

# **LWD PUSJATAN SEBAGAI ALAT ALTERNATIF DALAM MENGEVALUASI PERKERASAN LENTUR (IRE'S LWD AS ALTERNATIVE TOOL FOR FLEXIBLE PAVEMENT TEST)**

**Siegfried**

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

Diterima: 29 Oktober 2018; direvisi: 3 Desember 2018; disetujui: 13 Desember 2018

## **ABSTRAK**

*Pengujian kekuatan struktural dibutuhkan dalam mengevaluasi suatu ruas jalan existing. Pada umumnya alat FWD digunakan untuk pengumpulan data. Untuk kondisi Indonesia FWD ini jumlahnya masih terbatas dan pada umumnya berada di Pulau Jawa. Alternatif yang bisa digunakan adalah alat LWD. Alat LWD ini sama seperti FWD tapi dioperasikan secara manual dan beban yang digunakan lebih rendah dibandingkan dengan alat FWD. Pusjatan telah mengembangkan alat LWD dan memiliki perbedaan dengan LWD pada umumnya. Perbedaan ini antara lain tidak menggunakan load cell dan besarnya beban didapat dari hasil kalibrasi laboatorium. Selain itu, juga mempunyai stress level yang lebih tinggi dari alat LWD pada umumnya. Studi ini melihat kemungkinan penggunaan alat LWD Pusjatan dalam mengevaluasi perkerasan lentur untuk lalu lintas sedang s.d. rendah sehingga nantinya bisa digunakan untuk perencanaan terutama pada daerah-daerah di luar Pulau Jawa yang tidak mempunyai FWD. Parameter utama yang digunakan dalam studi ini adalah modulus permukaan pada titik pembebanan dan modulus permukaan pada jarak 900 mm. Ruas jalan yang digunakan terletak di seputar kampus Pusjatan dan diasumsikan sebagai jalan dengan lalu lintas sedang sampai rendah. Terlihat dari hasil analisis bahwa terdapat hubungan yang cukup kuat dari kedua modulus ini yang dihitung dari hasil lendutan yang didapat dari pengujian menggunakan alat FWD dan LWD Pusjatan. Hubungan ini terlihat dari hasil plotting terhadap garis kesamaan serta koefisien korelasi yang cukup tinggi. Kenyataan ini memberikan keyakinan bahwa penggunaan alat LWD bisa sebagai alternatif alat FWD untuk evaluasi jalan-jalan lentur dengan lalu lintas sedang s.d. rendah.*

**Kata kunci:** FWD, LWD, modulus permukaan, evaluasi perkerasan lentur, lalu lintas sedang s.d. rendah.

## **ABSTRACT**

*The structural strength testing is required to evaluate an existing pavement. The common equipment used for this sort of testing is FWD. Especially in Indonesia, the availability of FWDs is very limited except in Java island. The alternate equipment for this purpose is to use the IRE's LWD. This type of LWD is slightly different to that of standard ones, which the IRE's LWD does not use load cell. The load parameter depends on the height of drops which is calibrated in the laboratory. Another thing is that the IRE's LWD has higher stress level because its load is higher than the standard ones. This study is to look for the possibility of the use of IRE's LWD as the alternate equipment for FWD on the flexible pavement as well as to find the correlation between these equipment in terms of surface modulus. The main parameters considered in this study are the surface modulus on the load point (E0) and surface modulus in the 900 mm offset (E1). The site for this study is at IRE campus which is classified as medium to low volume flexible roads. It is found that there is a strong correlation between surface modulus obtained from FWD test and that of IRE's LWD. This is indicated by the plotting between each modulus around the equality line as well as by their coefficient correlation. These findings assure that it is possible to use the IRE's LWD as the alternative for FWD for evaluation flexible roads which are classified as the medium to low traffic flexible roads.*

**Keywords:** IRE's LWD, FWD, surface modulus, flexible pavement evaluation, medium to low traffic roads.

## PENDAHULUAN

Pengujian lendutan untuk perkerasan jalan dibutuhkan dalam melakukan perancangan tebal lapis tambah suatu system perkerasan jalan. Alat standar yang digunakan untuk hal ini adalah *Falling Weight Deflectometer (FWD)* seperti yang disyaratkan oleh AASHTO 1993.

