

PENGUNAAN LWD PUSJATAN PADA JALAN TANAH UNTUK PENGECEKAN KEKUATAN TANAH (THE USE OF PUSJATAN'S LWD ON EARTH ROADS FOR CHECKING STRUCTURAL SOIL STRENGTH)

Siegfried

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
Jl. A.H Nasution No. 264 Bandung 40294
e-mail: siegfried@pusjatan.pu.go.id

Diterima: 8 Maret 2017; direvisi: 13 April 2017; disetujui: 25 April 2017

ABSTRAK

LWD merupakan salah satu alat yang digunakan untuk mengukur kekuatan struktural dari suatu sistem perkerasan jalan terutama untuk jalan-jalan yang tanpa penutup. Alat ini cukup praktis karena membutuhkan hanya 2 orang operator dalam pengoperasiannya. Selain itu juga lebih cepat karena hasil pengukuran langsung didapat sesaat setelah pengujian dilakukan. Alat LWD ini terdiri atas beban jatuhnya, pelat pembebanan, dan sensor geophone. Beban yang dijatuhkan pada ketinggian tertentu akan menghasilkan gelombang yang ditangkap oleh geophone. Dengan menggunakan prinsip-prinsip teori gelombang kemudian bisa dihitung lendutan yang dihasilkan. Data lendutan ini dengan menggunakan rumus Boussinesq kemudian akan menghasilkan modulus elastisitas yang merupakan parameter kekuatan struktural lapisan tanah. LWD Pusjatan merupakan alat LWD yang dihasilkan dari penelitian tahun anggaran 2013, 2014, dan 2015 pada Puslitbang Jalan dan Jembatan. Alat ini dipakai pada pengujian jalan tanah di Bogor dan Kuningan, dimana untuk masing-masing lokasi diambil 10 titik pengujian. Pada titik pengujian yang sama kemudian juga dilakukan pengujian DCP. Pemilihan DCP sebagai alat pembanding dengan alasan bahwa pada umumnya alat DCP inilah yang biasanya digunakan untuk mengukur kekuatan pada jalan tanah. Hasil pengujian LWD dan DCP kemudian dibandingkan satu dengan yang lainnya. Dari kedua lokasi ini terlihat bahwa perbedaan modulus elastisitas yang didapat dari kedua alat tidak berbeda jauh seperti terlihat dari hasil plotting, dimana hasil yang didapat terlihat berada disekitar garis kesamaan. Kenyataan ini membuktikan bahwa alat LWD Pusjatan bisa digunakan pada pengujian untuk mendapatkan kekuatan struktural pada jalan tanah.

Kata Kunci: *LWD Pusjatan, kekuatan struktural, jalan tanah, geophone, Boussinesq.*

ABSTRACT

LWD is a equipment that is purposed to measure the structural strength of a pavement system especially unpaved roads. This equipment is quite practical as it only needs 2 people in operation. LWD is quite handy as the data is obtained directly after testing. It consists of falling weight, load plate, and geophones. When the weight falls, it generates vibration recorded by geophones. Applying the basic formulas of vibration engineering, it can then result deflection. The deflection value is used for the calculation of modulus elasticity of layer tested using Boussinesq formula. The modulus elasticity is one of the structural strength parameters. Pusjatan's LWD is the product of Pusjatan's research in the fiscal years of 2013, 2014 and 2015. The LWD is applied to test earth roads in Bogor and Kuningan, where in each location it is collected 10 data using LWD and DCP on the same tested points. The main reason of using DCP for comparing Pusjatan's LWD is that the former equipment used to measure the earth road structural strength. The results in term of modulus elasticity are compared. The results show that the differences obtained of these two equipments are quite close as near as results plotted fall in the equality line. This finding comes to the conclusion that the Pusjatan's LWD could be used for testing of structural strength of earth roads.

Key words: *Pusjatan's LWD, structural strength, earth roads, geophone, Boussinesq.*

PENDAHULUAN

Parameter kekuatan struktural dari suatu sistem perkerasan dibutuhkan di dalam evaluasi maupun pemrograman penanganan oleh pengelola jalan. Untuk jalan-jalan tanpa penutup seperti jalan tanah, parameter kekuatan struktural ini diwakili oleh nilai *California Bearing Ratio (CBR)*.

