

# Karakteristik Material Tipe A pada Bagian *Base* dengan Menggunakan Defleksi LWD

*Characteristic of Type A Material on Base Course Using LWD Deflection*

**Ayundira Lestari, Sri Atmaja P. Rosyidi**

*Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*

**Abstrak.** Kerusakan konstruksi jalan yang terjadi salah satunya dikarenakan mutu agregat pada perkerasan yang kurang tepat sehingga berpengaruh pada kekuatan struktur jalan maupun lapisan-lapisan pembentuknya. Salah satu komponen utama dalam sistem perkerasan lentur adalah lapis pondasi (*base course*). Material pada lapis pondasi harus cukup kuat sehingga dapat menahan beban yang bekerja pada lapis tersebut. Kekuatan lapis pondasi dapat diukur menggunakan alat portable yaitu *Light Weight Deflectometer* (LWD). Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan antara parameter hasil dari pengujian LWD dan DCP. Pengujian menggunakan alat LWD dilakukan pada 16 titik secara bertahap dengan 2 level beban pada setiap titik pengujian. Sensor yang terdapat pada alat akan menerima nilai lendutan yang diperoleh akibat beban jatuh pada kedua level. Parameter hasil yang diperoleh pada pengujian kemudian diolah menggunakan korelasi *Product Moment* untuk mengetahui kekuatan hubungan dan tingkat variabilitas data. Hasil penelitian ini memperoleh nilai modulus elastisitas (E) antara alat LWD dengan DCP sebesar 0,9209. Hasil korelasi antara kedua alat tersebut menunjukkan tingkat hubungan antara parameter hasil memiliki nilai korelasi yang sangat kuat yaitu diantara interval 0,80 – 1,00.

Kata-kata kunci: base course, LWD, DCP, lendutan, korelasi Product Moment

**Abstract.** One of the causes of road construction damage is the use of improper aggregate quality on pavement that affects the road structure strength and its forming layers. One of the main components in elastic pavement system is base course. Materials used as the foundation layer must be strong enough so that it can withstand the layer's load. The strength of the foundation layer can be measured by a portable device namely Light Weight Deflectometer (LWD). This research aims to identify the correlation of parameters resulted from LWD and DPC testing. The testing with LWD was done in 16 points gradually with 2 loads level at each test point. Sensor in the device will receive deflection value resulted from the loads falling to both levels. The parameter result from the testing was then analyzed using product moment correlation to know the strength of the correlation and data validity level. The research findings obtain modulus of elasticity value (E) of 0,9209 between LWD and DPC devices. The correlation of those two devices shows a strong correlation between parameters that is between the intervals of 0,80-1,00.

Keywords: base course, LWD, DCP, deflection, Product Moment correlation.

## 1. Pendahuluan

Mutu agregat pada perkerasan sangat berpengaruh pada kekuatan struktur jalan maupun lapisan – lapisan pembentuknya. Salah satu komponen utama dalam sistem perkerasan lentur adalah lapis pondasi (*base course*). Material pada lapis pondasi (*base course*) harus cukup kuat sehingga dapat menahan beban yang bekerja pada lapis tersebut. Kekuatan lapis pondasi (*base course*) dapat diukur menggunakan alat *Light Weight Deflectometer* (LWD).

*Light Weight Deflectometer* (LWD) adalah suatu sistem perkerasan *Not Destruction Test* (NDT) yang digunakan untuk mengukur kekuatan struktur jalan terutama untuk jalan yang tanpa penutup. Alat LWD merupakan alat yang sangat mudah dibawa ke lokasi atau daerah-daerah yang masih sulit diakses (portable) dan membutuhkan teknisi yang lebih sedikit dibandingkan alat *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP). Alat LWD ini dapat menghasilkan modulus elastisitas dari

gelombang akibat beban yang dijatuhkan pada ketinggian tertentu yang ditangkap oleh *geophone* kemudian dihitung menggunakan rumus Boussinesq (Siegfried, 2018).

Lapis pondasi (*base course*) adalah bagian perkerasan yang terletak diantara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah atau bagian tanah dasar.. Struktur perkerasan memerlukan pondasi jalan yang mantap yaitu tidak mengalami deformasi yang berlebihan akibat peralatan selama konstruksi dan lalu lintas selama umur perkerasan (Manual Desain Pekerjaan Umum, 2012).