Dalam perancangan tebal lapis tambah ini parameter utama yang harus ditentukan adalah *Effective Structural Number (S<sub>Neff</sub>)*. Nilai ini merupakan fungsi dari lendutan permukaan dan beban serta parameter lainnya yang dihitung menggunakan persamaan-persamaan yang diberikan oleh AASHTO 1993.

Pada saat ini jumlah alat *FWD* yang tersedia sangat tidak memadai dengan panjang jalan yang ada di Indonesia. Saat ini total panjang jalan di Indonesia adalah sebesar 537.838 km (BPS 2018). Alat *FWD* yang tersedia di Indonesia hanyalah sebanyak 11 buah. Jumlah ini jelas tidak akan bisa melayani pengujian untuk seluruh jalan tersebut. Alternatif lain yang bisa dilakukan adalah dengan menggunakan peralatan *Light Weight Deflectometer (LWD)*.

Puslitbang Jalan dan Jembatan sebagai sebuah institusi penelitian dan pengembangan jalan yang berada dibawah Kementerian PUPR telah melakukan penelitian prototipe *LWD* yang disebut dengan *LWD Pusjatan*. Alat *LWD Pusjatan* ini berbeda dengan alat *LWD* pada umumnya. Perbedaannya berupa tidak adanya *load cell* sebagai sensor untuk mengukur beban jatuhan yang digunakan (Siegfried 2013). Besaran beban yang digunakan ditentukan oleh level jatuhan yang terdiri atas 5 level. Masing-masing level telah dilakukan kalibrasi dan validasi sebelumnya di laboratorium dengan menggunakan *load cell* standar.

Untuk jalan tanah penggunaan *LWD Pusjatan* telah diaplikasikan pada beberapa ruas di Jawa Barat (Siegfried 2017). Penggunaan *LWD* untuk jalan beraspal diharapkan bisa mengantisipasi keterbatasan jumlah *FWD* di Indonesia dalam melakukan survey pengumpulan data untuk pengelolaan jalan, terutama untuk jalan beraspal dengan volume lalu lintas sedang sampai rendah.

Karena parameter *S<sub>Neff</sub>* sangat berkaitan dengan nilai modulus permukaan, maka untuk melihat kemungkinan penggunaan *LWD Pusjatan* untuk perhitungan tebal lapis tambah

dilihat korelasi modulus yang didapat menggunakan kedua alat ini satu sama lainnya. Modulus yang dipakai untuk membandingkan satu sama lainnya adalah modulus permukaan.

Penelitian penggunaan *LWD* untuk jalan beraspal dilakukan pada ruas jalan yang ada di sekitar kampus Pusjatan Bandung. Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian Sistem Manajemen Perkerasan yang dilakukan pada Tahun Anggaran 2017.

Tujuan penelitian ini untuk membuktikan bahwa alat *LWD Pusjatan* dapat digunakan dalam perancangan perkerasan lentur pada jalan-jalan dengan lalu lintas sedang sampai dengan rendah. Pembuktian dilakukan dengan metode perbandingan antara modulus perkerasan yang didapat dari pengukuran berdasarkan alat *FWD* dan *LWD Pusjatan*.

## KAJIAN PUSTAKA

### *LWD Pusjatan*

Prototipe alat *LWD Pusjatan* merupakan hasil dari penelitian yang dilakukan di Puslitbang Jalan dan Jembatan pada tahun anggaran 2013 dan 2014. Penelitian ini bertujuan untuk memformulasikan alat *LWD* yang lebih sederhana dan ekonomis untuk digunakan pada jalan-jalan tanpa penutup (*unsealed roads*) di Indonesia. Sebelumnya untuk mendapatkan data struktural jalan tanpa penutup ini digunakan peralatan *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)* dan CBR lapangan yang pada umumnya membutuhkan lebih banyak operator dan bersifat manual serta lebih *time consuming* dan mempunyai harga yang relatif jauh lebih mahal karena harus didatangkan dari luar negeri.

Pola kerja alat *LWD Pusjatan* terdiri atas beban jatuhan yang dijatuhkan pada ketinggian tertentu dan kemudian menghasilkan getaran yang ditangkap oleh 3 buah *geophone*. Posisi *geophone* ini berada pada 0 mm, 200 mm, serta 900 mm dari pusat pembebanan. Getaran yang ditangkap oleh *geophone* kemudian diubah menjadi digital oleh prosesor dan kemudian dikirim ke laptop. Menggunakan data digital ini dengan menggunakan teori tertentu kemudian bisa dihasilkan besaran lendutan yang disebabkan oleh beban jatuhan pada permukaan lapisan perkerasan. Gambar 1 menunjukkan satu unit *LWD Pusjatan* dalam pengoperasian pada jalan beraspal.

