

**BAB IV**  
**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

**4.1. 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 ini menggunakan level 1 dan level 2 saja, karena jika menggunakan level semakin tinggi alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) akan mengalami *clipping*, sehingga alat akan menginformasikan beban yang digunakan harus diturunkan. Tinggi level 1 sebesar 0,23 m sedangkan level 2 dengan tinggi 0,33 m dan beban yang didapat sebesar 12 kg.

Dari pengujian LWD mendapatkan hasil nilai modulus elastisitas. Modulus elastisitas merupakan modulus rata – rata dari dari *half space of material* dengan modulus yang seragam. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa tingkat level atau tinggi beban jatuh mempengaruhi hasil LWD. Level atau tinggi beban jatuh dapat diatur dengan bervariasi kekakuan *buffer* yang tepatnya diantara tetesan dan pelat kontak. Data hasil dari pengujian alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.1 untuk level 1 dan Tabel 4.2 untuk level 2.

Tabel 4.1 Data Pengujian LWD Level 1

Titik	d <sub>0</sub> (Mikrometer)	d <sub>1</sub> (Mikrometer)	d <sub>2</sub> (Mikrometer)	E <sub>LWD</sub> (Alat) (MPa)
1	780,5	537,8	36,2	59
1	542,1	148,9	12,2	85
1	570,1	145,5	16,8	81
1	570,1	128,7	15,6	81
1	579	114,9	12,8	80
2	772,7	225,7	54,6	60
2	565,9	134,5	11,9	82
2	574,9	154,2	13,3	81
2	655,5	179,2	16	71
2	544,2	177,9	20,7	85
3	828,2	463,1	53,3	56
3	550,7	152,6	12	84
3	549,5	123,9	8,6	84
3	478	162,3	13,8	97

Tabel 4.1 Lanjutan

Titik	d <sub>0</sub> (Mikrometer)	d <sub>1</sub> (Mikrometer)	d <sub>2</sub> (Mikrometer)	E <sub>LWD</sub> (Alat) (MPa)
3	418,5	142,4	14,9	111
4	660,5	367,4	20,2	70
4	263,1	143,7	24,6	176
4	428,3	185,3	16,5	108
4	401,9	204,4	14,3	115
4	445,4	197,1	14,7	104
5	627,6	482	34,7	74
5	382,5	212	18,3	121
5	416,1	218	21,1	111
5	343,9	192,1	28,2	135
5	472,8	209,2	22,6	98
6	714,5	698,6	46,1	65
6	646,2	145,7	19,5	72
6	586,2	184,3	30,5	79
6	577,8	200,2	22,7	80
6	548,6	174,1	34,7	84
7	764,2	555,3	53,8	61
7	499,1	117,8	21,6	93
7	477,3	127,3	17,8	97
7	424,6	117,9	19,5	109
7	409,4	137,2	21,2	113
8	1018,9	264,4	57,3	45
8	372,1	58,2	15,1	124
8	361,4	61,9	16	128
8	370,1	73,2	14	125
8	397,2	76,8	21,6	117
9	589,8	277,7	22,5	79
9	396,5	235,6	30,5	117
9	455,2	274,2	20,8	102
9	436,4	259,1	26,8	106
9	472,7	279	25,8	98
10	763,5	611,9	62,2	61
10	663	192,7	18,6	70
10	464,9	139,5	37,2	100
10	629,8	163	24,3	74
10	925,1	147,3	24,8	50
11	1006,9	450	47,3	46
11	319,3	286,2	27,3	145
11	439	319,7	28,6	105
11	467,9	303,9	28,4	99
11	502	307,7	27,9	92
12	565,8	616,8	46	82
12	508,1	96	18,2	91
12	537	101,8	17,1	86

Tabel 4.1 Lanjutan

Titik	d <sub>0</sub> (Mikrometer)	d <sub>1</sub> (Mikrometer)	d <sub>2</sub> (Mikrometer)	E <sub>LWD</sub> (Alat) (MPa)
12	517,2	115,2	13	90
12	478,1	114,7	24,1	97
13	620,9	354,8	38,4	75
13	620,9	354,8	38,4	75
13	280,9	267,8	36	165
13	347,8	280,5	22,7	133
13	344,9	247,6	29,6	134
14	701,1	587,7	71,3	66
14	352,4	223,4	16,9	131
14	284,3	207,6	15,9	163
14	291,1	198,3	14,9	159
14	276,9	193,1	17,1	167
15	565,2	505,5	21,9	82
15	389,4	111,4	21,3	119
15	461	112,3	17,5	100
15	565,2	156,6	16,5	82
15	495,3	154,4	20,5	94
16	626,2	368,9	48,6	74
16	329,5	211,2	28,8	141
16	311,7	205,3	28,6	149
16	294,2	233,6	27,8	157
16	311,6	195,9	27,1	149
		Nilai minimal		45
		Nilai maksimal		176
		Nilai rata-rata		98,825
		Standar deviasi		27,579
		Koefisien variasi		0,279

Tabel 4.2 Data Pengujian LWD Level 2

Titik	d <sub>0</sub> (Mikrometer)	d <sub>1</sub> (Mikrometer)	d <sub>2</sub> (Mikrometer)	E <sub>LWD</sub> (Alat) (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

