

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Pengujian

Data pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang didapatkan dari pengujian di lapangan menggunakan alat *Light Weight Deflectometer* pada lapis pondasi (*base course*) yang di mulai pada titik 1 sampai titik 16 dapat dilihat pada Tabel 4.1. dan Lampiran 1 .

Tabel 4.1 Data pengujian

Titik	d ₀ (mikro)	d ₁ (mikro)	d ₂ (mikro)	E _{LDW} Alat (MPa)
1	1031,7	730,7	30,8	45
	821,4	99,1	13,1	56
	694,2	128,2	9,3	67
	585	123,1	11	79
	584,4	126,4	10,3	79
2	859,9	292,8	26	54
	402	128,3	15,5	162
	445,8	134,4	16,6	104
	494,2	157,9	12,4	94
	426,8	139,3	16,3	109
3	744	347,6	28,6	62
	640	162,2	18	72
	734	159,2	16,4	63
	639,3	195,4	15,1	72
	635,5	167,9	18,4	73
4	780,8	317,6	1,6	59
	699,5	325,1	1,7	66
	624,4	335,7	1,4	74
	649,3	344,5	1	71
	783,5	459,6	2,3	59

Perbedaan level pada hasil yaitu untuk memperoleh perbedaan nilai lendutan dan nilai modulus elastisitas (E_{LDW}) berdasarkan asumsi beban dan tinggi drop yang berbeda pada kedua level. Level 1 memiliki berat beban sebesar 12 Kg dengan tinggi drop 0,23 m dan Level 2 memiliki berat beban 17 Kg dengan tinggi drop 0,33 m.

Koefisien varian (KV) yang terdapat pada Lampiran 1 (Tabel 3 dan Tabel 6) berdasarkan hasil pada data yaitu 48,98% pada level 1 dan 44,90% pada level 2. Hasil koefisien varian pada data menunjukkan bahwa hasil KV Level 1 lebih besar dari KV Level 2, maka KV 1 bersifat heterogen. Semakin kecil koefisien variannya maka data semakin seragam (homogen) dan semakin besar nilai koefisien varian maka data semakin bervariasi (heterogen).

4.2 Analisa Perhitungan ELWD

Analisa perhitungan ELWD pada lapis pondasi (*base course*) menggunakan metode LWD Boussineq dengan terlebih dahulu menentukan nilai beban *transduser* dan nilai tegangan.

$$F = \sqrt{2 \times m \times g \times h \times C} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dimana :

Massa berat jatuh = 12 kg

Percepatan karena gravitasi = 9,81 m/s²

Tinggi drop = 0,23 m

konstanta kekakuan material = 449 × 10⁸ N/m (SNI 3966:2012)

$$\begin{aligned} F &= \sqrt{2 \times 12 \times 9,81 \times 0,23 \times (449 \times 10^8)} \\ &= 1559291,147 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_0 &= \frac{F}{A} \\ &= \frac{1559291,147 \text{ N}}{(3,14 \times 21^2) \text{ mm}^2} \\ &= 1126,0534 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$E_{LWD} = \frac{(1 - \mu^2) \times K \times \sigma_0 \times \alpha}{d_0} \dots\dots\dots(4.2)$$

Dimana:

d₀ = 1031,7 mm

μ = 0,35 (Rasio Poisson)