Dari Gambar 1 terlihat bahwa pengoperasian *LWD* Pusjatan ini hanya membutuhkan 2 orang teknisi. Satu teknisi bertanggungjawab untuk menjatuhkan beban sementara teknisi lainnya mengoperasikan laptop. Dalam hal jumlah teknisi, penggunaan *LWD* Pusjatan jauh lebih efektif dibandingkan dengan pengujian serupa seperti DCP atau Benkelman Beam.

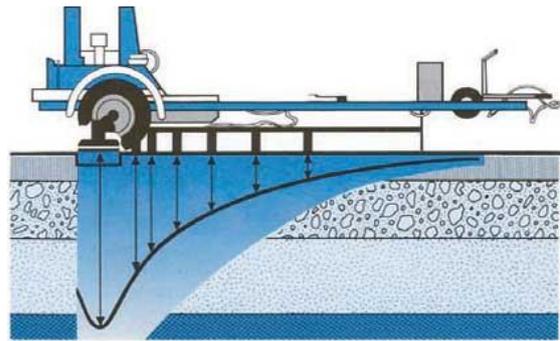


**Gambar 1.** Satu unit *LWD* Pusjatan dalam pengoperasian di jalan beraspal

### **FWD**

Alat *FWD* merupakan alat standar yang digunakan untuk pengumpulan data lendutan permukaan jalan. Data lendutan ini digunakan untuk evaluasi dan perancangan tebal lapis perkerasan dalam mengakomodasi lalu lintas yang ada. Hampir semua metoda perancangan perkerasan menggunakan alat ini dalam pengumpulan datanya.

Alat *FWD* ini pada dasarnya mengukur lendutan permukaan akibat respons dari beban yang dijatuhkan pada permukaan jalan tersebut. Beban yang dijatuhkan umumnya berupa beban standar sebesar 4 ton. Lendutan yang diukur terdiri dari 7 posisi yaitu 0, 200 mm, 300 mm, 450 mm, 600 mm, 900 mm, dan 1500 mm. Gambar 2 menunjukkan skematik dari alat *FWD*.



Sumber: Cornell University

**Gambar 2.** Skematik alat *FWD*

### **Modulus Permukaan**

Modulus permukaan (*surface modulus*) didefinisikan sebagai modulus rata-rata dari *half space of material* dengan modulus yang seragam (Transit 1997). Parameter ini diberikan dalam persamaan-persamaan berikut ini.

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

$$E_0(r) = \frac{(1-\nu^2)\sigma_0 a^2}{rD(r)} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- $E_0(0)$  : modulus permukaan pada pusat pembebanan, psi.
- $E_0(r)$  : modulus permukaan sejarak  $r$  dari pusat pembebanan, psi.
- $\mu$  : angka Poisson's.
- $A$  : jari-jari pelat pembebanan, inci
- $D_0$  : kendutan pada pusat pembebanan, inci
- $D(r)$  : kendutan sejarak  $r$  dari pusat pembebanan.

Kedua persamaan ini pada awalnya diturunkan dari teori Boussinesq (Transit 1997). Nilai Poisson's yang merupakan perbandingan regangan arah radial dengan regangan arah vertikal pada umumnya diambil sebesar 0.35.

### **Beberapa Korelasi Modulus *FWD* dan *LWD***

Beberapa ahli telah melakukan penelitian dalam mencari hubungan antara modulus yang didapat dari hasil pengujian *FWD* dengan *LWD*. Korelasi itu diberikan antara lain sebagai berikut:

Flemming (2009):

Flemming, Frost, dan Lambert, pada tahun 2009 melakukan penelitian untuk mencari korelasi antara modulus yang didapat dari hasil pengujian *FWD* dan *LWD*. Fleming menggunakan tipe *LWD* Prima 100 (Flemming

et al. 2009). Persamaan yang didapat adalah sebagai berikut.

$$E_{FWD} = 1.032 E_{LWD} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

$E_{FWD}$  : Modulus yang dihitung dari data lendutan *FWD* (MPa).

