yang lepas untuk tempat pengujian.
- b. Memulai pengujian secepat mungkin sesudah persiapan tempat. Selama pemasangan alat, permukaan tanah harus ditutup dengan lembaran plastik untuk menghindari perubahan kadar air.
Peralatan untuk pengujian langsung di tempat (*in place*)
- a. Menempatkan truk tersebut sehingga dongkrak *California Bearing Ratio (CBR)* mekanis tepat berada di atas lobang pemeriksaan. Gunakan dongkrak truk untuk menaikan truk, supaya tidak lagi bekerja di atas per-nya. Usahakan supaya as roda belakang sejajar dengan muka jalan yang diperiksa.
- b. Memasang dongkrak *California Bearing Ratio (CBR)* mekanis dan alat-alat lainnya supaya piston penetrasi berada 1 atau 2 cm dari permukaan yang akan diperiksa. Aturilah cincin penguji sehingga torak dalam keadaan vertikal. Kunciilah, alat-alat pada dudukan ini. Letakkan keeping beban diameter 25 cm atau 10" sentries di bawah torak penetrasi sehingga torak penetrasi tepat masuk ke dalam lubang keeping beban tersebut.

Cara Pengujian *California Bearing Ratio (CBR)* Mekanis

- a. Menurunkan torak penetrasi pada permukaan tanah sehingga piston penetrasi memberikan beban permulaan sebesar 4,5 kg atau 10 lb.
- b. Apabila dikehendaki gunakan beban-beban tambahan.
- c. Mengatur arloji cincin penguji dan arloji penunjuk penetrasi pada angka nol.
- d. Memberikan pembebanan dengan teratur, sehingga kecepatan penetrasinya mendekati kecepatan tetap 1,25 mm atau 0,05" per menit. Catatlah pembacaan beban pada penetrasi 3,128 mm atau 0,0125"; 0,62 mm atau 0,025"; 1,25 mm atau 0,05"; 0,187 mm atau 0,075"; 2,5 mm atau 0,10"; 3,75 mm atau 0,15"; 5 mm atau 0,20"; 7,5 mm atau 0,30"; 10 mm atau 0,40"; dan 12,5 mm atau 0,50".
- e. Menentukan kadar air dan berat isi bahan setempat.

Perhitungan

1. Grafik penetrasi dan tekanan penetrasi
 - Menghitung penekan penetrasi = gaya /beban penetrasi dibagi luas piston penetrasi (= 3 inci² = 19,35 cm²).
 - Kemudian membuat gambar grafik hubungan antara penetrasi dan tekanan penetrasinya, dengan penetrasi sebagai absis dan tekanan sebagai kordinat.
2. Nilai *California Bearing Ratio (CBR)*
 - Hitung nilai *California Bearing Ratio (CBR)* (dinyatakan dalam persen) dari grafik yang telah dikoreksi, yaitu perbandingan antara tekanan penetrasi yang diperoleh terhadap penekan penetrasi standard, dengan cara:
 - Nilai penekanan penetrasi untuk penetrasi 2,54 mm (0,1") terhadap penekanan penetrasi standard yang besarnya 70,37 kg/cm² (1000 psi),

$$CBR = \frac{P_1}{70,37} \times 100 \% \quad (P_1 \text{ dalam } \frac{kg}{cm^2})$$

Atau

$$CBR = \frac{P_1}{1000} \times 100 \% \quad (P_1 \text{ dalam } psi)$$

- Nilai tekanan penetrasi untuk penetrasi 5,08 mm (0,2") terhadap tekanan penetrasi standard yang besarnya

$$105,56 \text{ km/cm}^2 \quad (1500 \text{ psi}),$$

$$CBR = \frac{P_2}{1.5} \times 100\% \quad (P_2 \text{ di } k / \text{cm}^2)$$

$$\text{Atau}$$

$$C = \frac{P_2}{1} \times 100\% \quad (P_2 \text{ di } p)$$

- Nilai *California Bearing Ratio* (CBR) yang digunakan dan dilaporkan untuk penetrasi 0,1”.
- Apabila dalam pemeriksaan ternyata nilai *California Bearing Ratio*

2.2. Dynamic Cone Penetrometer (DCP)

Maksud penelitian

Pengujian dengan menggunakan alat ini dimaksudkan adalah untuk menentukan nilai *California Bearing Ratio* (CBR) *sub-grade* (tanah dasar) dalam suatu sistem perkerasan secara cepat dan praktis

Peralatan *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP)

- Mistar ukur
- Batang penetrasi
- Konus
- Landasan penumbuk
- Stang pelurus
- Palu penumbuk
- Kunci pas
- Tas terpal (tempat membawa alat)

spesifikasi alat *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP)

- Konus : Baja yang diperkeras. Diameter 20 cm. Sudut kemiringan 60°.
- Palu penumbuk : Berat 8 kg. Tinggi jatuh 575 mm.
- Mistar : Panjang 100 cm.
- Batang Penetrasi : Diameter 16 mm, panjang 100 cm.

