

# Pengukuran Modulus Elastisitas Dan Daya Dukung Material *Sub Base* Course Tipe Kelas B Berbasis Metode Defleksi LWD

*Measurement of Elastic Modulus and Bearing Capacity of Sub-Base Course Type B Material  
Based on LWD Deflection Method*

**Faridah Ukti Tsabitah, Sri Atmaja P. Rosyidi**

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

**Abstrak** Ketika pembangunan jalan raya ada beberapa tahapan yang harus dilakukan salah satunya tahap perkerasan jalan. Perkerasan tersusun dari beberapa lapisan yaitu lapis permukaan (*surface*), lapis pondasi, dan lapisan tanah dasar (*subgrade*). Lapisan pondasi terdiri dari *subbase* dan *base*. Mengetahui kekuatan struktural pada lapisan pondasi jalan bisa menggunakan alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) dan alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*). Pada Alat LWD dimana metode ini bersifat tidak merusak NDT (*Non Destructive Test*). Alat LWD terdiri dari beban jatuh, pelat pembeban, dan sensor *geophone*. Dari nilai defleksi yang dihasilkan dari alat LWD bisa digunakan untuk menghitung nilai modulus elastisitas dengan menggunakan rumus *Boussinesq*. Nilai modulus elastisitas ini merupakan salah satu parameter kekuatan struktur lapisan. Penelitian ini dilakukan pada struktur jalan bagian lapis pondasi bawah (*sub base course*) kelas B di area kampus Universitas Muhammadiyah Yogyakarta (UMY). Pada pengujian alat LWD dan alat DCP diambil 16 titik pengujian, setiap titik diambil 5 sampel data. Dari pengujian DCP akan menghasilkan nilai DCPI, nilai DCPI ini bisa digunakan untuk menghitung nilai CBR (%). Tujuan dilakukan pengujian dengan DCP dan LWD untuk melihat bagaimana korelasi hasil modulus elastisitas kedua alat ini. Hasil dari korelasi modulus elastisitas LWD dengan modulus elastisitas DCP cukup kuat, sehingga kedua alat ini bisa digunakan untuk pemeriksaan kekuatan struktural pada jalan tanah atau tanah dasar.

Kata-kata kunci: *Light Weight Deflectometer, Dynamic Cone Penetrometer, modulus elastisitas, Geophone, Boussinesq*

**Abstract.** In a road construction, there are several stages that need to be performed. One of them is road pavement stage. The pavement comprises several layers: surface layer, foundation layer, and sub-grade layer. The foundation layer contains sub-base and base. To measure structural power on a surface layer a tool called LWD (*Light Weight Deflectometer*) and DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) can be used. In this Methods, using LWD does not break the NDT (*Non-Destructive Test*). LWD consist of falling load, loading plate, and geophone sensor. Deflection value generated from LWD can be used to generate elastic modulus using *Boussinesq* formula. The elastic modulus is one of the layer structure strength parameters. This study conducted on the road structure of the class B sub base course in the area Muhammadiyah Yogyakarta University. In testing the LWD and DCP devices 16 test points were taken, 5 data samples were taken at each point. DCPI Value will be generated from DCP Testing, DCPI value can be used to generate CBR (%) value. The purpose of using DCP and LWD in the test is to see the correlation of the elastic modulus results of these two devices. The Results of LWD correlation elastic modulus and DCP correlation elastic modulus are quite robust. So these two tools can be used for structural strength checks on dirt or subgrade roads.

**Key Words:** *Light-Weight Deflectometer, Dynamic Cone Penetrometer, Elastic Modulus, Geophone, Boussinesq.*

## 1. Pendahuluan

Moda transportasi darat terpenting di Indonesia adalah jalan yang merupakan bagian dari sistem logistik nasional yang berfungsi sebagai prasarana distribusi barang dan jasa untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi dan sekaligus pembentukan struktur ruang suatu wilayah. Jalan yang sering dilalui oleh volume lalu lintas yang tinggi dan secara

berulang – ulang dapat merusak kondisi lapisan jalan tersebut. Sehingga membuat jalan tidak nyaman dan tidak aman jika dilalui. Pada perkembangan teknologi dibidang komputer, sensor dan mikro elektronik merupakan salah satu metode pemeriksaan kualitas perkerasan jalan dengan survai analisis lendutan jalan dengan metode LWD.

Siegfried (2017) melakukan pengujian pada jalan tanah di Bogor dan Kuningan. Masing – masing lokasi dilakukan pengujian sebanyak 10 titik dengan menggunakan alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) Pusjatan dan DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*). Pada pengujian LWD Pusjatan menggunakan teknik gelombang yang menghasilkan lendutan, dari lendutan ini dikonversi menjadi modulus menggunakan rumus *Bousinnesq*. Pada DCP dihitung nilai CBR tanah, setelah itu nilai CBR dikonversi menjadi modulus dengan menggunakan hubungan CBR dan modulus elastisitas seperti yang diberikan oleh AASHTO (1993). Kesimpulan yang didapat dari kedua alat ini bahwa pada pengujian LWD Pusjatan nilai modulus tidak jauh beda dengan menggunakan alat DCP. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa alat LWD Pusjatan bisa digunakan untuk mendapatkan kekuatan struktural pada jalan tanah .

Siegfried (2018) melakukan penelitian tentang penggunaan LWD Pusjatan sebagai alat alternatif dalam mengevaluasi perkerasan lentur. Penelitian yang dilakukan di seputar kampus Pusjatan dan diasumsikan sebagai jalan dengan lalu lintas sedang sampai rendah. Parameter yang digunakan dalam pengujian ini adalah modulus permukaan pada titik pembebanan dan modulus permukaan pada jarak 900 mm. Hasil rentang lendutan yang didapat pada jarak 900 mm pada alat FWD (*Falling Weight Deflectometer*) sebesar 108 MPa sampai dengan 233 MPa, sedangkan pada LWD sebesar 105 MPa sampai dengan 258 MPa. Dari kedua alat tersebut bahwa hasil perhitungan modulus terlihat hampir sama baik. Dari hasil yang didapat dapat disimpulkan bahwa penggunaan alat LWD Pusjatan dapat digunakan sebagai alat alternatif dalam mengevaluasi dari sistem perkerasan pada jalan dengan lalu lintas sedang sampai rendah.