Didalam metoda pengujian konvensional nilai *CBR* dari suatu lapisan jalan tanpa penutup diukur menggunakan alat *CBR* langsung atau *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*. Penggunaan kedua alat ini membutuhkan waktu yang relatif lama dan teknisi yang banyak (minimum 3 orang teknisi). Dengan perkembangan tekno-logi di bidang komputer, sensor, dan mikro elektronika saat ini telah dikenalkan alat yang lebih praktis yang disebut dengan *Light Weight Deflectometer (LWD)*.

Alat *LWD* terdiri atas beban jatuhan, pelat beban, *geophone*, dan prosesor. Beban jatuhan bertujuan untuk mensimulasikan beban dinamis lalu lintas. Apabila beban dijatuhkan pada ketinggian tertentu maka akan menghasilkan vibrasi yang akan dicatat oleh *geophone*. Data vibrasi ini kemudian digunakan untuk menghitung besarnya lendutan yang dihasilkan oleh beban jatuhan. Perhitungan ini menggunakan rumus-rumus dasar dari teknologi vibrasi. Nilai lendutan ini kemudian dipakai untuk menghitung besaran modulus elastisitas dari lapisan yang diuji dengan mengaplikasikan persamaan *Boussinesq* (Transit New Zealand 1998).

Perhitungan untuk mendapatkan lendutan dari data vibrasi *geophone* cukup kompleks. Data vibrasi yang dicatat di dalam domain waktu harus diubah ke dalam domain frekuensi menggunakan transformasi *Fourier*. Beberapa perhitungan kemudian dilakukan pada domain frekuensi ini sehingga mendapatkan nilai lendutan maksimum untuk masing-masing *geophone*. Nilai lendutan inilah yang kemudian digunakan untuk menghitung nilai modulus elastisitas yang merupakan salah satu parameter kekuatan struktural tanah.

Pengujian dilakukan pada 2 lokasi jalan tanah yakni di Bogor dan Kuningan. Pada masing-masing lokasi ini diambil 10 titik pengujian. Selain pengujian dengan *LWD*, pada tiap titik ini juga dilakukan pengujian dengan

DCP. Hal ini bertujuan untuk melihat perbandingan dari masing-masing pengujian. Dari data *DCP* kemudian dihitung nilai *CBR* tanah. Setelah itu nilai *CBR* ini dikonversi menjadi modulus elastisitas dengan menggunakan hubungan *CBR* dan modulus elastisitas seperti yang diberikan oleh AASHTO (1993).

KAJIAN PUSTAKA

LWD Pujatan

Penggunaan alat *LWD* telah meningkat pesat baik di Eropa maupun di Amerika Serikat. *LWD* digunakan sebagai alat untuk pengumpulan data kondisi tanah existing maupun sebagai alat quality control pemadatan selama konstruksi jalan berlangsung (Fleming, Frost, and Lambert 2009).

LWD Pujatan merupakan hasil penelitian yang dilakukan di Puslitbang Jalan dan Jembatan pada tahun anggaran 2012 dan 2013 (Siegfried 2013). Alat *LWD* Pujatan ini mempunyai perbedaan dengan alat *LWD* standar, antara lain:

- 1) Beban yang digunakan pada *LWD* Pujatan berbeda dengan *LWD* Standar.
- 2) *LWD* Pujatan tidak menggunakan *load cell*.
- 3) Terdapat 3 buah sensor *geophone* yang digunakan pada *LWD* Pujatan.

Beban yang digunakan pada *LWD* Pujatan adalah seberat 12 kg. Hal ini lebih besar dibandingkan dengan beban yang digunakan pada *LWD* standar. Tujuan utama menggunakan beban yang lebih berat agar bisa menghasilkan *stress level* yang lebih tinggi, sehingga alat *LWD* Pujatan ini bisa digunakan juga pada pengujian jalan-jalan bervolume lalu lintas sedang.

Pada *LWD* Pujatan tidak digunakan *load cell*. Terdapat 5 tingkatan beban yang dimulai dari 0 sampai dengan 4. Masing-masing tingkatan menghasilkan beban tertentu. Besarnya beban ini sebelumnya sudah dilakukan kalibrasi menggunakan *load cell* standar.