Prosedur penelitian

1. Meletakkan penetrometer yang telah dirakit di atas permukaan tanah yang akan diperiksa. Letakkan alat ini sedemikian rupa sehingga berada dalam posisi vertikal. Penyimpangan sedikit saja akan menyebabkan kesalahan pengukuran relatif besar.
2. Membaca posisi awal penunjukan mistar ukur (X_0) dalam satuan (mm) yang terdekat. penunjukan X_0 ini tidak perlu tepat pada angka nol karena nilai X_0 ini akan diperhitungkan pada nilai penetrasi.
3. Mengangkat palu penumbuk sampai menyentuh pemegang, lalu lepaskan

(CBR) untuk penetrasi 0,2” lebih besar dari nilai untuk penetrasi 0,1”, maka percobaan harus diulang. Dan ternyata apabila pada percobaan ulan ini nilai *California Bearing Ratio* (CBR) untuk penetrasi 0,2” tetap lebih besar dari yang untuk penetrasi 0,1”; maka nilai *California Bearing Ratio* (CBR) yang digunakan adalah nilai *California Bearing Ratio* (CBR) untuk penetrasi 0,2”.

sehingga menumbuk landasan penumbuknya. Tumbukan ini menyebabkan konus menembus tanah penetrasi.

4. Membaca penurunan mistar ukur (X_1) setelah terjadi penetrasi.
5. Mengulangi prosedur 3 dan 4 berulang kali sampai batas kedalaman yang akan diperiksa (1 meter), untuk mendapatkan nilai X_1 , X_2 , X_3 dan seterusnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Penelitian laboratorium

Dalam penelitian di Laboratorium, dilakukan pemeriksaan sifat mekanis tanah (*engineering properties*), yaitu sifat tanah setelah mengalami perlakuan kontruksi seperti pembebanan, pemadatan, dan sebagainya. Hasil yang diperoleh dari pemeriksaan ini digunakan sebagai parameter dalam mendesain kontruksi.

3.1.1. Hasil Pemeriksaan Sifat Mekanis Tanah

Pemeriksaan sifat mekanis tanah dalam penelitian ini meliputi :

- Pengujian kepadatan tanah di Laboratorium
- Pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) Laboratorium

3.1.1.1. Hasil Pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) Laboratorium

Hasil pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) Laboratorium diperoleh:

Tabel 1. Hasil nilai pengujian *California Bearing Ratio (CBR) Laboratorium*

NO	CBR LAB	dry	wopt
	(%)	(gr/cm ³)	(%)
1	16.722	2.013	17.000
2	20.902	1.866	10.800
3	14.800	1.827	18.800
4	17.558	1.728	20.000
5	20.066	1.888	20.000
6	18.120	1.915	16.800
7	29.263	2.013	15.200
8	25.083	2.005	15.600
9	22.993	2.009	16.800
10	20.902	2.002	17.200
11	25.083	1.972	14.400
12	18.812	1.882	18.800

Sumber : data pematatan laboratorium penelitian dan data sekunder dari pematatan laboratorium timbunan pada pekerjaan Dry Soil Head PLTU Sanggau. PT. ZUG INDUSTRY INDONESIA

Batasan nilai *California Bearing Ratio (CBR)* tanah setelah dilakukan pengujian *California Bearing Ratio (CBR) Laboratorium* adalah :
14.800% - 29.263%

3.2. Hasil Penelitian Lapangan

Pada penelitian lapangan, dilakukan 3 (tiga) bentuk pengujian kekuatan tanah, yaitu :

- Pengujian dengan menggunakan *California Bearing Ratio (CBR) Mekanis*
- Pengujian dengan menggunakan *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*

3.2.1. Hasil Pengujian Dengan Menggunakan CBR Mekanis

Dari dua belas titik lokasi pengujian *California Bearing Ratio (CBR) Mekanis* diperoleh hasil

Tabel 2. Nilai *California Bearing Ratio (CBR) Mekanis*

No	titik	CBR MEKANIS
1	1	32.65
2	2	61.86
3	3	30.93
4	4	32.65
5	5	68.73
6	6	32.65
7	7	54.98
8	8	22.34
9	9	39.52
10	10	41.24
11	11	27.49
12	12	42.96

Sumber: data sekunder pada pekerjaan timbunan Dry Soil Head PLTU Sanggau. PT. ZUG INDUSTRY INDONESIA

3.2.2. Hasil Pengujian Dengan Menggunakan DCP

Dari dua belas titik di lokasi pengujian *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)* Diperoleh hasil :

Tabel 3. Nilai CBR DCP

NO	Titik	CBR DCP (%)
1	1	27
2	2	22
3	3	16
4	4	31
5	5	24
6	6	30
7	7	12
8	8	25
9	9	22
10	10	19
11	11	17
12	12	13

Sumber : data sekunder DCP pada pekerjaan Dry Soil Head PLTU Sanggau. PT. ZUG INDUSTRY INDONESIA

Dari analisa data dapat diketahui bahwa terdapat per bedaan antara nilai CBR yang

dihasilkan dari melakukan tes *California Bearing Ratio (CBR)* Mekanis dengan nilai CBR yang dihasilkan dari melakukan tes *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*.