$E_{LWD}$  : Modulus yang dihitung dari data lendutan *LWD* Prima 100 (MPa).

Nazzal (2007):

Nazzal (2007) didalam thesis masternya mendapatkan hubungan antara modulus yang dihitung dari data lendutan *FWD* dan *LWD* sebagai berikut.

$$E_{FWD} = 0.97 E_{LWD} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

$E_{FWD}$  : Modulus yang dihitung dari data lendutan *FWD* (MPa).

$E_{LWD}$  : Modulus yang dihitung dari data lendutan *LWD* (MPa).

## HIPOTESIS

Alat *LWD* Pusjatan dapat digunakan untuk pengumpulan data lendutan permukaan perkerasan pada jalan-jalan dengan lalu lintas sedang sampai dengan rendah.

## METODOLOGI

Beberapa langkah yang dilakukan pada penelitian ini antara lain:

- a. Lakukan pengujian *LWD* Pusjatan dan *FWD* pada perkerasan beraspal berlalulintas sedang sampai rendah sebanyak 10 titik. Lokasi pengujian di dalam kampus Pusjatan yang bisa diasumsikan sebagai jalan beraspal dengan lalu lintas sedang sampai rendah.
- b. Hitung nilai modulus permukaan pada pusat pembebanan menggunakan data lendutan yang diukur dengan alat *FWD* dan *LWD* Pusjatan.

- c. Bandingkan kedua nilai modulus permukaan yang diukur dengan alat yang berbeda tersebut.
- d. Hitung nilai modulus permukaan pada offset 900 mm dengan menggunakan data lendutan *FWD* dan *LWD* Pusjatan. Nilai modulus permukaan pada offset 900 mm ini dan dikalikan dengan koefisien 0.33 (AASHTO, 1993) akan setara dengan nilai modulus tanah dasar.
- e. Bandingkan nilai modulus tanah dasar yang dihasilkan dari perhitungan menggunakan lendutan *FWD* dan lendutan *LWD* Pusjatan.
- f. Dengan 2 kriteria pembandingan seperti disebutkan sebelumnya kemudian bisa disimpulkan kemungkinan alternatif penggunaan *LWD* Pusjatan sebagai pengganti *FWD* dalam pengumpulan data lendutan permukaan untuk jalan-jalan beraspal yang bervolume lalu lintas sedang sampai rendah.

## HASIL DAN ANALISIS

### Hasil Pengujian *FWD*

Pengujian yang dilakukan pada 23 titik menggunakan alat *FWD* diberikan pada Tabel 1 berikut ini. Data ini terdiri dari besaran beban dan tegangan kontak serta nilai lendutan pada pusat pembebanan, 200 mm, 300 mm, 450 mm, 600 mm, 900 mm, dan 1500 mm.

Besarnya beban yang digunakan diberikan dalam parameter tegangan dengan satuan Kilo Pascal (kPa). Pada umumnya beban yang ditargetkan adalah sebesar 40 kN atau dalam satuan tegangan sebesar 560 kPa. Kadang-kadang dalam pengoperasiannya tegangan yang ditimbulkan oleh beban jatuhnya sampai kepada nilai 600 kPa.

Dari data lendutan pada Tabel 1, kemudian perhitungan modulus permukaan akan dilakukan pada lendutan D0 dan D5. Jarak geophone yang dipakai pada perhitungan ini adalah 0 mm (pusat pembebanan) serta 900 mm.