Siegfried (2018) melakukan penelitian dengan alat LWD Pusjatan di laboratorium Alusa Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Jl. AH Nasution 264 Bandung. Data pengujian yang diambil sebanyak 19 titik dan didapat nilai modulus elastisitas. Dari nilai modulus elastisitas dapat digunakan untuk mengetahui keseragaman lapisan. Keseragaman lapisan dilihat dari nilai koefisien variasi. Nilai

koefisien variasi yang didapat dari alat LWD Pusjatan sebesar 29% sehingga sudah memenuhi persyaratan yaitu  $\leq 30\%$  menurut AASHTO. Kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian adalah LWD Pusjatan dapat digunakan untuk *quality control* pemadatan tanah dasar dan lapisan granuler dalam konstruksi perkerasan jalan. LWD Pusjatan juga menghemat waktu, biaya dan jumlah pekerjaan dalam *quality control* pekerjaan pemadatan. LWD Pusjatan juga dapat digunakan untuk mengukur dan mengetahui kekuatan struktural tanah dasar dalam parameter modulus elastisitas dan bisa dikonversi menjadi nilai CBR dengan menggunakan rumus yang terdapat di AASHTO 1993.

Lapian, F. E. (2018) melakukan penelitian pada ruas Merauke–Bupul-BTS, Kabupaten Merauke/Boven. Tujuan dari penelitian yang dilakukan Lapian adalah mencari nilai modulus elastisitas pada ruas jalan dengan volume lalu lintas rendah dengan menggunakan alat LWD (*Light Weight Deflectometer*). Hasil  $E_{LWD}$  yang didapat dari pengujian lapangan menggunakan alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) berbeda – beda tergantung jenis perkerasan jalan yang diuji. Nilai modulus deformasi yang didapatkan juga bervariasi pada setiap lokasi pengujian, hal ini disebabkan karena variasi dalam pemadatan energi.

Stamp & Mooney (2013) melakukan penelitian dengan alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) dari penelitian yang telah dilakukan menghasilkan nilai lendutan dan modulus elastisitas yang berbeda untuk kondisi tanah yang sama. Dalam penelitian ini faktor yang mempengaruhi karakteristik desain LWD dengan defleksi adalah pengukuran respon pelat terhadap permukaan tanah.

Novardi (2013) melakukan penelitian pada ruas jalan Klagon-Tempel KM 21+000-23+000, Kecamatan Moyudan, Kabupaten Sleman. Penelitian yang dilakukan menggunakan metode lendutan dari alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) dan alat BB (*Benkelmen Beam*). Dari hasil lendutan yang didapat dari alat LWD berdasarkan beban implus dengan massa 12 kg dan pada alat BB berdasarkan beban statis dari truk bermassa 11

ton tidak ada hubungan antara kedua alat ini karena perbedaan metode alat.

Burhanuddin & Junaidi (2018) melakukan penelitian pada ruas jalan Sp. Lamnyong – Lamreung dengan alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) untuk mengetahui CBR lapangan. Selain itu melakukan pengujian di laboratorium untuk pengujian pemadatan dan CBR Laboratorium. Penelitian yang telah dilakukan berisi tentang hubungan daya dukung tanah menggunakan alat DCP dan CBR laboratorium rendaman. Dari kolerasi DCP dengan CBR mendapatkan persamaan regresi  $CBR_{DCP} = 1,083 + (0,347 \times CBR_{Lab})$ . Dari pengujian DCP dengan melakukan 10 titik pengujian mendapatkan hasil CBR tanah dasar rata – rata sebesar 6%. Pada pengujian CBR laboratorium rendaman yang dilakukan selama 4 hari mendapatkan hasil bahwa CBR setelah pemadatan lebih bagus dari nilai CBR lapangan.

Sriharyani & Oktami (2016) melakukan pengujian di Apron Bandar Udara Radin Inten II Lampung dengan alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*). Dilakukan pengujian ini untuk mengetahui kekuatan tanah dasar dan fondasi jalan. Pengujian dilakukan sebanyak 10 titik. Tujuan penelitian untuk mengetahui kedalaman galian tanah humus atau permukaan pada CBR 6% menggunakan alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*). Hasil yang didapat di titik mencapai 46 cm, titik dua mencapai 40 cm, titik tiga mencapai 30 cm, titik empat mencapai 45 cm, titik lima mencapai 60 cm, titik enam mencapai 54 cm, titik tujuh 66 cm, titik delapan 60 cm, titik sembilan 80 cm, titik sepuluh 50 cm.

Syahrudin (2010) melakukan penelitian di jalan Bangko Pusako Kabupaten Rokan Hilir dengan menggunakan alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya dukung perkerasan jalan dengan menggunakan alat DCP sebagai standar evaluasi perkerasan jalan. Dari pengujian DCP dapat untuk mengetahui kedalaman lapisan perkerasan dan nilai CBR. Hasil DCP dapat mengidentifikasi sampai kedalaman maksimum 120 cm, dengan tebal setiap lapisan sesuai dengan CBR yang diperoleh. Hasil pengujian DCP relatif sangat cepat untuk

mengidentifikasi nilai CBR lapis perkerasan jalan di lapangan. Oleh sebab itu alat DCP perlu dijadikan pedoman sebagai mengidentifikasi nilai CBR lapangan di Indonesia.

Harimei (2018) melakukan penelitian dengan menggunakan alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) untuk mengetahui daya dukung tanah. Pada penelitian ini terdiri dari dua tahap, tahap pertama melakukan pengujian sifat fisik tanah berupa Kadar air, berat jenis, dan analisis butir. Tahap kedua yaitu pengujian sifat mekanis tanah lempung yaitu: pemadatan, DCP dan CBR. Setelah melakukan pengambilan data didapatkan nilai  $q_c$ ,  $M_v$ ,  $\alpha$  dan nilai CBR disetiap titik pengambilan sampel. Pada penelitian ini mengambil 2 sampel DCP 1 dan DCP 2. Dari DCP 1 dan DCP 2 mendapat nilai  $q_c$  berkisar antara 20 – 24 kg/cm<sup>2</sup>,  $M_v$  berkisar 0,025 – 0,056 cm<sup>2</sup>/kg dan  $\alpha$  sebesar 1,5 hingga 4. Hasil nilai CBR setiap masing – masing sampel lebih dari 2%. Nilai parameter ini membuktikan sifat fisis dari sampel DCP 1 dan DCP 2 merupakan *low plasticity loam*.