Perbedaan Perbedaan nilai CBR ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain sebagai berikut :

- Lapisan tanah urugan yang tidak seragam, yang dapat disebabkan oleh tingkat pemadatan yang tidak sama.
- Terdapat perbedaan tingkat ketelitian untuk nilai CBR yang dihasilkan dari penggunaan *California Bearing Ratio (CBR)* Mekanis dan *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*
- Penetrasi yang digunakan pada kedua alat pengujian *California Bearing Ratio (CBR)* Mekanis dan *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)* memiliki karakter dan bentuk yang berbeda

Dengan adanya perbedaan-perbedaan nilai tersebut maka dicoba untuk dianalisa apakah tes *California Bearing Ratio (CBR)* Mekanis dan *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)* ini bisa dikorelasikan.

Untuk itu dibuat grafik hubungan antara nilai CBR *California Bearing Ratio (CBR)* Mekanis dan *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*. Pada grafik ini, sumbu x menyatakan nilai CBR dari pengujian *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)* dan sumbu y menyatakan besar nilai CBR dari pengujian *California Bearing Ratio (CBR)* Mekanis.

3.3. Korelasi Antara Hasil Pengujian CBR Lapangan dan DCP

3.3.1. Metode Garis Regresi Linier Sederhana

Dalam menganalisa kolerasi antara hasil pengujian *California Bearing Ratio (CBR)* Mekanis dan *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)* dalam penelitian ini digunakan metode garis regresi linier sederhana, dimana nantinya akan timbul istilah variabel bebas dan variabel terikat. Disini variabel bebasnya adalah hasil pengujian *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)* sedangkan variabel terikatnya adalah hasil dari pengujian *California Bearing Ratio (CBR)* Mekanis.

Data yang diperoleh dari pengujian di lapangan :

Tabel 4. Hasil pengujian CBR DCP dan CBR Mekanis

Titik No	CBR DCP (X _i)	CBR CBR MEKANIS (Y _i)
1	27	32,65
2	22	61,86
3	16	30,93
4	31	32,65
5	24	68,73
6	30	32,65
7	12	54,98
8	25	22,34
9	22	39,52
10	19	41,24
11	17	27,49
12	13	42,96

Sumber : data sekunder DCP pada pekerjaan Dry Soil Head PLTU Sanggau. PT. ZUG INDUSTRY INDONESIA

Keterangan :

- Kolom 1 menunjukkan penomoran sekaligus titik pengujian
- Kolom 2 menunjukkan nilai/hasil dari pengujian *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*
- Kolom 3 menunjukkan nilai/hasil dari pengujian CBR mekanis

Analisa Data

Perhitungan Koefisien Korelasi (r)

Koefisien korelasi dihitung dengan rumus :

$$r = \frac{\sum x_i y_i}{\sqrt{\sum x_i^2 \cdot \sum y_i^2}}$$

Dimana :

$$x_i = x_i - x_{rt}$$

$$y_i = y_i - y_{rt}$$

x_i : nilai x pada data ke 1

y_i : nilai y pada data ke 1

x_{rt} : nilai rata-rata x

y_{rt} : nilai rata-rata y

Tabel 5. Nilai koefisien korelasi dan kekuatan hubungan antar variabel

Nilai Koefisien Korelasi	Keterangan
1	hubungan positif sempurna
0.6 - 1	hubungan langsung positif baik
0 - 0.6	hubungan langsung positif lemah
0	tidak terdapat hubungan linier
-0.6 - 0	hubungan langsung negatif lemah
-1 - -0.6	hubungan langsung negatif baik
-1	hubungan negatif sempurna

Tabel 6. Analisa perhitungan koefisien korelasi garis linier sederhana pada kedalaman satu meter.

No	CBR DCP (X _i)	CBR CBR MEKANIS (Y _i)	X _i	Y _i	X _i ²	Y _i ²	X _i · Y _i
1	27	32.65	5.50	-8.02	30.25	64.27	-44.0917
2	22	61.86	0.50	21.19	0.25	449.16	10.59667
3	16	30.93	-5.50	-9.74	30.25	94.80	53.55167
4	31	32.65	9.50	-8.02	90.25	64.27	-76.1583
5	24	68.73	2.50	28.06	6.25	787.55	70.15833
6	30	32.65	8.50	-8.02	72.25	64.27	-68.1417
7	12	54.98	-9.50	14.31	90.25	204.87	-135.977
8	25	22.34	3.50	-18.33	12.25	335.87	-64.1433
9	22	39.52	0.50	-1.15	0.25	1.31	-0.57333
10	19	41.24	-2.50	0.57	6.25	0.33	-1.43333
11	17	27.49	-4.50	-13.18	20.25	173.62	59.295
12	13	42.96	-8.50	2.29	72.25	5.26	-19.4933
	ΣX _i	ΣY _i			ΣX _i ²	ΣY _i ²	ΣX _i · Y _i
	258.00	488.00			431.00	2245.58	-216.41
	X _{rt}	Y _{rt}					
	21.50	40.67					

Tabel analisa perhitungan perbandingan antara nilai CBR DCP dengan nilai CBR MEKANIS sesungguhnya

Keterangan :