σ₀ = 1126,0534 MPa

α = 21 mm

$$K = \frac{3,14}{2}$$

$$E_{LWD} = \frac{(1-0,35^2) \times 1,57 \times 1126,0534 \times 21}{1031,7}$$

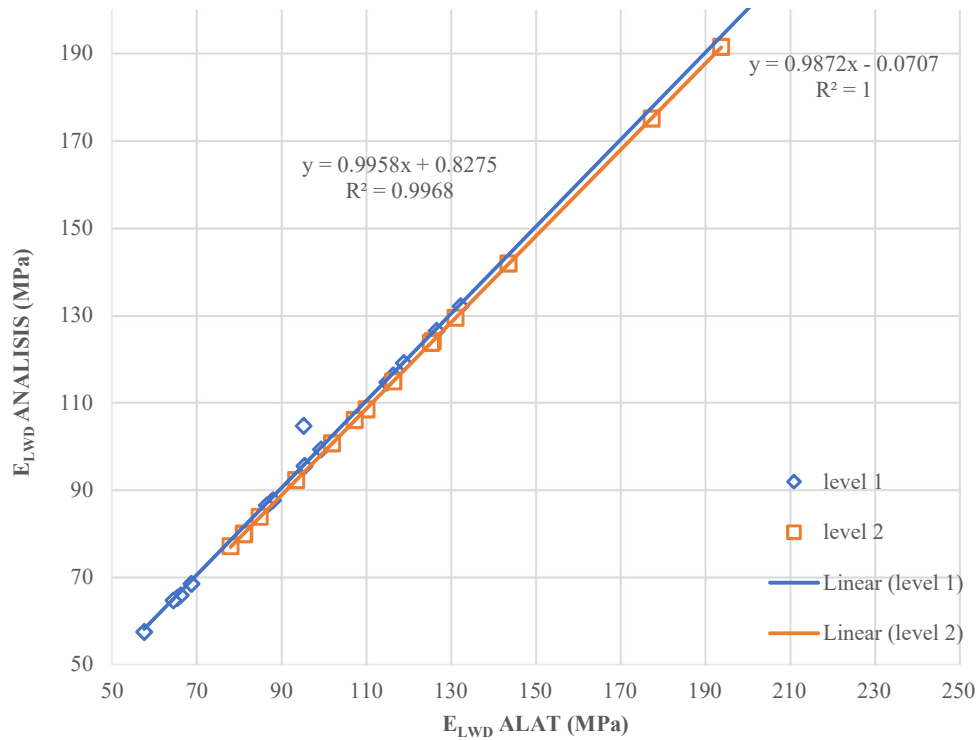
$$= 31,577 \text{ MPa}$$

Hasil analisis perhitungan E_{LWD} berdasarkan metode LWD Boussineq dengan terlebih dahulu menentukan nilai gaya terapan dan nilai tegangan adalah seperti pada Tabel 4.2 untuk titik 1 sampai dengan 4 dan untuk titik 1 sampai dengan 16 dapat dilihat pada lampiran 1 (tabel 1 sampai dengan tabel 6).

Tabel 4.2 Hasil analisa E_{LWD} pada titik 1 sampai dengan 4

Titik	d_0 (mikro)	d_1 (mikro)	d_2 (mikro)	E_{LWD} Analisis (MPa)
1	1031,7	730,7	30,8	31,577
	821,4	99,1	13,1	56,484
	694,2	128,2	9,3	66,833
	585	123,1	11	79,295
	584,4	126,4	10,3	79,390
2	859,9	292,8	26	53,955
	402	128,3	15,5	115,412
	445,8	134,4	16,6	104,073
	494,2	157,9	12,4	93,880
	426,8	139,3	16,3	108,706
3	744	347,6	28,6	62
	640	162,2	18	72
	734	159,2	16,4	63
	639,3	195,4	15,1	72
	635,5	167,9	18,4	73
4	780,8	317,6	1,6	59
	699,5	325,1	1,7	66
	624,4	335,7	1,4	74
	649,3	344,5	1	71
	783,5	459,6	2,3	59

Berdasarkan analisis perhitungan dengan rumus Boussinesq pada lapisan *base course* dengan 16 titik didapatkan antara hasil E_{LWD} alat dan E_{LWD} analisis yang sama. Hal ini terbukti pada Gambar 4.1



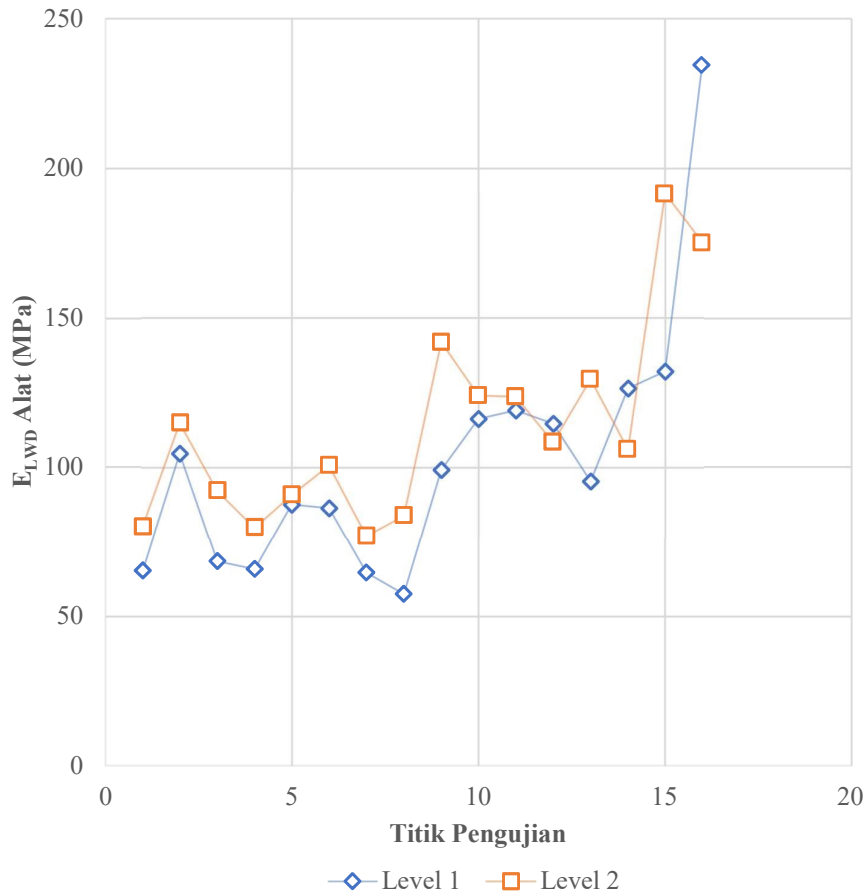
Gambar 4.1 Perbandingan E_{LWD} alat dan E_{LWD} analisis

