

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

**4.1. Pengaruh Tinggi Jatuh pada Alat LWD**

Tingkatan beban pada alat LWD terdapat lima tingkatan yang dimulai dari level 1 sampai level 5. Pada pengujian ini level yang digunakan yaitu level 1 dan level 2 saja, karena jika menggunakan level yang lebih tinggi pada saat pengujian akan mengalami *clipping*, sehingga level beban yang digunakan harus diturunkan. Beban yang digunakan sebesar 12 kg, tinggi jatuh untuk level 1 sebesar 0,23 m, sedangkan tinggi jatuh untuk level 2 sebesar 0,33 m.

Dari pengujian LWD didapatkan hasil yaitu nilai modulus elastisitas. Modulus elastisitas dihitung dengan menggunakan teori setengah ruang elastis, tegangan kontak pelat, defleksi, dan membuat asumsi untuk distribusi tegangan. Hasil pengujian  $E_{LWD}$  level 1 dapat dilihat dari Tabel 4.1 dan  $E_{LWD}$  level 2 dapat dilihat dari Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian LWD Level 1

Titik	$d_0$ (mikrometer)	$d_1$ (mikrometer)	$d_2$ (mikrometer)	$E_{LWD}$ Alat (MPa)
1	815,8	570,1	92,9	57
	523,1	13,9	144,1	89
	614,7	11,2	142,3	75
	568	10,5	148,3	82
	571,2	11,5	137,9	81
	777,8	13,4	336,2	60
2	494,7	11,3	169,9	94
	418,7	12,7	180,9	111
	513,3	14,4	173,3	90
	411,4	15	182,5	113
	812,6	19,1	520,8	57
3	425,3	16,4	114,8	109
	454,2	18,8	109,5	102
	336	19,1	96,7	138
	346,9	15,4	92,7	134

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)
	840	22	392,8	55
	593,2	13,5	229	78
4	535,5	18,6	225,1	86
	518	11,1	205,4	89
	505,6	9,6	204	92
	1057,1	30,3	553,1	44
	639,5	8,2	138,6	72
5	542,7	10,1	134,1	85
	619,1	10,2	132,8	75
	467	13,1	129,6	99
	1137,4	9,1	449,5	41
	734	10,5	111,3	63
6	622,2	11,2	117,7	74
	496,1	12,7	117,8	93
	628,5	9	119,1	74
	1116,6	16,8	395,7	41
	678,2	11,7	87,4	68
7	491,5	13,1	104,7	94
	559,4	13,8	115,5	83
	491,3	13,5	123,7	94
	1256	14,2	476,2	37
	647	14,6	74,6	72
8	640	17,7	93,3	72
	638,3	19,5	86,5	73
	621,1	16,3	85,4	75
	924,3	37,3	317,7	50
	863,2	274,9	12,5	54
9	551,1	252	15	84
	671	238,9	15,5	69
	923,5	272,9	16	50
	1372,2	620,2	24,6	34
	658,2	70,7	15,4	70
10	759,5	113,5	14,7	61
	626,6	108,5	18	74
	740,1	120,1	15,3	63

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)
11	711,2	179	17,4	65
	645,7	190,6	23,2	72
	681,9	203,6	18,7	68
	510,1	179,5	28,9	91
	680,3	184	24,8	68
	865,9	409,9	46,1	53
12	837,8	193,8	18	55
	747,2	194,6	24,1	62
	750,7	194,5	15,7	62
	688,7	180,9	24,7	67
	1367,6	502,4	41,1	34
13	722,7	108,7	14,2	64
	657,3	114,4	12,6	70
	698,9	124,6	20,1	66
	656,4	125,9	20,5	71
	1027,9	367,7	28,7	45
14	775,8	84,3	6,5	60
	600,2	87,5	14,7	77
	719,9	92,2	14,1	64
	650,8	84,5	13,8	76
	589,3	171,7	11,9	79
15	636,3	178,9	11,8	73
	636,2	171,8	12,9	73
	620,2	181	11,8	75
	639,3	165,7	13,2	72
	864,7	370,8	28,6	54
16	680	203,4	13,8	68
	723	141,8	8,8	64
	693,5	130,3	12	67
	564,2	125,5	10,1	82

Tabel 4.2 Hasil 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	608,1	14,3	140,7	107
	698,4	31,6	329	93
	867,6	12,4	337,1	75
	780,6	17,2	352	83
	802,2	27	313,5	81
	425,1	13,4	153,1	153
2	691,9	23,2	459,6	94
	720,2	26,7	473,7	90
	710,7	20,2	480,4	91
	778,2	19,6	484,5	84
	379,2	18	108,2	171
3	835	26,6	366,9	78
	655,9	37,8	384,9	99
	687,9	29,7	395,4	94
	717,5	32,7	372,7	91
	463,6	8,4	187,3	140
4	759,1	25,2	529,1	86
	882,1	27,2	565,4	74
	782,6	23,1	529,7	83
	737,1	24,6	516	88
	619,7	11,9	136,1	105
5	1015,7	17,2	330,6	64
	702	29,2	305,2	93
	928,3	17,6	335,4	70
	716,8	30,7	295,5	91
	515,3	13,7	116,4	126
6	706	35,9	290,5	92
	708,8	33,7	307,1	92
	1215,9	12,1	350,6	53
	679,4	25,1	348,2	96
	684,2	10,4	98,4	95
7	966	22,4	296,9	67
	904,2	22,9	302,8	72
	1004,4	25,6	304,5	65
	1189,3	13,6	475,5	55