- Kolom 1 menunjukkan penomoran sekaligus menunjukkan titik pengujian dilapangan
- Kolom 2 nilai CBR DCP
- Kolom 3 nilai dari CBR Mekanis
- Kolom 4 yaitu (X_i) nilai dari pengurangan nilai CBR DCP (X_i) dengan CBR DCP rata-rata
- Kolom 5 yaitu nilai (Y_i) dari pengurangan dari nilai CBR Mekanis dengan nilai CBR Mekanis rata-rata
- Kolom 6 yaitu nilai dari kolom 4 dikuadratkan
- Kolom 7 yaitu nilai dari kolom 5 dikuadratkan
- Kolom 8 yaitu nilai dari perkalian antara kolom 3 dengan kolom 4

Diperoleh :

$$r = \frac{\sum X_i Y_i}{\sqrt{\sum X_i^2 \cdot \sum Y_i^2}} = \frac{-216,41}{\sqrt{431 \times 2245,58}}$$

$$= -0,21998$$

Karena nilai koefisien korelasinya R= -0,21998, maka menunjukkan adanya hubungan antara hasil uji *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) dan *California Bearing Ratio* (CBR)

Mekanis adalah hubungan langsung negatif lemah.

Menghitung Persamaan Garis Regresi

Persamaan garis regresi linier sederhana adalah :

$$Y = bx + a$$

Dimana :

$$b = \frac{\sum X_i Y_i}{\sum X_i^2}$$

$$a = Y - b \cdot X$$

Dari tabel analisa data *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) dan *California Bearing Ratio* (CBR) Mekanis diperoleh :

$$b = \frac{\sum X_i Y_i}{\sum X_i^2} = \frac{-216,41}{431}$$

$$= -0,50211$$

$$a = Y_{rt} - b \cdot X_{rt}$$

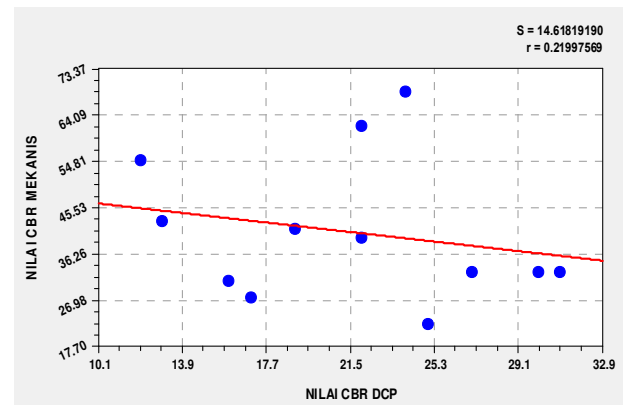
$$= 40,67 - (-0,50211 \times 21,50)$$

$$= 51,4621$$

Jadi persamaan regresi dari hasil pengujian kekuatan tanah menggunakan *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) dan *California Bearing Ratio* (CBR) Mekanis adalah :

$$Y = -0,5021X + 51,4621$$

Dalam bentuk grafik :



Grafik 1. Grafik metode garis regresi linier CBR DCP VS CBR MEKANIS

Dari Grafik 3.1. persamaan analisa regresi linier dapat dilihat bahwa kenaikan nilai CBR *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) tidak diikuti oleh kenaikan nilai CBR dari *California Bearing Ratio* (CBR) Mekanis yang sebenarnya atau semakin besar nilai CBR DCP maka semakin kecil pula nilai CBR Mekanis, dan dilihat dari nilai regresinya (r = 0.0.21997569) memiliki hubungan positif lemah.

3.3.2. Dengan Metode Korelasi Regresi Eksponensial

Dalam menganalisa kolerasi antara hasil pengujian *California Bearing Ratio* (CBR)

Mekanis dan *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) dalam penelitian ini digunakan metode regresi eksponensial, dimana nantinya akan timbul istilah variabel bebas dan variabel terikat. Disini variabel bebasnya adalah hasil pengujian *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) sedangkan variabel terikatnya adalah hasil dari pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) Mekanis.

Analisa data

Bentuk umum model persamaan regresi eksponensial :

$$Y = b e^{ax}$$

Dengan :

Y : regresi eksponensial Y terhadap X (variabel tak bebas)

X : variabel bebas (nilai dari pengujian *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP))

A, b : konstanta

$$Y_i > 0$$

Tabel 7. Tabel perhitungan persamaan regresi eksponensial pada nilai CBR DCP kedalaman satu meter

Titik	CBR DCP	CBR MEKANIS	$P_i = \ln Y$	$(X_i - X)$	$(P_i - P)$	$(X_i - X)^2$	$(P_i - P)^2$	$(X_i - X)(P_i - P)$
No	(X)	(Y)						
1	27	32.65	3.486	5.500	-0.166	30.250	0.028	-0.916
2	22	61.86	4.125	0.500	0.473	0.250	0.223	0.236
3	16	30.93	3.432	-5.500	-0.221	30.250	0.049	1.213
4	31	32.65	3.486	9.500	-0.166	90.250	0.028	-1.582
5	24	68.73	4.230	2.500	0.578	6.250	0.334	1.445
6	30	32.65	3.486	8.500	-0.166	72.250	0.028	-1.415
7	12	54.98	4.007	-9.500	0.355	90.250	0.126	-3.369
8	25	22.34	3.106	3.500	-0.546	12.250	0.298	-1.911
9	22	39.52	3.677	0.500	0.024	0.250	0.001	0.012
10	19	41.24	3.719	-2.500	0.067	6.250	0.004	-0.168
11	17	27.49	3.314	-4.500	-0.339	20.250	0.115	1.523
12	13	42.96	3.760	-8.500	0.108	72.250	0.012	-0.917
Σ	258		43.828	0.000	0.000	431.000	1.244	-5.848