## 2. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah :

1. Mengamati pengaruh tinggi jatuh beban (level) terhadap nilai modulus elastisitas dan defleksi pada alat LWD (*Light Weight Deflectometer*).
2. Menghitung nilai modulus elastisitas yang didapat dari pengujian LWD (*Light Weight Deflectometer*) dan DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*).
3. Membandingkan nilai modulus elastisitas dari alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) dengan alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*).

## 3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di sebelah timur Laboratorium Transportasi dan Jalan Gedung G5 Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Metode pengambilan data dilakukan dengan Cara pengujian terhadap uji agregat. Pengujian agregat dilakukan di laboratorium yang berupa sifat fisik dari agregat. Lalu agregat yang telah memenuhi spesifikasi dihamparkan di lapangan untuk pengujian LWD (*Light Weight Deflectometer*), dan DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*). Pengujian LWD (*Light Weight*

*Deflectometer*) dilakukan sebanyak 16 titik setiap titik diambil 10 data yang terdiri dari level 1 sebanyak 5 data dan level 2 sebanyak 5 data. Sedangkan untuk pengujian DCP juga diambil 16 titik pada lokasi yang sama saat pengujian LWD.

Pengujian menggunakan alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) supaya mengetahui kalau alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) bisa juga digunakan sebagai alat alternatif untuk pengujian kekuatan struktural jalan. Parameter pembandingan dari kedua pengujian tersebut adalah modulus elastisitas dari lapisan jalan yang diuji. Untuk menganalisa pengujian LWD (*Light Weight Deflectometer*) menggunakan metode *Bousinnesq*.

### **LWD (*Light Weight Defletometer*)**

Alat ini merupakan sebuah portable yang terdiri dari beban jatuhnya, pelat pembebanan, dan sensor *geophone*. *Geophone* ini berfungsi untuk menangkap gelombang beban yang dijatuhkan pada ketinggian tertentu. Ketinggian dari alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) berbeda-beda tergantung tingkat level. Alat ini memiliki level 1 - 5.

Hasil pengukuran alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) yang didapat lebih cepat karena hasilnya langsung diperoleh saat pengujian dilakukan. Untuk menganalisis nilai modulus elastisitas dari alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) bisa menggunakan metode *Boussinesq* yang ditunjukkan pada Persamaan 1.

$$E = \frac{2(1-\nu^2) \times \sigma_0 \times a}{d_0} \times f \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- E = Modulus elastisitas (MPa)
- d<sub>0</sub> = Penurunan yang diukur (mm)
- μ = Rasio poisson
- σ<sub>0</sub> = Tegangan terapan (MPa)
- a = Jari – jari pelat (mm)
- f = Factor bentuk tergantung pada distribusi tegangan.

### **Koefisien Variasi**

Koefisien Variasi (CV) merupakan suatu sistem perbandingan antara simpangan standar dengan nilai hitung rata – rata yang dinyatakan dalam bentuk persentase.

### **Hasil Uji validitas dan reliabilitas**

Untuk membuktikan data pengujian valid atau tidak bisa menggunakan uji validitas dan reliabilitas. Untuk menghitung uji validitas dan reliabilitas bisa menggunakan program SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*). SPSS merupakan suatu program aplikasi yang mempunyai kemampuan untuk membantu melakukan perhitungan analisis data.

### **DCP (*Dynamic Cone Panetrometer*)**

Pengujian dengan alat DCP pada dasarnya Sama dengan alat CP (*Cone Penetrometer*) yang sama-sama mencari nilai CBR. Pada alat *Cone Penetrometer* (CP) dilengkapi dengan *proving ring* dan arloji pembacaan, tetapi pada alat *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) melalui ukuran (satuan) dengan menggunakan mistar.

Prinsip utama alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) yaitu memeriksa kekuatan struktural dari lapisan tanah dengan parameter utama adalah rata – rata penetrasi dari konus pada beban standar. Nilai ini biasanya dikenal dengan satuan *mm/blows*. Dengan alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) ini bisa dihitung nilai CBR dan juga ketebalan dari masing – masing lapisan jalan tanah.

Saat melakukan pengujian menulis jumlah tumbukan dan penetrasi. Setiap masing – masing tumbukan bisa dihitung nilai CBRnya. Semakin kecil nilai penetrasi DCPI (*mm/blow*) maka semakin besar nilai CBR yang terjadi. Persamaan yang digunakan untuk kolerasi DCPI dan CBR ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Korelasi nilai CBR – DCP menurut penelitian terdahulu

Penelitian	Persamaan	Material yang di uji
Kylen (1975)	$\text{Log CBR} = 2,62 - 1,27 \log \text{PI}$	Jenis tanah yang tidak diketahui
Smith dan Pratt (1983)	$\text{Log CBR} = 2,555 - 1,145 \log \text{PI}$	Kerikil dan kohesif
Harison (1987)	$\text{Log CBR} = 2,70 - 1,12 \log \text{PI}$ Dimana $\text{PI} < 10 \text{ mm/pukulan}$	Kerikil dan kohesif
Ese dkk (1994)	$\text{Log CBR} = 2,44 - 1,07 \log \text{PI}$	Agregat lapis pondasi
NCDOT (1998)	$\text{Log CBR} = 2,60 - 1,07 \log \text{PI}$	Agregat lapis pondasi dan kohesif
Coonse (1999)	$\text{Log CBR} = 2,53 - 1,14 \log \text{PI}$	Tanah residu
Nazal dkk (2003)	$\text{CBR} = 2559,4 / (7,35 + \text{PI} 1,84) + 1,04$ Dimana $6,31 < \text{PI} < 66,67$	Granular dan tanah kohesif
Webster dkk (1992)	$\text{Log CBR} = 2,465 - 1,12 \log \text{PI}$	Macam-macam jenis tanah

Sumber: Uz dkk (2015)

Dari nilai DCPI yang didapatkan dari pengujian DCP (*Dynamic Cone Panetrometer*) dapat untuk menghitung nilai modulus elastisitas (MPa). Menghitung nilai modulus elastisitas dapat dilakukan menurut beberapa penelitian terdahulu yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Korelasi CBR dan Modulus Elastisitas

