

Karakteristik Modulus Elastisitas dan Daya Dukung Material *Subgrade* dengan Kadar Kapur 2% Berbasis Pengukuran Defleksi

The Characteristics of Elastic Modulus and Bearing Capacity of Subgrade Material with 2% Lime Content Based on Deflection Measurement

Niken Wukirasih, Sri Atmaja P. Rosyidi

Program Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Pengujian dengan menggunakan alat *Light Weight Deflectometer* (LWD) merupakan pengujian untuk menganalisis lendutan pada lapis perkerasan jalan untuk mengukur deformasi vertikal dari beban jatuh sehingga dapat mengetahui kekuatan struktur perkerasan jalan serta modulus elastisitasnya. Metode ini bersifat tidak merusak NDT (*Non Destruction Test*). Metode NDT lebih hemat karena dapat dikerjakan di tempat atau lapangan tanpa memerlukan waktu yang lama. Pengujian LWD dilakukan untuk mengetahui kekuatan struktural dari suatu lapisan tanah dasar yang dicampur dengan kadar kapur 2% dan tingkat kepadatan dalam lapisan tersebut. Metode pengujian *Light Weight Deflectometer* (LWD) ini menganalisis kepadatan dan kekakuan dengan menjatuhkan beban pada ketinggian tertentu yang akan ditangkap oleh sensor *geophone*. Hasil dari pengujian yaitu lendutan yang digunakan untuk menghitung modulus elastisitas dengan menggunakan metode *Boussineq*. Pengujian pada lapisan tanah dasar dilakukan selama 7 hari dengan 3 kali pengujian, yaitu pada hari ke-0, hari ke-3, dan hari ke-7. Satu hari pengujian dilakukan pada 16 titik yang pada setiap titiknya dilakukan 5 kali percobaan. Hasil yang didapatkan dalam pengujian ini yaitu: nilai rata-rata modulus elastisitas pada pengujian hari ke-0 senilai 63,97 MPa, pengujian hari ke-3 senilai 72,32 MPa, dan pengujian pada hari ke-7 sebesar 74,87 MPa. Hasil dari pengujian LWD pada penelitian ini dibandingkan dengan nilai modulus elastisitas DCP dari pengujian *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) pada benda uji yang sama, dan hasilnya nilai DCP lebih besar dibandingkan dengan nilai LWD yang didapatkan.

Kata-kata kunci : *Light Weight Deflectometer* (LWD), *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP), metode *Boussineq*, modulus elastisitas

Abstract. Light Weight Deflectometer (LWD) test is a Non Destruction Testing (NDT) used to analyse the deflection in road pavement layer to in order to measure the vertical deformation based on deformation the elastic modulus of material under control load can be calculated. The method is a Non-Destruction Test (NDT). This method is use safe in time and cost. The LWD Test is conducted to determine the structural strength of subgrade layer mixed with 2% level of lime and density of a layer. The LWD test method analyzes the stiffness by dropping a load from certain height, the deflectometer recordered by geophone sensor. Using Boussineq Method the elastic modulus can be obtained. The conducted on subgrade layer was conducted for 7 days with 3 times testing, in day 0, day 3, and day 7. On one day of the experiment was carried out at 16 points, each point 5 times. The result of the testing is: the average value of modulus of elasticity on the zero-day test worth 63.97 MPa, the third-day test worth 72.32 MPa, and the test on the 7th day at 74.87 MPa. The result of the LWD research is compared with the DCP elasticity modulus from the Dynamic Cone Penetrometer (DCP) experiment with the same test object, and as a final result, the DCP unit number is higher than the LWD value obtained.

Keyword : *Light Weight Deflectometer* (LWD), *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP), *Boussineq Method*, modulus of elasticity

1. Pendahuluan

Salah satu hal yang penting dalam perencanaan perkerasan jalan raya adalah proses pemadatan pada setiap lapisan, yaitu lapisan tanah dasar (*Subgrade*), lapis pondasi bawah (*Sub Base*), dan lapis pondasi atas (*Base*). Pemadatan dilakukan karena pada proses tersebut sangat berpengaruh dengan nilai lendutan yang dihasilkan pada jalan itu ketika ada beban yang melintas di atas lapisan tersebut. Pada suatu jalan yang sudah lama tidak dilakukan peningkatan infrastrukturnya, dan tidak dilakukan evaluasi secara berkala maka akan sangat memungkinkan terjadinya kerusakan akibat meningkatnya volume lalu lintas pada jalan tersebut. Maka dari itu, setiap jalan perlu adanya peningkatan dan perawatan berkala untuk mengantisipasi kerusakan yang diakibatkan oleh volume lalu lintas yang tinggi. Salah satu upaya peningkatan jalan adalah dengan memeriksa kualitas struktur jalan tersebut dengan menganalisis lendutan pada lapis perkerasan jalan tersebut, dengan menggunakan metode *Light Weight Deflectometer* (LWD). *Light Weight Deflectometer* (LWD) merupakan alat untuk mengukur deformasi vertikal dari beban jatuh sehingga dapat mengetahui kekuatan struktur perkerasan jalan serta modulus elastisitasnya. Metode ini bersifat tidak merusak NDT (*Non Destruction Test*).