Table analisa perhitungan untuk mencari nilai korelasi regresi eksponensial

Dari tabel, diperoleh :

$$X = \frac{2}{1} = 21,50$$

$$P = \frac{4,8}{1} = 3,652$$

Koefisien korelasi (R) adalah :

$$R = \frac{\Sigma(X_i - X)(P_i - P)}{\sqrt{(\Sigma(X_i - X)^2) \times (\Sigma(P_i - P)^2)}} = \frac{-5,8}{\sqrt{431,000 \times 1,2}} = -0,25252$$

Karena nilai koefisien korelasinya R= -0,2525, maka menunjukkan adanya hubungan antara hasil uji *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) dan *California Bearing Ratio* (CBR) Mekanis adalah hubungan langsung negatif lemah.

Simpangan baku (X) dihitung menggunakan rumus:

$$\sigma X = \sqrt{\frac{\Sigma(X_i - X)^2}{(N - 1)}} = \sqrt{\frac{431,000}{(12 - 1)}} = 6,259538$$

Simpangan baku nilai P dihitung menggunakan rumus :

$$\sigma P = \sqrt{\frac{\Sigma(P_i - P)^2}{(N - 1)}} = \sqrt{\frac{1,244}{(12 - 1)}} = 0,336317$$

Perbandingan nilai residu X dan P adalah :

$$\left(\frac{\sigma X}{\sigma P}\right) = \sqrt{\frac{\Sigma(P_i - P)^2}{\Sigma(X_i - X)^2}} = \sqrt{\frac{1,244}{431,000}} = 0,053729$$

Kemiringan garis regresi dihitung dengan rumus :

$$A = R \times \left(\frac{\sigma X}{\sigma P}\right)$$

$$A = -0,25252 \times 0,053729$$

$$A = -0,01357$$

Sehingga persamaan regresi liniernya (P') adalah :

$$P' = P + A (X - 21,500)$$

$$P' = 3,652 + (-0,01357)(X - 21,500)$$

$$P' = -0,01357X + 3,943755$$

Apabila ditransformasikan kembali menjadi model eksponensial, dengan :

$$\ln b = B$$

$$\ln b = 3,943755, \text{ maka } b = 51,62$$

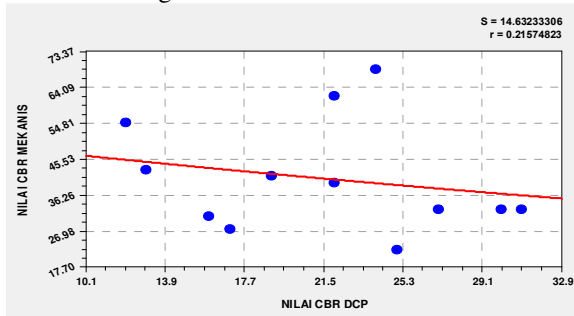
$$a = A = -0,01357$$

maka persamaan regresi eksponensialnya adalah

$$Y = b.e^{ax}$$

$$Y = 54,00e^{-0,01357x}$$

Dalam bentuk grafik :



Grafik 2. Metode korelasi regresi eksponensial CBR DCP vs CBR MEKANIS

Dari Grafik 2. persamaan analisa regresi eksponensial dapat dilihat bahwa kenaikan nilai CBR *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) tidak diikuti oleh kenaikan nilai CBR dari *California Bearing Ratio* (CBR) Mekanis yang sebenarnya atau semakin besar nilai CBR DCP maka semakin kecil pula nilai CBR Mekanis, dan dilihat dari nilai regresinya ($r = 0.21574823$) memiliki hubungan positif baik.

3.4. Analisa Korelasi Dengan Menggunakan Nilai CBR per Lima Tumbukan dibagi Dengan Tingkat Penetrasi Pada DCP

Pada kedua metode analisa data atas, hasil tes yang telah dilakukan dapat dikatakan masih kurang akurat, oleh karena itu maka dicoba untuk dianalisa kembali apakah tes *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) dan tes *California Bearing Ratio* (CBR) Mekanis ini masih dapat dikorelasikan. Untuk itu dicoba-coba diambil nilai CBR *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) pada kedalaman per lima tumbukan dan nilai CBR pada tes *California Bearing Ratio* (CBR) Mekanis dan kedua nilai CBR tersebut dibagi dengan nilai penetrasi pada DCP ($d = \text{mm/tumbukan}$).

