

BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

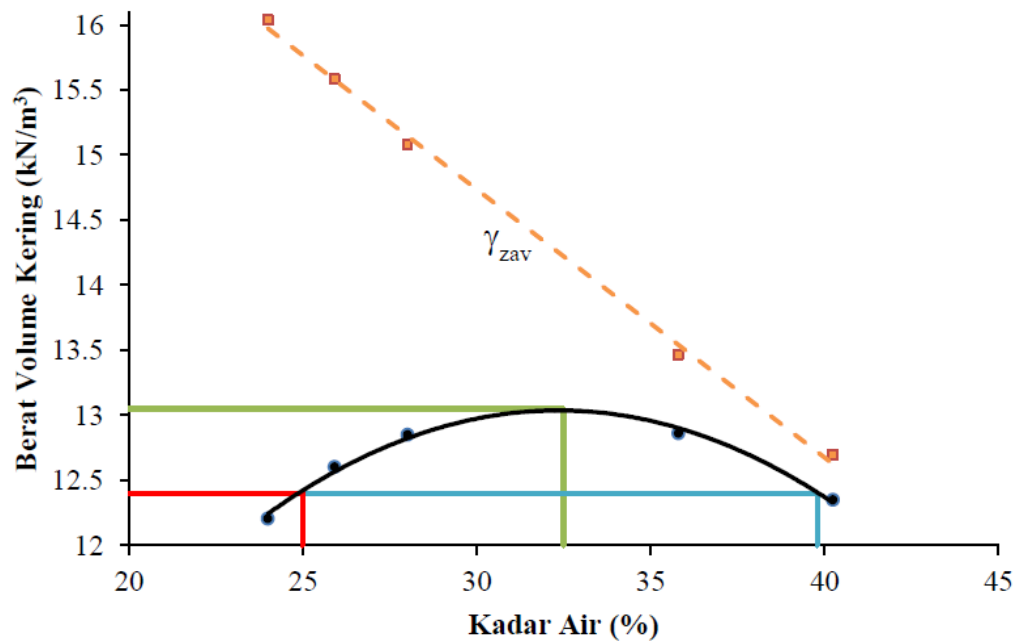
4.1. Hasil Pengujian Sifat Geoteknik Tanah

Tanah lempung yang memiliki tingkat plastisitas tinggi atau tergolong tanah CH (*clay-high plasticity*) berdasarkan klasifikasi USCS (*United Soil Clasification System*) ini dilakukan pengujian di laboratorium sebelum digunakan untuk penelitian. Hasil dari pengujian laboratorium dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Sifat Geoteknik Tanah

Pengujian	Hasil
Berat jenis	2,67
Batas cair, LL (<i>liquid limit</i>)	65,6%
Batas Plastis, PL (<i>plasticity limit</i>)	33,5%
Indeks Plastisitas, PI (<i>plasticity index</i>)	32,1%
Berat volume kering maksimum, MDD	13,05 Kn/m ³
Kadar air optimum, OMC	32,5%
Ukuran partikel tanah	
Lempung	9%
Lanau	76%
Pasir	15%

Adapun nilai ODM (*Optimum Dry Moisture content*), dan nilai OWM (*Optimum Wet Moisture content*), didapatkan dari 95% nilai MDD (*Maximum Dry Density*) yaitu masing-masing sebesar 25%, dan 39,8%. Kurva pemadatan dari tanah lempung dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4.1 Pemasatan Tanah Lempung

4.2. Hasil Pengujian *Light Weight Deflectometer* (LWD)

Alat *Light Weight Deflectometer* (LWD), digunakan untuk menganalisis kondisi suatu perkerasan dengan nilai modulus elastisitas. Pada penelitian menggunakan level 1,2 dan level 3 karena apabila menggunakan level yang tinggi maka nilai tinggi jatuhnya akan semakin besar dan pada alat secara otomatis akan menginformasikan bahwa beban yang digunakan harus diturunkan. Level 1 mempunyai beban sebesar 1234 Kg dan tinggi jatuh 0,23 m, level 2 mempunyai beban sebesar 1744 Kg dan tinggi jatuh 0,33 m, dan beban untuk level 3 sebesar 1909 Kg dan tinggi jatuh 0,53 m. Hasil pengujian LWD dapat dilihat pada Tabel 4.2 untuk pengujian 0 hari, sedangkan untuk pengujian hari ke-3 dan ke-7 (terlampir).