Penelitian	Persamaan	Material yang diuji
De Beer (1990)	$E_s = 1176 (\text{PI})^{-1,082}$	Granular dan tanah kohesif
Pandey dkk (2003)	$M_R = 357,87 (\text{PI})^{-0,6445}$	Granular dan tanah kohesif
Chent dkk (2005)	$E_s = 537,8 (\text{PI})^{-0,664}$	Granular dan tanah kohesif
Siekmeier dkk (2009)	$E_{\text{PI}} = 10^{3,04758 - [1,06166 \log (\text{PI})]}$	Granular dan tanah kohesif
Gerorge dan Uddin (2000)	$M_R = 235,3 (\text{PI})^{-0,475}$	Granular

Sumber: Sumber : Uz dkk (2015)

#### 4. Hasil Dan Pembahasan

##### Tinggi Jatuh Alat LWD (*Light Weight Deflectometer*)

Pada alat LWD terdapat titik 5 lubang dibagian tongkat pegangan, lubang ini menunjukkan tinggi jatuh atau level. Tinggi jatuh atau level pada alat (*Light Weight Deflectometer*) mulai dari level 1 sampai level 5. Pada pengujian alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) ini diambil 16 titik pengujian, setiap titik diambil 5 sampel data. Tinggi level 1 sebesar 0,23 m sedangkan level 2 dengan tinggi 0,33 m dan beban yang didapat sebesar 12 kg. Untuk hasil pengujian LWD pada titik 1 dan 2 dapat dilihat pada Tabel 3 untuk level 1 dan Tabel 4 untuk level 2.

Tabel 3. Data Pengujian LWD Level 1 pada Titik 1 dan 2

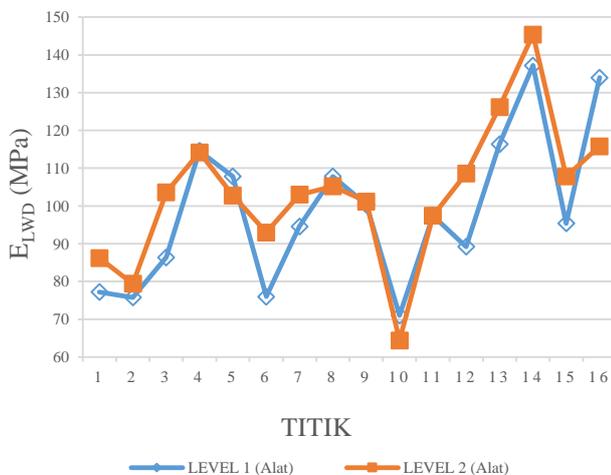
Titik	$d_0$ ( $\mu\text{m}$ )	$d_1$ ( $\mu\text{m}$ )	$d_2$ ( $\mu\text{m}$ )	$E_{\text{LWD}}$ (MPa)
1	780,5	780,5	36,2	59
1	542,1	542,1	12,2	85
1	570,1	570,1	16,8	81
1	570,1	570,1	15,6	81
1	579	579	12,8	80
2	772,7	772,7	54,6	60
2	565,9	565,9	11,9	82
2	574,9	574,9	13,3	81
2	655,5	655,5	16	71
2	544,2	544,2	20,7	85

Tabel 4. Data Pengujian LWD Level 2 pada Titik 1 dan 2

Titik	d <sub>0</sub> ( $\mu\text{m}$ )	d <sub>1</sub> ( $\mu\text{m}$ )	d <sub>2</sub> ( $\mu\text{m}$ )	E <sub>LWD</sub> (MPa)
1	611,9	121,7	16,3	106
1	707,8	392,6	25,9	92
1	723,4	264,9	42,2	90
1	919,1	330,6	36,4	71
1	904,7	310	44,5	72
2	658,3	220,4	13,6	99
2	768,4	454	36,9	85
2	781,5	449,5	41,2	83
2	992,2	563,8	32,8	65
2	1006,2	610,6	37,7	65

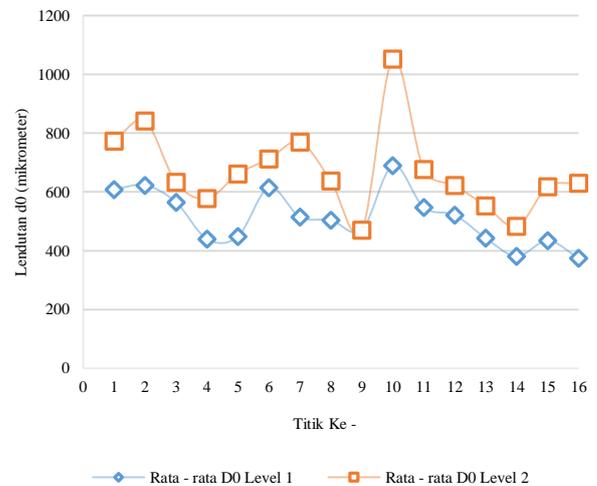
Pada alat LWD terdapat level 1 dengan nilai rata – rata modulus elastisitas (E<sub>LWD</sub>) 98,825 MPa sedangkan dilevel 2 dengan nilai rata – rata 103,388 MPa. Dapat disimpulkan dari data pengujian ini semakin tinggi beban jatuh (level) nilai modulus elastisitas semakin besar.

Gambar 1 nilai modulus elastisitas pada level 1 ke level 2 mengalami kenaikan. Kenaikan nilai dari level 1 ke level 2 sebesar 8,9%. Tetapi juga ada beberapa titik yang mengalami penurunan nilai modulus elastisitas level 1 lebih besar dibanding level 2 yaitu pada titik 5, 8, 10, 16, dengan presentase penurunan sebesar 3,3%. Hal ini disebabkan ketika pemadatan yang dilakukan dengan alat *stemper* tidak merata di titik-titik yang mengalami penurunan sehingga mempengaruhi nilai modulus elastisitas.