Pengujian LWD pada lapisan aspal, lapis pondasi, lapis pondasi bawah atau tanah dasar harus memperhatikan level tegangan yang digunakan pada pengujian. Level tegangan yang harus diperhatikan yaitu bahan tanah dasar dan lapis pondasi bersifat stress dependent dan volume bahan pada tanah dasar dan lapis pondasi yang dipengaruhi oleh beban merupakan fungsi dari besaran beban itu sendiri (Lapian, 2018).

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan *Light Weight Deflectometer* (LWD) dan *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) dan mengukur pengaruh tinggi jatuh pada alat LWD dengan level berbeda.

### ***Material Agregat A Lapis Pondasi (Base Course)***

Menurut Amaliyah dkk (2015) lapis pondasi mengalami tegangan tarik dan regangan tekan pada saat perkerasan menerima beban. Kekuatan dan keawetan suatu konstruksi perkerasan sangat tergantung dari kualitas agregat dan daya dukung tanah. Pemilihan material perkerasan didasarkan pada beberapa pertimbangan seperti persyaratan untuk struktur perkerasan, keawetan, biaya, tingkat kemudahan dalam pelaksanaan dan pengalaman.

Material untuk perkerasan lentur dan kaku, meliputi : agregat batuan atau material granuler, aspal, beton dan baja tulangan. Agregat adalah sekumpulan butiran batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain yang berupa material alam atau buatan. Agregat buatan pada perkerasan lentur

digunakan sebagai material pembentuk lapis permukaan, lapis pondasi dan lapis pondasi bawah (Hardiyatmo, 2015).

Menurut Manual Desain Pekerjaan Umum (2012) macam-macam bahan alam yang mempunyai CBR > 50% dapat digunakan untuk lapis pondasi, contohnya: batu pecah, kerikil pecah dan tanah yang distabilisasi dengan semen atau kapur dan bahan lainnya. Lapis pondasi mempunyai CBR antara 65% - 95% tergantung pada klasifikasi material yang digunakan. Agregat tipe A merupakan salah satu campuran agregat untuk material pada lapis pondasi (*base course*) pada suatu perkerasan jalan dengan CBR minimal 90%.

### ***Light Weight Deflectometer (LWD)***

*Light Weight Deflectometer* (LWD) adalah suatu sistem perkerasan jalan yang digunakan untuk mengukur kekuatan struktur jalan terutama untuk jalan yang tanpa penutup. LWD merupakan alat yang diciptakan lebih praktis, mudah dibawa, dan ringan seiring dengan perkembangan teknologi, sensor dan mikro elektronika yang sangat pesat pada saat ini. Penggunaan alat *Light Weight Deflectometer* (LWD) ini berkembang cukup pesat di Eropa dan Afrika khususnya di Amerika dan Afrika Selatan (Horak, 2008).

Menurut Pd 03-2016-B, alat *Light Weight Deflectometer* ini merupakan alat pengukuran lendutan dari permukaan lapisan akibat beban *impact* yang dijatuhkan. Selain dari lendutan pada titik pembebanan, lendutan juga harus bisa diukur pada jarak tertentu dari titik pembebanan tersebut. Lendutan yang dihasilkan dapat digunakan untuk menentukan kinerja perkerasan dan karakteristik lapisan perkerasan.

Pola kerja alat LWD terdiri atas beban jatuhnya yang dijatuhkan pada ketinggian tertentu dan kemudian menghasilkan getaran yang ditangkap oleh *geophone*. Posisi *geophone* ini berada pada 0 mm dan 200 mm, dari pusat pembebanan. Getaran yang diterima oleh *geophone* kemudian diubah menjadi digital oleh prosesor dan kemudian dikirim ke laptop (Siegfried, 2018).