Tabel 4.2 Hasil Pengujian LWD Level 1 0 hari

Titik	d ₀	d ₁	d ₂	E _{LWD} (MPa)
	Mikrometer			
1	1207	169,7	24,2	38
	1248,5	186,7	24,8	37
	1417,4	221	22,6	33
	1011,1	244,7	16,3	46
	1095,7	249,2	23,2	42
2	1299	858,3	100,9	36
	263,2	75,9	11,6	37
	446,2	92,7	13	57
	430,7	101,9	17,2	44
	426,5	129,6	12,1	43
3	805,6	97,8	15,4	57
	697	100,5	19,3	66
	1046,6	128,4	14	44
	819,4	120,8	23,1	57
	1105,9	143,9	15,8	42
4	1050,6	607,9	44,4	44
	1090,8	185,1	19	42
	1105,6	181,5	20,2	42
	1195,2	213,8	20	39
	1065,2	245,3	22,6	43
5	1339,9	807,9	72,5	35
	754,3	314,1	17,5	62
	583,3	379,7	24,5	79
	803,2	399,7	22,4	58
	821,3	414,5	22	56
6	1238,3	1075,5	104	37
	1123	347,4	17,1	41
	1071,1	310,7	19,3	43
	1217,5	383,1	17,2	38
	1258,7	458,3	18,6	37
7	1121,7	1142,9	56,3	41
	991,7	90,4	15,9	47
	844	114	19,2	55
	789,1	136,3	17,9	59
	788	151	17,5	59

Tabel 4.2 Lanjutan

Titik	d ₀	d ₁	d ₂	E _{LWD} (Mpa)
	Mikrometer			
	803	80,1	14	58
	569,4	97,1	18,7	81
8	667,3	90,9	12,7	69
	729,1	83,6	11,8	64
	596,9	93,5	19,6	78
	762,8	192,2	17,7	61
	705,4	183	15	66
9	693,3	200,2	15,3	67
	628	160	25,9	74
	537,3	142,8	29,5	86
	1208,5	960,4	78,3	38
	1191,9	122,7	13,2	39
10	1275	127,2	14,2	36
	1287,8	150,4	16,1	36
	1373,3	128,9	20,5	34
	1437,9	515,6	64,2	32
	1247,7	166,6	16,2	37
11	1079,4	161,2	15,8	43
	1234,4	137,4	17,7	38
	1454,2	143,1	15,9	32
	1648	476,2	33,1	28
	633,1	201,2	19,3	73
12	367,9	216,8	19,2	43
	411,6	252,3	19,4	33
	478	294,8	41,8	36
	1123,4	698,7	65,3	41
	1338,3	154,9	11,6	35
13	1433	166,5	16,5	32
	1063,7	171,8	18,1	44
	1380,4	151,6	15,7	34
	1169,4	777,1	59,8	40
	1521,8	167,8	11,2	30
14	1179,4	150,1	16,3	39
	1153,2	155,3	15,9	40
	1312,3	174,7	15,3	35

Tabel 4.2 Lanjutan

Titik	d ₀	d ₁	d ₂	E _{LWD} (MPa)
	Mikrometer			
15	1341	553,5	64,4	35
	736,8	211,5	33,4	63
	742,1	299,5	41,9	62
	784,4	318,8	44,4	59
	564,1	374,9	44,4	82
	1235,8	629,9	101,1	37
16	1035,9	180,4	18,1	45
	1008,8	145,5	16,4	46
	995,7	175,8	20	47
	1239,1	173,7	13,1	37
	Nilai minimal			28
	Nilai maksimal			86
	Nilai rata-rata			47,5125
	Standar deviasi			14,20732005
	Koefisien variasi			0,299022785

Berikut ini dapat dilihat hasil LWD pada pengujian 0 hari untuk pengujian menggunakan level 2, dari Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian LWD Level 2 0 hari

Titik	d ₀	d ₁	d ₂	E _{LWD} (MPa)
	Mikrometer			
1	1180,1	274,9	26	55
	1022,4	574,7	37,1	64
	962	533,6	63,6	68
	1240,2	637,4	48,9	52
	1239,2	663,3	50,6	52
	237,3	87,9	21,1	74
2	837,5	318,3	39,4	78
	687,7	538,3	53,4	94
	673,3	465,5	67,9	97
	785,9	549,6	57,6	83
	764,4	121,6	26,1	87
	812,3	565,2	49,1	80
3	853,4	741,5	42	76
	1253,8	825	37	52
	1033,9	637,9	51,4	63