3.4.1. Dengan Metode Korelasi Regresi Linier Menggunakan Data CBR per Lima Tumbukan Dibagi Dengan Tingkat Penetrasi

Tabel 8. Nilai CBR Dicoba diambil data per lima tumbukan dibagi d (mm/tumbukan)

no	$d=(\text{mm/tumbukan})$	CBR DCP	CBR DCP/ d	CBR MEKANIS	CBR MEKANIS/ d
1	10	55	5.5000	32.65	3.2650
2	20	26	1.3000	61.86	3.0930
3	7	39	5.5714	30.93	4.4186
4	4	70	17.5000	32.65	8.1625
5	12	22	1.8333	68.73	5.7275
6	8	42	5.2500	32.65	4.0813
7	19	13	0.6842	54.98	2.8937
8	11	24	2.1818	22.34	2.0309
9	10	26	2.6000	39.52	3.9520
10	10	26	2.6000	41.24	4.1240
11	17	48	2.8235	27.49	1.6171
12	16	16	1.0000	42.96	2.6850

Keterangan :

- Kolom 1 : (d) yaitu nilai tingkat penetrasi yang didapat pada analisa perhitungan pada program UKDCP 3.1
- Kolom 2 : nilai CBR DCP
- Kolom 3 : nilai CBR DCP dibagi dengan nilai d
- Kolom 4 : nilai CBR Mekanis
- Kolom 5 : nilai CBR Mekanis dibagi dengan nilai

Tabel 9. Perhitungan persamaan garis regresi linier sederhana CBR DCP per lima tumbukkan vs CBR MEKANIS dibagi d (mm/tumbukkan).

no	CBR DCP (X_i)	CBR CBR MEKANIS (Y_i)	X_i	Y_i	X_i^2	Y_i^2	$X_i \cdot Y_i$
1	5.500	3.265	1.43	-0.57	2.04	0.33	-0.82
2	1.300	3.093	-2.77	-0.74	7.67	0.55	2.06
3	5.571	4.419	1.50	0.58	2.25	0.34	0.87
4	17.500	8.163	13.43	4.33	180.36	18.71	58.09
5	1.833	5.728	-2.24	1.89	5.01	3.57	-4.23
6	5.250	4.081	1.18	0.24	1.39	0.06	0.29
7	0.684	2.894	-3.39	-0.94	11.47	0.89	3.20
8	2.182	2.031	-1.89	-1.81	3.57	3.26	3.41
9	2.600	3.952	-1.47	0.11	2.16	0.01	-0.17
10	2.600	4.124	-1.47	0.29	2.16	0.08	-0.42
11	2.824	1.617	-1.25	-2.22	1.55	4.93	2.77
12	1.000	2.685	-3.07	-1.15	9.43	1.33	3.54
	$\sum X_i$	$\sum Y_i$			$\sum X_i^2$	$\sum Y_i^2$	$\sum X_i \cdot Y_i$
	48.84	46.05			229.06	34.07	68.59
	X_{rt}	Y_{rt}					
	4.07	3.84					

Keterangan :

- Kolom 1 menunjukkan penomoran sekaligus menunjukkan titik pengujian dilapangan
- Kolom 2 nilai CBR DCP
- Kolom 3 nilai dari CBR Mekanis
- Kolom 4 yaitu (X_i) nilai dari pengurangan nilai CBR DCP (X_i) dengan CBR DCP rata-rata
- Kolom 5 yaitu nilai (Y_i) dari pengurangan dari nilai CBR Mekanis dengan nilai CBR Mekanis rata-rata
- Kolom 6 yaitu nilai dari kolom 4 dikuadratkan
- Kolom 7 yaitu nilai dari kolom 5 dikuadratkan
- Kolom 8 yaitu nilai dari perkalian antara kolom 3 dengan kolom 4

Diperoleh :

$$r = \frac{\sum X_i Y_i}{\sqrt{\sum X_i^2 \cdot \sum Y_i^2}} = 0,77641$$

Karena nilai koefisien korelasinya $R=0,77641$, maka menunjukkan adanya hubungan antara hasil uji *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) dan *California Bearing Ratio* (CBR) Mekanis adalah hubungan langsung positif baik.

Menghitung Persamaan Garis Regresi

Persamaan garis regresi linier sederhana adalah :

$$Y = bx + a$$

Dimana :

$$b = \frac{\sum X_i Y_i}{\sum X_i^2}$$

$$a = Y - b \cdot X$$

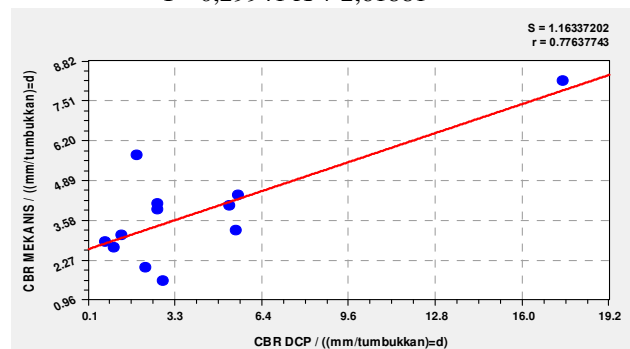
Dari tabel analisa data *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) dan *California Bearing Ratio* (CBR) Mekanis diperoleh :

$$b = \frac{\sum X_i Y_i}{\sum X_i^2} = \frac{68,59}{229,06} = 0,29941$$

$$a = Y_{rt} - b \cdot X_{rt} = 3,84 - (0,29941 \times 4,07) = 2,61881$$

Jadi persamaan regresi dari hasil pengujian kekuatan tanah menggunakan *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) dan *California Bearing Ratio* (CBR) Mekanis adalah :