Hasil analisis perhitungan E_{LWD} berdasarkan metode LWD Boussineq dan hasil E_{LWD} berdasarkan alat LWD mempunyai validitas dan reliabilitas pada nilai hasilnya untuk diuji tingkat keakurat dan kepercayaan pada nilai hasil tersebut dapat terlihat seperti hasil pada lampiran 2. Berdasarkan lampiran 2 tersebut tingkat validitas dan reliabilitas hasil pengujian maupun analisis perhitungan menunjukkan “valid” dan “*reliable*”. Hal ini disebabkan karena level 1 alat dan level 1 analisis menunjukkan nilai yang hampir sama yang berpengaruh pada nilai r yang dihasilkan seperti yang terlampir pada Lampiran 1. Menurut Azwar (2012), kuat lemahnya hubungan linier yang terjadi diantara dua variabel diperlihatkan oleh nilai yang mendekati besaran mutlak koefisien korelasi yaitu mendekati angka 1.0.

Korelasi linier (r) yang didapat mendekati angka 1 mempunyai konsistensi yang sempurna pada hasil ukur yang bersangkutan. Nilai r tersebut menunjukkan kekuatan serta arah saling berhubungan diantara dua hasil yang dapat diestimasi validitas dan reliabilitasnya.

4.3 Pengaruh Tinggi Jatuh

Pengaruh tinggi jatuh tersebut untuk memperoleh pengaruh yang terjadi akibat tinggi jatuh beban pada modulus elastisitas. Pengaruh tinggi jatuh dapat terlihat seperti Gambar 4.2



Gambar 4.2 Pengaruh tinggi jatuh pada defleksi

Berdasarkan Gambar 4.2 pengaruh tinggi jatuh pada alat LWD berpengaruh pada E_{LWD} . Pengaruh tinggi jatuh beban berpengaruh pada defleksi yang didapatkan seperti terlihat pada Gambar 4.2, semakin besar tinggi jatuh maka berat pada beban semakin besar dan defleksi yang didapatkan semakin besar.

4.4 Perbandingan E_{LWD} per-Level

Perbandingan E_{LWD} antara level 1 dan level 2 untuk memperoleh perbedaan E_{LWD} dengan asumsi beban dan tinggi drop yang berbeda pada kedua level. Perbedaan E_{LWD} level 1 dan level 2 dapat terlihat seperti pada Tabel 4.3 dan Lampiran 1.

Tabel 4.3 Hasil pengujian titik 1 sampai titik 5

Titik	Level	d_0 (mikro)	d_1 (mikro)	d_2 (mikro)	E_{LWD} Alat (MPa)
1	1	1031,7	730,7	30,8	45
	1	821,4	99,1	13,1	56
	1	694,2	128,2	9,3	67
	1	585,1	123,1	10,5	79
	1	584,4	126,4	10,3	79
	2	622,2	122,6	12,6	104
	2	955,3	276,8	26,2	68
	2	863,3	263,7	25,5	75
	2	823,9	262	26,7	79
	2	878,6	286,9	24,3	74
2	1	859,9	292,8	26	54
	1	402	128,3	15,5	162
	1	445,8	134,4	16,6	104
	1	494,2	157,9	12,4	94
	1	426,8	139,3	16,3	109
	2	336,1	108,6	17,3	193
	2	644	305,2	30,2	101
	2	741	249,9	31,4	88
	2	654,5	324,3	32	99
	2	697,7	329,3	24,6	93
3	1	744	347,6	28,6	62
	1	640	162,2	18	72
	1	734	159,2	16,4	63
	1	639,3	195,4	15,1	72
	1	635,5	167,9	18,4	73
	2	691,6	180,5	13,8	94
	2	718,9	331,3	27,8	90
	2	671	329	24,7	97
	2	693	335,9	9	94
	2	752,5	342,8	1,6	86

Tabel 4.4 Hasil pengujian (lanjutan)

Titik	Level	d ₀ (mikro)	d ₁ (mikro)	d ₂ (mikro)	E _{LWD} Alat (MPa)
4	1	780,8	317,6	1,6	59
	1	699,5	325,1	1,7	66
	1	624,4	335,7	1,4	74
	1	649,3	344,5	1	71
	1	783,5	459,6	2,3	59
	2	661,9	418,3	2,7	98
	2	807,4	448,5	3,5	80
	2	839,5	598	2,8	77
	2	892,1	692,8	2,8	73
	2	910	624,6	2,9	71
5	1	917,7	614,5	2,7	50
	1	477,5	237,7	0,9	97
	1	523,9	251,9	1,7	88
	1	467,6	288,8	0,9	99
	1	444,6	266,8	1,5	104
	2	544,1	246,5	0,6	119
	2	826,3	577,7	2,4	79
	2	783	517,6	2,1	83
	2	736,8	515	1,3	88
	2	761	551,4	2,8	85
6	1	718,1	519,3	3,2	65
	1	495,1	183,8	18,6	94
	1	452,1	237,3	19,5	102
	1	570,8	210,2	19,4	81
	1	512,6	251,9	20,6	90
	2	580,8	242,9	18,5	112
	2	656,4	364,1	34,9	99
	2	749,7	427,2	37,1	87
	2	610,7	398,2	37,1	106
	2	656,1	373,2	36,9	99

Standar deviasi adalah nilai yang menggambarkan besarnya perbedaan antar data terhadap nilai rata – rata. Hasil pengujian LWD pada lapisan perkerasan *base course* dengan 16 titik pengujian seperti terlihat pada Lampiran 1, antara level 1 dan level 2 memiliki nilai standar deviasi (SD) yaitu level 1 sebesar 50,12 dan level 2 sebesar 51,04.