Tabel 4.3 Lanjutan

Titik	d ₀	d ₁	d ₂	E _{LWD} (MPa)
	Mikrometer			
4	1343,9	252,8	22,3	48
	1279,6	500	43,2	51
	1320,8	499,3	57,3	49
	1232,3	504,4	42,1	53
	1498,3	649,4	50,9	43
	569,7	464,1	25,5	114
5	768,7	629	40,9	85
	624	737	46	104
	828,9	707,3	52,2	78
	824,5	990,9	46,1	79
	1222,7	383,7	18,9	53
6	995,5	837,3	67,1	65
	1197,5	818,4	44,6	54
	946,5	931,4	55,4	69
	1319,3	941,4	47,2	49
	776,4	158,4	16,4	84
7	808,6	350,9	46,7	80
	873,3	444,4	44	74
	608,9	362,6	58,4	107
	748	588,2	39,5	87
8	1012,1	314,3	36,5	64
	1142,8	332,3	46,8	57
	1260,8	414	39,7	52
	988,7	538,5	39	66
	1273,2	547,4	39,9	51
	696,2	202	14,6	93
9	822	560,8	36,5	79
	794,2	573,6	33,9	82
	958,1	677,4	46,3	68
	1005,5	690,9	35	65
	1266	146	15,1	51
10	493,9	344,3	40,7	60
	420,4	299	43,6	72
	1102,2	354,6	41	59
	1120,5	413,2	52,1	58

Tabel 4.3 Lanjutan

Titik	d ₀	d ₁	d ₂	E _{LWD} (MPa)
	Mikrometer			
11	1186,6	165,3	19,5	55
	990,3	208,5	38,2	66
	1301,3	459	37,2	50
	1286,8	517,4	43,4	50
	1217,8	519,8	41,6	53
	1056,2	249,4	19,7	62
12	1298,5	565	30,8	50
	1287,1	587,3	32,4	50
	1208,6	601	35,2	54
	1227	600,7	33,9	53
	1096,9	158,9	15,6	59
13	1438,5	490	23,8	45
	1243	553,9	30,1	52
	1246,4	620,1	28	52
	1225,3	649,4	34,2	53
	1053,7	187,6	17,9	62
	953,8	377,2	29	68
14	702	337,7	36,6	93
	1006,2	369,2	39	65
	1041,2	426,6	27,3	62
	840	282,5	27,7	77
	685,3	677,1	60,6	95
15	950,7	753,8	66,7	68
	763,9	694,4	65,2	85
	934,8	649,7	86,8	70
	998,1	169,4	22,1	65
	581,4	359	59,7	72
16	901,8	473,5	40,4	72
	1201,8	431,9	38,1	54
	1471,6	420,9	48,7	44
	Nilai minimal			43
	Nilai maksimal			72
	Nilai rata-rata		65,5875	
	Standar deviasi		14,07953981	
	Koefisien variasi		0,214660809	

Berikut adalah hasil dari pengujian LWD pada pengujian 0 hari menggunakan level 3 yang dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian LWD Level 3 0 hari

Titik	d ₀	d ₁	d ₂	E _{LWD} (MPa)
	Mikrometer			
1	1458,1	688,3	58,3	49
	1386,1	732,9	70,7	51
	972,3	741,3	98,7	73
	1378,1	722,8	92,5	52
	1236,6	705,8	106,3	58
	813,1	553,1	60,8	87
2	918,9	836,4	85,4	77
	835,8	679,3	85,7	85
	1243,7	832,3	89,4	57
	1255,1	798,3	107	57
	1108,8	726,9	45,6	64
	1104,1	884,6	63,1	64
3	1276,6	943,4	63,2	56
	1287,3	970,6	59	55
	1254	818,4	42,3	57
	1439,7	439,8	46	49
	1682	748,2	69,4	42
	1432,5	679,6	70,2	50
4	1387,5	705,1	78,3	51
	1269	677	122	56
	996	968,5	66	71
	1126,3	1076,9	98,3	63
	1090,3	1097	97,8	65
	948	948,9	95,3	75
5	1147,1	1213,3	71,7	62
	1035,1	885,9	67,1	69
	1029,2	932,4	89,4	69
	1136,7	1088,4	66,7	63
	1283	1249	57,3	55
	1269,3	1233,2	57,7	56
6	857,8	654,5	45	83
	775,5	895,5	60	92
	797,5	1026	72,2	89
	1023,5	1064	70,4	70
	847,6	835,6	65,3	84