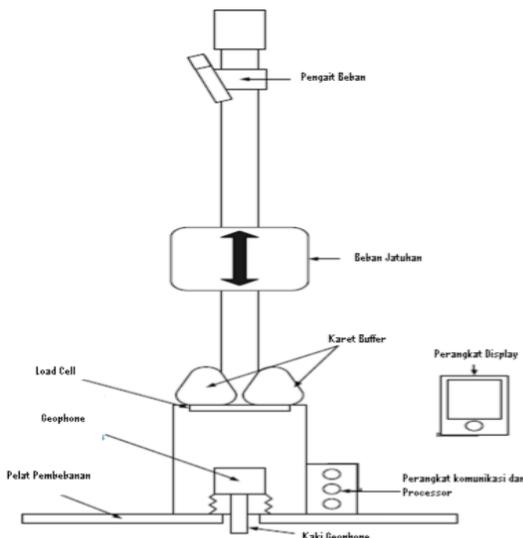
Menurut Rosyidi dan Siegfried (2010) pemberian asumsi beban yang dijatuhkan terhadap struktur perkerasan lentur dapat memberikan dampak yang sama seperti beban roda kendaraan dan respon perkerasan jalan terhadap beban kendaraan yang berupa lendutan.

Lendutan yang ditimbulkan akibat beban jatuhnya diukur dengan instrumen tertentu. Pengujian bisa dilakukan beberapa kali pada lokasi yang sama. Besarnya lendutan dapat dihitung dari data vibrasi yang dicatat oleh geophone yang dihasilkan akibat beban jatuh pada alat yang dihitung menggunakan rumus Boussinesq. Menurut Shivanth dkk (2015) perhitungan defleksi yang diukur untuk memperkirakan modulus deformasi dinamis dengan rumus sebagai berikut:

$$E_{LWD} = \frac{(1-\mu^2) \times K \times \sigma_0 \times \alpha}{d_c} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- $E_{LWD}$  = Modulus elastisitas (MPa)
- $\mu$  = Poisson's rattoo
- $K$  = Faktor tegangan distribusi ( $\frac{\pi}{2}$  atau 2)
- $d_0$  = Lendutan (mikro meter)
- $\sigma_0$  = Tegangan terapan (MPa)
- $\alpha$  = Jari-jari pelat(mm)



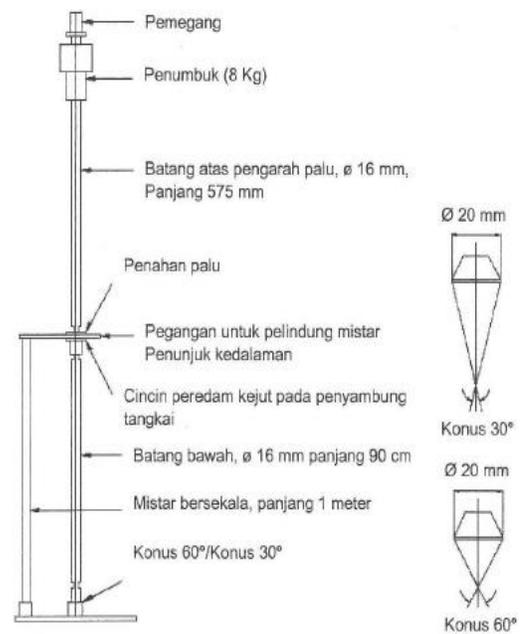
Gambar 1 Skematik alat *Light Weight Deflectometer*

Sumber : Pedoman Metoda pengujian lendutan menggunakan *Light Weight Deflectometer* (LWD)

Masing-masing titik pengujian akan menghasilkan nilai lendutan dan modulus elastisitas yang didapat langsung setelah pengujian dilakukan. Pemilihan alat LWD ini sebagai alternatif dari alat DCP agar pengujian kekuatan struktural pada perkerasan jalan khususnya lapis pondasi (base course) lebih efektif dan efisien dalam kecepatan, waktu, maupun keakuratan data yang didapat.

**Dynamic Cone Penetrometer (DCP)**

*Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) adalah alat yang digunakan untuk mengetahui daya dukung tanah berdasarkan nilai *California Bearing Ratio* (CBR). Penggunaan DCP sebagai alat ukur mempunyai keistimewaan dibanding alat penetrasi lainnya yang sangat membantu dalam survey teknik pada perencanaan rekonstruksi (Helmi dkk, 2016).



Gambar 2 alat *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP)

Sumber : Pedoman Cara Uji *California Bearing Ratio* (CBR) dengan *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP).

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan nilai *California Bearing Ratio* (CBR) tanah dasar, timbunan, dan atau suatu sistem perkerasan yang akan memberikan data

kekuatan tanah sampai kedalaman kurang lebih 70 cm di bawah permukaan lapisan tanah yang ada atau permukaan tanah dasar (Lengkong dkk, 2013).