Gambar 1 Modulus Elastisitas (Alat)

Dari alat LWD dapat disimpulkan juga semakin tinggi beban jatuh (level) semakin besar nilai lendutan (d<sub>0</sub>) yang dihasilkan. Hal ini dapat dibuktikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Lendutan (d<sub>0</sub>) Level 1 dan Level 2

### Analisis Perhitungan E<sub>LWD</sub>

Analisis E<sub>LWD</sub> dengan menggunakan metode *Boussinesq* yang dilakukan pada penelitian ini dengan perhitungan E<sub>LWD</sub> berdasarkan pada data primer yang berupa data lendutan, untuk lendutan terkoreksi berdasarkan data sekunder dari penelitian sebelumnya. Untuk data primer dapat dilihat lendutan yang diambil pada lendutan (d<sub>0</sub>) dari alat LWD. Berikut merupakan data – data untuk menganalisis E<sub>LWD</sub> pada level 1 titik 1 percobaan ke – 1.

- Massa beban jatuh = 12 kg
- Percepatan karena gravitasi (g) = 9,81 m/s<sup>2</sup>
- Tinggi drop: h<sub>1</sub> = 0,23 m (untuk level 1)
- h<sub>2</sub> = 0,33 m (untuk level 2)
- d<sub>0</sub> = 780,5 mikrometer
- Jari-jari pelat (a) = 15 cm.
- Rasio Poisson (μ) = 0,35 (*Rasio Poisson*)
- (C) = 449 × 10<sup>8</sup> N/m

Nilai konstanta material ini didapat dari SNI 3966:2012. Nilai tersebut diambil berdasarkan material yang merupakan bantalan karet. Menurut jurnal Seigfried (2018) nilai poisson rasio yang diambil sebesar 0,35 karena pengujian yang dilakukan berupa lapisan

berasal. Berikut langkah – langkah menganalisis  $E_{LWD}$ :

1. Perhitungan gaya terapan

$$F = \sqrt{2 \times m \times g \times h \times C} \dots\dots\dots(2)$$

$$F = \sqrt{2 \times 9,81 \times 12,43 \times 0,23 \times 449 \times 10^8} \\ = 1586982,561 \text{ N}$$

2. Perhitungan tegangan terapan

$$\sigma_0 = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(3)$$

$$= \frac{1586982,561}{3,14 \times 15^2} \\ = 22462,6 \text{ MPa}$$

3. Perhitungan  $E_{LWD}$

$$E_{LWD} = \frac{K \times (1 - \mu^2) \times \sigma_0 \times a}{d_0} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

$K = \frac{3,14}{2}$  dan 2 untuk plat kaku dan bahan fleksibel menurut A, S., Kolase, P. K., S, S. P., Desai, M. K., & Desai, A. K. (2015).

Maka :

$$E_{LWD} = \frac{3,14}{2} \times \left( \frac{(1 - 0,35^2) \times 2246,26 \times 15}{780,5} \right) \\ = 59,437 \text{ MPa}$$

Untuk hasil perbandingan rata – rata modulus elastisitas analisis dan alat pada titik 1 dan 2 dapat dilihat pada Tabel 5 untuk level 1 dan Tabel 6 untuk level 2.

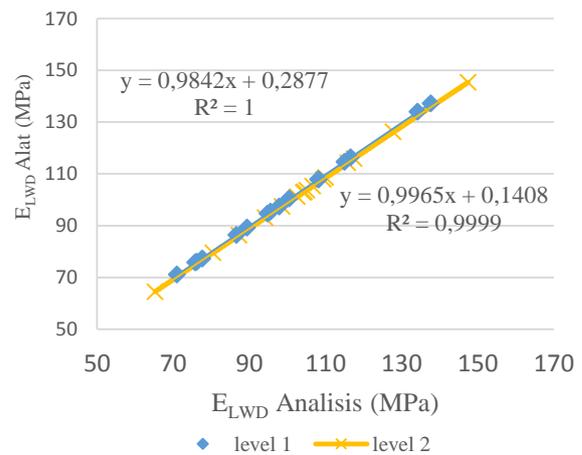
Tabel 6. Perbandingan modulus elastisitas analisis dan alat level 1

Titik	Level 1 (Analisis )	Level (Alat)
1	59,474	59
1	85,629	85
1	81,423	81
1	81,423	81
1	80,171	80
2	60,074	60
2	82,027	82
2	80,743	81
2	70,815	71
2	85,298	85

Tabel 6. Perbandingan modulus elastisitas analisis dan alat level 2

Titik	Level 2 (Analisis )	Level 2 (Alat)
1	107,634	106
1	93,0504	92
1	91,0438	90
1	71,6582	71
1	72,7988	72
2	100,047	99
2	85,712	85
2	84,2752	83
2	66,3788	65
2	107,634	107

Kesimpulan dari hasil analisis yang telah diperhitungkan, bahwa hasil modulus elastisitas dari alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) dengan hasil analisis yang dihitung menggunakan metode *Boussinesq* terbukti tidak jauh beda. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas (Analisis) dan

Dari Gambar 3 nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) yang cukup besar dan hampir mendekati angka 1. Nilai Koefisien korelasi ( $R^2$ ) untuk level 1 sebesar 1 dan level 2 sebesar 0,999. Dengan hal ini terbukti  $E_{LWD}$  alat dengan  $E_{LWD}$  analisis mempunyai hubungan yang cukup kuat menggunakan metode *Boussinesq*.

### Koefisien Variasi

Pemadatan yang dilakukan dengan *stemper* sudah memenuhi persyaratan kurang dari 30% yang didapat dari nilai koefisien variasi. Menurut jurnal Seigfried Syafier, 2018 angka 30% merupakan batas maksimum yang diambil dari AASHTO untuk pengujian pada sistem perkerasan. Batas maksimum ini bisa saja berubah menyesuaikan dari kebutuhan masing – masing pengelola jalan dan tergantung dari klasifikasi jalan.