Tabel 4.2 Lanjutan

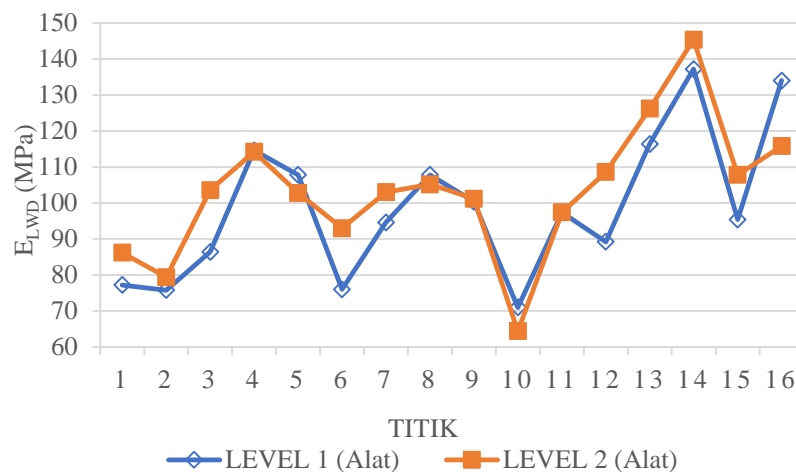
Titik	d <sub>0</sub> (Mikrometer)	d <sub>1</sub> (Mikrometer)	d <sub>2</sub> (Mikrometer)	E <sub>LWD</sub> (Alat) (MPa)
3	523,4	161,8	11,9	124
3	637,6	362,5	26,3	102
3	653,5	355,5	25,3	99
3	700,1	391,8	31,8	93
3	650	324,4	34,2	100
4	449,1	191,3	17,5	145
4	601,8	384,1	39,3	108
4	619,4	456,3	27,3	105
4	606,2	379,2	39,7	107
4	610,7	488	30,2	106
5	455,1	223,3	20	143
5	565,4	692,4	44,5	115
5	758,2	655,1	54,2	86
5	729,4	701,4	39,8	89
5	800,6	745,8	41,6	81
6	543,4	179,1	27,5	120
6	796,4	414,4	57,5	82
6	760	621,5	44	86
6	728,9	573,1	44,6	89
6	734,7	552,5	59,9	88
7	297,6	113,9	33,1	218
7	880,7	232,6	47,4	74
7	799,6	237	43,7	81
7	1070,4	291,5	57,1	61
7	803,9	316,8	45,1	81
8	465,7	73	19,2	140
8	761,6	229,6	45,3	85
8	741	241,9	44,4	88
8	612,3	306,3	34,9	106
8	605,9	310,9	34,7	107
9	473,5	248	26,4	137
9	656,2	675,2	55,2	99
9	763,9	600,1	82,5	85
9	709,1	499	66,3	92
9	699,3	457,8	59,8	93
10	809,3	181,4	18,1	80
10	869,3	427,7	41,6	75
10	1207,5	413,5	45,8	54
10	985,5	449,9	45,1	66
10	1388	451,1	46,5	47
11	577,4	320,1	19,6	113
11	660,1	634,9	47,8	98
11	664,4	586	49	98

Tabel 4.2 Lanjutan

Titik	d <sub>0</sub> (Mikrometer)	d <sub>1</sub> (Mikrometer)	d <sub>2</sub> (Mikrometer)	E <sub>LWD</sub> (Alat) (MPa)
11	816,5	545,9	50,6	80
11	664,2	542,5	47	98
12	446,1	127,8	20	146
12	731,2	309,5	36,5	89
12	649,4	276,2	40,8	100
12	532,1	329,1	38,7	122
12	755	288,5	48,8	86
13	319,2	273,1	24,6	204
13	597	590	62,6	109
13	559,7	796,5	44,5	116
13	633,1	656,5	58,7	103
13	655,9	654,6	65,1	99
14	268	175,4	16,6	242
14	521,1	533,5	35,2	125
14	549	485,6	34,9	118
14	551,6	521,5	36,9	118
14	523,8	515,7	36,2	124
15	447,3	138,4	24	145
15	619,5	383,1	40,1	105
15	689,6	511,4	36,3	94
15	669,8	383,1	37,1	97
15	662	350,5	55,3	98
16	304,6	209,8	26,9	213
16	742,7	487,2	75,1	87
16	736,3	571,9	74	88
16	712,2	591,3	72,2	91
16	652,7	776,4	63,4	100
		Nilai minimal		47
		Nilai maksimal		242
		Nilai rata-rata		103,388
		Standar deviasi		27,806
		Koefisien variasi		0,269

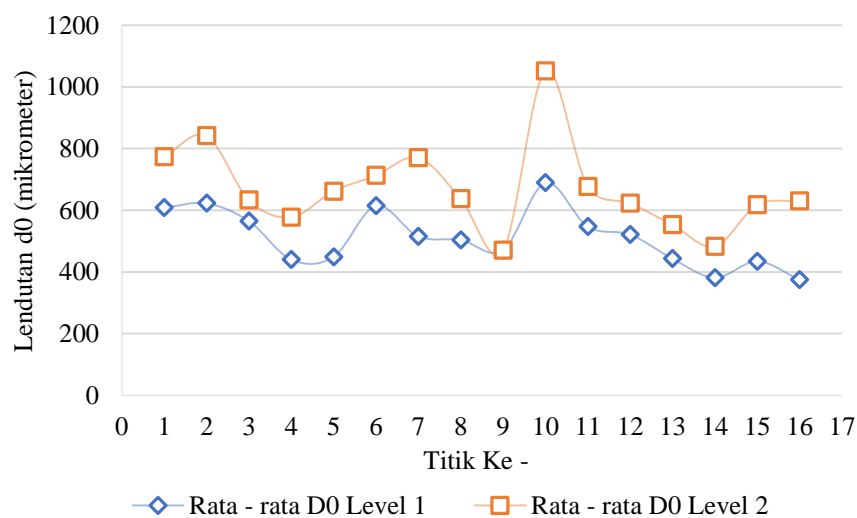
Tinggi jatuh beban pada alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) mempengaruhi nilai modulus elastisitas yang dihasilkan alat LWD (*Light Weight Deflectometer*). Pada alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) terdapat level 1 dengan nilai rata – rata modulus elastisitas (E<sub>LWD</sub>) 98,825 MPa sedangkan 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. Dapat dilihat pada Gambar 4.1 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 4.1 Modulus Elastisitas (Alat)

Dari alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) dapat disimpulkan juga semakin tinggi beban jatuh (level) semakin besar nilai lendutan ( $d_0$ ) yang dihasilkan dari alat LWD (*Light Weight Deflectometer*). Hal ini dapat dibuktikan pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Lendutan ( $d_0$ ) Level 1 dan Level 2

## 4.2. Analisis Perhitungan $E_{LWD}$ (Modulus Elastisitas LWD)

### 4.2.1 Langkah analisis $E_{LWD}$ dan hasil analisis

Analisis  $E_{LWD}$  dengan menggunakan metode *Boussinesq* yang dilakukan pada penelitian ini dengan perhitungan  $E_{LWD}$  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 ( $d_0$ ) dari alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) yang dilihat pada Tabel 4.1 dan 4.2. Berikut merupakan data – data untuk menganalisis  $E_{LWD}$  pada level 1 titik 1 percobaan ke – 1.