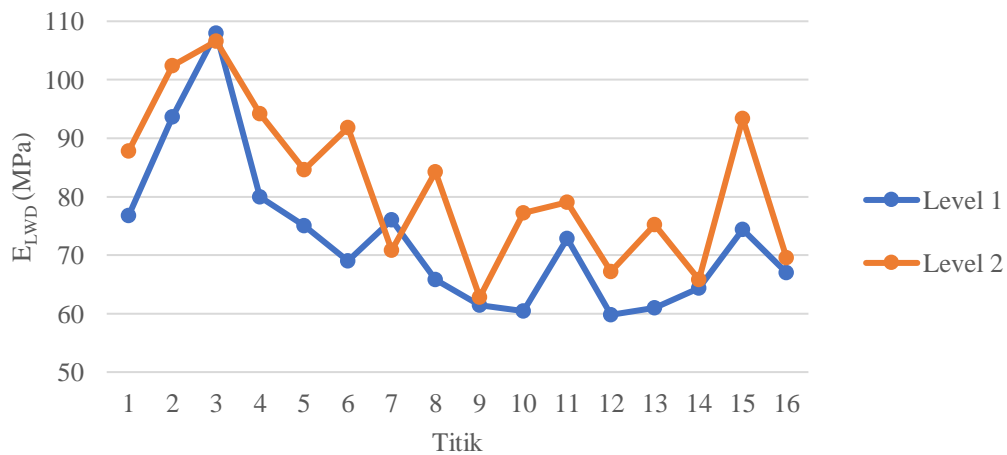
Tabel 4.2 Lanjutan

Titik	d <sub>0</sub> (mikrometer)	d <sub>1</sub> (mikrometer)	d <sub>2</sub> (mikrometer)	E <sub>LWD</sub> Alat (MPa)
8	626,9	15,9	91,5	104
	669,2	37,7	282,4	97
	898,2	37,4	257,7	72
	846,8	38,7	272	77
	920,9	37,9	322,9	71
	915,2	281,2	15,7	71
9	1052	519,4	32,2	62
	1041,2	541,4	34,5	62
	1105,3	606,4	30,8	59
	1090,5	606,7	28,5	60
10	528	99,4	18,9	123
	986,6	280,5	35,7	66
	1034,2	337,4	29,4	63
	1027,6	311,7	32,8	63
	915,4	321,4	39,9	71
	685,4	211,3	19,4	95
	667,4	369,2	47,9	97
11	1199,6	566,2	43	54
	763,2	429	48,1	85
	1008,2	447,5	49,6	64
	792	199,9	19,4	82
	952,1	503,5	39,4	68
12	1048,5	500,6	40,3	62
	1055	485,2	43,3	62
	1048,4	501,9	40,8	62
	721,3	131,8	14,7	90
13	872	358,4	32,6	75
	781,7	345,8	39,4	83
	987,5	339,3	34,1	66
	1048,1	351,8	31,3	62
	911,1	336,4	33	71
14	1043,5	349,5	31	62
	1007,2	336,9	27,1	65
	994,8	351,5	27,7	65
	988,6	357,9	29,6	66

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)
15	574	171	15,4	113
	810,4	507,6	35	80
	756,9	439,2	36,9	86
	653,5	399,8	30,7	99
	730,2	379,4	32,6	89
	708,4	119,2	8,5	92
16	738,4	396,7	25,4	88
	1071,3	391,3	21,7	61
	1214,3	371,3	30,3	54
	1215,4	346	24,1	53

Hasil  $E_{LWD}$  level 1 dan level 2 dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi beban yang dijatuhkan, maka semakin tinggi pula modulus elastisitas yang dihasilkan. Pada level 1 memiliki nilai modulus elastisitas yang kecil dibandingkan level 2, hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 4.1. Hasil nilai modulus elastisitas antara level 1 dengan level 2 mengalami kenaikan lendutan pada beberapa titik dengan presentase kenaikan sebesar 15,08% setiap titiknya. Selain mengalami kenaikan, ada 2 titik yang mengalami penurunan yaitu pada titik 3 dan 7 sebesar 4,07%.

Gambar 4.1 Hasil  $E_{LWD}$  Level 1 dan Level 2

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

Nilai defleksi digunakan sebagai ukuran kekakuan bahan dalam perhitungan modulus elastisitas. Modulus elastisitas dapat dihitung dari defleksi permukaan menggunakan persamaan *Boussinesq* atau setengah ruang elastis. Defleksi yang digunakan pada titik pembebanan adalah  $d_0$ . Berikut merupakan data-data untuk menganalisis  $E_{LWD}$  level 1 pada titik pertama.

Beban jatuh	= 12 kg
Percepatan gravitasi, g	= 9,81 m/s <sup>2</sup>
Tinggi drop, $h_1$	= 0,23 m (untuk level 1)
$h_2$	= 0,33 m (untuk level 2)
$d_0$	= 815,8 mikrometer
Jari jari pelat, a	= 15 mm
Poisson Rasio, $\mu$	= 0,35
Konstanta kekakuan material, C	= 449 x 10 <sup>8</sup> N/m (SNI 3966:2012)

Menurut Siegfried (2018) dalam jurnal jalan-jembatan halaman 80, nilai poisson rasio diambil sebesar 0,35 mengingat pengujian yang dilakukan berupa lapisan beraspal. Nilai konstanta material didapat dari SNI 3966:2012, nilai tersebut diambil sebab material yang digunakan merupakan bantalan karet. Berikut di bawah ini merupakan salah satu contoh perhitungan analisis  $E_{LWD}$ :

- 1) Perhitungan Gaya Terapan, F

$$\begin{aligned}
 F &= \sqrt{2 \times m \times g \times h \times C} \\
 &= \sqrt{2 \times 12 \times 9,81 \times 0,23 \times 449 \times 10^8} \\
 &= 1586982,561 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- 2) Perhitungan Tegangan Kontak,  $O_0$

$$\begin{aligned}
 O_0 &= \frac{F}{A} \\
 &= \frac{1586982,561}{3,14 \times 15^2}
 \end{aligned}$$