Hasil koefisien varian menunjukkan KV_1 lebih kecil dari pada KV_2 . Berdasarkan nilai koefisien varian yang dihasilkan, KV_2 bersifat heterogen dan sebaliknya. Kovarian (Cov) pada hasil menunjukkan terdapat hubungan yang positif antara dua variabel yaitu Cov_1 dan Cov_2 lebih besar dari 0.

Perbandingan E_{LWD} per-level terlihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 didapatkan hasil yang berbeda karena pengaruh ketinggian atau jarak dan asumsi berat beban yang dimiliki antara level 1 dan level 2 berbeda. Semakin tinggi level yang digunakan pada alat, maka berat beban semakin besar dan defleksi yang didapat semakin besar.

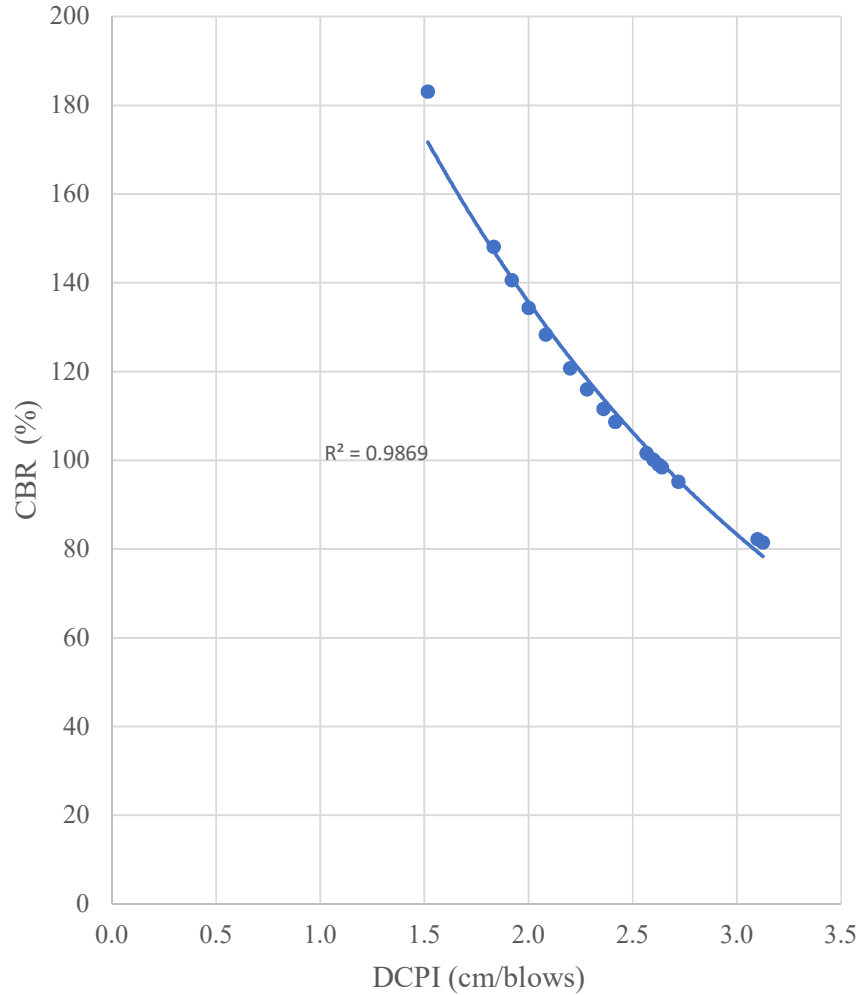
4.5 *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*

Pengujian tersebut untuk memperoleh kekuatan struktural pada lapis perkerasan. Hasil pengujian Kerucut Dinamik atau *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)* pada perkerasan *base* seperti terlihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil pengujian DCP pada lapis perkerasan *base course*