Dimana :

Massa beban jatuh		= 12 kg
Percepatan karena gravitasi (g)		= 9,81 m/s <sup>2</sup>
Tinggi beban :	$h_1$	= 0,23 m (untuk level 1)
	$h_2$	= 0,33 m (untuk level 2)
$d_0$		= 780,5 mikrometer
jari-jari pelat (a)		= 15 cm.
<i>Rasio Poisson</i> ( $\mu$ )		= 0,35 ( <i>Rasio Poisson</i> )
Konstanta kekuatan material (C)		= $449 \times 10^8$ N/m (SNI 3966:2012)

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

#### 1. Perhitungan gaya terapan

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

$$F = \sqrt{2 \times 12,43 \times 9,81 \times 0,23 \times 499 \times 10^8}$$

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

#### 2. Perhitungan tegangan terapan

$$\sigma_0 = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (4.2)$$

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

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

#### 3. Perhitungan $E_{LWD}$

$$E_{LWD} = \frac{K \times (1 - \mu^2) \times \sigma_0 \times a}{d_0} \dots \dots \dots (4.3)$$

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

Maka :

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

$$= 59,437 \text{ MPa}$$

Bedasarkan hasil analisa perhitungan  $E_{LWD}$  yang telah diperhitungkan dapat dilihat pada Tabel 4.3 untuk level 1 dan Tabel 4.4 untuk level 2.

Tabel 4.3 Hasil Analisis Pengujian LWD Level 1

Titik	d <sub>0</sub> (Mikrometer)	d <sub>1</sub> (Mikrometer)	d <sub>2</sub> (Mikrometer)	E <sub>LWD</sub> (Analisis) (MPa)
1	780,5	537,8	36,2	59,474
1	542,1	148,9	12,2	85,629
1	570,1	145,5	16,8	81,423
1	570,1	128,7	15,6	81,423
1	579	114,9	12,8	80,171
2	772,7	225,7	54,6	60,074
2	565,9	134,5	11,9	82,027
2	574,9	154,2	13,3	80,743
2	655,5	179,2	16	70,815
2	544,2	177,9	20,7	85,298
3	828,2	463,1	53,3	56,048
3	550,7	152,6	12	84,291
3	549,5	123,9	8,6	84,475
3	478	162,3	13,8	97,111
3	418,5	142,4	14,9	110,92
4	660,5	367,4	20,2	70,279
4	263,1	143,7	24,6	176,43
4	428,3	185,3	16,5	108,38
4	401,9	204,4	14,3	115,5
4	445,4	197,1	14,7	104,22
5	627,6	482	34,7	73,963
5	382,5	212	18,3	121,36
5	416,1	218	21,1	111,56
5	343,9	192,1	28,2	134,98
5	472,8	209,2	22,6	98,179



Tabel 4.3 Lanjutan

Titik	d <sub>0</sub> (Mikrometer)	d <sub>1</sub> (Mikrometer)	d <sub>2</sub> (Mikrometer)	E <sub>LWD</sub> (Analisis) (MPa)
6	714,5	698,6	46,1	64,967
6	646,2	145,7	19,5	71,834
6	586,2	184,3	30,5	79,187
6	577,8	200,2	22,7	80,338
6	548,6	174,1	34,7	84,614
7	764,2	555,3	53,8	60,742
7	499,1	117,8	21,6	93,006
7	477,3	127,3	17,8	97,254
7	424,6	117,9	19,5	109,32
7	409,4	137,2	21,2	113,38
8	1018,9	264,4	57,3	45,558
8	372,1	58,2	15,1	124,75
8	361,4	61,9	16	128,44
8	370,1	73,2	14	125,42
8	397,2	76,8	21,6	116,87
9	589,8	277,7	22,5	78,703
9	396,5	235,6	30,5	117,07
9	455,2	274,2	20,8	101,98
9	436,4	259,1	26,8	106,37
9	472,7	279	25,8	98,2
10	763,5	611,9	62,2	60,798
10	663	192,7	18,6	70,014
10	464,9	139,5	37,2	99,848
10	629,8	163	24,3	73,705
10	925,1	147,3	24,8	50,178
11	1006,9	450	47,3	46,101
11	319,3	286,2	27,3	145,38
11	439	319,7	28,6	105,74
11	467,9	303,9	28,4	99,208
11	502	307,7	27,9	92,469
12	565,8	616,8	46	82,042
12	508,1	96	18,2	91,358
12	537	101,8	17,1	86,442
12	517,2	115,2	13	89,751
12	478,1	114,7	24,1	97,091
13	620,9	354,8	38,4	74,761
13	620,9	354,8	38,4	74,761
13	280,9	267,8	36	165,25
13	347,8	280,5	22,7	133,47
13	344,9	247,6	29,6	134,59
14	701,1	587,7	71,3	66,209
14	352,4	223,4	16,9	131,72
14	284,3	207,6	15,9	163,28

Tabel 4.3 Lanjutan

Titik	d <sub>0</sub> (Mikrometer)	d <sub>1</sub> (Mikrometer)	d <sub>2</sub> (Mikrometer)	E <sub>LWD</sub> (Analisis) (MPa)
14	291,1	198,3	14,9	159,46
14	276,9	193,1	17,1	167,64
15	505,5	21,9	39	82,129
15	111,4	21,3	39	119,21
15	112,3	17,5	39	100,69
15	156,6	16,5	39	82,129
15	154,4	20,5	39	93,719
16	626,2	368,9	48,6	74,128
16	329,5	211,2	28,8	140,88
16	311,7	205,3	28,6	148,92
16	294,2	233,6	27,8	157,78
16	311,6	195,9	27,1	148,97
	Nilai minimal			45,559
	Nilai maksimal			176,432
	Nilai rata-rata			99,032
	Standar deviasi			27,677
	Koefisien variasi			0,279

Tabel 4.4 Hasil Analisis Pengujian LWD Level 2

Titik	d <sub>0</sub> (Mikrometer)	d <sub>1</sub> (Mikrometer)	d <sub>2</sub> (Mikrometer)	E <sub>LWD</sub> (Analisis) (MPa)
1	611,9	121,7	16,3	107,634
1	707,8	392,6	25,9	93,0504
1	723,4	264,9	42,2	91,0438
1	919,1	330,6	36,4	71,6582
1	904,7	310	44,5	72,7988
2	658,3	220,4	13,6	100,047
2	768,4	454	36,9	85,712
2	781,5	449,5	41,2	84,2752
2	992,2	563,8	32,8	66,3788
2	1006,2	610,6	37,7	65,4552
3	523,4	161,8	11,9	125,833
3	637,6	362,5	26,3	103,295
3	653,5	355,5	25,3	100,782
3	700,1	391,8	31,8	94,0738
3	650	324,4	34,2	101,325
4	449,1	191,3	17,5	146,651
4	601,8	384,1	39,3	109,44
4	619,4	456,3	27,3	106,33
4	606,2	379,2	39,7	108,646
4	610,7	488	30,2	107,845
5	455,1	223,3	20	144,718