Nilai CBR dari pengujian DCP kemudian dihitung dengan korelasi antara rata-rata penetrasi dengan nilai CBR. Nilai CBR yang telah dihitung kemudian dikonversi menjadi modulus elastisitas dengan menggunakan korelasi antara nilai modulus dan CBR (Siegfried, 2018).

Menurut Hardiyatmo (2015) korelasi antara DCP dan CBR oleh USAE Waterways Experiment Station menghasilkan nilai indeks DCP yang dikonversikan dengan nilai CBR menggunakan persamaan :

$$\text{LogCBR} = 2,46 - 1,12(\text{logDCP}) \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

CBR = kekuatan tanah yang digunakan untuk perancangan

DCP = indeks DCP = kedalaman penetrasi oleh satu kali pukulan (mm)

Menurut Amini (2013) korelasi hasil uji antara DCP dan CBR sudah pernah ada pada penelitian-penelitian sebelumnya seperti Kylen (1975), Smith and Pratt (1983), Ese dkk (1994), NDCOT (1998), Coonse (1999), Gabr dkk (2000), Naza; dkk (2003), Webster; dkk (1992), Livneh (1995), Siekmeier dkk (2000) dan Chen dkk (2001).

**Koefisien Variasi**

Koefisien Variasi (KV) menunjukkan tingkat variabilitas dari perbandingan antara simpangan standar dengan nilai hitung rata-rata yang dinyatakan dalam bentuk presentase seperti pada persamaan 3 (Akbar dkk, 2015).

$$\text{KV} = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

KV = Koefisien Variasi

S = Simpangan Baku

$\bar{X}$  = Nilai Rata-Rata

**Uji Korelasi Product Momen**

Uji korelasi bertujuan untuk mengetahui kekuatan hubungan dan arah antara data yang berkaitan yang dilambangkan (r). Menurut Azwar (2012) rumus uji korelasi *Product Momen* yang digunakan yaitu seperti pada persamaan 4.

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \times \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan :

rx<sub>y</sub> = Korelasi antara variable X dengan Y

X = variabel independent (prediktor)

Y = variabel dependen (hasil)

n = Jumlah Sampel

Menurut Akbar dkk (2015) dalam buku Sugiyono (2007) untuk dapat memberikan penafsiran terhadap koefisien korelasi yang ditemukan tersebut besar atau kecil, maka dapat berpedoman pada ketentuan yang tertera pada Tabel 1.

Tabel 1 Pedoman interpretasi terhadap koefisien korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,199	Sangat Rendah
0,20 – 0,399	Rendah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat Kuat

Sumber : Sugiyono, (2007)

Analisis korelasi adalah metode statistika yang digunakan untuk menentukan derajat hubungan linier antara dua variabel atau lebih. Semakin tinggi derajat hubungan garis lurus maka semakin nyata hubungan linier (garis lurus) antara kedua variabel atau lebih. Ukuran untuk derajat hubungan garis lurus ini dinamakan koefisien korelasi.

**Koefisien Determinasi**

Koefisien determinasi (r<sup>2</sup>) merupakan proporsi variabilitas dalam suatu data yang dihitung didasarkan pada model statistik. Menurut Azwar (2012) secara umum r<sup>2</sup>

digunakan sebagai informasi mengenai kecocokan suatu model. Regresi  $r^2$  ini dijadikan sebagai pengukuran seberapa baik garis regresi mendekati nilai data asli yang dibuat model. Apabila  $r^2$  sama dengan 1, maka angka tersebut menunjukkan garis regresi cocok dengan data secara sempurna. Besar kecilnya sumbangan nilai variabel X terhadap Y dapat ditentukan dengan rumus koefisien determinasi sebagai berikut:

$$KD = r^2 \times 100\% \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan:

KD = nilai koefisien determinasi

$r^2$  = nilai koefisien korelasi

## 2. Metode Pengujian

Penelitian dilakukan dengan panjang ukuran lapangan uji 3 m, lebar 3 m dan tinggi atau kedalaman 1,5 m. Penelitian lapis pondasi (*base course*) diuji sepanjang 3 m, lebar perkerasan 1,5 m, dan tebal perkerasan 15 cm

Alat LWD mempunyai komponen alat seperti plat pembebanan, beban jatuh yang dapat diangkat pada ketinggian tertentu, *geophone* untuk mengukur lendutan vertikal yang ditimbulkan oleh beban jatuhnya dengan jarak sensor 0 mm dan 200 mm dari titik pengujian.