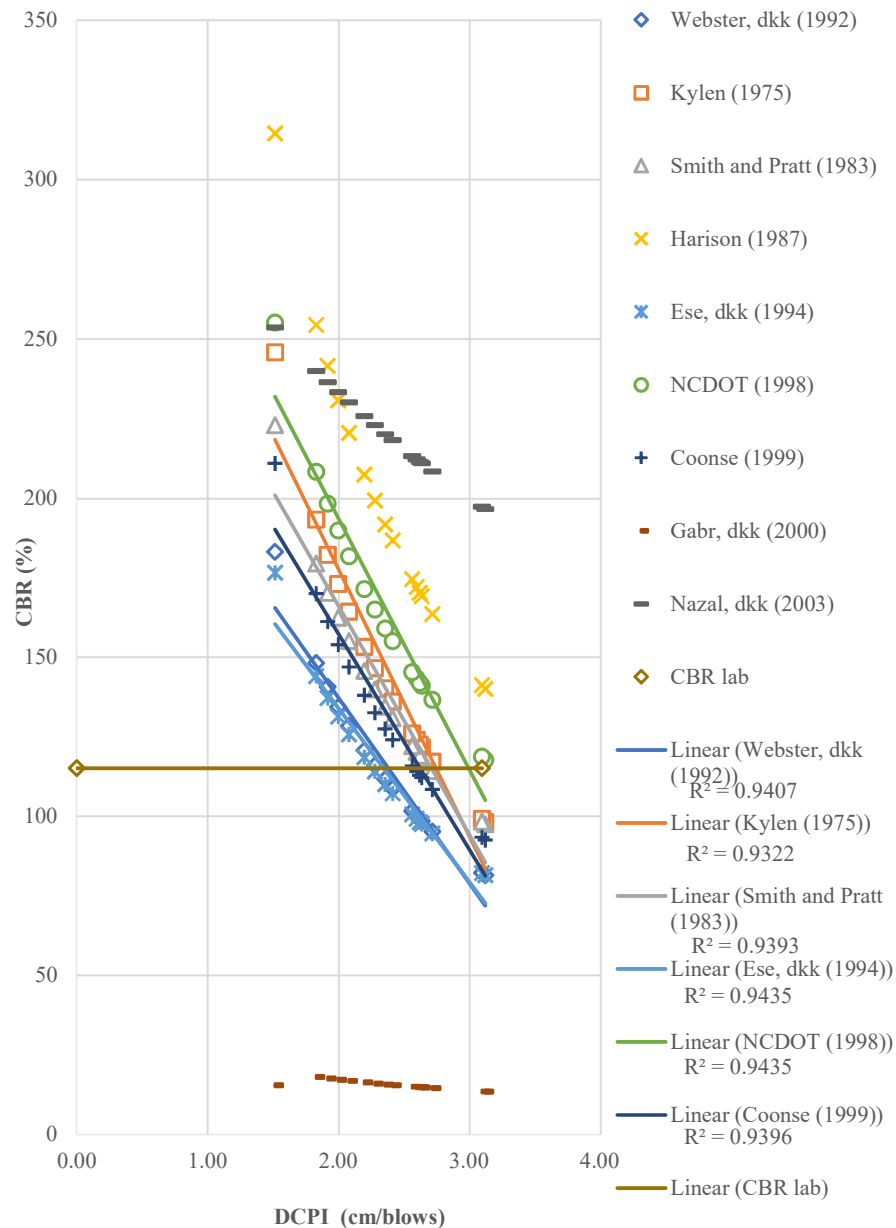
Titik	DCPI	CBR (%)	E_{DCP} (MPa)
1	3,125	81,5	252,4
2	2,280	116,0	311,1
3	2,600	100,1	285,2
4	2,640	98,4	282,3
5	2,625	99,1	283,3
6	2,567	101,6	287,6
7	3,100	82,2	253,7
8	2,720	95,2	276,7
9	1,920	140,6	348,7
10	2,200	120,7	318,6
11	2,083	128,3	330,3
12	2,360	111,6	304,1
13	1,833	148,1	359,6
14	2,417	108,7	299,3
15	1,517	183,1	407,9
16	2,000	134,3	339,4

Hasil pengujian DCP pada lapisan perkerasan *base* dengan 16 titik pengujian didapatkan DCPI, CBR (%), dan E_{DCP} (MPa) seperti terlihat pada Tabel 4.5



Gambar 4.3 Hubungan DCPI dengan CBR %

Nilai koefisien determinan (r^2) pada perbandingan DCP dan CBR seperti terlihat pada Gambar 4.3 adalah sebesar 0,9869, maka nilai korelasi (r) yaitu 0,9934. Menurut Sugiyono (2017), nilai korelasi (r) dengan interval antara 0,80 – 1,00 menunjukkan tingkat hubungan korelasi yang sangat kuat. Semakin besar nilai DCPI maka nilai CBR % semakin besar.



Gambar 4.4 Hubungan DCP dengan CBR % berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya.

Hubungan DCPI dan CBR dapat terlihat seperti Grafik yang terlampir pada lampiran 2. Hubungan DCP dan CBR dari Grafik Perbandingan Hubungan DCP dengan CBR% laboratorium yang dihasilkan yaitu sebesar 115%, maka CBR% berdasarkan Webster; dkk, Keylen, Smith and Pratt, Harison, Ese dkk, NCDOT, Coonse, Gabr dkk dan Nazal dkk, terlihat CBR% Webster dkk, Ese dkk, Coonse,

Smith and Pratt, Kylen dan NDCOT mempunyai garis yang bersinggungan dengan nilai CBR% laboratorium. Berdasarkan nilai korelasi determinan (r^2) pada Gambar 4.4 penelitian ini termasuk pada penelitian Ese Ese dkk dan NDCOT terlihat nilai r yang terbesar yaitu 0,9435.