Tabel 4.4 Lanjutan

Titik	d <sub>0</sub> (Mikrometer)	d <sub>1</sub> (Mikrometer)	d <sub>2</sub> (Mikrometer)	E <sub>LWD</sub> (Analisis) (MPa)
5	565,4	692,4	44,5	116,486
5	758,2	655,1	54,2	86,865
5	729,4	701,4	39,8	90,2949
5	800,6	745,8	41,6	82,2646
6	800,6	745,8	41,6	82,2646
6	543,4	179,1	27,5	121,202
6	796,4	414,4	57,5	82,6985
6	760	621,5	44	86,6593
6	728,9	573,1	44,6	90,3568
7	734,7	552,5	59,9	89,6435
7	297,6	113,9	33,1	221,307
7	880,7	232,6	47,4	74,7826
7	799,6	237	43,7	82,3675
7	1070,4	291,5	57,1	61,5294
8	465,7	73	19,2	141,424
8	761,6	229,6	45,3	86,4772
8	741	241,9	44,4	88,8813
8	612,3	306,3	34,9	107,563
8	605,9	310,9	34,7	108,7
9	473,5	248	26,4	139,094
9	656,2	675,2	55,2	100,367
9	763,9	600,1	82,5	86,2169
9	709,1	499	66,3	92,8798
9	699,3	457,8	59,8	94,1814
10	809,3	181,4	18,1	81,3803
10	869,3	427,7	41,6	75,7633
10	1207,5	413,5	45,8	54,5433
10	985,5	449,9	45,1	66,8301
10	1388	451,1	46,5	47,4503
11	577,4	320,1	19,6	114,065
11	660,1	634,9	47,8	99,7744
11	664,4	586	49	99,1286
11	816,5	545,9	50,6	80,6627
11	664,2	542,5	47	99,1585
12	446,1	127,8	20	147,637
12	731,2	309,5	36,5	90,0726
12	649,4	276,2	40,8	101,418
12	532,1	329,1	38,7	123,776
12	755	288,5	48,8	87,2332
13	319,2	273,1	24,6	206,332
13	597	590	62,6	110,32
13	559,7	796,5	44,5	117,672
13	633,1	656,5	58,7	104,029
13	655,9	654,6	65,1	100,413

Tabel 4.4 Lanjutan

Titik	d0 (Mikrometer)	d1 (Mikrometer)	d2 (Mikrometer)	E <sub>LWD</sub> (Analisis) (MPa)
14	268	175,4	16,6	245,75
14	521,1	533,5	35,2	126,389
14	549	485,6	34,9	119,966
14	551,6	521,5	36,9	119,4
14	523,8	515,7	36,2	125,737
15	447,3	138,4	24	147,241
15	619,5	383,1	40,1	106,313
15	689,6	511,4	36,3	95,5062
15	669,8	383,1	37,1	98,3294
15	662	350,5	55,3	99,488
16	304,6	209,8	26,9	216,221
16	742,7	487,2	75,1	88,6779
16	736,3	571,9	74	89,4487
16	712,2	591,3	72,2	92,4755
16	652,7	776,4	63,4	100,906
	Nilai minimal			47,4503
	Nilai maksimal			245,750
	Nilai rata-rata			104,758
	Standar deviasi			27,312
	Koefisien variasi			0,261

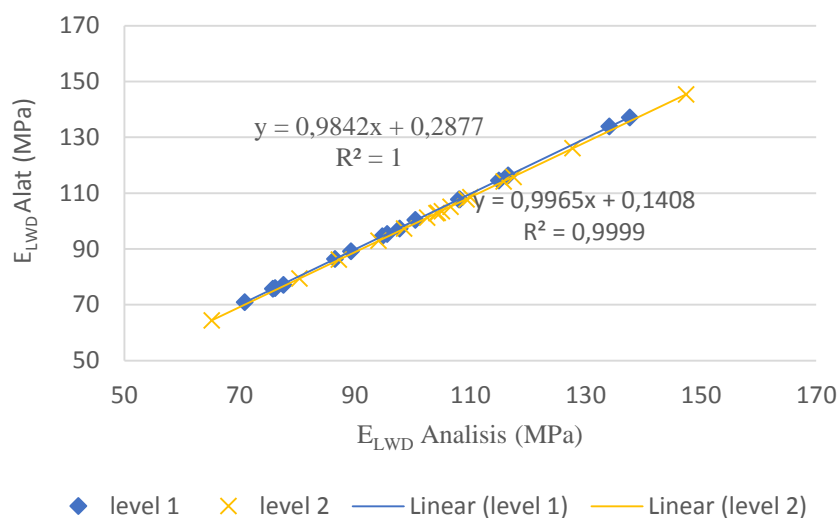
#### 4.2.2. Koefisien Variasi

Dari Tabel 4.3 untuk level 1 dan tabel 4.4 untuk level 2 dapat dilihat nilai koefisien variasi level 1 sebesar 27,9 % dan untuk level 2 sebesar 27,3 %. Dapat disimpulkan pemadatan yang dilakukan dengan *stemper* sudah memenuhi persyaratan pemadatan kurang dari 30%. 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.

#### 4.2.3. Kesimpulan analisis E<sub>LWD</sub>

Kesimpulan dari hasil analisis yang telah diperhitungkan, bahwa hasil modulus elastisitas dari alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) dengan hasil analisis yang dihitung menggunakan metode *Boussineq* terbukti tidak jauh beda. Hal ini dapat dilihat dari hasil rata – rata E<sub>LWD</sub> (alat) untuk level 1 sebesar 98,825

MPa sedangkan  $E_{LWD}$  (analisis) sebesar 99,032 MPa. Untuk Level 2  $E_{LWD}$  (alat) sebesar 103,388 dan  $E_{LWD}$  (analisis) sebesar 104,758 MPa.



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas (Analisis) dan Modulus Elastisitas (Alat) Level 1 dan level 2

Dari Gambar 4.3 nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) yang cukup besar dan hampir mendekati angka 1. Nilai Koefisien kolerasi ( $R^2$ ) 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 *Boussineq*.

#### 4.2.4. Hasil Uji validitas

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

Data penelitian yang diinput untuk uji validitas kedalam program SPSS berisi 160 sampel (N) terdiri dari 2 item data berupa data  $E_{LWD}$  alat dan data  $E_{LWD}$  analisis. Hasil uji validitas dari program SPPS dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil Validitas dari Program SPSS bagian *Correlations*

		ELWDalat	ELWDanalisis
ELWDalat	<i>Pearson Correlation</i>	1	1,000**
	<i>Sig. (2-tailed)</i>		,000
	<i>N</i>	160	160
ELWDanalisis	<i>Pearson Correlation</i>	1,000**	1
	<i>Sig. (2-tailed)</i>	,000	
	<i>N</i>	160	160

Dari Tabel 4.5 dapat dilihat di kolom pertama dari kiri ada kata *Pearson Correlation* itu maksudnya R hitung, kemudian *Sig. (2 – Tailed)* itu tingkat signifikansinya 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 lampiran 4. 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.