Pada penelitian ruas jalan Klagon – Tempel, Kecamatan Moyudan Kabupaten Sleman, oleh Novardi (2013) menggunakan pedoman metode LWD *Boussinesq*, menggunakan alat *Light Weight Deflectometer* (LWD), hasil penelitian didapatkan hasil untuk nilai rata-rata modulus elastisitas menggunakan alat *Light Weight Deflectometer* (LWD) adalah 239,9 MPa, sedangkan untuk nilai rata-rata modulus elastisitas untuk *subgrade* perkerasan jalan adalah 88,95 MPa.

Pengujian pada jalan di Bogor dan Kuningan juga dilakukan oleh Siegfried (2017) dengan menggunakan *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) sebagai alat pembanding yang digunakan untuk mengukur kekuatan pada jalan. Kedua pengujian ini tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan, hasil perbandingan dengan alat standar DCP

menunjukkan bahwa korelasi antara LWD dan DCP berada dalam interval 85 % tingkat kepercayaan. Korelasi dengan tingkat kepercayaan 85 % sudah cukup wajar digunakan dalam teknik jalan raya pada umumnya. Kelebihan dari alat uji LWD sendiri terdapat pada kebutuhan teknisi yang lebih sedikit dibandingkan dengan alat uji DCP, dan dapat disimpulkan bahwa alat LWD Pujantan dapat digunakan untuk mengetahui kekuatan struktural pada jalan tanah.

Pengujian yang dilakukan Siegfried (2018) dengan menggunakan LWD Pujantan, yaitu untuk mengevaluasi perkerasan lentur dan berdasarkan hasil dapat disimpulkan bahwa penggunaan alat LWD Pujantan sebagai alat alternatif selain menggunakan alat FWD terbukti bisa diterima untuk mengevaluasi dari sistem perkerasan pada jalan dengan berbagai macam lalu lintas, baik lalu lintas sedang maupun lalu lintas rendah. Korelasi yang cukup kuat antar nilai modulus permukaan pada titik pembebanan yang dihitung menggunakan lendutan FWD dengan lendutan LWD Pujantan.

Hasil pengujian *Light Weight Deflectometer* (LWD) yang dilakukan oleh Kolase dkk (2015) menyatakan bahwa terdapat lima belas kasus pengujian pada setiap lapisan dan diperoleh nilai rata-rata modulus elastisitas. Nilai modulus elastisitas dari pengujian LWD pada tanah lempung antara 400 MPa sampai 700 MPa, nilai tersebut lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari pengujian yang lainnya. Alat LWD dapat mengontrol pemadatan lapisan agregat dengan ketebalan 15 – 45 cm pada lapisan tanah dasar yang tidak baik dan diperkuat dengan geotekstil anyaman, hal itu dinyatakan dalam penelitian Sulewska dan Bartnik (2017). Persamaan regresi juga sangat berpengaruh dalam nilai E_{vd}, sehingga jenis geosintetik dan daya dukung beban tanah dasar sangat diperlukan untuk pertimbangan kondisi pengujian.

Lapian(2018) mencoba melakukan penelitian mengenai studi modulus elastisitas pada ruas jalan yang volume lalu lintasnya rendah dengan menggunakan alat LWD.

Pada penelitian ini dapat kita ketahui bahwa penelitian ini dapat digunakan untuk mendukung program penanganan ruasa jalan tersebut yang dikenal dengan penanganan rutin jalan, penanganan rutin jembatan, penanganan rehab jalan dan penanganan konstruksi jalan. Penelitian ini juga dapat sebagai acuan dalam perencanaan stabilisasi 2 tahap tanah laterit dengan kapur dan semen yang perlu dibuatkan spesifikasi khusus.

Penelitian tentang penggunaan LWD untuk mengevaluasi modulus elastisitas dalam mengontrol kualitas jalan dengan menghubungkan kepadatan dengan kadar air yang dilakukan Makwana (2016) ini modulus elastisitas dihitung menggunakan software LWDmod, menggunakan data pengujian kepadatan dan kadar air. Nilai kepadatan yang tinggi menunjukkan pemadatan yang baik, nilai kepadatan yang diperoleh berkisar antara 1,4-2 gm/cc dengan koefisien variasi 0,376 dan nilai kadar air berkisar antara 7-33% dengan koefisien variasi 0,092. Oleh karena itu, peningkatan nilai kepadatan dan penurunan kadar air merupakan parameter untuk mengontrol jaminan kualitas jalan yang baik.