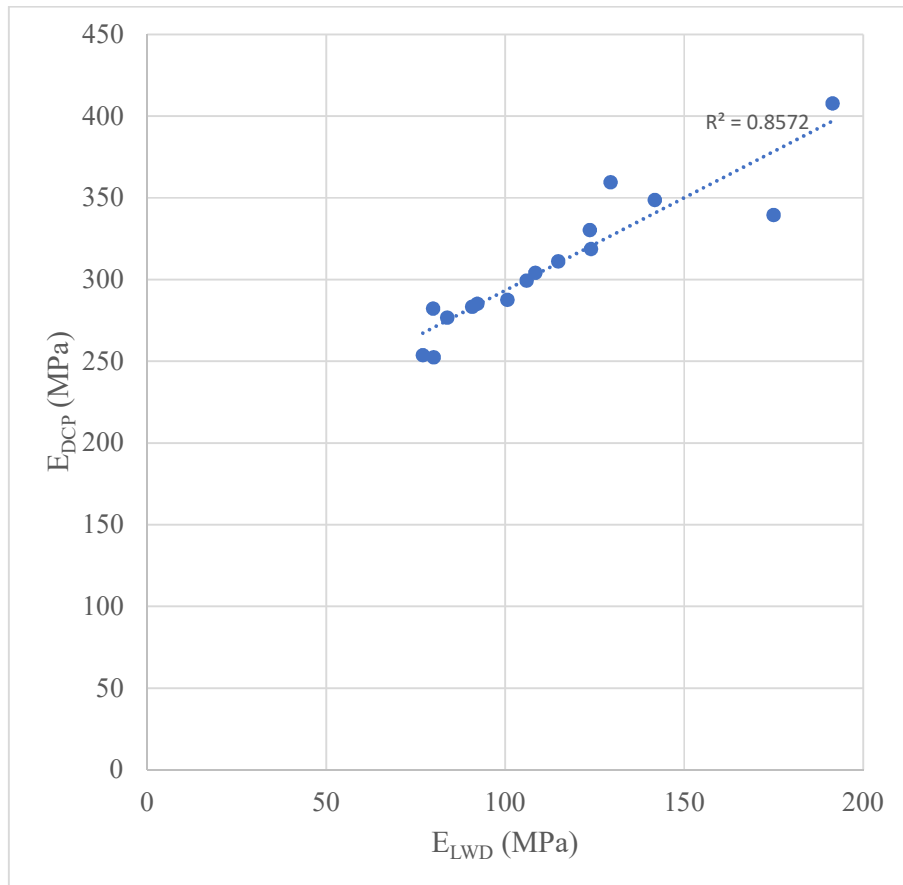
4.6 Perbandingan antara E_{LWD} dengan E_{DCP}

Pengujian tersebut untuk memperoleh perbandingan nilai modulus elastisitas (E) dari alat yang berbeda. Perbandingan antara E_{LWD} dengan E_{DCP} dapat terlihat dari Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil E_{LWD} dengan E_{DCP} pada lapis perkerasan *base*