#### 4.2.5. Hasil Uji reliabilitas

Seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya untuk membuktikan data dari alat LWD konsisten atau tidak bisa menggunakan reabilitas menggunakan program SPSS. Data yang diinput kedalam program SPSS sama seperti data yang diinput dalam uji validitas. Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 merupakan hasil realibilitas dari program SPSS.

Tabel 4.6 Hasil Uji Realibilitas 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 4.6 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 4.7 Hasil Uji Realibilitas 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, 2014) halaman 193 menyatakan nilai *Cronbach's Alpha* > 0, 60 maka data tersebut dinyatakan reliabel atau konsisten.

### **4.3. Modulus Elastisitas DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*)**

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

Prinsip dari pengujian DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) yaitu untuk memprediksi kekuatan struktural dari lapisan tanah dengan parameter utama adalah rata-rata penetrasi dari konus pada beban standar. Nilai parameter ini dikenal dengan istilah DCPI (mm/tumbukan). Nilai DCPI bisa digunakan untuk menghitung nilai CBR (%) dan juga ketebalan dari masing-masing lapisan jalan tanah.

Pengujian DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) pada penelitian ini dilakukan setelah pengujian alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) pada titik yang sama dengan satu kali tumbukan. Dilakukan pengujian DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) ini untuk membuktikan perbandingan dari  $E_{DCP}$  dengan  $E_{LWD}$ . Hasil dari pengujian alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*)

Titik	Kumulatif Tumbukan	Penetrasi	Kumulatif Penetrasi	DCPI
1	1	2	2	2,980
	2	2,4	4,4	
	3	3	7,4	
	4	3,3	10,7	
	5	4,2	14,9	
2	1	2	2	3,020
	2	2,4	4,4	
	3	3	7,4	
	4	3,7	11,1	
	5	4	15,1	
3	1	0,5	0,5	2,700
	2	1,5	2	
	3	3,1	5,1	
	4	3,9	9	
	5	4,5	13,5	
4	1	1	1	2,340
	2	1,4	2,4	
	3	2,3	4,7	
	4	3,1	7,8	
	5	3,9	11,7	
5	1	1	1	2,500
	2	1,5	2,5	
	3	2,4	4,9	
	4	3	7,9	
	5	4,6	12,5	
6	1	1	1	2,900
	2	1,5	2,5	
	3	3,5	6	
	4	4	10	
	5	4,5	14,5	



Tabel 4.8 Lanjutan

Titik	Kumulatif Tumbukan	Penetrasi	Kumulatif Penetrasi	DCPI
7	1	1	1	2,620
	2	1,6	2,6	
	3	2,9	5,5	
	4	3,5	9	
	5	4,1	13,1	
8	1	1	1	2,480
	2	1,5	2,5	
	3	2,5	5	
	4	3,5	8,5	
	5	3,9	12,4	
9	1	1	1	2,560
	2	1,5	2,5	
	3	2,5	5	
	4	3,5	8,5	
	5	4,3	12,8	
10	1	1,5	1,5	3,000
	2	2	3,5	
	3	2,5	6	
	4	3,5	9,5	
	5	5,5	15	
11	1	0,5	0,5	2,600
	2	1,5	2	
	3	3	5	
	4	3,8	8,8	
	5	4,2	13	
12	1	1	1	2,760
	2	1,5	2,5	
	3	2,5	5	
	4	3,8	8,8	
	5	5	13,8	
13	1	1	1	2,320
	2	1,5	2,5	
	3	2,2	4,7	
	4	2,9	7,6	
	5	4	11,6	
14	1	0,5	0,5	2,260
	2	1,1	1,6	
	3	2	3,6	
	4	2,8	6,4	
	5	4,9	11,3	

Tabel 4.8 Lanjutan

Titik	Kumulatif Tumbukan	Penetasi	Kumulatif Penetrasi	DCPI
15	1	1,6	1,6	2,660
	2	2,1	3,7	
	3	2,6	6,3	
	4	3	9,3	
	5	4	13,3	
16	1	0,5	0,5	2,240
	2	1,5	2	
	3	2,5	4,5	
	4	2,8	7,3	
	5	3,9	11,2	