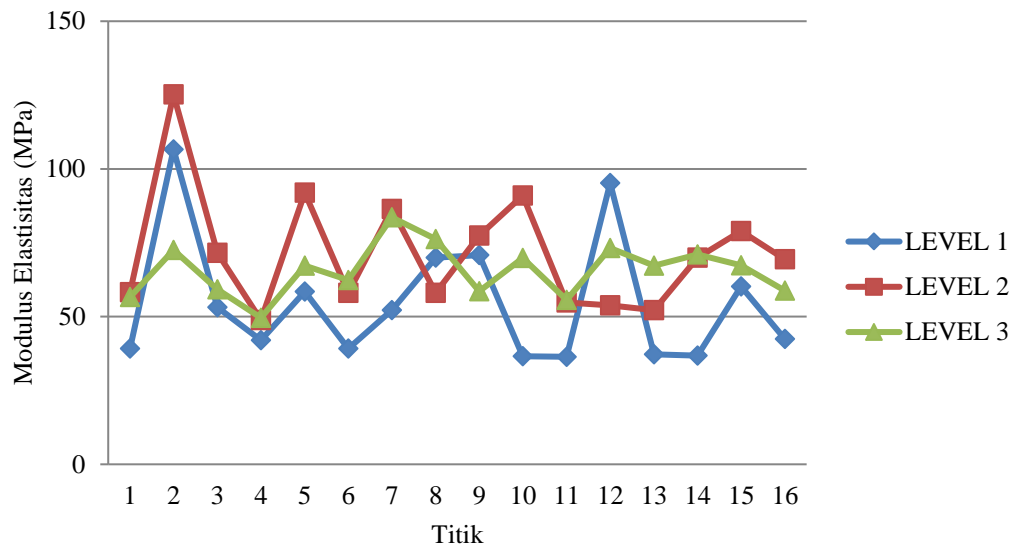
Tabel 4.4 Lanjutan

Titik	d ₀	d ₁	d ₂	E _{LWD} (MPa)
	Mikrometer			
8	818,7	476,2	39,7	87
	681	708,2	54	104
	1050,8	830	60,1	68
	1224,9	806	44,8	58
	1105	905,3	82,2	64
	844,4	683,6	36,2	84
	1497	912,6	58,1	48
9	1263,1	938,4	70,5	56
	1427	984	75,7	50
	1283,8	1080,4	55,6	55
	687,4	429	58,6	103
	1068	464,1	71,8	67
	1123,3	612,2	48,1	63
	1258,1	443,8	68,7	57
10	1205	573,8	85,2	59
	953,8	523,9	37,8	75
	1328,6	594,6	45,8	54
	1326,2	193,9	40,6	54
	1522,6	317,9	60,1	47
	1486	270,9	52,6	48
	1181	520,6	32,8	60
11	1082	740,7	49,6	66
	777	931,1	56,7	92
	871,2	1002,8	74	82
	1077	956,1	47,6	66
	834,8	666,3	34,2	85
	852,6	652,2	68,7	83
	1454	791,1	50,5	49
12	1228,6	837,2	53,9	58
	1160	823	54,9	61
	715,4	323,2	57,3	99
	935,4	476,9	49,8	76
	1471,5	477,1	39,6	48
	981,7	531,6	74,1	72
	1190,7	630,8	68	60

Tabel 4.4 Lanjutan

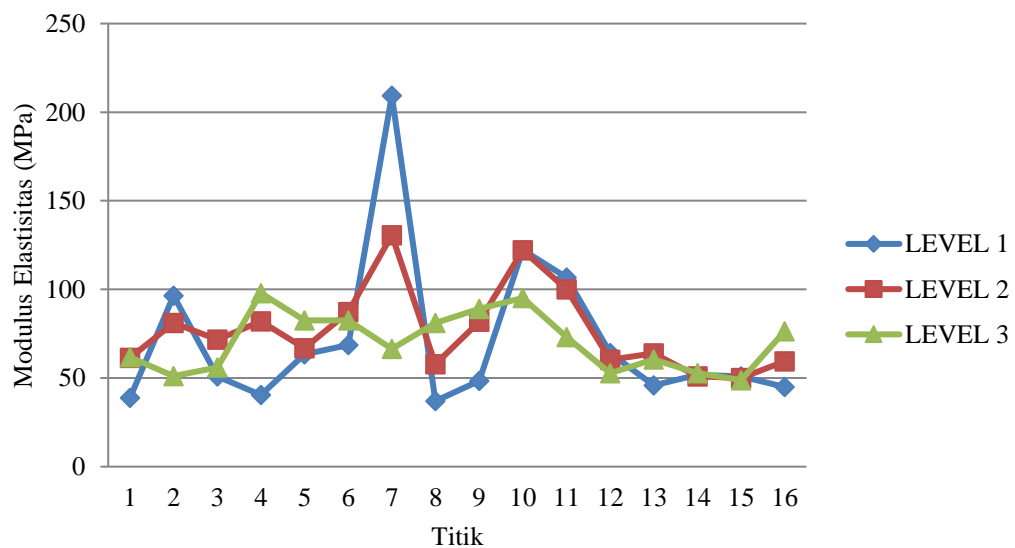
Titik	d ₀	d ₁	d ₂	E _{LWD} (MPa)
	Mikrometer			
15	838,8	668,5	65,8	85
	1299,3	808,4	99,4	55
	1152,2	759,8	86,7	62
	904,9	846,2	84,9	79
	1267,1	629,6	124,1	56
	1178,8	573,2	31,1	55
	1317,9	522,6	53	54
16	1500	801,1	52,7	47
	882,5	991,9	59,1	81
	1257,6	1011,5	50,2	57
	Nilai Minimal			42
	Nilai Maksimal			104
	Nilai Rata-Rata			65,5625
	Standar Deviasi			14,57746114
Koefisien Variasi			0,222344498	