Sumarna (2015) melakukan penelitian percobaan uji *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) pada tanah timbunan, dan didapatkan kesimpulan bahwakekuatan prototipe *subgrade* jalan usahatani mempunyai nilai *California Bearing Ratio* (CBR) yang merupakan korelasi dari nilai *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP), dimana pada kedalaman 0-340 mm, 340-590 mm dan 590-950 mm berturut-turut diperoleh nilai CBR rata-rata sebesar 7,62%, 19,67%, 21,91%. Nilai CBR tersebut lebih besar dari nilai CBR rencana yaitu 5,7%. Hal ini berarti *subgrade* memenuhi syarat kekuatan.

Pada penelitian Harimei (2018) menggunakan alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) terdiri dari dua tahap, yaitu tahap melakukan pengujian sifat fisik tanah berupa kadar air, berat jenis, dan analisis butir, dan pengujian kedua adalah pengujian sifat mekanis tanah lempung yang berupa pemadatan, DCP, dan CBR. Setelah melakukan pengambilan data didapatkan nilai q_c , M_v , α 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/cm², M_v berkisar 0,025 – 0,056 cm²/kg dan α 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*.

Pada penelitian yang berjudul “Pengaruh Pembasahan dan Pengeringan Terhadap Kuat Tekan Bebas Tanah Lempung Ekspansif dengan Campuran Kapur – Abu Sekam Padi dan Serat” oleh Khasanah (2018), sebelum dilakukan penstabilan tanah, penelitian dimulai dengan melakukan pengujian sifat-sifat geoteknik tanah. Penelitian ini menggunakan tanah lempung dengan plastisitas yang tinggi, dengan nilai kadar air optimum sebesar 32,5%, berat volume kering maksimum (MDD) sebesar 13,05 kN/m³, dan 95% MDD sebesar 30,88 kN/m³.

Dalam penelitian Burhanuddin dan Junaidi (2018) tentang hubungan daya dukung tanah dengan menggunakan alat DCP dan CBR laboratorium rendaman, dapat disimpulkan bahwa data pada 10 titik CBR lapangan dari hasil pengujian DCP memperoleh hasil CBR tanah dasar rata-rata di atas 6%. CBR laboratorium rendaman selama 4 hari terbukti nilai CBR setelah pemadatannya lebih bagus dibandingkan dengan nilai CBR lapangan dengan alat DCP. Dari pengujian tersebut diperoleh hubungan empiris dengan persamaan : $CBR_{DCP} = 1,083 + (0.347 \times CBR_{Lab})$.

Syahrudin (2010) melakukan pengujian daya dukung perkerasan jalan dengan *Dynamic Cone Penetrometer* dan dari hasil uji, alat DCP dapat menginterpretasikan kedalaman lapisan perkerasan dan nilai daya dukung CBR yang diukur. Dari hasil uji terlihat bahwa DCP dapat mengidentifikasi sampai kedalaman yang diperlukan atau maksimum 120 cm, dengan tebal setiap lapisan sesuai dengan nilai CBR yang diperoleh. Berdasarkan kecepatan perolehan data dan pengalaman lapangan, hasil pengujian dengan alat DCP dapat dicapaisekitar 10 sampai 12 hasil uji per hari untuk 3 lapisan atau lebih, sehingga pengujian DCP adalah 6 kali lebih cepat dari pada pengujian CBR lapangan konvensional.

Pengujian dengan alat DCP relatif sangat cepat untuk mengidentifikasi nilai CBR lapis perkerasan jalan yang ada di lapangan, untuk penyelidikan atau pemeriksaan tebal dan daya dukung perkerasan jalan, serta untuk mengukur kesesuaian tebal perkerasan jalan yang telah dilaksanakan oleh penyedia jasa (Kontraktor).

2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui nilai modulus elastisitas lapisan tanah dasar (*Subgrade*) dengan kadar kapur 2% menggunakan alat *Light Weight Deflectometer* (LWD), dan membandingkan hasil nilai modulus elastisitas dari alat LWD dengan DCP dengan 3 kali pengujian yaitu pada hari ke-0, ke-3, dan pada hari ke-7.

3. Metode Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data yang diambil dari hasil pengujian yang dilakukan di area kampus Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, tepatnya berada di sebelah timur Laboratorium Transportasi dan Jalan Gedung G5.