$$Y = 0,29941 X + 2,61881$$



Grafik 3. Grafik CBR DCP vs CBR MEKANIS per lima tumbukkan

Dari Grafik 3.5. persamaan analisa regresi linier dapat dilihat bahwa kenaikan nilai CBR *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) diikuti oleh kenaikan nilai CBR dari *California Bearing Ratio* (CBR) Mekanis yang diambil per lima tumbukkan nilai CBR DCP masing-masing dibagi dengan nilai d (mm/tumbukkan), atau semakin besar nilai CBR DCP maka semakin besar pula nilai CBR Mekanis, dan dilihat dari nilai regresinya ($r = 0.77637743$) memiliki hubungan positif baik.

3.4.2. Dengan Metode Korelasi Regresi Linier Menggunakan Data CBR per Lima Tumbukan Dibagi Dengan Tingkat Penetrasi

Tabel 10. Perhitungan regresi eksponensial

Titik	CBR DCP	CBR CBR MEKANIS	$P_i = \ln Y$	$(X_i - X)$	$(P_i - P)$	$(X_i - X)^2$	$(P_i - P)^2$	$(X_i - X)(P_i - P)$
No	(X_i)	(Y_i)						
1	5,500	3,265	1,183	1,430	-0,073	2,044	0,005	-0,105
2	1,300	3,093	1,129	-2,770	-0,128	7,675	0,016	0,353
3	5,571	4,419	1,486	1,501	0,229	2,253	0,053	0,344
4	17,500	8,163	2,100	13,430	0,843	180,355	0,710	11,320
5	1,833	5,728	1,745	-2,237	0,489	5,004	0,239	-1,093
6	5,250	4,081	1,406	1,180	0,150	1,392	0,022	0,177
7	0,684	2,894	1,063	-3,386	-0,194	11,466	0,038	0,657
8	2,182	2,031	0,708	-1,889	-0,548	3,567	0,300	1,035
9	2,600	3,952	1,374	-1,470	0,118	2,162	0,014	-0,173
10	2,600	4,124	1,417	-1,470	0,160	2,162	0,026	-0,236
11	2,824	1,617	0,481	-1,247	-0,776	1,555	0,602	0,968
12	1,000	2,685	0,988	-3,070	-0,269	9,427	0,072	0,826
Σ	48,84432		15,080	0,000	0,000	229,061	2,098	14,073

Dari tabel, diperoleh :

$$X = \frac{1}{12} \Sigma X_i = 4,070$$

$$P = \frac{1}{12} \Sigma P_i = 1,073$$

Koefisien korelasi (R) adalah :

$$R = \frac{\Sigma(X_i - X)(P_i - P)}{\sqrt{\Sigma(X_i - X)^2 \Sigma(P_i - P)^2}} = \frac{1,0}{\sqrt{2,0 \times 2,0}} = 0,64197$$

Karena nilai koefisien korelasinya $R = 0,5611$, maka menunjukkan adanya hubungan antara hasil uji *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) dan *California Bearing Ratio* (CBR) Mekanis adalah hubungan langsung positif baik.

Simpangan baku (X) dihitung menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} \sigma_X &= \sqrt{\frac{\Sigma(X_i - X)^2}{N - 1}} \\ &= \sqrt{\frac{229,061}{12 - 1}} \\ &= 4,5633 \end{aligned}$$

Simpangan baku nilai P dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} \sigma_P &= \sqrt{\frac{\Sigma(P_i - P)^2}{N - 1}} \\ &= \sqrt{\frac{2,098}{12 - 1}} \end{aligned}$$

$$= 0,43673$$

Perbandingan nilai residu X dan P adalah :

$$(\sigma_X / \sigma_P) = \frac{\sqrt{\Sigma(P_i - P)^2} / \sqrt{\Sigma(X_i - X)^2}}$$

$$(\sigma_X / \sigma_P) = \frac{2,098}{229,061} = 0,0957$$

Kemiringan garis regresi dihitung dengan rumus :

$$A = R \times (\sigma_X / \sigma_P)$$

$$A = 0,64197 \times 0,0957$$

$$A = 0,06144$$

Sehingga persamaan regresi liniernya (P') adalah :

$$P' = P + A (X - 4,070)$$

$$P' = 1,257 + (0,06144)(X - 4,070)$$

$$P' = 0,06144X + 1,00694$$

Apabila ditransformasikan kembali menjadi model eksponensial, dengan :

$$\ln b = B$$

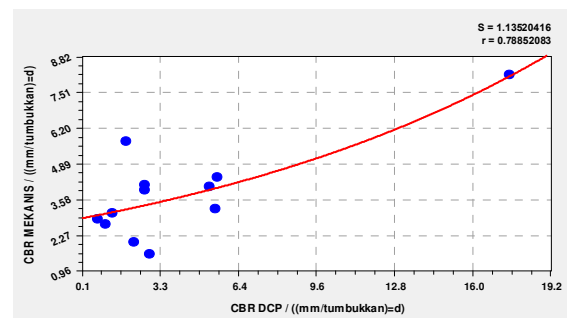
$$\ln b = 1,00694; \text{ maka } b = 2,73721$$