Pada hasil pengujian hari ke-0 dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai tinggi jatuh pada setiap levelnya, maka semakin naik pula nilai modulus elastisitasnya, hal itu dapat dibuktikan pada Gambar 4.2 yaitu pada level 1 dapat dilihat nilai modulus elastisitasnya paling kecil, berikutnya level 2, dan nilai paling tinggi terletak pada level 3. Akan tetapi ada beberapa titik yang level 1 lebih besar daripada level 2 dan level 2 lebih besar dari level 3, hal itu disebabkan oleh beberapa faktor antara lain kurang meratanya penghamparan benda uji, dan pada saat pemadatan benda uji dilakukan dengan kurang maksimal. Hasil dari beberapa titik nilai rata-rata presentase kenaikan modulus elastisitas yang dihasilkan antara level 1 dengan level 2 adalah sebesar 44,25%, dan beberapa titik yang mengalami penurunan sebesar 12,38%. Sama dengan hasil presentase antara level 2 dengan level 3 sesudah dihitung yaitu memiliki beberapa titik yang mengalami kenaikan dan beberapa titik yang mengalami penurunan. Nilai presentase dari kenaikan antara level 2 dengan level 3 sebesar 12,94% sedangkan untuk penurunannya sebesar 19,32% pada setiap titik.

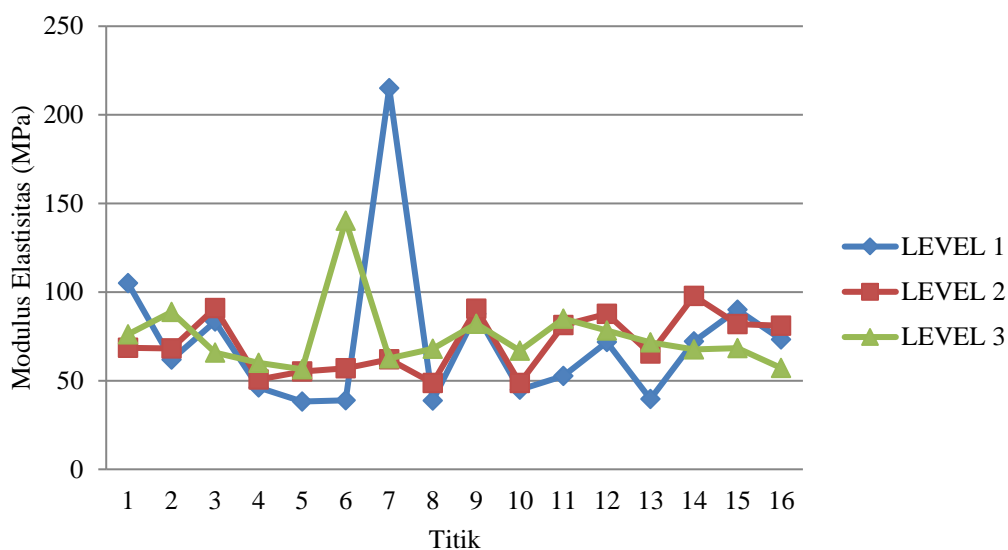


Gambar 4.2 Modulus Elastisitas Pada Pengujian 0 hari

Selanjutnya, untuk pengujian pada hari ke-3 maupun hari ke-7 nilai modulus elastisitasnya juga ada beberapa titik yang nilainya semakin naik sama seperti pengujian hari ke-0 dan ada juga yang nilai modulus elastisitasnya mengalami penurunan. Hal itu dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



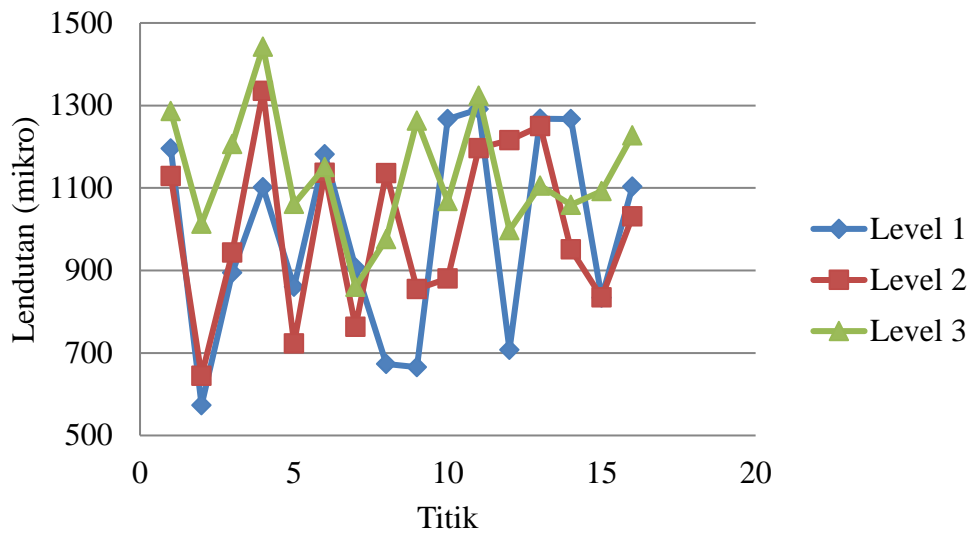
Gambar 4.3 Modulus Elastisitas Pada Pengujian 3 hari