Metode Boussineq

Metode ini digunakan untuk menghitung analisis modulus elastisitas, dengan rumus:

$$F = \sqrt{2 \times m \times g \times h \times C} \dots \dots \dots (1)$$

$$\sigma_0 = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (2)$$

$$E_{LWD} = \frac{3,14}{2} \times \left(\frac{(1-\nu^2) \times \sigma_0 \times a}{d_0} \right) \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan,

- F = gaya terapan
- g = Percepatan nilai gravitasi (9,81 m/s²)
- h = tinggi drop (level 1= 0,23 m, level 2= 0,33 m, level 3= 0,36 m)
- E_{LWD} = Nilai Modulus Elastisitas
- μ = 0,35 (Rasio Poisson)
- σ₀ = tegangan terapan (MPa)
- d₀ = penurunan yang diukur (mm)

- a = jari-jari plat (15mm)
- C = Konstanta kekuatan bantalan karet (449 × 10⁸ N/m) (SNI 3966:2012)

Contoh hitungan pada titik 1 level 1 percobaan ke 1 pada hari ke-0

$$F = \sqrt{2 \times 12 \times 9,81 \times 0,23 \times 449 \times 10^8}$$

$$= 1586982,561 \text{ Kn}$$

$$\sigma_0 = \frac{1586982,561}{3,14 \times 15^2}$$

$$= 2246,26 \text{ MPa}$$

$$E_{LWD} = \frac{3,14}{2} \times \left(\frac{(1-0,35^2) \times 2246,26 \times 15}{1207} \right) = 38,458 \text{ MPa}$$

Untuk membandingkan nilai modulus elastisitas dari pengujian LWD dengan nilai dari pengujian DCP, maka nilai DCPI dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$DCPI = \frac{\text{Penetrasi between reading}}{\text{number of blows}} \times 1 \dots \dots (4)$$

Contoh hitungan pada titik 1 pengujian hari ke-0

$$DCPI = \frac{13,2}{6,4} \times 1 = 4,4 \text{ mm/blow}$$

Setelah didapatkan nilai DCPI, maka nilai tersebut digunakan untuk menghitung nilai CBR (%), berdasarkan ASTM D6951 menggunakan rumus:

$$\text{Log (CBR)} = \frac{292}{DCPI^{1,12}} \dots \dots \dots (5)$$

Contoh hitungan pada titik 1 pengujian hari ke-0

$$\text{Log (CBR)} = \frac{292}{4,4^{1,12}} = 55,55 \text{ MPa}$$

4. Hasil dan Pembahasan Nilai Modulus Elastisitas Pada Alat

Alat *Light Weight Deflectometer* (LWD), digunakan untuk menganalisis kondisi suatu perkerasan dengan nilai modulus elastisitas. Pada penelitian menggunakan level 1,2 dan level 3 karena apabila menggunakan level

yang tinggi maka nilai tinggi jatuhnya akan semakin besar dan pada alat secara otomatis akan menginformasikan bahwa beban yang digunakan harus diturunkan. Level 1 mempunyai beban sebesar 1234 Kg dan tinggi jatuh 0,23 m, level 2 mempunyai beban sebesar 1744 Kg dan tinggi jatuh 0,33 m, dan beban untuk level 3 sebesar 1909 Kg dan tinggi jatuh 0,53 m.

Hasil dari rata-rata nilai modulus elastisitas yang diperoleh pada saat pengujian menggunakan alat *Light Weight Deflecometer* (LWD) dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Nilai Modulus Elaatisitas Alat

| Level | Pengujian Hari Ke- | | |
|-------|--------------------|---------|-------|
| | 0 | 3 | 7 |
| 1 | 47,5125 | 52,575 | 56,7 |
| 2 | 65,5875 | 65,625 | 68,35 |
| 3 | 65,5625 | 66,2625 | 69,35 |

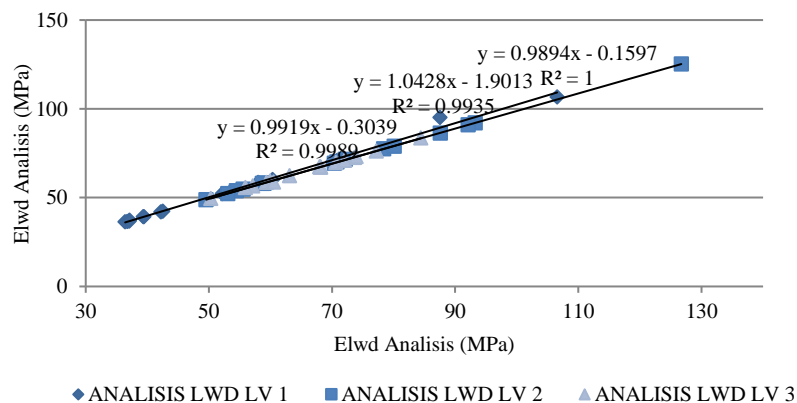
Nilai Modulus Elastisitas Analisis

Hasil dari nilai modulus elastisitas yang didapat pada saat pengujian dengan hasil analisis hitungan modulus elastisitas menggunakan rumus *Boussineq* hasilnya sama, dapat dilihat pada Tabel 2, sehingga hasil dari pengujian menggunakan alat LWD dapat dipertanggungjawabkan.