#### 4.3.2. Perhitungan nilai CBR (%)

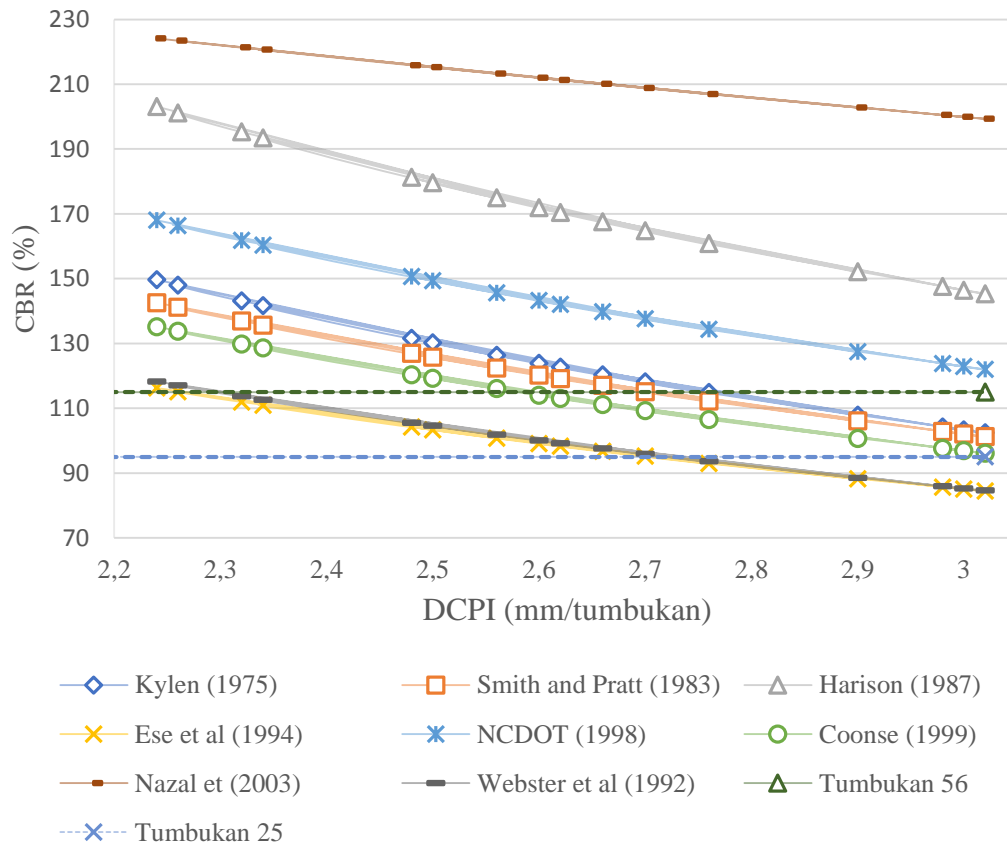
Perhitungan yang diperoleh dari pengujian DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) mendapatkan nilai DCPI. Nilai DCPI yang didapatkan bisa untuk menghitung nilai CBR (%). Semakin besar nilai CBR (%) maka semakin kecil nilai penetrasi DCPI (mm/tumbukan). Begitupun sebaliknya, semakin kecil nilai Penetrasi DCPI (mm/tumbukan) semakin besar nilai CBR (%) yang terjadi. Menghitung nilai CBR (%) dari pengujian alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) dapat dilakukan menggunakan persamaan dari penelitian terdahulu yang dapat dilihat pada Bab 2 Tabel 2.1 sedangkan hasil perhitungan nilai CBR (%) dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Untuk mengetahui dari beberapa persamaan CBR – DCPI yang akan digunakan, dengan cara memplotting nilai desain CBR. Nilai CBR desain didapatkan dari pengujian CBR laboratorium. Pengujian CBR laboratorium dengan menggunakan 10, 25, 56 tumbukan. Hasil pengujian CBR laboratorium atau desain CBR mendapatkan nilai CBR sebesar 95% untuk 25 tumbukan dan 115% untuk 56 tumbukan. Penelitian ini menggunakan CBR desain 56 tumbukan karena dengan banyak 56 tumbukan tersebut agregat lebih padat.

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan CBR(%)

Titik	CBR 1 Kylen (1975)	CBR 2 Smith dan Pratt (1983)	CBR 3 Harison (1987)	CBR 4 Ese dkk (1994)	CBR 5 NCDOT (1998)	CBR 6 Coonse (1999)	CBR 7 Nazal dkk (2003)	CBR 8 Webster dkk (1992)
1	104,171	102,807	147,53	85,623	123,763	97,587	97,587	97,587
2	102,422	101,25	145,343	84,41	122,01	96,115	96,115	96,115
3	118,078	115,104	164,768	95,158	137,544	109,21	109,21	109,21
4	141,611	135,597	193,41	110,902	160,303	128,56	128,56	128,56
5	130,202	125,707	179,601	103,325	149,35	119,22	119,22	119,22
6	107,834	106,061	152,095	88,153	127,419	100,66	100,66	100,66
7	122,676	119,137	170,413	98,27	142,043	113,02	113,02	113,02
8	131,537	126,869	181,224	104,217	150,639	120,32	120,32	120,32
9	126,339	122,34	174,893	100,736	145,608	116,04	116,04	116,04
10	103,29	102,023	146,429	85,013	122,88	96,846	96,846	96,846
11	123,876	120,187	171,882	99,079	143,212	114,01	114,01	114,01
12	114,828	112,243	160,762	92,946	134,347	106,5	106,5	106,5
13	143,163	136,936	195,279	111,926	161,782	129,82	129,82	129,82
14	148,008	141,107	201,094	115,108	166,382	133,76	133,76	133,76
15	120,338	117,088	167,546	96,689	139,758	111,08	111,08	111,08
16	149,688	142,55	203,106	116,208	167,972	135,12	135,12	135,12

Dari beberapa penelitian sebelumnya untuk menghitung nilai CBR (%) dapat disimpulkan bahwa persamaan tersebut menunjukkan bentuk corak yang sama atau konsisten hasilnya, yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.

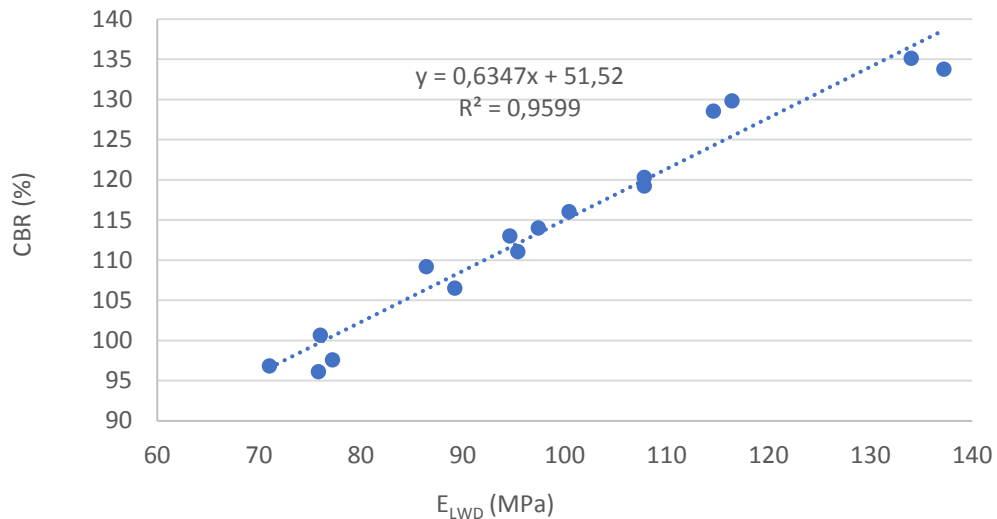


Gambar 4.4 Perbandingan Model Empirik CBR (%) – DCPI (mm/tumbukan)