Dengan tidak adanya *load cell* ini maka *LWD* Pujatan jauh lebih praktis dibandingkan dengan alat sejenis. Perawatannya jauh lebih mudah karena *load cell* merupakan salah satu komponen yang memerlukan perawatan yang cukup teliti.

LWD Pusjatan dilengkapi dengan 3 buah sensor *geophone*. Hal ini berbeda dengan LWD pada umumnya yang mempunyai 2 sensor. Penggunaan 3 buah sensor ini bertujuan agar penggunaan Manual Desain Perkerasan untuk jalan beraspal berlalu lintas sedang sampai rendah bisa diakomodasi dengan menggunakan alat LWD Pusjatan. Gambar di bawah ini menunjukkan satu unit LWD Pusjatan.



Gambar 1. Satu unit LWD Pusjatan

Dasar perhitungan LWD Pusjatan

Perhitungan LWD Pusjatan didasarkan atas teori-teori dasar dari teknik gelombang atau yang lebih dikenal dengan *omega arithmetic*. Perhitungan ini memberikan hubungan antara lendutan (*displacement*), kecepatan, dan percepatan pada domain frekuensi (Mercer 2006). Langkah-langkah perhitungan untuk LWD Pusjatan ini antara lain:

- 1) Dari data yang diambil, nilai *count* ADC dikonversikan mejadi kecepatan lendutan dengan mempertimbangkan sifat-sifat *geophone* yang dipakai.
- 2) Untuk data kecepatan lendutan dilakukan transformasi *Fourier*.
- 3) Tetapkan frekuensi dominan serta hitung besarnya frekuensi angular.
- 4) Lakukan perhitungan *omega arithmetic* untuk mendapatkan lendutan.
- 5) Setelah mendapatkan lendutan kemudian dihitung modulus menggunakan rumus *Boussinesq* dengan menggunakan data beban dan *Poisson's ratio* dari bahan yang diuji.

Rumusan *omega arithmetic* yang digunakan pada alat LWD Pusjatan diberikan pada persamaan berikut ini.

$$X(f) = \frac{\dot{X}(f)}{i\omega} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan

- X(f) : lendutan dalam domain frekuensi.
- $\dot{X}(f)$: kecepatan lendutan dalam domain frekuensi.
- ω : frekuensi angular.
- i : bilangan imajiner ($\sqrt{-1}$)

Untuk rumus *Boussinesq* yang digunakan adalah sebagai berikut (Transit New Zealand 1998).

$$E_0(0) = \frac{2(1-\mu^2)\sigma_0 a}{D_0} \dots\dots\dots (2)$$

$$E_0(r) = \frac{(1-\mu^2)\sigma_0 a^2}{r D_r} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

- $E_0(0)$: modulus permukaan pada pusat pembebanan, MPa
- $E_0(r)$: modulus permukaan pada jarak r dari pusat pembebanan, MPa.
- σ_0 : tegangan kontak antara pelat pembebanan dengan permukaan, Pa.
- r : jarak *geophone* dari pusat pembebanan, mm.
- μ : *Poisson's ratio*.
- a : jari-jari pelat pembebanan, mm.
- D_0 : lendutan pada pusat pembebanan, mikro meter.
- D_r : lendutan pada jarak r dari pusat pembebanan, mikro meter.

DCP

Peralatan *DCP* yang digunakan adalah *DCP* dari TRL. *DCP* jenis ini bisa mengukur kekuatan structural jalan tanah dalam parameter *CBR* sampai dengan ke dalaman 1000 mm (TRL 1993).

Prinsip utama dari *DCP* adalah memprediksi kekuatan struktural dari lapisan tanah dengan parameter utama adalah rata-rata penetrasi dari konus pada beban standar. Nilai ini biasanya dikenal dengan istilah mm/blows. Dengan menggunakan *DCP* bisa dihitung nilai *CBR* dan juga ketebalan dari masing-masing lapisan jalan tanah.

Untuk *DCP* jenis TRL, korelasi antara rata-rata penetrasi dengan nilai *CBR* diberikan pada persamaan (4). *DCP* jenis TRL ini menggunakan konus yang bersudut 60⁰.

$$\log_{10}(CBR) = 2,48 - 1,057 \log_{10}(PR) \dots (4)$$

Keterangan:

- CBR* : Nilai *California Bearing Ratio*, %.
- PR* : Penetrasi rata-rata (mm/blows)

Pada pengujian dengan *DCP* dibutuhkan sekurang-kurangnya 3 orang teknisi. Satu orang teknisi untuk memegang alat *DCP*. Satu orang lainnya untuk mengangkat dan menjatuhkan beban serta satu orang lainnya untuk membaca dan mencatat hasil pengujian (TRL 1993).