Gambar 3 Alat LWD

Pengujian dengan alat LWD ini berdasarkan Pd 03-2016-B. Alat LWD diletakkan pada titik atau posisi yang akan diuji lalu beban diangkat pada level beban dan dijatuhkan. Pengujian dilakukan minimal 2 kali pada 1 titik uji.

Pengujian dengan alat DCP dilapangan membutuhkan personil lebih banyak dibandingkan alat LWD. Pengujian ini menggunakan prosedur berdasarkan Pd- 04 - SE- 2010 -M. Alat DCP diletakkan pada titik uji lapisan yang akan diukur, kemudian alat dipegang dengan posisi tegak lurus. Penumbuk diangkat sampai menyentuh batas pegangan kemudian dilepas dan dilakukan sampai 16 titik.



Gambar 4 Pengujian DCP

## 3. Hasil

### *Kerucut Dinamik atau Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*

Pengujian tersebut untuk memperoleh kekuatan struktural pada lapis perkerasan. Hasil pengujian Kerucut Dinamik (DCP) pada perkerasan base seperti terlihat pada Tabel 2

Tabel 2 Hasil pengujian DCP pada lapis perkerasan base

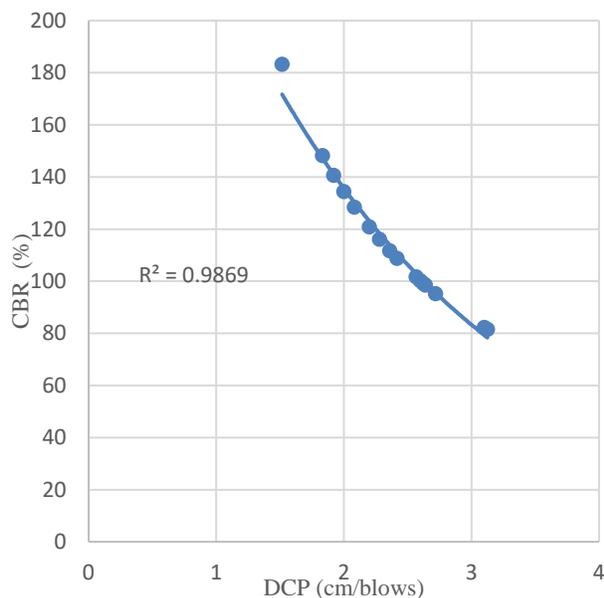
Titik	DCPI	CBR (%)	E <sub>DCP</sub> (MPa)
1	3,125	81,5	3,125
2	2,280	116,0	2,280
3	2,600	100,1	2,600
4	2,640	98,4	2,640
5	2,625	99,1	2,625
6	2,567	101,6	2,567
7	3,100	82,2	3,100
8	2,720	95,2	2,720
9	1,920	140,6	1,920
10	2,200	120,7	2,200
11	2,083	128,3	2,083
12	2,360	111,6	2,360
13	1,833	148,1	1,833
14	2,417	108,7	2,417
15	1,517	183,1	1,517
16	2,000	134,3	2,000