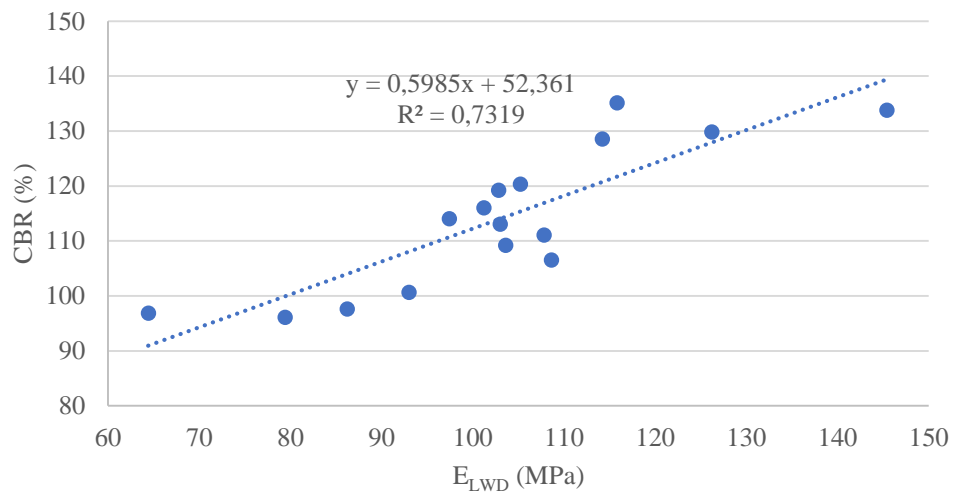
Gambar 4.4 menjelaskan penelitian Ese dkk (1994) dan Webster dkk (1992) nilai CBR Lapangannya mendekati nilai CBR desain 25 tumbukan dan 56 tumbukan. Sedangkan penelitian Coonse (1999), Smithand Prat (1983), Chent dkk (2001), Kylen (1975) nilai CBR lapangan mendekati 56 tumbukan. Untuk penelitian Nazal (2003), Harison (1987), NCDOT (1998) nilai CBR lapangan jauh dari CBR desain.

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 dan untuk level 2 sebesar ( $R^2$ ) = 0,7319. Nilai regresi yang didapat dari penelitian Coonse (1999) lebih mendekati dibanding penelitian yang lain. Selain itu menurut penelitian George (2009) yang dilakukan di *Waterways Experiment Station* (WES)

dalam *International Journal of Pavement Engineering* halaman 190-191 menyebutkan bahwa nilai dari penelitian Coonse cukup baik dibanding penelitian yang lain. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.5 untuk level 1 dan Gambar 4.6 untuk level 2.



Gambar 4.5 Perbandingan  $E_{LWD}$  dengan CBR (%) Level 1



Gambar 4.6 Perbandingan  $E_{LWD}$  dengan CBR (%) Level 2

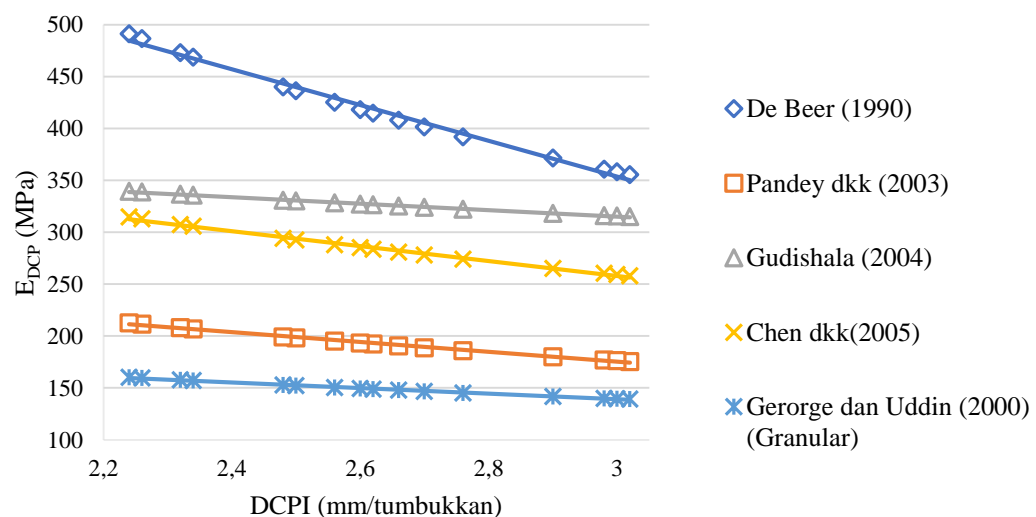
#### 4.3.3. Perhitungan Nilai Modulus Elastisitas (MPa)

Nilai DCPI yang didapatkan dari pengujian DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) dapat untuk menghitung nilai Modulus Elastisitas (MPa). Menghitung nilai Modulus Elastisitas DCP dapat dilakukan menurut beberapa penelitian terdahulu yang dapat dilihat pada Bab 2 Tabel 2.2, sedangkan hasil perhitungan nilai Modulus Elastisitas dapat dilihat pada Tabel 4.10

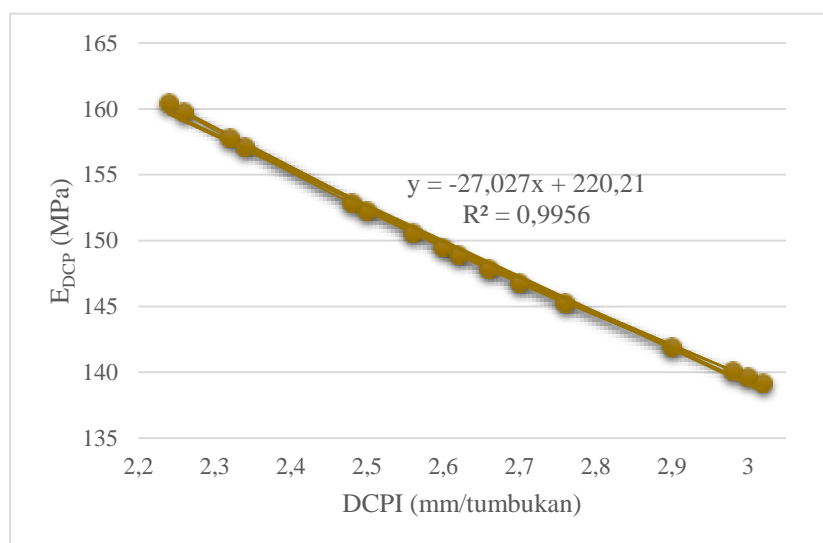
Tabel 4.10 Hasil Modulus Elastisitas

Titik	De Beer (1990)	Pandey dkk (2003)	Chen dkk. (2005)	Siekmeier dkk (2009)	Gerorge dan Uddin (2000) (Granular)
1	360,833	177,049	260,461	350,045	140,078
2	355,664	175,534	258,165	345,125	139,194
3	401,488	188,674	278,097	388,704	146,8
4	468,723	206,903	305,817	452,479	157,125
5	436,352	198,269	292,678	421,797	152,266
6	371,615	180,182	265,21	360,306	141,901
7	414,769	192,367	283,707	401,316	148,912
8	440,161	199,298	294,243	425,409	152,848
9	425,297	195,261	288,105	411,309	150,56
10	358,231	176,288	259,306	347,568	139,634
11	418,222	193,32	285,154	404,594	149,455
12	392,053	186,02	274,068	379,739	145,275
13	473,097	208,051	307,565	456,622	157,767
14	486,701	211,594	312,963	469,502	159,743
15	408,024	190,498	280,867	394,912	147,844
16	491,405	212,81	314,816	473,954	160,419