### Hasil Uji validitas dan reliabilitas

Untuk menghitung uji validitas dan reliabilitas bisa menggunakan program SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*). Data penelitian yang diinput untuk uji validitas kedalam program SPSS berisi 160 sampel (N) terdiri dari 2 item data berupa data ELWD alat dan data ELWD analisis. Tabel 7 merupakan hasil uji validitas menggunakan program SPSS

Tabel 7. Hasil Validitas dari Program SPSS bagian *Correlations*

		ELWDal at	ELWDanalisis
ELWD alat	<i>Pearson Correlation</i>	1	1,000**
	<i>Sig. (2-tailed)</i>		,000
	<i>N</i>	160	160
ELWD analisis	<i>Pearson Correlation</i>	1,000**	1
	<i>Sig. (2-tailed)</i>	,000	
	<i>N</i>	160	160

Dari Tabel 7 dapat dilihat di kolom pertama dari kiri ada kata *Pearson Correlation* itu maksudnya R hitung, kemudian *Sig. (2 – Tailed)* itu tingkat signifikansi nya 2 tailed maksudnya signifikan pada dua angka decimal, sedangkan N sudah jelas itu jumlah sampel yang berjumlah 160.

Nilai validitas bisa dilihat dengan membandingkan nilai R - hitung dengan R – tabel. Apabila R – tabel lebih besar dibanding R – hitung maka kesimpulan dari pernyataan ini tidak valid, tetapi jika R – tabel lebih kecil dibandingkan dengan R – hitung maka kesimpulan dari pernyataan ini valid. Langkah pertama mengidentifikasi mana R – hitung, untuk nilai R – hitung disini adalah nilai

*Pearson Correlation*, sebesar 1. Setelah menentukan R – hitung melihat R – tabel, yang dapat dilihat pada R – tabel. Karena sampel (N) ada 160 dengan batas 0,01 maka nilai R – tabel sebesar 0,1297. Hasil data yang didapat dari uji validitas ini adalah data tersebut merupakan data yang valid, karena nilai R – tabel sebesar 0,1297 lebih kecil dari R – hitung.

Tabel 8 dan Tabel 9 merupakan hasil reliabilitas dari program SPSS.

Tabel 8. Hasil Uji reliabilitas Bagian *Case Processing Summary* Dengan Program SPSS

		N	%
<i>Cases</i>	<i>Valid</i>	160	100,0
	<i>Excluded<sup>a</sup></i>	0	,0
	<i>Total</i>	160	100,0

Listwise deletion based on all variables in the procedure

Tabel 8 merupakan hasil reabilitas pada bagian *processing summary* menunjukkan N sebanyak 160 sampel yang diujikan, dan menunjukkan banyaknya persentase valid. Hasil yang didapat menunjukkan 100% sehingga disimpulkan data sangat valid.

Tabel 9. Hasil Uji reliabilitas Bagian *Reliability Statistics* Dengan Program SPSS

<i>Cronbach's Alpha</i>	<i>N of Items</i>
1,000	2

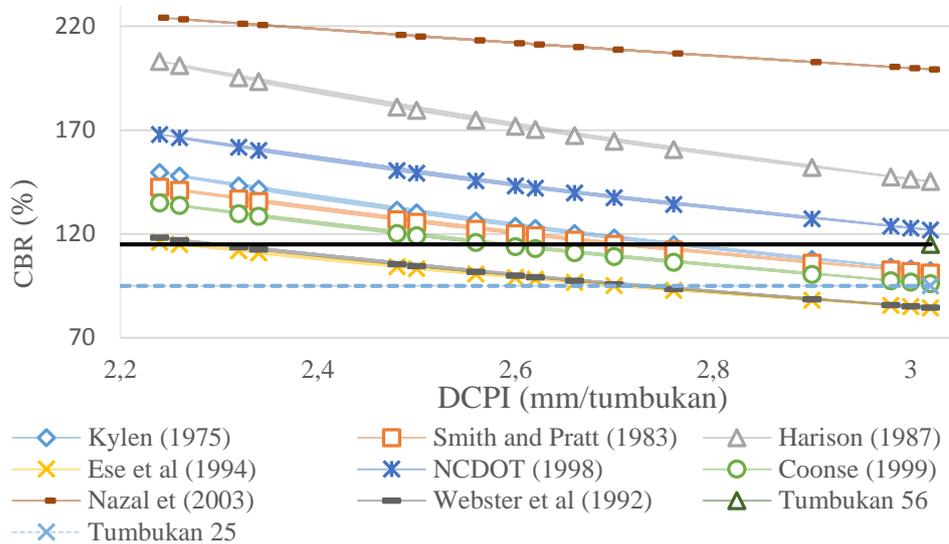
Pada bagian *reliability statistics* menunjukkan hasil analisis dari uji reabilitas dengan *cronbachch'alpha* 1. Jadi angka tersebut lebih besar dari nilai minimal *cronbachch'alpha* 0,6. Menurut buku (Sujarweni, V. W. 2014) halaman 193 menyatakan nilai *Cronbach's Alpha* > 0,60 maka data tersebut dinyatakan reliabel atau konsisten.

### Hasil Pengujian DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*)

Perhitungan yang diperoleh dari pengujian DCP mendapatkan nilai DCPI, hasil nilai DCPI. Nilai DCPI yang didapatkan bisa untuk menghitung nilai CBR (%). Menghitung nilai CBR (%) dari pengujian alat DCP dapat dilakukan menggunakan persamaan menurut beberapa penelitian. Untuk mengetahui dari

sekian banyak persamaan CBR – DCPI yang akan digunakan, dengan, cara mengplotkan nilai CBR desain. Nilai CBR desain yang didapatkan dari pengujian CBR laboratorium. Hasil pengujian CBR laboratorium atau CBR desain mendapatkan nilai CBR sebesar 95%

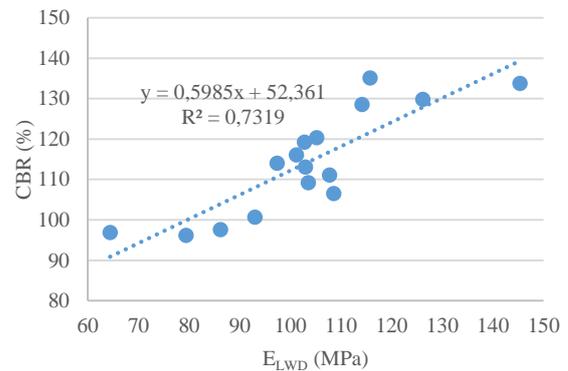
untuk 25 tumbukan dan 115% untuk 56 tumbukan. Sedangkan untuk penelitian ini menggunakan CBR desain 56 tumbukan karena dengan banyak 56 tumbukan tersebut agregat lebih padat Gambar 4 merupakan grafik kolerasi CBR (%) menurut beberapa peneliti.