**Perbandingan antara E<sub>LWD</sub> dengan E<sub>DCP</sub>**

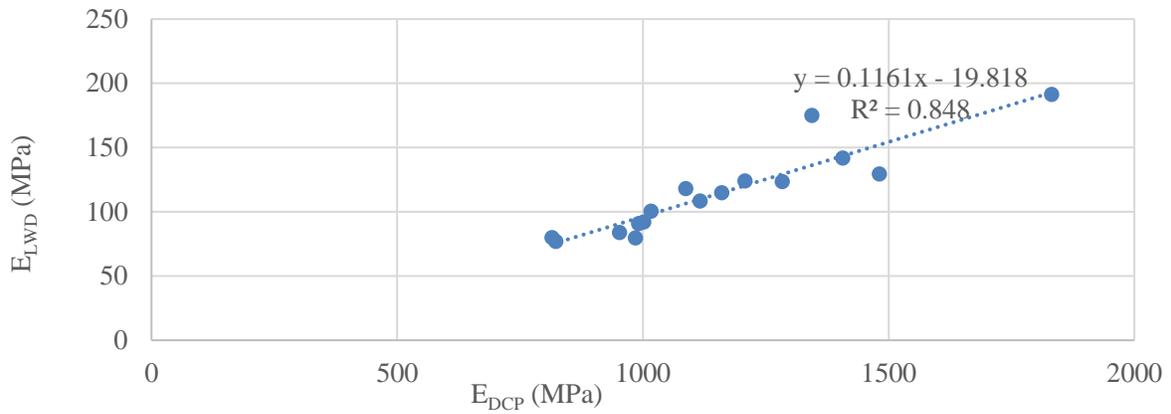
Pengujian tersebut untuk memperoleh perbandingan nilai modulus elastisitas (E) dari alat yang berbeda. Perbandingan antara E<sub>LWD</sub> dengan E<sub>DCP</sub> dapat terlihat dari Tabel 3

Tabel 3 Hasil data pengujian

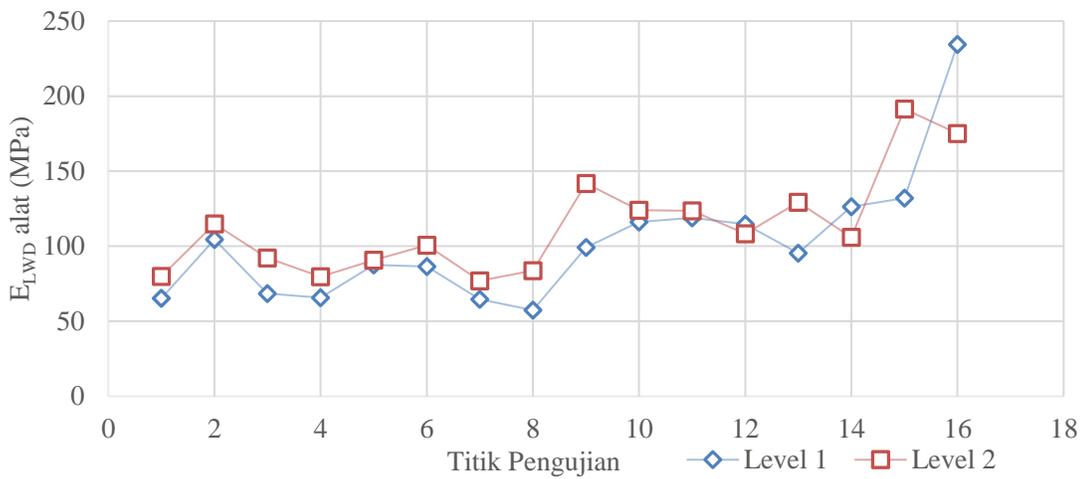
Titik	E <sub>LWD</sub> (MPa)	E <sub>DCP</sub> (MPa)
1	80,0	3,1
2	114,8	2,3
3	92,2	2,6
4	79,8	2,6
5	90,8	2,6
6	100,6	2,6
7	77,0	3,1
8	83,8	2,7
9	141,8	1,9
10	124,0	2,2
11	123,6	2,1
12	108,4	2,4
13	129,4	1,8
14	118,0	2,4
15	191,4	1,5
16	175,0	2,0
Nilai Min	77,00	1,52
Nilai Max	191,40	3,13
Nilai Rata-rata	114,41	2,37
Standar Deviasi	33,425	0,442
Koefisien Varian	0,292	0,186