Dari beberapa persamaan untuk menghitung modulus elastisitas pada alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) dapat disimpulkan bahwa persamaan tersebut menunjukkan bentuk yang sama atau konsisten hasilnya, hal ini dapat dibuktikan pada Gambar 4.7

Gambar 4.7 Perbandingan Model Empirik  $E_{DCP}$  (MPa) - DCPI (mm/tumbukkan)

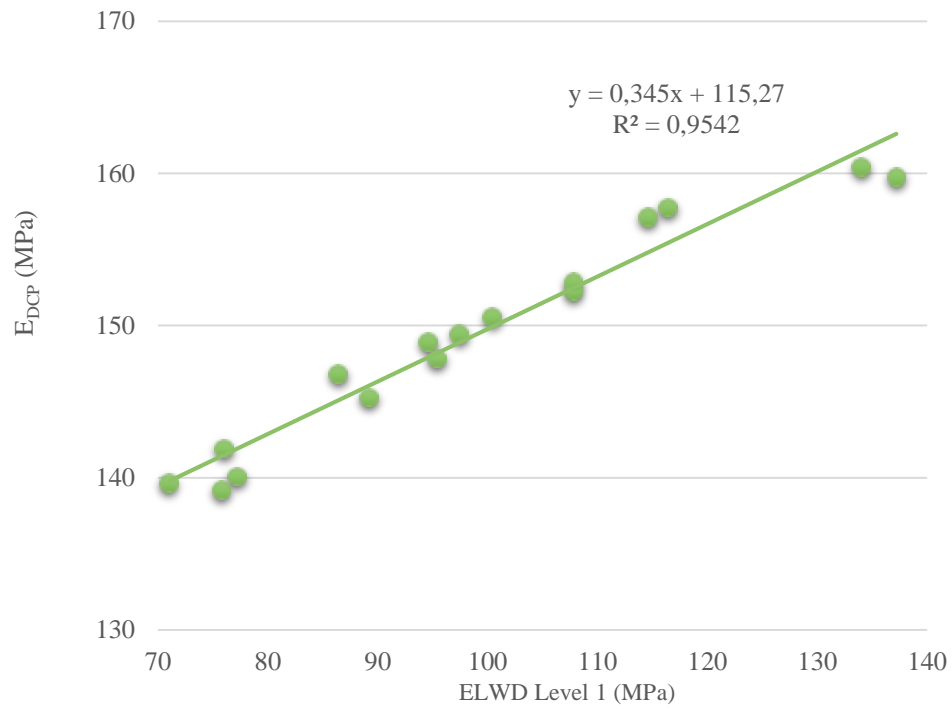
Kolerasi antara nilai DCPI dengan nilai  $E_{DCP}$  dari kajian Chen dkk (2005) membuktikan kolerasi sesuai/baik dilihat dari nilai regresi mendekati angka 1 dengan nilai ( $R^2$ ) = 0,9956. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.8. Dari Gambar 4.8 dapat disimpulkan semakin besar nilai DCPI semakin kecil nilai CBR (%), begitupun sebaliknya semakin kecil nilai DCPI semakin besar nilai CBR (%). Selain itu juga didukung dari penelitian yang telah dilakukan George (2009) dalam *Internasional Journal of Pavement Engineering* pada halaman 191, penelitian yang dilakukan di jalan Texas, yang mempunyai nilai kolerasi paling besar menggunakan penelitian menurut Chen dkk (2005).



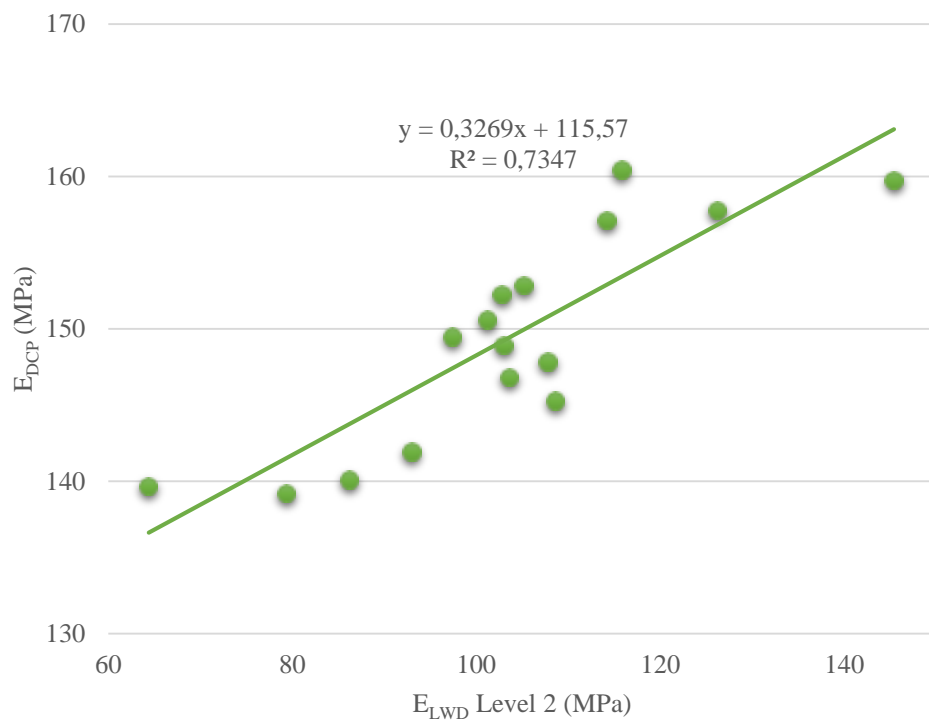
Gambar 4.8 Perbandingan Model Empirik DCPI -  $E_{DCP}$  (MPa) Menurut Chen dkk (2005)

#### 4.4 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 Penetrometer*). Hal ini dapat dibuktikan pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10.



Gambar 4.9 Perbandingan  $E_{LWD}$  Level 1 dengan  $E_{DCP}$



Gambar 4.10 Perbandingan  $E_{LWD}$  Level 2 dengan  $E_{DCP}$