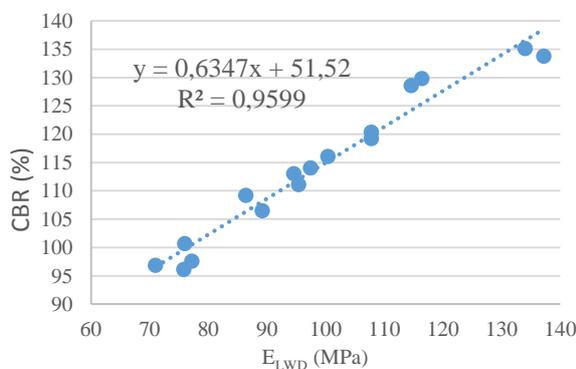
Gambar 4 Perbandingan Model Empirik CBR (%) – DCPI (mm/tumbukan)

**Korelasi CBR (%) dengan ELWD**

Hasil CBR lapangan yang paling mendekati CBR desain penelitian milik Coonse (1999). Hal ini dapat dilihat dari garis regresi level 1 sebesar  $(R^2) = 0,9599$  untuk level 2 sebesar  $(R^2) = 0,7319$ . Nilai regresi yang didapat dari penelitian Coonse lebih mendekati dibanding penelitian yang lain. Selain itu dalam Penelitian George dkk (2009) menyebutkan bahwa nilai dari penelitian Coonse cukup baik dibanding penelitian yang lain. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5 untuk level 1 dan Gambar 6



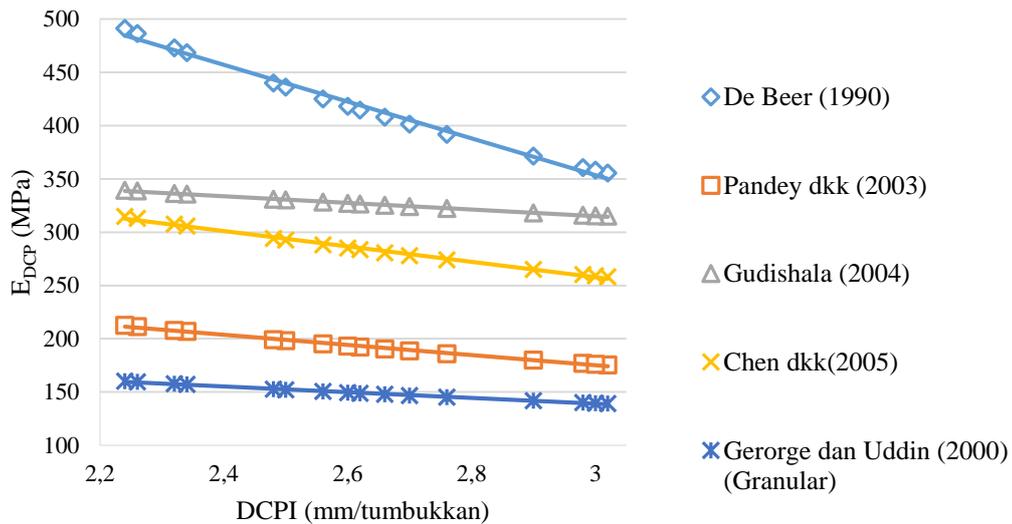
Gambar 6 Perbandingan  $E_{LWD}$  dengan CBR (%) Level 2



Gambar 5 Perbandingan  $E_{LWD}$  dengan CBR (%) Level 1

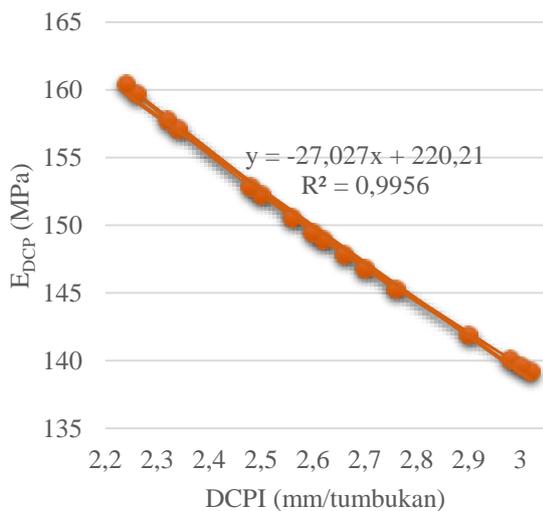
**Korelasi DCPI dengan Edcp**

Dari nilai DCPI yang didapatkan dari pengujian DCP bisa untuk menghitung nilai Modulus Elastisitas (MPa). Menghitung nilai Modulus Elastisitas dapat dilakukan menurut beberapa Penelitian terdahulu. Dari beberapa rumus untuk menghitung modulus elastisitas pada alat DCP dapat disimpulkan bahwa rumus – rumus tersebut menunjukkan bentuk yang sama atau konsisten hasilnya, hal ini dapat dibuktikan pada Gambar 7.



Gambar 7 Perbandingan Model Empirik  $E_{DCP}$  (MPa)

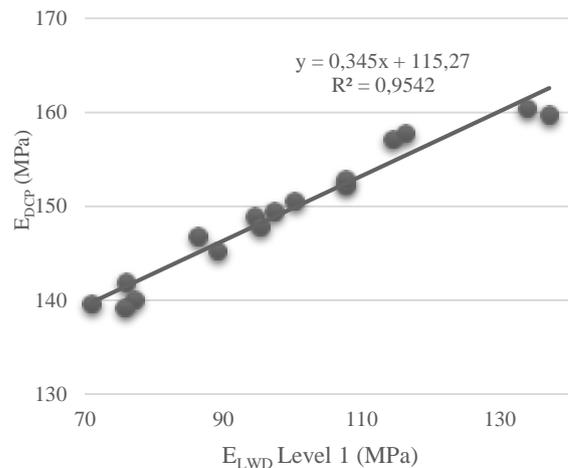
Korelasi antara nilai DCPI dengan nilai  $E_{DCP}$  dari kajian Chen dkk (2005) membuktikan korelasi sesuai/baik dilihat dari nilai regresi mendekati angka 1 dengan nilai ( $R^2$ ) = 0,9956. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 8. Dari Gambar 8 dapat disimpulkan semakin besar nilai DCPI semakin kecil nilai  $E_{DCP}$  (MPa), begitupun sebaliknya semakin kecil nilai DCPI semakin besar nilai  $E_{DCP}$  (MPa). Selain itu juga didukung dari penelitian George (2009) yang telah dilakukan di jalan Texas, yang mempunyai nilai korelasi paling besar menggunakan penelitian menurut Chen dkk (2005).