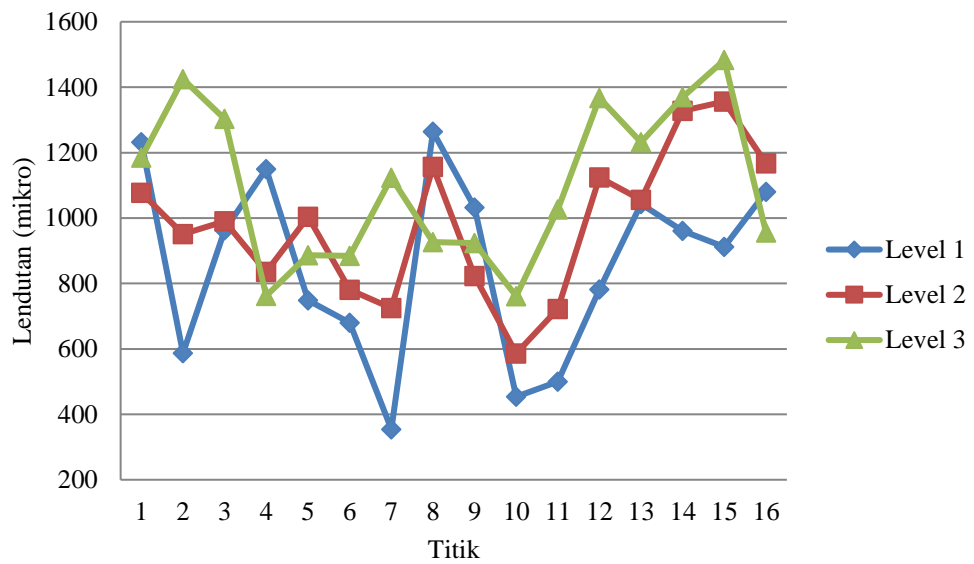
Gambar 4.4 Modulus Elastisitas Pada Pengujian 7 hari

Dari ketiga pengujian, didapatkan nilai minimal, nilai maksimal, nilai rata-rata, standar deviasi, dan nilai koefisien varian. Masing-masing pengujian mempunyai nilai yang dihasilkan dengan nilai yang sama. Koefisien varian adalah perbandingan antara nilai standar deviasi dengan nilai rata-rata dalam suatu data. Menurut AASHTO 1993, dalam Siegfried (2018) syarat angka koefisien varian maksimal adalah sebesar 30%. Pada pengujian hari ke-0 level 1 koefisien varian yang diperoleh sebesar 29,90%, level 2 sebesar 21,46%, dan pada level 3 sebesar 22,23%. Koefisien varian yang nilainya semakin kecil maka semakin baik pula keseragamannya.

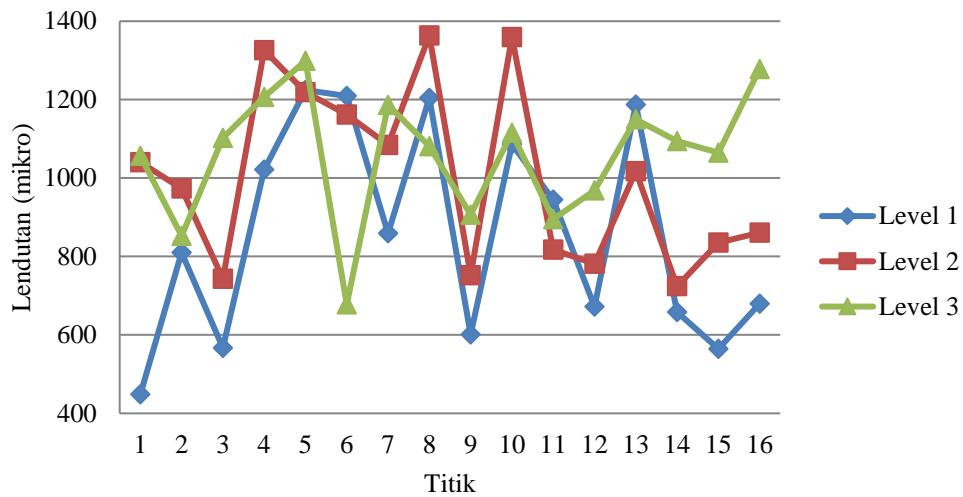
Pada pengujian ini, besar nilai tinggi jatuh juga berpengaruh dengan nilai lendutan yang didapatkan, karena semakin besar nilai tinggi jatuh pada setiap level, maka semakin besar pula nilai lendutan yang dihasilkan pada alat LWD tersebut. Nilai terkecil ada pada level 1 dan nilai yang terbesar ada pada level 3. Akan tetapi pada saat pengujian terdapat beberapa nilai lendutan yang tidak sesuai dikarenakan nilai tertinggi lendutan tidak terdapat pada nilai tinggi jatuh terbesar atau pada level 3, hal itu disebabkan karena tanah yang diuji pada saat dipadatkan kurang maksimal. Hasil lendutan dapat dilihat pada Gambar 4.5 sampai Gambar 4.7 di bawah ini.