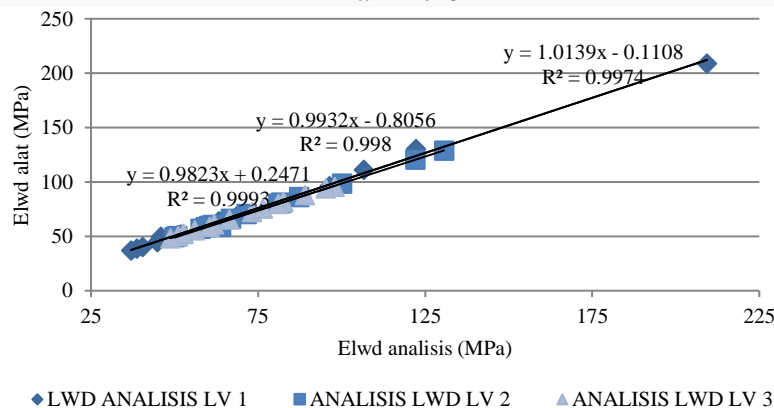
Tabel 2 Nilai Analisis Modulus Elastisitas

| Level | Pengujian Hari Ke- | | |
|-------|--------------------|---------|---------|
| | 0 | 3 | 7 |
| 1 | 47,5554 | 52,2768 | 56,9741 |
| 2 | 66,4046 | 66,763 | 69,7897 |
| 3 | 66,4019 | 67,2145 | 70,6872 |

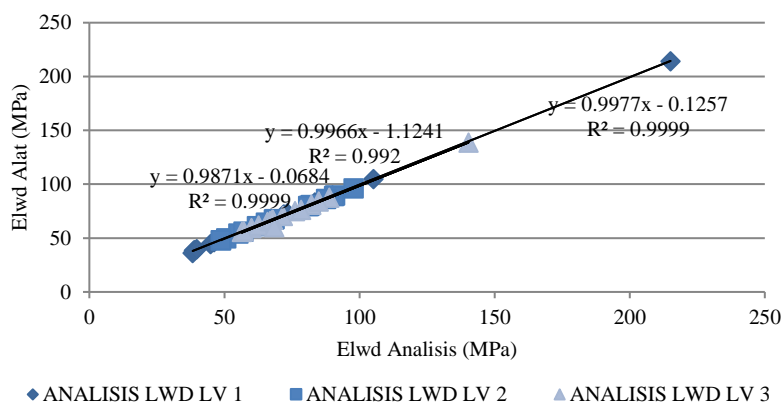
Perbandingan hasil nilai modulus elastisitas pada saat pengujian dengan modulus elastisitas analisis hitungan menggunakan metode *Boussineq* dapat dilihat pada Gambar 1 sampai Gambar 3 berikut.



Gambar 1 Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas Alat dengan Analisis Hitungan Pengujian Hari Ke-0



Gambar 2 Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas Alat dengan Analisis Hitungan Pengujian Hari Ke-3



Gambar 3 Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas Alat dengan Analisis Hitungan Pengujian Hari Ke-7

Koefisien Variasi

Koefisien variasi adalah perbandingan antara nilai standar deviasi dengan nilai rata-rata dalam suatu data. Menurut AASHTO 1993, dalam jurnal Siegfried syarat angka koefisien variasi yang diperoleh sebesar 30%. Koefisien variasi yang nilainya semakin kecil maka semakin baik pula keseragamannya, hasil dari penelitian dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3 Hasil Koefisien Variasi Penelitian

| Level | Koefisien Variasi Hari Ke- | | |
|-------|----------------------------|---------|----------|
| | 0 | 3 | 7 |
| 1 | 29,9023 | 25,5666 | 29,9599 |
| 2 | 21,4661 | 22,7565 | 26,1524 |
| 3 | 22,2344 | 23,2334 | 25,43092 |