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

3) Perhitungan  $E_{LWD}$

$$E_{LWD} = \frac{3,14}{2} \times \frac{(1-\mu^2) \times O_0 \times a}{d_0}$$

Untuk K =  $\frac{3,14}{2}$  dan 2, untuk perkerasan lentur dan perkerasan kaku

$$E_{LWD} = \frac{3,14}{2} \times \frac{(1-0,35^2) \times 2246,26 \times 15}{815,8}$$

$$= 56,901 \text{ MPa}$$

Hasil perhitungan  $E_{LWD}$  secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4, sebagai berikut :

Tabel 4.3 Hasil Analisis Pengujian LWD Level 1

Titik	$d_0$ (mikrometer)	$d_1$ (mikrometer)	$d_2$ (mikrometer)	$E_{LWD}$ (MPa)
1	815,8	570,1	92,9	56,901
	523,1	13,9	144,1	88,739
	614,7	11,2	142,3	75,516
	568	10,5	148,3	81,725
	571,2	11,5	137,9	81,267
2	777,8	13,4	336,2	59,681
	494,7	11,3	169,9	93,834
	418,7	12,7	180,9	110,866
	513,3	14,4	173,3	90,433
	411,4	15	182,5	112,833
3	812,6	19,1	520,8	57,125
	425,3	16,4	114,8	109,145
	454,2	18,8	109,5	102,2
	336	19,1	96,7	138,153
	346,9	15,4	92,7	133,812
4	840	22	392,8	55,261
	593,2	13,5	229	78,253
	535,5	18,6	225,1	86,684
	518	11,1	205,4	89,613
	505,6	9,6	204	91,811



Tabel 4.3 Lanjutan

Titik	d <sub>0</sub> (mikrometer)	d <sub>1</sub> (mikrometer)	d <sub>2</sub> (mikrometer)	E <sub>LWD</sub> (MPa)
5	1057,1	30,3	553,1	43,912
	639,5	8,2	138,6	72,587
	542,7	10,1	134,1	85,534
	619,1	10,2	132,8	74,979
	467	13,1	129,6	99,399
6	1137,4	9,1	449,5	40,812
	734	10,5	111,3	63,242
	622,2	11,2	117,7	74,606
	496,1	12,7	117,8	93,569
	628,5	9	119,1	73,858
7	1116,6	16,8	395,7	41,572
	678,2	11,7	87,4	68,445
	491,5	13,1	104,7	94,445
	559,4	13,8	115,5	82,981
	491,3	13,5	123,7	94,483
8	1256	14,2	476,2	36,958
	647	14,6	74,6	71,746
	640	17,7	93,3	72,531
	638,3	19,5	86,5	72,724
	621,1	16,3	85,4	74,738
9	924,3	37,3	317,7	50,221
	863,2	274,9	12,5	53,776
	551,1	252	15	84,231
	671	238,9	15,5	69,18
	923,5	272,9	16	50,265
10	1372,2	620,2	24,6	33,829
	658,2	70,7	15,4	70,525
	759,5	113,5	14,7	61,119
	626,6	108,5	18	74,082
	740,1	120,1	15,3	62,721
11	711,2	179	17,4	65,269
	645,7	190,6	23,2	71,89
	681,9	203,6	18,7	68,074
	510,1	179,5	28,9	91,001
	680,3	184	24,8	68,234

Tabel 4.3 Lanjutan

Titik	d <sub>0</sub> (mikrometer)	d <sub>1</sub> (mikrometer)	d <sub>2</sub> (mikrometer)	E <sub>LWD</sub> (MPa)
	865,9	409,9	46,1	53,609
	837,8	193,8	18	55,407
12	747,2	194,6	24,1	62,125
	750,7	194,5	15,7	61,835
	688,7	180,9	24,7	67,402
	1367,6	502,4	41,1	33,943
	722,7	108,7	14,2	64,231
13	657,3	114,4	12,6	70,622
	698,9	124,6	20,1	66,418
	656,4	125,9	20,5	70,718
	1027,9	367,7	28,7	45,16
	775,8	84,3	6,5	59,835
14	600,2	87,5	14,7	77,34
	719,9	92,2	14,1	64,481
	650,8	84,5	13,8	71,327
	589,3	171,7	11,9	78,771
	636,3	178,9	11,8	72,952
15	636,2	171,8	12,9	72,964
	620,2	181	11,8	74,846
	639,3	165,7	13,2	72,61
	864,7	370,8	28,6	53,683
	680	203,4	13,8	68,264
16	723	141,8	8,8	64,204
	693,5	130,3	12	66,935
	564,2	125,5	10,1	82,275
	Nilai Minimal			33,829
	Nilai Maksimal			138,153
	Nilai Rata-Rata			72,9168
	Standar Deviasi			19,7323
	Koefisien Variasi			0,27061

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> (MPa)
1	608,1	14,3	140,7	108,307
	698,4	31,6	329	94,303
	867,6	12,4	337,1	75,912
	780,6	17,2	352	84,373
	802,2	27	313,5	82,101
2	425,1	13,4	153,1	154,931
	691,9	23,2	459,6	95,189
	720,2	26,7	473,7	91,449
	710,7	20,2	480,4	92,671
	778,2	19,6	484,5	84,633
3	379,2	18	108,2	173,685
	835	26,6	366,9	78,876
	655,9	37,8	384,9	100,414
	687,9	29,7	395,4	95,743
	717,5	32,7	372,7	91,793
4	463,6	8,4	187,3	142,065
	759,1	25,2	529,1	86,763
	882,1	27,2	565,4	74,664
	782,6	23,1	529,7	84,157
	737,1	24,6	516	89,352
5	619,7	11,9	136,1	106,279
	1015,7	17,2	330,6	64,844
	702	29,2	305,2	93,82
	928,3	17,6	335,4	70,949
	716,8	30,7	295,5	91,883
6	515,3	13,7	116,4	127,812
	706	35,9	290,5	93,288
	708,8	33,7	307,1	92,92
	1215,9	12,1	350,6	54,167
	679,4	25,1	348,2	96,941
7	684,2	10,4	98,4	96,26
	966	22,4	296,9	68,18
	904,2	22,9	302,8	72,84
	1004,4	25,6	304,5	65,573
	1189,3	13,6	475,5	55,379