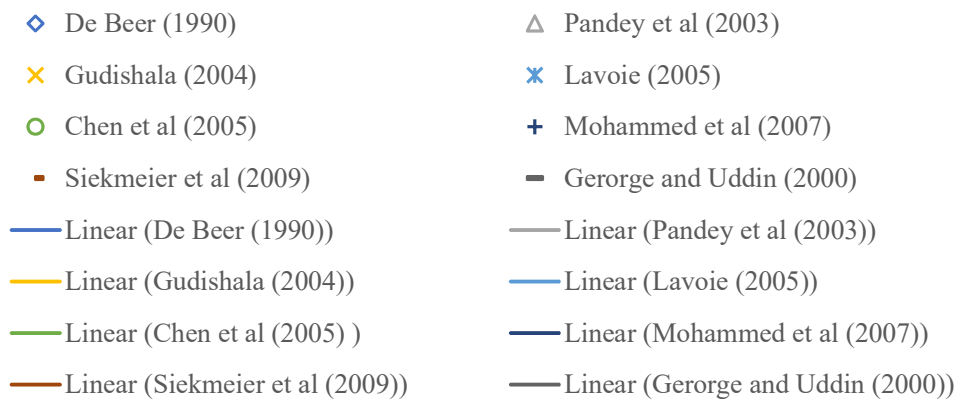
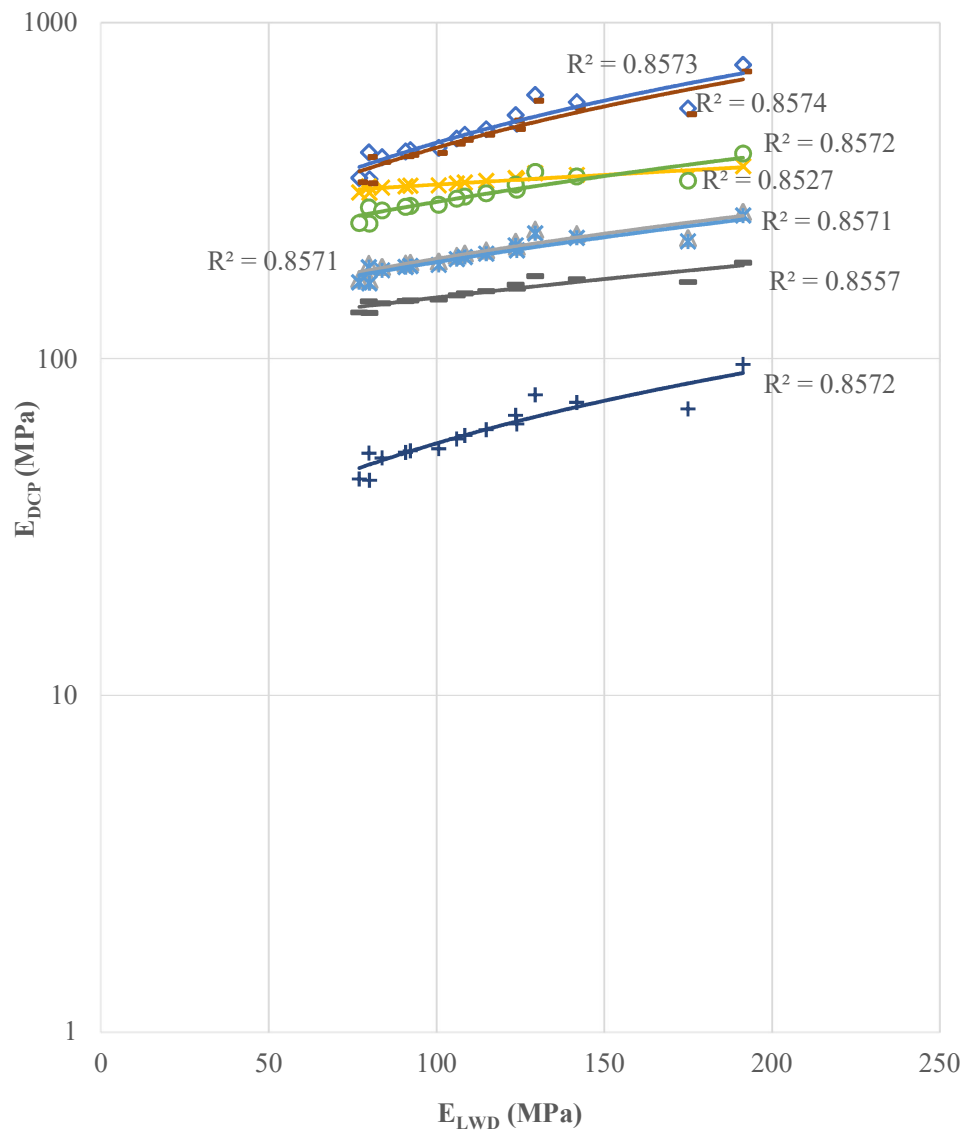
Titik	E_{LWD} (MPa)	E_{DCP} (MPa)
1	80,0	252,372
2	114,8	311,138
3	92,2	285,154
4	79,8	282,278
5	90,8	283,348
6	100,6	287,608
7	77,0	253,722
8	83,8	276,737
9	141,8	348,746
10	124,0	318,605
11	123,6	330,343
12	108,4	304,094
13	129,4	359,608
14	118,0	299,341
15	191,4	407,859
16	175,0	339,42
Nilai Min	77,00	252,37
Nilai Max	191,40	407,86
Nilai Rata-rata	114,41	308,77
Standar Deviasi	33,425	40,996
Koefisien Varian	29,2	13,3

Standar Deviasi (SD) E_{LWD} yaitu 33,425 dan SD E_{DCP} yaitu 40,996. Koefisien Varian (KV) antara E_{LWD} dengan E_{DCP} didapatkan hasil perbandingan yaitu KV- E_{LWD} 29,2% dan KV- E_{DCP} 13,3%. Hasil koefisien varian pada data menunjukkan bahwa KV- E_{LWD} lebih besar dari KV- E_{DCP} , maka hasil E_{LWD} memiliki data yang bersifat heterogen. Semakin besar nilai koefisien varian maka data semakin bervariasi (heterogen) dan sebaliknya.



Gambar 4.5 Perbandingan E_{LWD} dengan E_{DCP}

Berdasarkan Gambar 4.5 Hasil perbandingan E_{LWD} dengan E_{DCP} menyimpulkan ada hubungan antara E_{LWD} dengan E_{DCP} dengan didapatkan nilai korelasi determinan (r^2) sebesar 0,848 maka nilai korelasi (r) yang dihasilkan yaitu sebesar 0,9209. Hasil korelasi menunjukkan tingkat hubungan yang sangat kuat antara kedua variabel.



Gambar 4.6 Perbandingan E_{LWD} dengan E_{DCP} berdasarkan beberapa peneliti.

Hubungan E_{LWD} dan E_{DCP} terlihat seperti Gambar 4.6 menghasilkan koefisien determinan (r^2) sebesar 0,8573 pada penelitian De Beer (1990), 0,8571 pada penelitian Pandey dkk (2003), 0,8527 pada penelitian Gudhisala (2004), 0,8571 pada penelitian Lavoie (2005), 0,8572 pada penelitian Chen dkk (2005), 0,8572 pada penelitian Mohammed dkk (2007), 0,8574 pada penelitian Siekmeer dkk (2009), dan 0,8557 pada penelitian Geroge dan Udin (2000). Berdasarkan hasil nilai koefisien determinan (r^2), maka didapatkan nilai korelasi (r) pada penelitian ini dan penelitian sebelumnya berada diantara interval 0,80 – 1,00 menunjukkan tingkat hubungan korelasi yang sangat kuat.