Gambar 4.5 Lendutan Pengujian 0 hari



Gambar 4.6 Lendutan Pengujian 3 hari



Gambar 4.7 Lendutan Pengujian 7 hari

4.3. Analisis Perhitungan Modulus Elastisitas LWD (E_{LWD})

Perhitungan analisis E_{LWD} dengan menggunakan metode *Boussineq*, untuk data primer dapat dilihat lendutan dari alat LWD yang dihasilkan pada setiap titikny. Cara menganalisis data lendutan LWD yang pertama adalah menghitung gaya terapan dengan rumus :

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

Dimana :

Contoh hitungan pada Level 1 Titik 1 percobaan ke-1 pada hari ke-0

Massa beban jatuh = 12 Kg

Percepatan karena gravitasi = 9,81 m/s²

Tinggi drop : h₁ = 0,23 m (untuk level 1)

h₂ = 0,33 m (untuk level 2)

h₂ = 0,53 m (untuk level 3)

d₀ = 1207 mikrometer

μ = 0,35 (Rasio Poisson)

jari-jari plat (a) = 15 mm

Nilai poisson rasio yang dipakai pada perhitungan adalah sebesar 0,35 dikarenakan pengujian ini dilakukan pada lapisan perkerasan. Nilai konstanta material (C) berpedoman pada SNI 3966:2012, nilai yang dipakai sesuai dengan material tersebut yang berupa bantalan karet.

$$\text{Konstanta kekuatan material} = 449 \times 10^8 \text{ N/m}$$

$$F = \sqrt{2 \times 12 \times 9,81 \times 0,23 \times 449 \times 10^8}$$

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

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

$$= \frac{1586982,561}{3,14 \times 15^2} = 2246,26 \text{ MPa}$$

$$E_{LWD} = \frac{3,14}{2} \times \left(\frac{(1-\mu^2) \times \sigma_0 \times \alpha}{d_0} \right) \dots \dots \dots (4.3)$$

Dimana :

$$E_{LWD} = \frac{3,14}{2} \times \left(\frac{(1-0,35^2) \times 2246,26 \times 15}{1207} \right)$$

$$= 38,458 \text{ MPa}$$

Hasil analisa E_{LWD} yang telah dihitung dengan rumus *Boussineq* dapat dilihat pada Tabel 4.5 untuk pengujian hari ke-0, hasil yang didapatkan pada perhitungan analisis nilainya hampir sama dengan hasil yang didapatkan pada saat pengujian itu artinya nilai modulus elastisitas yang dihasilkan pada alat *Light Weigh Deflectometer* (LWD) dapat dipertanggungjawabkan.

Tabel 4.5 Hasil Analisis Pengujian LWD Level 1 Pengujian 0 hari

Titik	d ₀	d ₁	d ₂	E _{LWD} (MPa)
	Mikrometer			
1	1207	169,7	24,2	38,458
	1248,5	186,7	24,8	37,180
	1417,4	221	22,6	32,750
	1011,1	244,7	16,3	45,910
	1095,7	249,2	23,2	42,365
2	1299	858,3	100,9	35,735
	263,2	75,9	11,6	37,365
	446,2	92,7	13	57,032