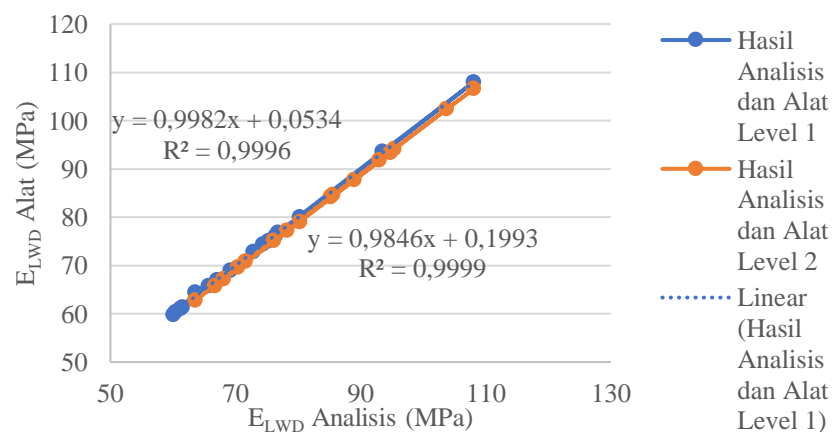
Tabel 4.4 Lanjutan

Titik	d <sub>0</sub> (mikrometer)	d <sub>1</sub> (mikrometer)	d <sub>2</sub> (mikrometer)	E <sub>LWD</sub> (MPa)
8	626,9	15,9	91,5	105,059
	669,2	37,7	282,4	98,418
	898,2	37,4	257,7	73,326
	846,8	38,7	272	77,777
	920,9	37,9	322,9	71,519
	915,2	281,2	15,7	71,964
9	1052	519,4	32,2	62,606
	1041,2	541,4	34,5	63,255
	1105,3	606,4	30,8	59,587
	1090,5	606,7	28,5	60,396
	528	99,4	18,9	124,737
10	986,6	280,5	35,7	66,756
	1034,2	337,4	29,4	63,684
	1027,6	311,7	32,8	64,093
	915,4	321,4	39,9	71,948
	685,4	211,3	19,4	96,092
11	667,4	369,2	47,9	98,684
	1199,6	566,2	43	54,903
	763,2	429	48,1	86,296
	1008,2	447,5	49,6	65,326
	792	199,9	19,4	83,158
12	952,1	503,5	39,4	69,175
	1048,5	500,6	40,3	62,815
	1055	485,2	43,3	62,428
	1048,4	501,9	40,8	62,821
	721,3	131,8	14,7	91,309
13	872	358,4	32,6	75,529
	781,7	345,8	39,4	84,254
	987,5	339,3	34,1	66,695
	1048,1	351,8	31,3	62,839
	911,1	336,4	33	72,288
14	1043,5	349,5	31	63,116
	1007,2	336,9	27,1	65,391
	994,8	351,5	27,7	66,206
	988,6	357,9	29,6	66,621

Tabel 4.4 Lanjutan

Titik	d <sub>0</sub> (mikrometer)	d <sub>1</sub> (mikrometer)	d <sub>2</sub> (mikrometer)	E <sub>LWD</sub> (MPa)
	574	171	15,4	114,741
	810,4	507,6	35	81,27
15	756,9	439,2	36,9	87,015
	653,5	399,8	30,7	100,783
	730,2	379,4	32,6	90,196
	708,4	119,2	8,5	92,972
	738,4	396,7	25,4	89,195
16	1071,3	391,3	21,7	61,478
	1214,3	371,3	30,3	54,238
	1215,4	346	24,1	54,189
	Nilai Minimal			54,167
	Nilai Maksimal			173,685
	Nilai Rata-Rata			83,1208
	Standar Deviasi			22,3118
	Koefisien Variasi			0,26843

Berdasarkan Gambar 4.2 dapat dilihat perbandingan nilai modulus elastisitas level 1 dan level 2 dari hasil pengukuran di lapangan dengan hasil perhitungan manual memiliki nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,9996 dan 0,9999. Hal ini membuktikan bahwa modulus elastisitas menggunakan persamaan *Boussinesq* mempunyai hubungan yang cukup kuat dari hasil analisis dengan hasil alat.

Gambar 4.2 Perbandingan E<sub>LWD</sub> (Analisis) dan E<sub>LWD</sub> (Alat)

### 4.3. Keseragaman Lapisan yang Diuji

Koefisien variasi merupakan nilai perbandingan antara standar deviasi dengan nilai rata-rata. Menurut AASHTO 1993, dalam jurnal Siegfried mempunyai persyaratan angka koefisien variasi sebesar 30%. Dari hasil perhitungan LWD diperoleh nilai koefisien variasi level 1 dan level 2 sebesar 27% dan 26,8%, dapat dilihat dari Tabel 4.3 dan Tabel 4.4. Hal tersebut membuktikan semakin kecil angka koefisien variasi dari nilai yang disyaratkan, semakin baik pula keseragamannya.