Nilai representatif *DCP*

Pada jalan tanah yang terdiri dari beberapa lapis diperlukan satu nilai representatif yang mewakili untuk satu titik pengujian. Pada umumnya nilai representatif itu dihitung berdasarkan metoda Tebal Ekuivalen dari Odemark (Nataatmaja dkk, 2012). Rumusan dari metoda itu adalah sebagai berikut.

$$CBR_{rep} = \left[\frac{\sum_i^n h_i CBR_i^{1/3}}{\sum_i^n h_i} \right]^3 \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan

- CBR_{rep} : nilai *CBR* yg mewakili pada satu titik pengujian, %
- CBR_i : nilai *CBR* lapisan ke *i*, %.
- h_i : tebal lapisan ke *I*, mm.
- n* : jumlah lapisan

Persamaan amaan (5) banyak diadopsi oleh berbagai institusi termasuk JRA (1989) dan Austroads (2012).

Hubungan modulus elastisitas jalan tanah dengan nilai *CBR*

Untuk jalan tanah dan tanah dasar, AASHTO memberikan korelasi empiris antara nilai Modulus dan *CBR* seperti ditunjukkan pada persamaan berikut ini (FHWA 2006).

$$Mr = 10 CBR \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan

- CBR* : Nilai *California Bearing Ratio*, %.
- Mr* : Modulus resilien jalan tanah atau tanah dasar, MPa

Persamaan amaan (6) di atas banyak digunakan oleh para praktisi teknik jalan raya dalam mendapatkan nilai modulus tanah dasar dari hasil pengujian *DCP*.

HIPOTESIS

Penggunaan *LWD* pada jalan tanah memberikan hasil kekuatan struktural yang tidak berbeda signifikan dengan pengujian *DCP*.

METODOLOGI

Pengambilan data

Data diambil di 2 lokasi jalan tanah yakni di Bogor dan Kuningan. Pada masing-masing lokasi ini diambil data *LWD* dan *DCP*. Titik uji pengambilan kedua data ini sama. Pengujian *LWD* dilakukan sebelum pengujian *DCP*. Karena lokasi yang diukur adalah jalan tanah dan juga untuk keperluan penelitian, pencatatan *DCP* dilakukan setiap *blow*.

Pengambilan data di Bogor dilakukan pada jalan tanah di daerah perkampungan petani. Data yang diambil sebanyak 10 titik. Tiap titik dilakukan pengujian dengan *LWD* Pujatan dan diikuti dengan pengujian menggunakan alat *DCP*.

Untuk lokasi Kuningan, data diambil pada ruas jalan tanah yang menghubungkan perkebunan dengan pemukiman warga. Juga diambil 10 titik pengujian dengan alat *LWD* yang kemudian pada titik yang sama juga diuji dengan alat *DCP*.

Pemilihan alat *DCP* untuk pembanding alat *LWD* didasarkan pada tujuan untuk menjadikan alat *LWD* sebagai alternatif untuk alat *DCP*, dimana dengan menggunakan alat *LWD* maka pengujian kekuatan struktural jalan tanah akan lebih efektif dan efisien baik dalam sisi kecepatan pengujian maupun keakuratan data yang didapat.

Parameter pembanding dari kedua alat ini adalah modulus elastisitas dari lapisan jalan tanah yang diuji.

Perhitungan nilai modulus dari *LWD*

Nilai modulus jalan tanah dari masing-masing titik pengujian didapat langsung setelah pengujian dilakukan. Langkah perhitungan modulus ini sesuai dengan perhitungan dasar untuk pengujian *LWD* antara lain transformasi *Fourier* dan *omega arithmetic* (Persamaan amaan 1). Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai modulus adalah Persamaan (2) dan (3). Perhitungan nilai modulus ini sudah termasuk di dalam paket program *LWD* Pujatan itu sendiri.