**Tabel 1.** Hasil Pengujian *FWD*

Titik	Tegangan (kPa)	D0 (mkr)	D1 (mkr)	D2 (mkr)	D3 (mkr)	D4 (mkr)	D5 (mkr)	D6 (mkr)
1	575	427,4	306,2	235,2	167,3	125,2	77,2	37,5
2	581	166,5	146,0	124,8	102,0	82,8	59,1	31,3
3	580	230,3	186,6	159,8	120,8	94,4	58,4	28,5
4	578	331,4	269,0	226,8	176,3	133,2	84,8	47,3
5	583	625,2	493,4	359,9	222,4	159,3	109,0	72,5
6	581	768,6	539,7	383,6	244,1	184,3	129,9	75,4
7	591	787,3	532,1	392,6	256,6	182,8	122,0	70,8
8	599	643,1	427,9	297,4	189,6	138,9	98,0	62,6
9	578	846,9	631,7	408,4	245,9	173,8	121,8	75,4
10	578	738,5	485,9	342,1	201,0	132,2	91,1	59,5
11	588	750,5	505,3	325,0	189,6	133,4	95,1	59,4
12	577	914,5	598,0	368,8	210,4	151,5	99,4	69,0
13	594	862,3	551,9	352,3	189,1	123,0	82,0	53,8
14	589	1125,1	610,9	380,4	207,9	137,0	95,1	59,3
15	579	966,0	622,7	389,5	205,4	132,2	88,0	59,6
16	571	1447,7	5425	350,4	205,0	149,4	102,3	54,8
17	588	866,3	525,3	351,6	223,0	169,6	119,8	74,7
18	590	736,2	482,1	303,2	187,6	143,4	110,5	65,9
19	572	779,9	493,1	276,2	160,0	119,7	96,0	66,3
20	587	727,6	474,8	299,6	198,1	152,6	108,3	66,3
21	586	692,5	459,7	279,5	166,0	120,3	87,3	57,3
22	584	756,7	509,2	316,0	196,0	142,1	102,9	64,1
23	586	781,2	463,5	311,1	179,4	133,2	94,4	60,1

**Hasil Pengujian *LWD***

Pengujian lendutan menggunakan alat *LWD* juga dilakukan pada titik-titik yang sama dengan pengujian *FWD*. Terdapat 23 titik pengujian pada jalan beraspal yang didefinisikan sebagai jalan beraspal berlalulintas sedang sampai rendah.

Jarak *geophone* pada *LWD* Pusjatan adalah 0 cm, 200 mm, dan 90 mm. Hasil dari pengujian *LWD* pada 23 titik yang sama dengan pengujian *FWD* diberikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil pengujian *LWD*

Titik	Beban (Kg)	D0 (mkr)	D1 (mkr)	D2 (mkr)
1	2035	272,3	227,3	35,0
2	2035	76,1	72,0	30,6
3	2035	126,6	91,0	27,1
4	2035	172,2	111,0	33,9
5	2035	345,3	222,4	54,2
6	2035	356,3	200,4	58,6
7	2035	269,6	110,1	58,5
8	2035	348,7	201,7	47,0
9	2035	489,0	353,5	54,6
10	2035	333,7	440,6	42,8
11	1832	378,1	359,6	42,6
12	2035	460,7	288,9	52,2
13	2035	507,8	447,7	46,0
14	2035	513,1	398,6	53,4

Titik	Beban (Kg)	D0 (mkr)	D1 (mkr)	D2 (mkr)
15	2035	506,6	387,2	46,0
16	1909	544,0	207,1	50,6
17	1909	346,7	237,1	49,1
18	2035	308,3	300,4	42,0
19	2035	368,2	272,1	41,0
20	2035	355,6	220,0	58,3
21	2035	384,4	298,0	33,0
22	2035	366,9	383,9	46,0
23	2035	370,9	200,5	43,2

Dari Tabel 2 terlihat bahwa beban maksimum yang digunakan pada pengujian *LWD* adalah sebesar 2035kg. Pada titik 11 juga terlihat bahwa beban yang digunakan adalah sebesar 1832 kg. Hal ini disebabkan bahwa ketika melakukan pengujian pada titik 11,16, dan 17 ini terjadi *clipping* ketika diaplikasikan beban maksimum. Fenomena ini biasanya terjadi pada pengujian pada lokasi yang mempunyai kekuatan struktural rendah. Apabila hal ini terjadi maka level beban yang digunakan harus diturunkan.

### Perhitungan Modulus Permukaan Pada Titik Pembebanan

Modulus permukaan ( $E_0$ ) pada titik pembebanan (pada geophone 0) dihitung menggunakan persamaan 1. Perhitungan dilakukan terhadap baik data lendutan dari *FWD* ataupun data lendutan dari *LWD*. Poisson's ratio diambil sebesar 0.35 Nilai ini diambil mengingat permukaan dari sistem perkerasan yang diuji berupa lapisan beraspal. Untuk lendutan diambil lendutan pada titik pembebanan (D0). Hasil perhitungan diberikan pada Tabel 3 baik untuk data lendutan permukaan dari *FWD* maupun *LWD*.