### 4.4. Uji Validitas Dan Realibilitas

Dari data yang dihasilkan akan dilakukan uji statistik yang menggunakan program SPSS, dengan cara uji validitas dan realibilitas. Hasil yang didapat dalam uji validitas dapat ditunjukkan pada Gambar 4.3 yang memperlihatkan berbagai informasi. Pada kolom pertama yaitu Pearson Correlation atau R hitung, kemudian kolom kedua yaitu Sig. (2-tailed) atau signifikansi pada dua angka desimal., sedangkan N yaitu jumlah sampel. Hasil yang didapat dari uji validitas dengan melihat nilai Sig. (2-tailed) sebesar 0,000, dari pernyataan ini data tersebut merupakan data yang valid, karena nilai signifikasinya dibawah 0,01.

**Correlations**

		elwd1	elwd2
elwd1	Pearson Correlation	1	1.000**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	160	160
elwd2	Pearson Correlation	1.000**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	160	160

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

Gambar 4.3 Hasil Uji Validasi

Salah satu alat ukur realibilitas adalah *Cronbach's Alpha*. *Cronbach's Alpha* merupakan suatu pengukuran keandalan. Hasil uji realibilitas dapat dilihat

pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5. Pada Gambar 4.3 memberikan informasi tentang jumlah sampel (N) sebanyak 160 data, dari data tersebut tidak ada yang kosong maka jumlah valid adalah 100%. Pada Gambar 4.4 diketahui N of Items (banyaknya item) sebanyak 2 item dengan nilai *Cronbach's Alpha* sebesar 1. Dalam buku (Sujarweni, 2014) halaman 193 menyatakan bahwa nilai *Cronbach's Alpha* > 0,60 maka data tersebut dinyatakan reliabel atau konsisten.

**Case Processing Summary**

		N	%
Cases	Valid	160	100.0
	Excluded <sup>a</sup>	0	.0
	Total	160	100.0

a. Listwise deletion based on all variables in the procedure.

Gambar 4.4 Hasil Uji Realibilitas bagian *Case Processing Summary*

**Reliability Statistics**

Cronbach's Alpha	N of Items
1.000	2

Gambar 4.5 Hasil Uji Realibilitas

## 4.5. Pengujian Perbandingan DCP dengan Modulus Elastisitas

### 4.5.1. Hasil Pengujian Nilai DCP

DCP penetrasi jarak pada setiap jatuhan (mm/pukulan) atau biasa dikenal sebagai indeks DCP penetrasi (PI) atau tingkat penetrasi (PR). Penetrasi (PI) digunakan untuk memperkirakan kekuatan geser dan modulus bahan terikat yang menggunakan hubungan empiris. Pengujian DCP pada penelitian ini dilakukan setelah pengujian LWD pada titik yang sama dengan satu kali tumbukan. Dari hasil pengujian DCP yang dilakukan didapat nilai DCP rata-rata (mm/pukulan). Data pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Nilai DCP

Titik	Kumulatif tumbukan (pukulan)	Penetrasi (mm)	Kumulatif Penetrasi (mm)	DCPI (mm/pukulan)
1	1	2	2	3,125
	2	3	5	
	3	3,5	8,5	
	4	4	12,5	
2	1	1	1	2,65
	2	2	3	
	3	3,6	6,6	
	4	4	10,6	
3	1	1	1	2,45
	2	1,6	2,6	
	3	3,2	5,8	
	4	4	9,8	
4	1	1,3	1,3	2,95
	2	2,5	3,8	
	3	3,4	7,2	
	4	4,6	11,8	
5	1	2	2	3,2
	2	2,5	4,5	
	3	3	7,5	
	4	5,3	12,8	
6	1	2	2	3,175
	2	2,5	4,5	
	3	3,2	7,7	
	4	5	12,7	
7	1	1,1	1,1	3,325
	2	2,5	3,6	
	3	3,5	7,1	
	4	6,2	13,3	
8	1	1	1	3,375
	2	2,5	3,5	
	3	4,2	7,7	
	4	5,8	13,5	
9	1	2	2	3,925
	2	3,5	5,5	
	3	4,7	10,2	
	4	5,5	15,7	