Perhitungan modulus dari DCP

Dari hasil pengujian *DCP* didapat pencatatan mm/blows dan penetrasi (mm). Menggunakan Persamaan (4) bisa dihitung nilai *CBR* untuk masing-masing *blows*. Nilai *CBR* yang mewakili dari setiap titik pengujian dihitung berdasarkan Persamaan (5). Setelah didapat nilai *CBR* yang mewakili, kemudian bisa dihitung nilai modulus jalan tanah tersebut dari hasil pengujian *DCP* dengan menggunakan hubungan seperti yang diberikan pada Persamaan (5).

Korelasi LWD dan DCP

Untuk melihat korelasi antara pengujian *LWD* dan *DCP*, maka masing-masing nilai modulus yang didapat dari pengujian dari alat yang berbeda ini dicari besarnya perbedaan satu sama lainnya dalam satuan persen.

Selain itu nilai modulus yang didapat dari kedua pengujian ini diplotkan terhadap garis kesamaan. Kemudian diambil batas atas dan bawah sebesar 85 % (Shafer and Zhang 2012). Apabila semua nilai masuk ke dalam ambang batas ini, maka bisa dikatakan bahwa pengujian *LWD* dianggap mempunyai hasil yang tidak terlalu berbeda secara signifikan dengan pengujian *DCP* dalam mengukur kekuatan struktural jalan tanah.

HASIL DAN ANALISIS

Hasil pengujian DCP dan LWD di Bogor

Hasil pengujian *DCP* dalam satuan *CBR* dan modulus elastisitas untuk 10 titik pengujian di daerah Bogor diberikan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Hasil Pengujian Lokasi Bogor

No	Kode	CBR(%)	E_{DCP} (MPa)	E_{LWD} (MPa)
1	G1	4.9	49	49
2	G2	3.0	30	28
3	G3	2.7	27	30
4	G4	3.1	31	27
5	G5	2.9	29	24
6	G6	4.7	47	49
7	G7	5.9	59	57
8	G8	1.9	19	22
9	G9	3.4	34	35
10	G10	4.2	42	40

Keterangan:

E_{DCP} = Modulus elastisitas hasil pengukuran *DCP*

E_{LWD} = Modulus elastisitas hasil pengukuran *LWD*

Dari Tabel 1 tidak terlihat perbedaan yang signifikan pada nilai modulus dari kedua pengujian ini, kecuali pada titik 5. Hasil pengujian menggunakan *DCP* memberikan nilai sebesar 29 MPa yang agak berbeda jauh dengan hasil pengujian *LWD* yaitu sebesar 24 MPa.

Kemungkinan terjadinya perbedaan pada titik ini salah satunya terdapat batu atau benda yang agak keras lainnya pada ke dalaman tertentu sehingga hal ini mempengaruhi nilai *CBR* dan modulus yang didapat dari pengujian menggunakan alat *DCP*.

Hasil pengujian DCP dan LWD di Kuningan

Untuk lokasi jalan tanah di Kuningan hasil pengujian *LWD* dan *DCP* dalam parameter *CBR* dan modulus diberikan pada Tabel 2. Nilai modulus yang didapat dari kedua alat uji ini tidak berbeda secara signifikan kecuali pada titik 4 dan 5.

Tabel 2. Hasil pengujian lokasi Kuningan

No	Kode	CBR (%)	E_{DCP} (MPa)	E_{LWD} (MPa)
1	T1	8.4	84	83
2	T2	8.4	84	70
3	T3	8.2	82	79
4	T4	11.6	116	135
5	T5	13.6	136	144
6	T6	9.6	96	94
7	T7	9.2	92	95
8	T8	8.5	85	89
9	T9	8.2	82	84
10	T10	9.2	92	100

Titik 4 dan 5 mempunyai nilai modulus elastisitas yang cukup besar yaitu lebih besar dari 100 MPa. Perbedaan nilai modulus dari kedua pengujian ini mengkonfirmasi pernyataan dari AASHTO (1993) bahwa korelasi antara nilai *CBR* dan modulus untuk lapisan tanah menggunakan Persamaan (6) hanya berlaku untuk jenis tanah yang mempunyai nilai *CBR* ≤ 10 %.