**Tabel 3.** Perbandingan  $E_{0LWD}$  dan  $E_{0FWD}$

Titik	$E_{0FWD}$ (MPa)	$E_{0LWD}$ (MPa)
1	289,2	278,5
2	921,4	996,4
3	604,0	598,9
4	503,6	440,3
5	246,1	219,6
6	209,5	212,8

Titik	$E_{0FWD}$ (MPa)	$E_{0LWD}$ (MPa)
7	243,1	254,5
8	237,5	217,5
9	142,7	155,1
10	225,1	227,2
11	191,2	180,5
12	146,8	164,6
13	192,1	149,3
14	165,5	147,8
15	160,1	149,7
16	179,4	130,8
17	178,7	205,2
18	211,0	246,0
19	193,1	205,9
20	212,4	213,2
21	222,8	197,3
22	203,2	206,7
23	197,5	204,4

### Perhitungan Modulus Permukaan Pada Titik Sejarak 900 mm

Modulus permukaan ( $E_1$ ) pada jarak 900 mm dihitung menggunakan persamaan 2. Perhitungan dilakukan baik untuk data yang dikumpulkan dengan alat *FWD* maupun data yang dikumpulkan dengan alat *LWD*. Hasil dari perhitungan diberikan pada Tabel 4 berikut ini.

**Tabel 4.** Perbandingan  $E_{1FWD}$  dan  $E_{1LWD}$

Titik	$E_{1FWD}$ (MPa)	$E_{1LWD}$ (MPa)
1	196,3	180,5
2	220,7	206,5
3	257,9	233,2
4	176,7	186,4
5	124,5	116,6
6	104,6	107,8
7	118,2	108,0
8	141,5	134,4
9	108,4	115,7
10	147,4	147,6
11	137,9	133,5
12	119,0	121,1
13	154,9	137,4
14	134,2	118,3

Titik	$E1_{FWD}$ (MPa)	$E1_{LWD}$ (MPa)
15	145,0	137,4
16	122,5	117,1
17	107,8	120,7
18	132,2	150,4
19	130,8	154,1
20	119,0	108,4
21	160,4	191,5
22	124,6	137,4
23	136,3	146,3

Dari Tabel 4 terlihat bahwa rentang lendutan pada jarak 900 mm untuk pengujian yang dilakukan dengan *FWD* terletak antara rentang 108 MPa sampai dengan kira-kira 233 MPa. Sedangkan untuk pengujian dengan *LWD* Pusjatan rentang modulus pada jarak 900 mm ( $E1$ ) terletak antara rentang nilai 105 MPa sampai dengan 258 MPa.

Dari kedua hasil modulus tersebut terlihat bahwa rentang modulus permukaan pada jarak 900 mm hampir sama baik dari perhitungan modulus yang didapat dari pengujian *FWD* maupun *LWD* Pusjatan.

## PEMBAHASAN

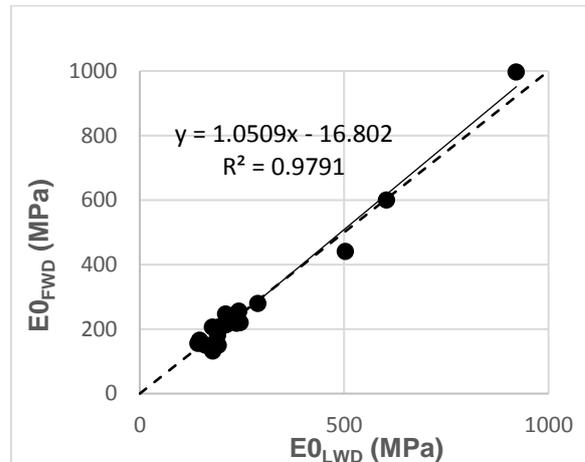
Dari hasil perhitungan modulus permukaan dari data yang diuji baik dengan alat *FWD* maupun dengan alat *LWD* Pusjatan memberikan hasil yang tidak berbeda jauh untuk masing-masing alat yang digunakan untuk mengumpulkan lendutan permukaan jalan yang sedang diuji.