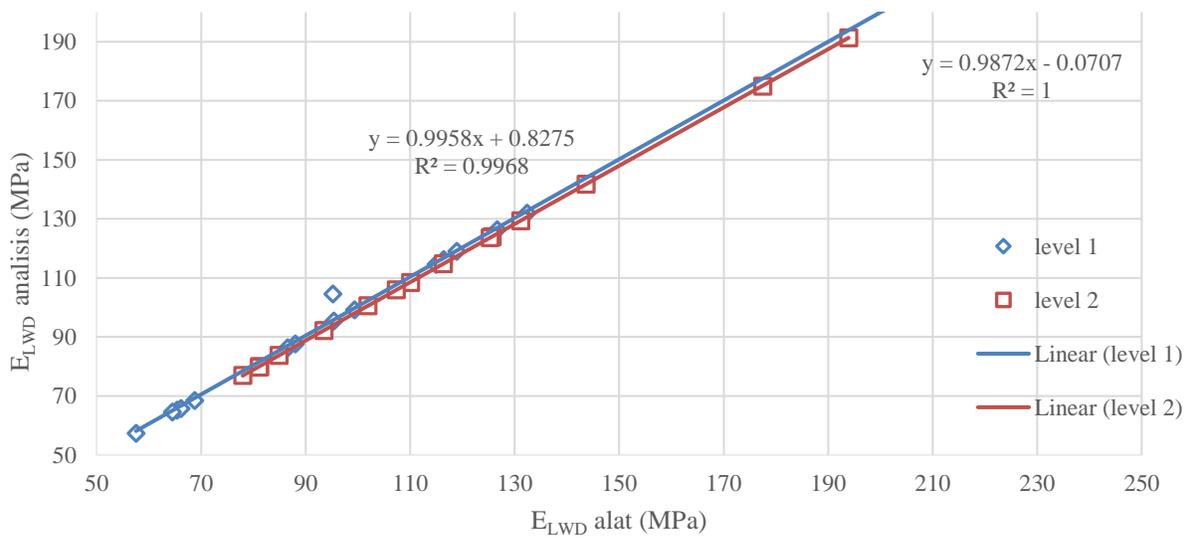
Gambar 4 Hubungan DCP dengan CBR %



Gambar 5 Perbandingan  $E_{LWD}$  dengan  $E_{DCP}$



Gambar 6 Pengaruh tinggi jatuh beban



Gambar 7 Perbandingan  $E_{LWD}$  alat dan  $E_{LWD}$  analisis

#### 4. Pembahasan

##### *Kerucut Dinamik atau Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*

Nilai  $r^2$  pada perbandingan DCP dan CBR seperti terlihat pada Gambar 4 adalah sebesar 0,9869, maka nilai  $r$  yaitu 0,9934. Nilai  $r$  dengan interval antara 0,80 – 1,00 berdasarkan Tabel 1 menunjukkan tingkat hubungan korelasi yang sangat kuat. Semakin kecil nilai DCP maka nilai CBR % semakin tinggi.

##### *Perbandingan antara $E_{LWD}$ dengan $E_{DCP}$*

Berdasarkan Gambar 5 hasil perbandingan  $E_{LWD}$  dengan  $E_{DCP}$  menyimpulkan ada hubungan antara  $E_{LWD}$  dengan  $E_{DCP}$  dengan didapatkan nilai  $r^2$  yaitu 0,848 dan nilai  $r$  yaitu 0,9209 menunjukkan tingkat hubungan yang sangat kuat antara kedua variabel.

##### *Pengaruh Tinggi Jatuh*

Pengaruh tinggi jatuh beban tersebut untuk memperoleh pengaruh yang terjadi akibat tinggi jatuh beban pada defleksi dengan asumsi beban dan tinggi pada tiap level berbeda. Pengaruh tinggi jatuh dapat terlihat seperti Gambar 6. Berdasarkan Gambar 6 pengaruh tinggi jatuh pada alat LWD berpengaruh pada  $E_{LWD}$ . Semakin besar tinggi jatuh maka berat pada beban semakin besar dan defleksi yang didapatkan semakin besar.

##### *Perbandingan $E_{LWD}$ per-Level*

Perbedaan level pada hasil yaitu untuk memperoleh perbedaan nilai modulus elastisitas ( $E_{LWD}$ ) berdasarkan asumsi beban dan tinggi drop yang berbeda pada kedua level. Level 1 memiliki berat beban sebesar 1243 Kg dengan tinggi drop 0,23 m dan Level 2 memiliki berat beban 1744 Kg dengan tinggi drop 0,33 m.

Hasil analisis perhitungan  $E_{LWD}$  berdasarkan metode LWD Boussineq dan hasil  $E_{LWD}$  berdasarkan alat LWD mempunyai nilai

korelasi pada level 1 sebesar 0,9983 dan level 2 sebesar 1. Menurut Azwar (2012), kuat lemahnya hubungan linier yang terjadi diantara dua variabel diperlihatkan oleh nilai yang mendekati besaran mutlak koefisien korelasi yaitu mendekati angka 1.0. Korelasi linier ( $r$ ) yang didapat mendekati angka 1 mempunyai konsistensi yang sempurna pada hasil ukur yang bersangkutan. Nilai  $r$  tersebut menunjukkan kekuatan serta arah saling berhubungan diantara dua hasil yang dapat diestimasi validitas dan reliabilitasnya.