Uji Validitas dan Realibilitas

Pengujian validitas adalah pengujian untuk mengukur ketepatan/valid tidaknya suatu data yang akan digunakan dalam suatu penelitian. Dalam melakukan uji validitas menggunakan program SPSS yang mana teknik pengujiannya menggunakan korelasi *Bivariate Pearson* atau dengan cara mengkorelasikan masing-masing data dengan total data. Pengujian realibilitas adalah pengujian untuk menunjukkan sejauh mana tingkat kepercayaan atau konsistensi suatu data yang dihasilkan dalam suatu penelitian. Tinggi rendahnya realibilitas ditunjukkan dengan suatu angka yang disebut koefisien realibilitas. Pengujian realibilitas

menggunakan rumus *Alpha Cronbach*, jika nilai alpha > 0,7 realibilitasnya mencukupi, apabila nilai alpha > 0,8 berarti seluruh data pengujian konsisten, dan jika nilai alpha > 0,9 realibilitasnya sempurna. Namun jika nilai alpha < 0,50 maka realibilitas rendah, dan kemungkinan ada beberapa nilai yang tidak reliabel. Hasil dari nilai pengujian tersebut valid karena pada Sig (2-tailed) hasilnya 0,00, dan dari uji realibilitas menunjukkan nilai hasil > 0,9 yang artinya tingkat kevalidan hampir 100%, hal itu dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5 di bawah ini

Tabel 4 Hasil Pengujian Validitas

| | | Correlations | |
|-------|-----------------|--------------|--------|
| | | ELWD1 | ELWD2 |
| ELWD1 | Pearson | 1 | ,999** |
| | Correlation | | |
| | Sig. (2-tailed) | | ,000 |
| | N | 240 | 240 |
| ELWD2 | Pearson | ,999** | 1 |
| | Correlation | | |
| | Sig. (2-tailed) | ,000 | |
| | N | 240 | 240 |

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Tabel 5 Hasil Pengujian Realibilitas

| Reliability Statistics | |
|------------------------|------------|
| Cronbach's | |
| Alpha | N of Items |
| 1,000 | 2 |

Pengujian *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP)

Pengujian DCP (*Dynamic Cone Panetrometer*) adalah melakukan tumbukan pada setiap titik yang sama pada saat pengujian dengan alat *Light Weight Deflectometer* (LWD) tujuannya untuk membandingkan hasil yang didapatkan dari kedua alat tersebut. Nilai DCPI yang didapatkan dari pengujian hari ke-0, ke-3, dan ke-7 semakin besar, nilai terbesar ada pada pengujian hari ke-7. Langkah pertama menghitung pengujian DCP dengan menghitung nilai DCPI, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini.

Tabel 6 Hasil Nilai DCPI

| Titik | 0 hari | 3 hari | 7 hari |
|-------|--------|--------|--------|
| 1 | 4,4 | 3,75 | 2,834 |
| 2 | 2,334 | 3 | 3,167 |
| 3 | 3,8 | 3,5 | 2,834 |
| 4 | 5 | 3 | 4,167 |
| 5 | 3,3 | 3,167 | 4,067 |
| 6 | 4,167 | 3 | 3 |
| 7 | 3,3 | 1,875 | 2,067 |
| 8 | 3,5 | 3,25 | 4,234 |
| 9 | 3,434 | 3 | 2,5 |
| 10 | 3,567 | 2,175 | 4,167 |
| 11 | 4,5 | 2,567 | 3,1 |
| 12 | 2,5 | 3,25 | 3,034 |
| 13 | 4,3 | 4 | 4 |
| 14 | 4 | 4,2 | 2,834 |
| 15 | 3,5 | 4,5 | 2,834 |
| 16 | 4,1 | 3,6 | 3,334 |

Perhitungan Nilai CBR (%)

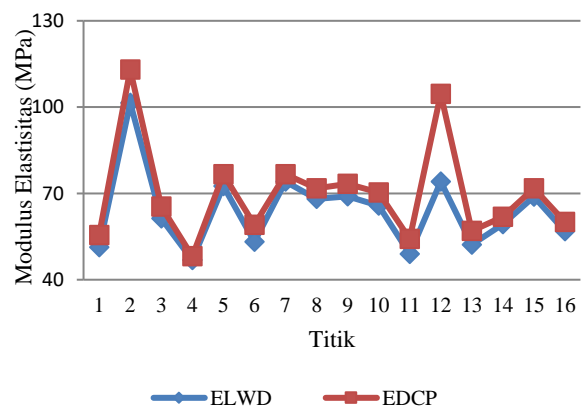
Setelah menghitung nilai DCPI dari pengujian *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP), maka dengan nilai DCPI yang didapatkan selanjutnya adalah menghitung nilai CBR (%). Hasil dari nilai CBR (%) dapat dilihat pada Tabel 7 berikut ini

Tabel 7 Hasil Nilai CBR (%)