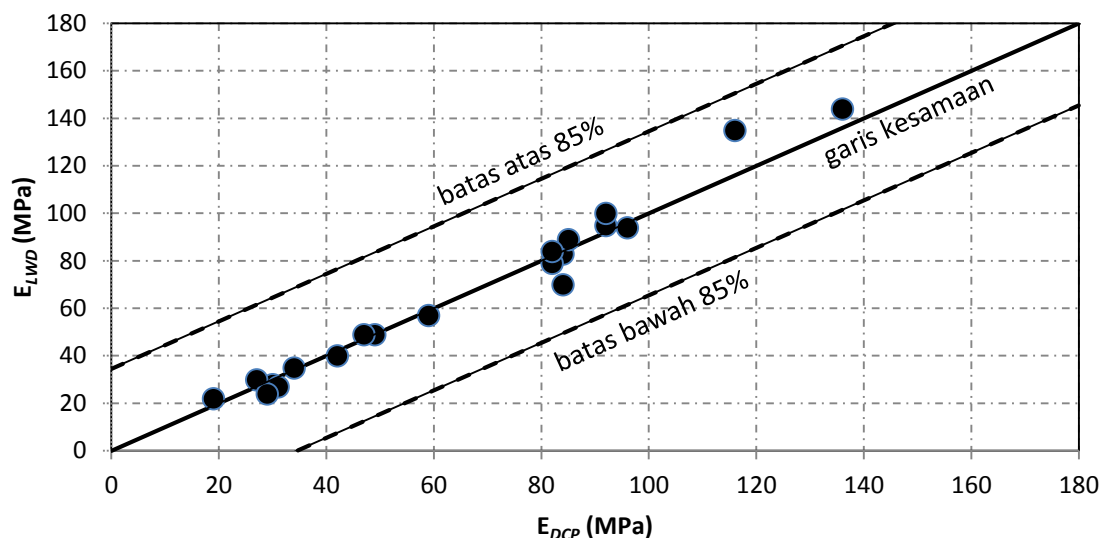
Korelasi LWD dan DCP

Untuk melihat korelasi antara pengujian *LWD* dan *DCP*, maka hasil-hasil dari kedua pengujian ini diplotkan satu sama lainnya terhadap garis kesamaan. Dari data tersebut juga diplotkan batas atas dan batas bawah untuk tingkat kepercayaan 85 % seperti terlihat dari Gambar 2.

Dari Gambar 2 terlihat bahwa 20 hasil pengujian ketika diplotkan jatuh disekitar garis kesamaan. Selain itu juga terlihat bahwa semua titik jatuh di dalam interval kepercayaan 85 %.

Kenyataan ini menunjukkan bahwa terdapat korelasi yang cukup kuat antara pengujian *LWD* dan *DCP*. Tingkat kepercayaan 85 % cukup memadai untuk menjadikan *LWD* sebagai satu alternatif bagi *DCP* dalam pengujian kekuatan struktural tanah khususnya untuk mengetahui data *CBR* lapangan.

Disisi lain dengan semakin meningkatnya penggunaan metoda mekanistik dalam perencanaan perkerasan, maka penggunaan *LWD* sebagai alat ukur untuk mendapatkan kekuatan struktural jalan tanah bisa diterima. Selain lebih cepat dalam pengambilan data juga lebih akurat dan parameter yang didapat sesuai dengan kebutuhan untuk metoda mekanistik yaitu modulus elastisitas.



Gambar 2. Plotting nilai modulus dari *LWD* dan *DCP*

PEMBAHASAN

Kekuatan struktural tanah memegang peranan penting sebagai dasar untuk perencanaan (AASHTO 1993). Sampai saat ini peralatan dominan yang dipakai dalam pengumpulan data tersebut adalah *DCP*. Pengoperasian alat ini masih bersifat manual. Pembacaan yang manual ini juga kadang-kadang menjadi salah satu penyebab data yang diambil menjadi kurang akurat.

Dengan ketersediaan *LWD* maka pengumpulan data untuk perencanaan jalan tanpa penutup bisa menjadi lebih cepat dan akurat. Selain itu juga membutuhkan teknisi yang lebih sedikit.

Secara teknologi sebenarnya Indonesia sudah siap dengan penggunaan *LWD* seperti telah tersedianya prototipe *LWD* Pusjatan. Dengan adanya teknologi Pusjatan ini maka harga per unit untuk pengadaan *LWD* bisa relatif lebih rendah dibandingkan dengan harga dari pabrikan luar negeri. Pada saat ini juga

telah tersedia Pedoman Teknis sebagai payung hukum penggunaan *LWD* di Indonesia (Indonesia 2016).