#### 5. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang sudah berlangsung diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Hubungan  $E_{LWD}$  dengan  $E_{DCP}$  berdasarkan nilai korelasi ( $r$ ) sebesar 0,9209 menunjukkan tingkat hubungan antara dua variabel sangat kuat, yaitu diantara interval 0,80 – 1,00.
- Pengaruh tinggi jatuh dan perbedaan level pada alat LWD mempengaruhi defleksi yang mengakibatkan perbedaan pada nilai modulus yang didapatkan.

#### 6. Daftar Pustaka

- Akbar, S. J., Burhanuddin, B., & Jufriadi, J. 2015. Hubungan Nilai Cbr Dan Sand Cone Lapisan Pondasi Bawah Pada Perkerasan Lentur Jalan. *Teras Jurnal*, 5(1).
- Amaliyah, E. F., Widiningrum, T. A., & Djakfar, L. 2015. Analisa Tegangan Dan Regangan Pada Perkerasan Porus Dengan Skala Semi Lapangan Dan Software Ansys. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*, 1(3), pp-1107.
- Amini, F. 2003. Potential applications of dynamic and static cone penetrometers in MDOT pavement design and

- construction (No. FHWA/MS-DOT-RD-03-162). Jackson State University.
- Azwar Saifuddin., 2012. Reliabilitas dan Validitas. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2010. Cara Uji *California Bearing Ratio* (CBR) dengan *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP), Pedoman Konstruksi dan Bangunan.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2012. Manual Desain Perkerasan Jalan, Jakarta.
- Hardiyatmo Hary Christady., 2015. Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Helmi, H., Aprianto, A., & Bachtiar, V. 2016. Korelasi Nilai California Bearing Ratio (CBR) Lapangan Dengan Menggunakan Alat Dynamic Cone Penetrometer (DCP) Dan California Bearing Ratio (CBR) Mekanis. *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tanjungpura*, 1(1).
- Horak, E., Maina, J. W., Guiamba, D., & Hartman, A. (2008). Correlation study with the light weight deflectometer in South Africa. *Southern African Transport Conference (SATC)*.
- Lapian Franky EP. 2018. Studi Modulus Elastisitas pada Ruas Jalan dengan Volume Lalu Lintas Rendah Menggunakan Alat Light Weight Deflectometer. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Informatika*. 3(1). 1-9.
- Lengkong, P. I. L., Monintja, S., Sompie, O. B., & Sumampouw, J. E. R. 2013. Hubungan Nilai Cbr Laboratorium Dan Dcp Pada Tanah Yang Dipadatkan Pada Ruas Jalan Wori–likupang Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 1(5).
- Pd 03-2016-B. Pedoman Metoda Uji Lendutan Menggunakan Light Weight Deflectometer (LWD). Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Rosyidi, S. A. P. dan Siegfried. 2010. Kinerja dan Verifikasi Teknik Seismik Gelombang Permukaan Terintegrasi untuk Pengukuran Modulus Elastisitas Tanah Dasar. *Semesta Teknika*. 13(1). 62-76.
- Shivamant, A., Kolase, P. K., Shama, P. S., Desai, M. K., & Desai, A. K. (2015). Study of the Light Weight Deflectometer and Reviews. *International Journal Of Engineering Research and General Science*, 3 (16), 42-46.
- Siegfried. 2018. Penggunaan Lwd Pusjatan Pada Jalan Tanah Untuk Pengecekan Kekuatan Tanah (The Use Of Pusjatan's Lwd On Earth Roads For Checking Structural Soil Strength). *Jurnal Jalan-Jembatan*, 34(1), 1-7.
- Siegfried. 2018. LWD PUSJATAN Sebagai Alternatif Dalam Mengevaluasi Perkerasan Lentur. *Jurnal Jalan-Jembatan*, 35(2). 75-83.
- Siegfried. 2018. Penggunaan Light Weight Deflectometer Pusjatan untuk Quality Control Pekerjaan Pemadatan Tanah Dasar. *Jurnal Tiarsie*, 15(2), 45-48.