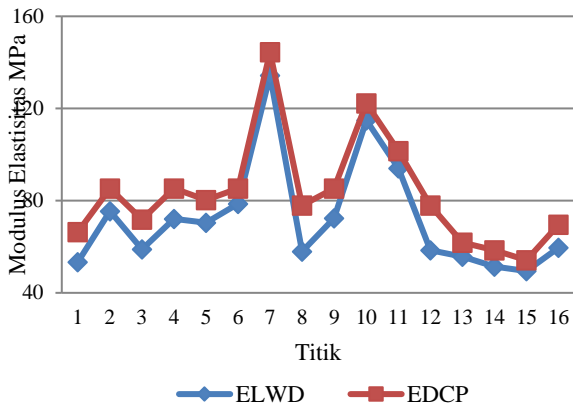
| Titik | Nilai CBR (MPa) | | |
|-------|-----------------|---------|---------|
| | Ohari | 3hari | 7hari |
| 1 | 55,555 | 66,446 | 90,928 |
| 2 | 113,009 | 85,312 | 80,29 |
| 3 | 65,468 | 71,784 | 90,928 |
| 4 | 48,144 | 85,312 | 59,045 |
| 5 | 76,674 | 80,29 | 60,674 |
| 6 | 59,045 | 85,312 | 85,312 |
| 7 | 76,674 | 144,419 | 129,48 |
| 8 | 71,784 | 77,997 | 58 |
| 9 | 73,331 | 85,312 | 104,639 |
| 10 | 70,276 | 122,301 | 59,045 |
| 11 | 54,174 | 101,585 | 82,236 |
| 12 | 104,639 | 77,997 | 84,242 |
| 13 | 57,004 | 61,813 | 61,813 |
| 14 | 61,813 | 58,526 | 90,928 |
| 15 | 71,784 | 54,174 | 90,928 |
| 16 | 60,127 | 69,555 | 75,799 |

Perbandingan Nilai E_{LWD} dengan Nilai E_{DCP}

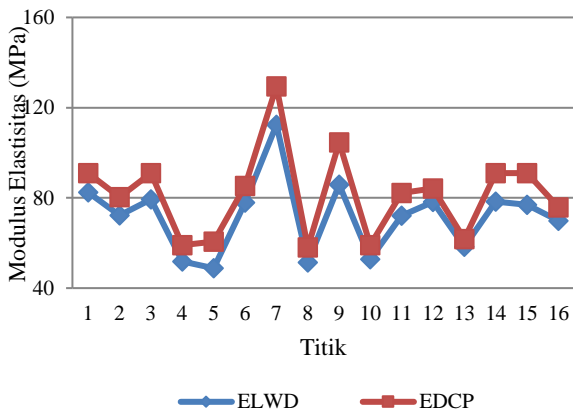
Nilai modulus elastisitas yang dihasilkan pada alat LWD dengan nilai DCPI yang dihasilkan pada saat pengujian dengan menggunakan alat DCP hasilnya lebih besar nilai DCPI. Hal itu mungkin disebabkan karena alat LWD menggunakan sensor otomatis yang dapat mendeteksi secara detail, sedangkan alat DCP masih menggunakan tenaga manual manusia sehingga setiap tumbukan menghasilkan nilai yang berbeda. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4 sampai Gambar 6 berikut.



Gambar 4 Hubungan E_{LWD} dengan E_{DCP} pengujian 0 hari



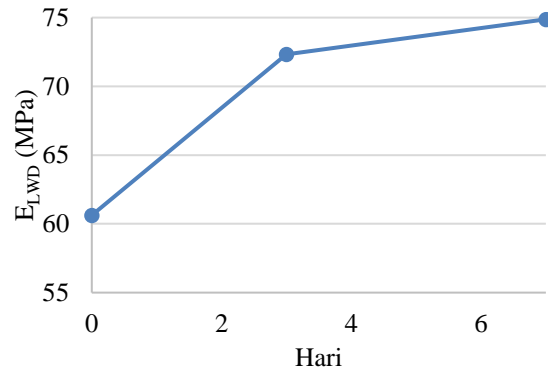
Gambar 5 Hubungan E_{LWD} dengan E_{DCP} pengujian 3 hari



Gambar 5 Hubungan E_{LWD} dengan E_{DCP} pengujian 7 hari

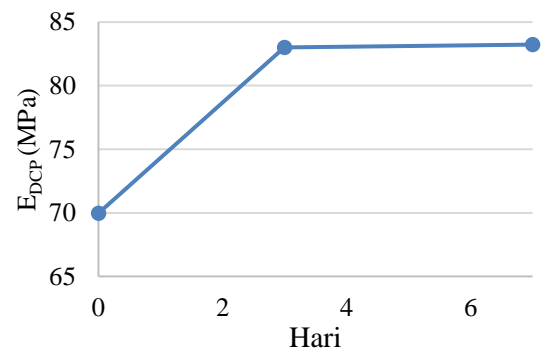
Perbandingan Nilai E_{LWD} dan E_{DCP} Dilihat dari Hari Pengujian