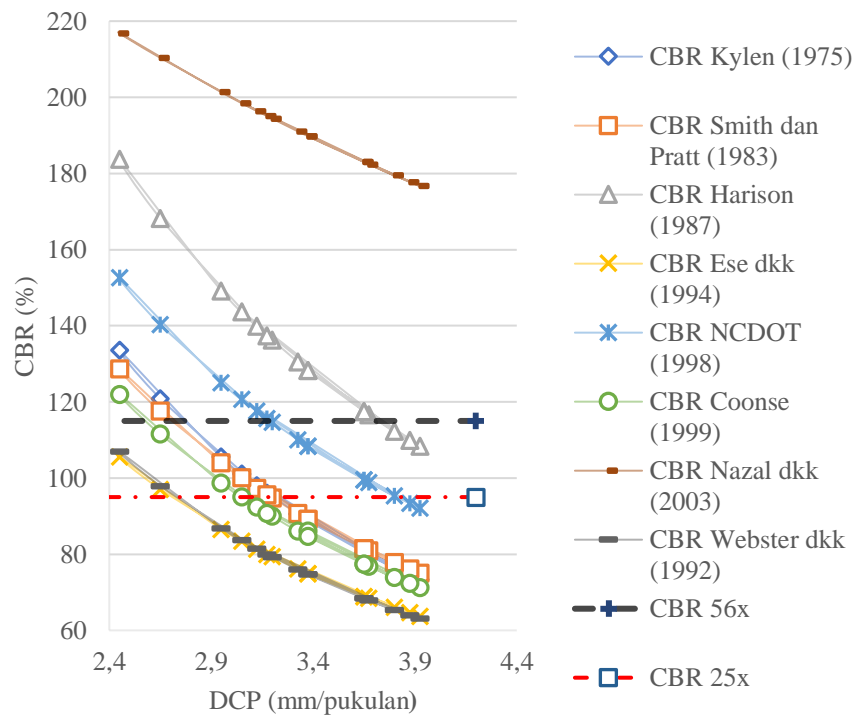
Tabel 4.5 Lanjutan

Titik	Kumulatif tumbukan (pukulan)	Penetrasi (mm)	Kumulatif Penetrasi (mm)	DCPI (mm/pukulan)
10	1	2	2	3,675
	2	3,5	5,5	
	3	4,2	9,7	
	4	5	14,7	
11	1	1,5	1,5	3,375
	2	3,5	5	
	3	4	9	
	4	4,5	13,5	
12	1	2	2	3,875
	2	3,5	5,5	
	3	4	9,5	
	4	6	15,5	
13	1	1	1	3,65
	2	3	4	
	3	4,5	8,5	
	4	6,1	14,6	
14	1	2,5	2,5	3,8
	2	3,7	6,2	
	3	4	10,2	
	4	5	15,2	
15	1	1,5	1,5	3,05
	2	2	3,5	
	3	3,8	7,3	
	4	4,9	12,2	
16	1	2	2	3,65
	2	3,5	5,5	
	3	4	9,5	
	4	5,1	14,6	

#### 4.5.2. Korelasi Nilai CBR dan DCPI

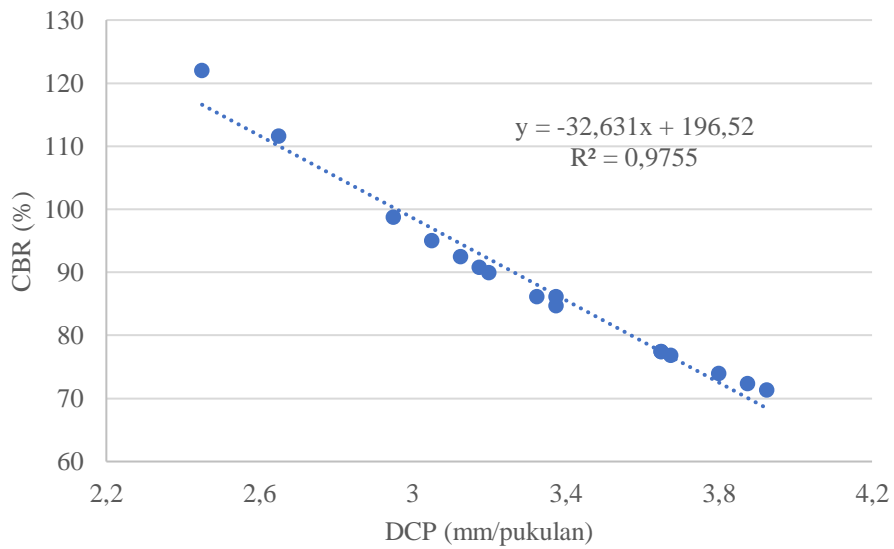
Pengujian DCP merupakan pengujian untuk menentukan nilai kepadatan tanah, yang hasil akhirnya berupa nilai CBR. Untuk mendapatkan nilai CBR, hasil uji DCP ini dikorelasikan dengan suatu rumusan korelasi nilai CBR-DCP. Dari beberapa penelitian yang dilakukan oleh (1) Kleyn (1975), (2) Smith dan Pratt (1983), (3) Harison (1987), (4) Ese dkk (1994), (5) NCDOT (1998), (6) Coonse (1999), (7) Nazal dkk (2003), dan (8) Webster dkk (1992), telah dikembangkan sejumlah korelasi antara nilai CBR dan DCPI. Hasil CBR model empirik menurut DCP-PI ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Hasil perbandingan model empirik CBR-DCP dari penelitian Uz dkk (2015) ditunjukkan pada Gambar 4.6. Untuk mengetahui persamaan nilai CBR-DCP yang akan digunakan, dapat dilakukan dengan cara memplotting nilai CBR desain dari pengujian CBR laboratorium, dengan menggunakan 3 macam tumbukan yaitu 10, 25 dan 56 kali. Kemudian dari masing-masing tumbukan diambil nilai CBR desain yang jumlah tumbukannya sebesar 56 kali, karena dianggap dengan tumbukan tersebut agregat lebih padat. Nilai CBR desain yang diperoleh sebesar 115%. Dari nilai tersebut ditarik garis horizontal, dari garis tersebut terdapat persamaan-persamaan yang bersinggungan dengan garis CBR desain, sehingga persamaan garis yang bersinggungan adalah persamaan-persamaan yang dapat digunakan. Persamaan yang bersinggungan dengan garis CBR desain dapat dilihat pada Gambar 4.6 yang merupakan persamaan dari peneliti (1) Kylen (1975), (2) Smith dan Pratt (1983), (3) Harison (1987), (5) NCDOT (1998), (6) Coonse (1999).



Gambar 4.6 Perbandingan Model Empirik CBR-DCP

Berdasarkan hasil dari beberapa penelitian di atas untuk mendapatkan nilai CBR, diperoleh hasil korelasi menurut George dkk (2009) dari penelitian Coonse (1999). Hasil korelasi dari penelitian Coonse (1999) dapat ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Hasil Korelasi Penelitian Coonse (1999)