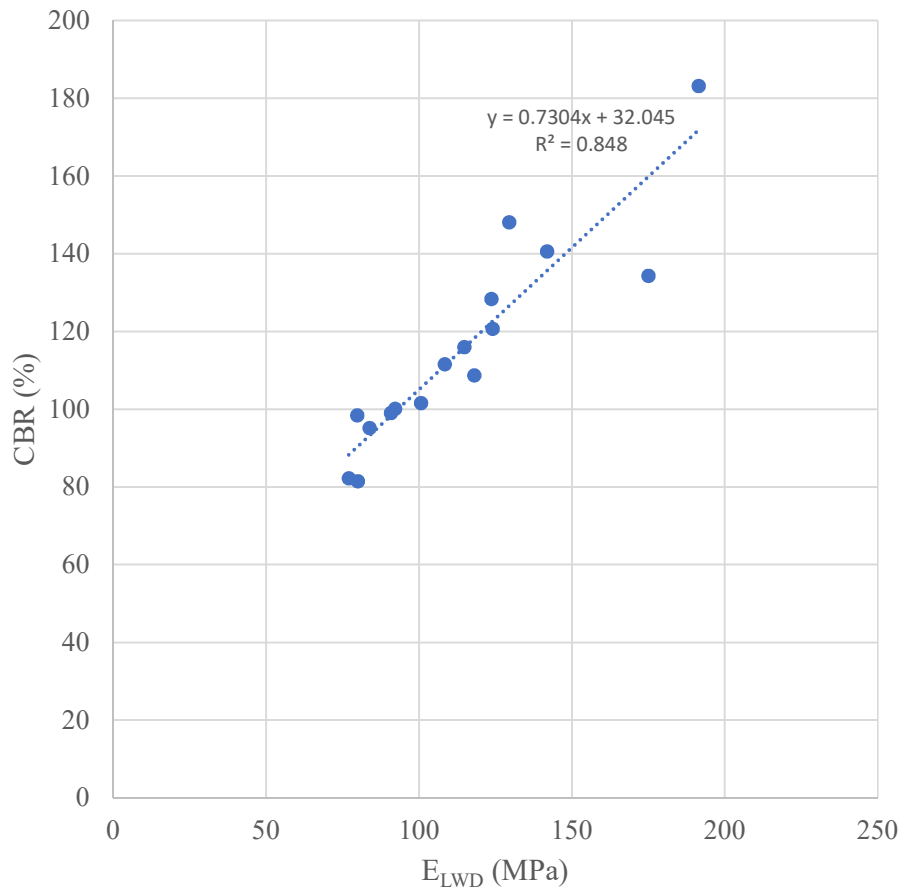
4.7 Hubungan antara E_{LWD} dengan CBR

Pengujian tersebut untuk memperoleh hubungan modulus elastisitas dari alat LWD dengan nilai CBR. Hubungan antara E_{LWD} dengan CBR dapat terlihat dari Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil E_{LWD} dengan CBR pada lapis perkerasan *base*

Titik	E_{LWD} (MPa)	CBR (%)
1	80,00	81,50
2	114,80	116,01
3	92,20	100,14
4	79,80	98,44
5	90,80	99,07
6	100,60	101,60
7	77,00	82,24
8	83,80	95,21
9	141,80	140,63
10	124,00	120,75
11	123,60	128,34
12	108,40	111,61
13	129,40	148,10
14	118,00	108,69
15	191,40	183,14
16	175,00	134,35
Nilai Min	77,00	81,50
Nilai Max	191,40	183,14
Nilai Rata-rata	114,41	115,61
Standar Deviasi (SD)	33,425	26,512
Koefisien Varian (KV)	0,292	0,229

Koefisien Varian antara E_{LWD} dengan CBR didapatkan hasil perbandingan dengan KV_{LWD} 29,2% dan KV_{CBR} 22,9%. Hasil koefisien varian pada data menunjukkan bahwa KV_{LWD} lebih besar dari KV_{CBR} , maka hasil LWD memiliki data yang bersifat heterogen. Semakin besar nilai koefisien varian maka data semakin bervariasi (heterogen) dan sebaliknya.



Gambar 4.7 Grafik perbandingan E_{LWD} dengan CBR

Berdasarkan Gambar 4.7 Hasil perbandingan E_{LWD} dengan CBR terdapat hubungan antara E_{LWD} dengan CBR dengan didapatkan koefisien determinan (r^2) mendekati angka 1 yaitu 0,848, maka nilai korelasi linier (r) yaitu 0,9209. Hasil korelasi linier (r) yang didapat menunjukkan tingkat hubungan yang sangat kuat antara dua variabel dengan hasil berada antara interval 0,80 – 1,00. Semakin besar nilai E_{LWD} maka CBR% semakin tinggi.