Pengujian *Light Weight Defelctometer* (LWD) dilakukan selama 3 kali dalam waktu 7hari dengan tujuan untuk mengetahui hubungan antara nilai modulus elastisitas yang dihasilkan dengan waktu pengujian. Dapat dilihat dari Gambar 6 bahwa hubungan antara hasil nilai modulus elastisitas yang didapatkan dari hari ke-0 sampai hari ke-7 mengalami kenaikan.



Gambar 6 Pengaruh Hari dengan Nilai E_{LWD}

Selanjutnya untuk pengujian *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP), sama halnya dengan LWD, pengujian ini juga dilakukan 3 kali dalam kurun waktu 7hari yaitu pada hari ke-0, hari ke-3 dan hari ke-7. Hasil dari pengujian yang didapatkan juga mengalami kenaikan hingga hari terakhir pengujian.



Gambar 6 Pengaruh Hari dengan Nilai E_{DCP}

5. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

- Dari hasil penelitian didapatkan hasil untuk nilai rata-rata modulus elastisitas menggunakan alat *Light Weight Deflectometer* (LWD) pada pengujian 0hari senilai 63,975 Mpa, pengujian 3haris senilai 72,32 Mpa, dan untuk pengujian 7hari senilai 74,87 Mpa.
- Hasil analisis perhitungan modulus elastisitas menggunakan rumus *Boussineq* nilainya sama dengan hasil pengujian menggunakan alat *Light Weight Deflectometer* (LWD), sehingga hasil dari pengujian alat tersebut dapat dipertanggungjawabkan.

c. Nilai E_{LWD} dan E_{DCP} semakin meningkat karena dilakukan pengujian selama 0 hari, 3 hari, dan 7 hari dan perbandingan nilai E_{LWD} dengan nilai E_{DCP} hasilnya lebih besar dari nilai E_{DCP} .

Daftar Pustaka

- A, S., Kolase, P. K., Desai, S. P., & Desai, A. K. (2015). Study of the Light Weight Deflectometer and Reviews. *Study of the Light Weight Deflectometer and Reviews*, 3(6), 42-46
- ASTM, 2015, D4695-03: Standard Guide for General Pavement Deflection Measurement, ASTM International.
- Bambang Harimei S. (2018). Analisis Daya Dukung Tanah Pada Perencanaan Saranan Dan Prasarana Umum. *Jurnal Geocelebes*, 2(1), 42 – 46.
- Burhanuddin, & Junaidi. (2018). Hubungan Empiris Daya Dukung Tanah Dasar Menggunakan Alat *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) Dan *California Bearing Ratio* (CBR) Rendaman Untuk Disan Perkerasan Lentur Jalan Raya. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala*, 1, 553-558.
- Khasanah, I. A. (2018). Pengaruh Pembasahan dan Pengeringan Terhadap Kuat Tekan Bebas Tanah Lempung Ekspansif dengan Campuran Kapur – Abu Sekam Padi dan Serat. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- 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.
- Makwana, P. (2016). Structural evaluation and quality assurance of flexible pavement using Light Weight Deflectometer. *Journal of Civil and Structural Engineering*, 6(3), 160-167.
- Novardi. (2013). Penilaian Struktur Jalan Menggunakan Alat *Light Weight Deflectometer*. Yogyakarta : Universitas Muhammadiyah Yoagyakarta
- Siegfried. (2017). Penggunaan LWD Pusjantan Pada Jalan Tanah Untuk Pengecekan Kekuatan Tanah. *Jalan dan Jembatan*, 3, 1-7.
- Siegfried. (2018). LWD Pusjantan Sebagai Alat Alternatif Dalam Mengevaluasi Perkerasan Lentur. *Jalan dan Jembatan*, 35(2), 75-83.
- Sulewska, M. J., & Bartnik, G. (2017). Application of the Light Falling Weight Deflectometer (LFW) to Test Aggregate Layers on Geosynthetic Base. *Procedia Engineering*, 189(May), 221-226.
- Sumarna. 2015, Pengujian Daya Dukung Lapis Tanah Dasar (*Subgrade*) Pada Tanah Timbunan Untuk Lapisan Jalan Dengan Alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*), Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung. *Jurnal Potensi Vol 17 No.1*, 37-42
- 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.