Hal ini memberikan kenyataan bahwa terdapat hubungan yang kuat antara modulus permukaan yang dihitung dari data lendutan yang didapat dari hasil pengukuran dari alat *FWD* dan *LWD*. Selain itu juga dapat dikatakan bahwa dengan kenyataan ini alat *LWD* bisa menjadi salah satu alternatif untuk pengganti alat *FWD* terutama pada daerah-daerah terpencil yang mendapatkan kesulitan untuk transportasi alat *FWD* ke lokasi.

### Korelasi Modulus Permukaan Pada Titik Pembebanan ( $E0$ )

Hasil perhitungan modulus permukaan pada titik pembebanan ( $E0$ ) untuk data lendutan yang diukur menggunakan kedua alat baik *FWD*

maupun *LWD* Pusjatan diberikan pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 3.  $E0_{FWD}$  vs  $E0_{LWD}$

Dari Gambar 3 terlihat bahwa hasil plotting modulus permukaan  $E0$  yang dihitung menggunakan lendutan *FWD* dan lendutan *LWD* jatuh pada sekitar garis kesamaan (garis putus-putus). Korelasi modulus permukaan pada titik pembebanan ( $E0$ ) yang dihitung menggunakan data lendutan *FWD* dan *LWD* Pusjatan memberikan persamaan sebagai berikut:

$$E0_{FWD} \text{ (MPa)} = 1.059 E0_{LWD} - 16.802 \dots\dots\dots (5)$$

$$r^2 = 0.9791$$

Keterangan:

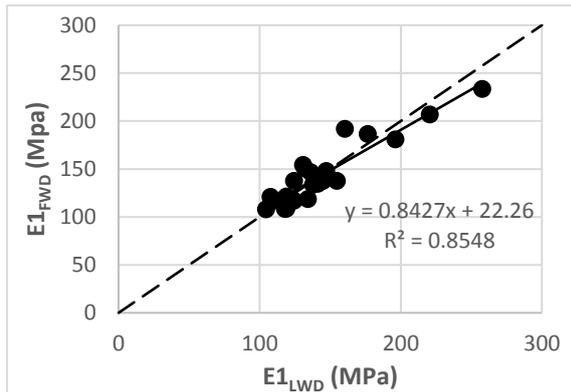
$E0_{FWD}$  : Modulus permukaan pada titik pembebanan yang dihitung dari data lendutan *FWD* (MPa).

$E0_{LWD}$  : Modulus permukaan pada titik pembebanan yang dihitung dari data lendutan *LWD* Pusjatan (MPa).

Koefisien korelasi ( $r^2$ ) yang cukup besar membuktikan bahwa hubungan modulus permukaan yang dihitung menggunakan data lendutan *FWD* dan *LWD* mempunyai hubungan yang cukup kuat.

### Korelasi Modulus Permukaan Pada Titik Dengan Jarak 900 mm ( $E1$ )

Hasil perhitungan modulus permukaan pada jarak offset 900 mm menggunakan data yang didapat dari *FWD* dan *LWD* Pusjatan diberikan pada Gambar 4 berikut ini.



**Gambar 4.**  $E1_{FWD}$  vs  $E1_{LWD}$

Sama seperti grafik sebelumnya, hasil plotting modulus permukaan pada jarak 900 mm ( $E1$ ) dari data yang dikumpulkan dengan alat *FWD* dan *LWD* Pusjatan juga jatuh disekitar garis kesamaa (garis putus-putus). Ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang kuat antara modulus permukaan dari data pengujian *FWD* dengan data yang dikumpulkan dari hasil pengujian *LWD* Pusjatan.

Korelasi antara modulus permukaan pada jarak 900 mm yang dihitung dari data lendutan *FWD* dan *LWD* Pusjatan diberikan pada persamaan berikut:

$$E1_{FWD} \text{ (MPa)} = 0.8427 E1_{LWD} + 22.26 \dots\dots\dots (6)$$

$$r^2 = 0.8548$$

Keterangan:

- $E1_{FWD}$  : Modulus permukaan pada jarak 900 mm yang dihitung dari data lendutan *FWD* (MPa).
- $E1_{LWD}$  : Modulus permukaan pada jarak 900 mm yang dihitung dari data lendutan *LWD* Pusjatan (MPa).

Terlihat dari koefisien korelasinya ( $r^2$ ) sebesar 0.8548 bahwa modulus permukaan pada titik sejauh 900 mm yang dihitung dari lendutan *FWD* dan *LWD* Pusjatan memberikan hubungan yang cukup baik.