Tabel 4.6 Hasil CBR model menurut DCP-PI

Titik	DCPI (mm/pukulan)	CBR 1 (%)	CBR 2 (%)	CBR 3 (%)	CBR 4 (%)	CBR 5 (%)	CBR 6 (%)	CBR 7 (%)	CBR 8 (%)
1	3,125	98,071	97,364	139,884	81,379	117,628	92,442	196,418	81,427
2	2,65	120,915	117,594	168,254	97,08	140,323	111,557	210,385	97,942
3	2,45	133,586	128,649	183,711	105,583	152,614	121,997	216,881	106,939
4	2,95	105,518	104,005	149,211	86,555	125,11	98,719	201,341	86,856
5	3,2	95,162	94,756	136,218	79,34	114,681	89,976	194,381	79,293
6	3,175	96,114	95,611	137,42	80,009	115,647	90,784	195,055	79,993
7	3,325	90,641	90,688	130,495	76,153	110,074	86,13	191,079	75,962
8	3,375	88,94	89,152	128,332	74,946	108,33	86,13	189,79	74,703
9	3,925	73,422	74,999	108,368	63,767	92,171	71,289	176,681	63,082
10	3,675	79,823	80,869	116,658	68,419	98,896	76,843	182,407	67,907
11	3,375	88,94	89,152	128,332	74,946	108,33	84,677	189,79	74,703
12	3,875	74,627	76,108	109,935	64,648	93,444	72,338	177,797	63,994
13	3,65	80,518	81,504	117,553	68,921	99,621	77,443	183	68,428
14	3,8	76,503	77,831	112,368	66,014	95,419	73,968	179,498	65,41
15	3,05	101,144	100,11	143,743	83,522	120,726	95,038	198,498	83,673
16	3,65	80,518	81,504	117,553	68,921	99,621	77,443	183	68,428

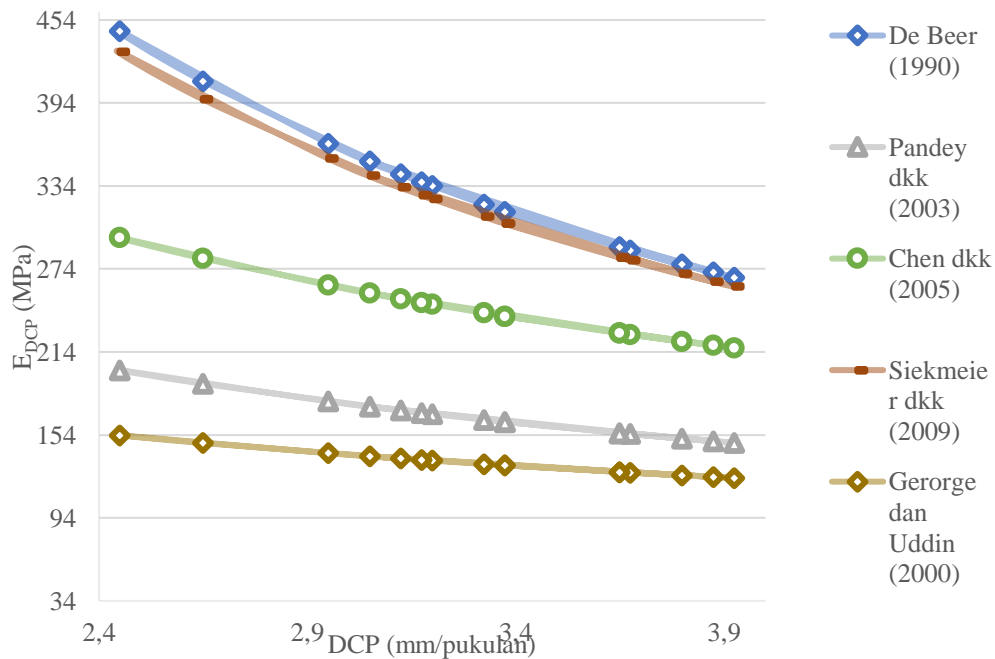
### 4.5.3. Korelasi Modulus Elastisitas dan DCPI

Korelasi antara nilai DCPI dan modulus elastisitas dapat digunakan untuk pengukuran kekakuan hasil pengujian *Light Weight Deflectometer* (LWD). Dari beberapa penelitian yang digunakan untuk menghitung nilai modulus elastisitas seperti (1) De Beer (1990), (2) Pandey dkk (2003), (3) Chen dkk (2005), (4) Siekmeier dkk (2009), dan (5) George dan Uddin (2000) dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Modulus Elastisitas

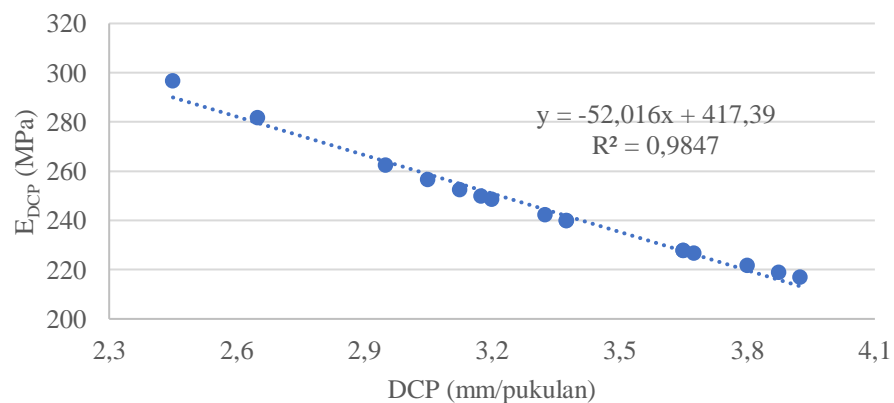
Titik	DCPI (mm/pukulan)	E <sub>DCP 1</sub> (MPa)	E <sub>DCP 2</sub> (MPa)	E <sub>DCP 3</sub> (MPa)	E <sub>DCP 4</sub> (MPa)	E <sub>DCP 5</sub> (MPa)
1	3,125	342,752	171,71	252,372	332,827	136,952
2	2,65	409,69	190,961	281,57	396,495	148,109
3	2,45	445,995	200,867	296,63	430,942	153,734
4	2,95	364,805	178,208	262,216	353,826	140,753
5	3,2	334,069	169,105	248,429	324,551	135,418
6	3,175	336,916	169,962	249,726	327,265	135,924
7	3,325	320,501	164,98	242,188	311,613	132,976
8	3,375	315,367	163,401	239,799	306,714	132,036
9	3,925	267,839	148,251	216,926	261,291	122,899
10	3,675	287,607	154,674	226,616	280,201	126,802
11	3,375	315,367	163,401	239,799	306,714	132,036
12	3,875	271,58	149,481	218,781	264,872	123,65
13	3,65	289,739	155,356	227,646	282,239	127,214
14	3,8	277,385	151,376	221,639	270,426	124,803
15	3,05	351,881	174,42	256,476	341,522	138,542
16	3,65	289,739	155,356	227,646	282,239	127,214