$$a = A = 0,06144$$

maka persamaan regresi eksponensialnya adalah

$$Y = b \cdot e^{ax}$$

$$Y = 2,73721^{0,06144X}$$



Grafik 4. Garfik CBR DCP vs CBR MEKANIS per lima tumbukan

Dari Grafik 3.5. persamaan analisa regresi eksponensial dapat dilihat bahwa kenaikan nilai CBR *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) diikuti oleh kenaikan nilai CBR dari *California Bearing Ratio* (CBR) Mekanis yang diambil per lima tumbukan nilai CBR DCP masing-masing dibagi dengan nilai d (mm/tumbukan), atau semakin besar nilai CBR DCP maka semakin besar pula nilai CBR Mekanis, dan dilihat dari nilai regresinya ($r = 0,78852083$) memiliki hubungan positif baik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa data dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan :

1. Bahwa hubungan antara *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) dan *California Bearing Ratio* (CBR) Mekanis yang diambil pada kedalaman sesungguhnya adalah hubungan langsung negatif lemah, hal ini ditunjukkan dengan nilai faktor korelasi (r) adalah -0,21998.

Sedangkan hubungan antara *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) dan *California Bearing Ratio* (CBR) Mekanis yang diambil pada per lima tumbukkan adalah hubungan langsung positif baik, hal ini ditunjukkan dengan nilai faktor korelasi (r) adalah 0.77637743 yang hampir mendekati 1 (satu).

2. Dari hasil analisa yang telah dilakukan diambil nilai korelasi yang baik, yaitu dari hasil korelasi yang ditinjau dari data nilai CBR pada per lima tumbukkan. Maka diambil korelasi regresi linier diperoleh persamaan garis regresi antara pengujian *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) dan *California Bearing Ratio* (CBR) Mekanis per lima tumbukkan adalah :

$$Y = 0,29941 X + 2,61881$$

Dari hasil analisa korelasi eksponensial diperoleh persamaan garis regresi antara pengujian *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) dan *California Bearing Ratio* (CBR) Mekanis per lima tumbukkan adalah:

$$Y = b.e^{ax}$$

$$Y = 2,73721^{0,06144X}$$

5. SARAN

Beberapa saran-saran yang dapat diberikan dengan adanya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini perlu ditingkatkan lagi untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.
2. Untuk mendapatkan data yang akurat dan teliti disarankan memperbanyak titik-titik pengujian dan data agar tingkat ketelitian yang akan dicari bisa tercapai. Dan diambil nilai CBR pada DCP per lima tumbukkan, dikarenakan hasil pada per lima tumbukkan DCP hampir mendekati nilai CBR pada CBR Mekanis.
3. Hasil penelitian ini memang belum sempurna, namun kiranya dapatlah dijadikan sebagai pembandingan ataupun sebagai data sekunder untuk penelitian selanjutnya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, 2003, Annual Book of ASTM Standards, section 4, volume 04.08 Soil and Rock.
- ASTM-D 6951-3 (2003). Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications.
- Bambang Widianto, 1995, Korelasi Nilai Kekuatan Tanah dengan Menggunakan DCP Dan Sondir, (Tugas Akhir), Pontianak, Fakultas Teknik Sipil Universitas Tanjungpura.
- Bowles, J.E., Sifat-sifat Fisis Dan Geo Teknis Tanah, Erlangga, Jakarta, 1989.
- Brown, S.F. (1996). Soil Mechanics in Pavement Engineering. Geotechnique, 46 (3), 383-426.
- Choudhary, A.K., Jha, J.N. & Gill, K.S. (2010). Utilization of Plastic Waste for Improving the Subgrades in Flexible Pavements. Geotechnical Special Publication, ASCE, 203, 320-326.
- Dirjen Bina Marga, Pedoman Penentuan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya, Departemen PU Dirjen Bina Marga, Jakarta 1983.
- Djoko Untung Soedarsono, Ir., Konstruksi jalan raya, Badan Penerbit PU, Jakarta, 1985.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1987), Panduan Pengujian CBR Lapangan, SKBI-3.2.26.1987.
- Lambe, T.W., and Whitman, R.V., 1969, Soil Mechanics, John Wiley & Sons, New York. Prentice Hall International, Inc, New Jersey.
- MBT Utama, P.T., Dynamic Cone Penetrometer, Mektan Babakan, Tujuh Utama, Jakarta.
- Misra, A, 2006, CBR and DCP Correlation for Class C Fly Ash-Stabilized Soil <http://journalsip.astm.org/journals/geotech/pages/667.htm>
- Pedoman Praktikum Mekanika Tanah, Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, 1992.
- Scala, A.J. (1956). Simple Methods of Flexible Pavement Design Using Cone Penetrometer. *N. Z. Eng.*, 11 (2).
- Wesley, (1977), Mekanika Tanah, Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Wibisono, Soesanto, & Tjandra, Boediman, (1994), Penggunaan Dynamic Cone Penetrometer sebagai korelasi dari nilai CBR (Tugas Akhir no 581 S). Surabaya, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Kristen Petra.