Korelasi dengan hasil pengukuran *DCP* untuk 2 lokasi yaitu di jalan tanah di Bogor dan Kuningan menunjukkan bahwa *LWD* Pusjatan bisa digunakan untuk menggantikan alat *DCP*. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2 di atas, dimana plotting nilai modulus yang didapat dari pengujian *DCP* dan *LWD* Pusjatan pada titik yang sama jatuh di dalam rentang batas atas dan batas bawah 85 %.

Data dari Badan Pusat Statistik (BPS 2015) menunjukkan bahwa total panjang jalan di Indonesia adalah 523.974 km. Dari seluruh panjang jalan tersebut, sekitar 37 % lebih atau lebih dari 193.784 km merupakan jalan tanah dan kerikil. Terlihat begitu besarnya kebutuhan untuk penggunaan *LWD* dalam pemeliharaan dan perencanaan jalan di seluruh Indonesia,

khususnya untuk jalan tanah dan jalan tanpa penutup lainnya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari uraian di atas dapat diambil kesimpulan bahwa alat *LWD* Pusjatan bisa digunakan untuk pengambilan data pada jalan tanah ataupun tanah dasar. 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 penggunaan *LWD* dibandingkan dengan *DCP* antara lain membutuhkan teknisi yang lebih sedikit, data yang didapat lebih akurat, waktu pengujian lebih cepat, dan juga data bisa didapat secara *real time*.

Saran

Penggunaan *LWD* Pusjatan ini perlu dilihat kemungkinan aplikasinya terhadap jalan-jalan beraspal bervolume lalu lintas rendah sampai sedang. Penggunaan *LWD* Pusjatan pada jalan-jalan dengan tipe ini akan sangat membantu sekali Dinas-Dinas Pekerjaan Umum di kabupaten dan kota di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terimakasih kepada Kepala Puslitbang Jalan dan Jembatan, Kepala Balai Penelitian Jalan, serta rekan-rekan satu team penelitian *LWD* yang telah membantu mewujudkan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- American Assosiation of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). 1993. *Guide for Design of Pavement Structure*. Washington, D.C.: AASHTO.
- Austroroads. 2012. *Guide to Pavement Technology Part 2, Pavement Structural Design*. Sydney: Austroroads.
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2015. *Statistik Transportasi Darat*. Jakarta: BPS.
- Federal Highway Association (FHWA). 2006. *Geotechnical Aspects of Pavements*, NHI Course No. 132040, Reference Manual /

Participant Workbook. Washington, D.C.: FHWA.

- Fleming, P.R., M.W. Frost, and J.P. Lambert. 2009. *Lightweight Deflectometer for Quality Assurance in Road Construction. Proceedings of the 8th International Conference (BCR2A'09)*: 809 – 818.
- Indonesia, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). 2016. *Metoda Uji Lendutan Menggunakan Light Weight Deflectometer (LWD)*. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Japan Road Association (JRA). 1989. *Manual for Asphalt Pavements*.Tokyo: JRA.
- Mercer, CA. 2006. *Acceleration, Velocity and Displacement Spectra, Prosig Signal Processing Tutorials*. Hungary: Prosig.
- Nataatmadja A, Tao SY, Chim K, 2012. Design Subgrade CBR for Flexible Pavements: Comparison of Predictive Methods. 25th *ARRB Conference – Shaping the Future*. Australia: IRF.
- Shafer, DS and Zhang Z. 2012. *Beginning Statistics*. New York: [s.n].
- Siegfried. 2013. *Prototipe Light Weight Deflectometer*. Laporan Penelitian. Bandung: Pusjatan.
- Transit New Zealand. 1998. *Pavement Deflection Me-asurement and Interpretation for the Design of Rehabilitation Treatments*. Report No. 117. New Zealand: Tonkin & Taylor Limited
- Transport Research Laboratory (TRL). 1993. *A Guide to the Structural Design of Bitumen Surfaced Roads in Tropical and Sub Tropical Countries*. Overseas Road Note 31 (4th Edition). Crowthorne, Berkshire: TRL.