Karena pengujian dilakukan disekitar kampus Pusjatan yang diasumsikan mempunyai lalulintas sedang sampai rendah, maka kenyataan diatas menunjukkan bahwa penggunaan alat *LWD* Pusjatan sebagai alternatif dari alat *FWD* bisa diterima. Hal ini disebabkan korelasi modulus yang didapat menggunakan data yang diambil dengan kedua alat ini cukup kuat. Selain itu bisa dikatakan bahwa hipotesis yang dibuat bisa diterima.

Kalau dibandingkan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh para ahli

terdahulu seperti Flemming, Frost, dan Lambert (2009) dan Nazzal (2007) terlihat bahwa hasil yang didapat juga tidak begitu jauh. Hal ini terlihat dari koefisien yang diberikan oleh Flemming, Frost, dan Lambert (2009) sebesar 1.023 dan Nazzal (2003) sebesar 0,97, sedangkan yang didapat pada studi ini adalah 1.059 untuk  $E0$  dan 0,8427 untuk  $E1$ .

Selain itu juga dengan diterimanya penggunaan *LWD* Pusjatan ini sebagai alternatif alat *FWD*, maka penggunaan alat ini bisa lebih ditingkatkan untuk *quality control* selama konstruksi tanah dasar (Puppala 2008) dan lapisan stabilisasi (Griffin and Tingle 2009).

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang diambil berdasarkan hasil dan pembahasan di atas antara lain bahwa penggunaan alat *LWD* Pusjatan sebagai alternatif dari alat *FWD* terbukti bisa diterima khusus untuk evaluasi dari sistem perkerasan pada jalan dengan lalu lintas sedang sampai dengan rendah. Hal ini dibuktikan dengan telah didapatnya korelasi yang cukup kuat antara modulus permukaan pada titik pembebanan yang dihitung menggunakan data lendutan *FWD* dengan lendutan *LWD* Pusjatan. Korelasi ini adalah antara modulus permukaan pada jarak 900 mm yang dihitung menggunakan data lendutan dari alat *FWD* dan dari *LWD* Pusjatan.

### Saran

Saran yang bisa disampaikan antara lain adalah perlu dilakukan uji dan analisis penggunaan alat *LWD* untuk evaluasi jalan dengan tipe perkerasan kaku.

## UCAPAN TERIMA KASIH

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

## DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway Transportation Officials (AASHTO). 1993. *Guideline of Structural Pavement Design*. Washington, DC: AASHTO.
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2018. *Panjang Jalan Menurut Jenis Permukaan*, <https://www.bps.go.id/>, dilihat tanggal 6 Februari 2018.
- Cornell University. "An Important Tool for Highway Management". [https://www.clrp.cornell.edu/newsletters\\_and\\_nibbles/articles/2005/fwd.html](https://www.clrp.cornell.edu/newsletters_and_nibbles/articles/2005/fwd.html), dilihat 2 Agustus 2018.
- Flemming, P.R., Frost M.W., and Lambert J.P. 2009. *Light Weight Deflectometer for Quality Assurance in Road Construction*. Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields, Proceedings of 8<sup>th</sup> International Conference.
- Griffin, J.R. and Tingle J.S. 2009. *In situ Evaluation of Unsurfaced Portland Cement Stabilized Soil Airfields*. Geotechnical and Structures Laboratory. US Army Engineer Research and Development Centre: Vicksburg, US.
- Nazzal, M.D. 2007. "Field Evaluation of In situ Technology for QC During Construction of Pavement Layers and Embankments". Master Thesis, Louisiana State University and Mechanical College.
- Puppala, A.J. 2008. *Estimating Stiffness of Sub Grade and Unbound Materials for Pavement Design*, Transportation Research Board, 2008, Washington DC.
- Siegfried. 2013. *Penelitian Prototipe Light Falling Weight Deflectometer*. Laporan Internal Puslitbang Jalan dan Jembatan. Bandung: [s.n].
- \_\_\_\_\_. 2017. Penggunaan LWD Pusjatan Untuk Jalan Tanah Dalam Rangka Pengecekan Kekuatan Tanah. *Jurnal Jalan – Jembatan* 34(1): 1-8.
- Transit. 1998. *Pavement Deflection Measurement and Interpretation for The Design of Rehabilitation Treatments*. Transit New Zealand Report No. 117.