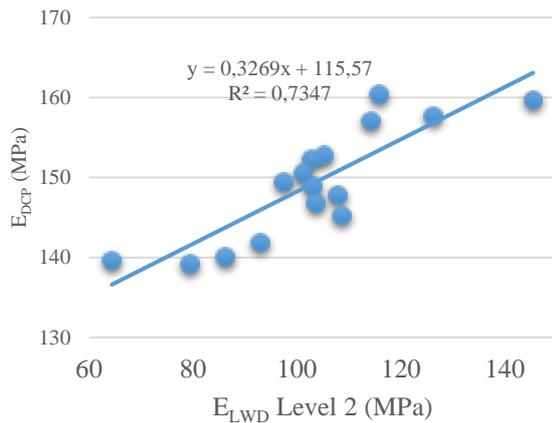
Gambar 8 Perbandingan Model Empirik DCPI -  $E_{DCP}$  (MPa) Menurut Chen dkk (2005)

### Perbandingan $E_{DCP}$ Dengan $E_{LWD}$

Dari pengujian Alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) dan DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa untuk nilai  $E_{LWD}$  dengan nilai  $E_{DCP}$  yang menggunakan rumus menurut Chen dkk (2005) terbukti hasilnya tidak terlalu berbeda. Nilai regresi yang di hasilkan untuk level 1 sebesar 0,9542 dan untuk level 2 sebesar 0,7347. Selain itu dapat disimpulkan nilai modulus elastisitas untuk level 1 dari alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) lebih mendekati nilai modulus elastisitas DCP (*Dynamic Cone Panetrometer*). Hal ini dapat dibuktikan pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9 Perbandingan  $E_{LWD}$  Level 1 dengan  $E_{DCP}$



Gambar 10 Perbandingan  $E_{LWD}$  Level 2 dengan  $E_{DCP}$

## 5. Kesimpulan

Dari pengujian LWD (*Light Weight Deflectometer*) dan DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) yang berada di lapisan *Sub base course* tipe kelas B dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi beban jatuh (*level*) nilai modulus elastisitas dan lendutan semakin besar.
2. Dari pengujian LWD (*Light Weight Deflectometer*) mendapatkan nilai modulus elastisitas. Nilai modulus elastisitas dapat dianalisis dari nilai lendutan. Metode analisis modulus elastisitas dengan menggunakan metode *Boussinesq*, hasil yang didapat sama antara analisis dan alat.
3. Hasil dari kolerasi  $E_{LWD}$  dengan  $E_{DCP}$  cukup kuat, dapat disimpulkan alat LWD sebagai salah satu alternatif bagi DCP untuk digunakan sebagai pengujian kekuatan struktural pada jalan tanah atau tanah dasar. Parameter modulus elastisitas bisa di konversi menjadi nilai CBR menggunakan rumus – rumus para kajian.

## 6. Daftar Pustaka

- AASHTO, 1993. American Association of State Highway and Transport Officials guide for mechanistic-empirical (M-E) design and analysis. Washington, DC: AASHTO.
- A, S., Kolase, P. K., S, S. P., Desai, M. K., & Desai, A. K. (2015). Study of the Light Weight

Deflectometer and Reviews. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 3(6), 42-46.

- BSN, 2012, SNI 3966-2012: *Cara Uji Kekakuan Tekan dan Kekakuan Geser Bantalan Karet Jembatan*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Burhanuddin, & Junaidi. (2018). Hubungan Empiris Daya Dukung Tanah Dasar Menggunakan Alat Dynamic Cone Penetrometer (DCP) dan California Bearing Ratio (CBR) Rendaman Untuk Disain Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala*, 1, 553-558.
- George, V., Rao, N. C., & Shivashankar, R. (2009). PFWD, DCP and CBR correlations for evaluation of lateritic subgrades. *International Journal of Pavement Engineering*, 10(3), 189-199.
- Harime, B. (2018). Analisis Daya Dukung Tanah Pada Perencanaan Saranan Dan Prasarana Umum. *Jurnal Geocelebes*, 2(1), 42 – 46.
- Lapian, F. E. (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.
- Novardi. (2013). Penilaian Struktur Jalan Menggunakan Alat *Light Weight Deflectometer*
- Siegfried. (2017). Penggunaan LWD Pujantan Pada Jalan Tanah Untuk Pengecekan Kekuatan Tanah. *Jalan dan Jembatan*, 3, 1-7.
- Siegfried. (2018). LWD Pujantan Sebagai Alat Alternatif Dalam Mengevaluasi Perkerasan Lentur. *Jalan dan Jembatan*, 35(2), 75-83.
- Siegfried. (2019). Penggunaan Light Weight Deflectometer Pujantan Untuk Quality Control Pekerjaan Pematatan Tanah Dasar. *Jurnal Tiarsie*, 15(2), 1-4.
- Sriharyani, L & Oktami, D. (2016). Kajian Penggunaan *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) Untuk Uji Lapangan Pada Tanah Dasar Pekerjaan Timbunan Apron, 5(2), 89-97.
- Stamp, D. H., & Mooney, M. A. (2013). Influence of Lightweight Deflectometer Characteristics on Deflection Measurement. *Geotechnical Testing Journal*, 36(2), 216-226.

- Sujarweni, V. W. (2014). *SPSS untuk Penelitian*. Yogyakarta: Pustaka Baru Press.
- Syahrudin, A. (2010). Pengujian Daya Dukung Perkerasan Jalan Dengan Dynamic Cone Penetrometer (DCP) Sebagai Standar Untuk Evaluasi Perkerasan Jalan. *Jurnal Aptek*, 2(1), 52-59.
- Uz, V. E., Saltan, M., & Ökalp, İ. G. (2015). Comparison of DCP , CBR , and RLT Test Results for Granular Pavement Materials and Subgrade with Structural Perspective. *International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE)*(September).