Hasil perbandingan model empirik DCP-E dari penelitian Uz dkk (2015) ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Hasil Perbandingan Model Empirik DCP-E

Menurut penelitian yang dilakukan George dkk (2009), hal ini dapat dibuktikan dengan dilakukannya penelitian Chen dkk (2005) pada jalan di Texas yang memiliki nilai korelasi yang cukup besar. Oleh karena itu, hubungan antara nilai DCPI dan modulus elastisitas dapat diperoleh hasil dari penelitian tersebut. Hasil korelasi dari penelitian Chen dkk (2005) ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Hasil Korelasi Penelitian Chen dkk (2005)

#### 4.6. Hasil Pengujian LWD dan DCP

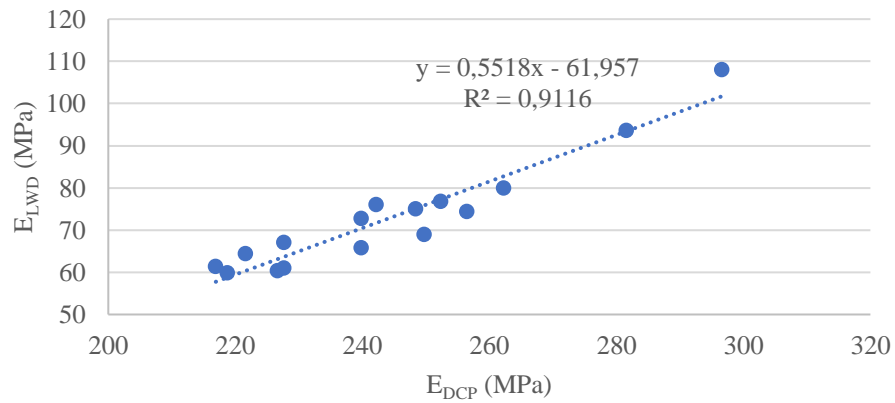
Hasil pengujian DCP dan LWD untuk 16 titik pengujian diberikan pada Tabel

Tabel 4.8 Hasil Pengujian

Titik	$E_{LWD}$ (MPa)	CBR 6 (%)	$E_{DCP}$ 3 (MPa)
1	76,8	92,442	252,372
2	93,6	111,557	281,57
3	108	121,997	296,63
4	80	98,719	262,216
5	75	89,976	248,429
6	69	90,784	249,726
7	76	86,13	242,188
8	65,8	86,13	239,799
9	61,4	71,289	216,926
10	60,4	76,843	226,616
11	72,8	84,677	239,799
12	59,8	72,338	218,781
13	61	77,443	227,646
14	64,4	73,968	221,639
15	74,4	95,038	256,476
16	67	77,443	227,646

##### 4.6.1. Korelasi Nilai $E_{DCP}$ dan $E_{LWD}$

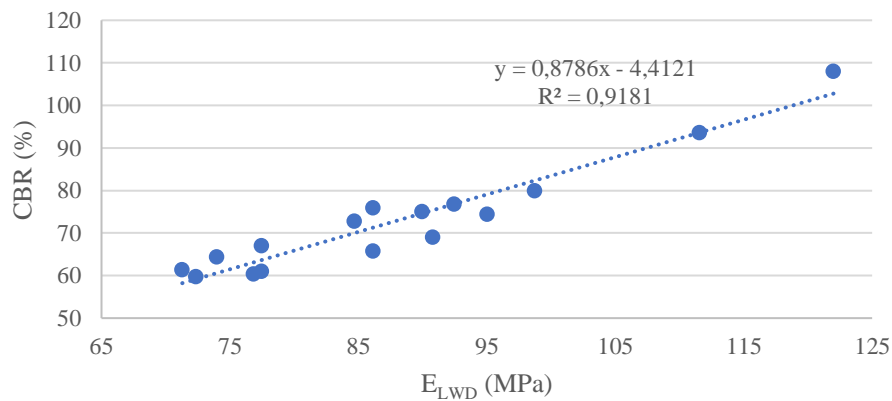
Korelasi antara pengujian DCP dan LWD dapat dilihat dari hasil kedua pengujian yang diplotkan satu sama lain. Hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4.10 menunjukkan korelasi antara nilai  $E_{DCP}$  dan  $E_{LWD}$ . Koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang dihasilkan sebesar 0,9116 dalam penelitian Chen dkk (2005). Dapat disimpulkan pengujian LWD dengan pengujian DCP dalam mengukur kekuatan struktural lapis pondasi atas (*base course*), data yang diambil lebih akurat dan parameter yang didapat sesuai dengan kebutuhan yaitu modulus elastisitas.



Gambar 4.10 Korelasi Nilai E<sub>DCP</sub> dan Nilai E<sub>LWD</sub>

#### 4.6.2. Korelasi Nilai CBR dan E<sub>LWD</sub>

Korelasi antara nilai CBR yang didapat dari pengujian DCP dan nilai E<sub>LWD</sub> dapat dilihat dari hasil kedua pengujian yang diplotkan satu sama lain. Hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 menunjukkan korelasi antara pengujian nilai CBR dan E<sub>LWD</sub>. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang dihasilkan sebesar 0,9181 dalam penelitian Coonse (1999).



Gambar 4.11 Korelasi Nilai CBR dan Nilai E<sub>LWD</sub>