Tabel 4.5 Lanjutan

Titik	d ₀	d ₁	d ₂	E _{LWD} (MPa)
	Mikrometer			
3	430,7	101,9	17,2	44,776
	426,5	129,6	12,1	43,837
	805,6	97,8	15,4	57,621
	697	100,5	19,3	66,599
	1046,6	128,4	14	44,352
	819,4	120,8	23,1	56,650
	1105,9	143,9	15,8	41,974
	1050,6	607,9	44,4	44,184
	1090,8	185,1	19	42,555
4	1105,6	181,5	20,2	41,986
	1195,2	213,8	20	38,838
	1065,2	245,3	22,6	43,578
	1339,9	807,9	72,5	34,644
	754,3	314,1	17,5	61,539
5	583,3	379,7	24,5	79,580
	803,2	399,7	22,4	57,793
	821,3	414,5	22	56,519
	1238,3	1075,5	104	37,486
6	1123	347,4	17,1	41,335
	1071,1	310,7	19,3	43,338
	1217,5	383,1	17,2	38,127
	1258,7	458,3	18,6	36,879
	1121,7	1142,9	56,3	41,383
	991,7	90,4	15,9	46,808
7	844	114	19,2	54,999
	789,1	136,3	17,9	58,826
	788	151	17,5	58,908
	803	80,1	14	57,807
	569,4	97,1	18,7	81,523
8	667,3	90,9	12,7	69,563
	729,1	83,6	11,8	63,666
	596,9	93,5	19,6	77,767
	762,8	192,2	17,7	60,854
	705,4	183	15	65,806
9	693,3	200,2	15,3	66,954
	628	160	25,9	73,916
	537,3	142,8	29,5	86,394

Tabel 4.5 Lanjutan

Titik	d ₀	d ₁	d ₂	E _{LWD} (MPa)
	Mikrometer			
10	1208,5	960,4	78,3	38,411
	1191,9	122,7	13,2	38,946
	1275	127,2	14,2	36,407
	1287,8	150,4	16,1	36,045
	1373,3	128,9	20,5	33,801
	1437,9	515,6	64,2	32,283
11	1247,7	166,6	16,2	37,204
	1079,4	161,2	15,8	43,005
	1234,4	137,4	17,7	37,605
	1454,2	143,1	15,9	31,921
	1648	476,2	33,1	28,167
12	633,1	201,2	19,3	73,321
	367,9	216,8	19,2	43,174
	411,6	252,3	19,4	33,778
	478	294,8	41,8	97,111
	1123,4	698,7	65,3	41,320
13	1338,3	154,9	11,6	34,685
	1433	166,5	16,5	32,393
	1063,7	171,8	18,1	43,639
	1380,4	151,6	15,7	33,627
	1169,4	777,1	59,8	39,695
14	1521,8	167,8	11,2	30,503
	1179,4	150,1	16,3	39,358
	1153,2	155,3	15,9	40,253
	1312,3	174,7	15,3	35,372
	1341	553,5	64,4	34,615
15	736,8	211,5	33,4	63,001
	742,1	299,5	41,9	62,551
	784,4	318,8	44,4	59,178
	564,1	374,9	44,4	82,289

Tabel 4.5 Lanjutan

Titik	d ₀	d ₁	d ₂	E _{LWD} (MPa)
	Mikrometer			
16	1235,8	629,9	101,1	37,562
	1035,9	180,4	18,1	44,810
	1008,8	145,5	16,4	46,014
	995,7	175,8	20	46,619
	1239,1	173,7	13,1	37,462
	Nilai minimal			28,167
	Nilai maksimal			86,364
	Nilai rata-rata			47,555
	Standar deviasi			14,199
	Koefisien variasi			0,298

Tabel 4.6 Hasil Analisis Pengujian LWD Level 2 Pengujian 0 hari

Titik	d ₀	d ₁	d ₂	E _{LWD} (MPa)
	Mikrometer			
1	1180,1	274,9	26	55,809
	1022,4	574,7	37,1	64,418
	962	533,6	63,6	68,463
	1240,2	637,4	48,9	53,105
	1239,2	663,3	50,6	53,148
	237,3	87,9	21,1	74,543
2	837,5	318,3	39,4	78,640
	687,7	538,3	53,4	95,770
	673,3	465,5	67,9	97,818
	785,9	549,6	57,6	83,803
3	764,4	121,6	26,1	86,160
	812,3	565,2	49,1	81,079
	853,4	741,5	42	77,175
	1253,8	825	37	52,529
	1033,9	637,9	51,4	63,702
	1343,9	252,8	22,3	49,007
4	1279,6	500	43,2	51,470
	1320,8	499,3	57,3	49,865
	1232,3	504,4	42,1	53,446
5	1498,3	649,4	50,9	43,958
	569,7	464,1	25,5	81,607
	768,7	629	40,9	85,679

Tabel 4.6 Lanjutan

Titik	d ₀	d ₁	d ₂	E _{LWD} (MPa)
	Mikrometer			
6	624	737	46	105,546
	828,9	707,3	52,2	79,456
	824,5	990,9	46,1	79,880
	1222,7	383,7	18,9	53,865
	995,5	837,3	67,1	66,159
	1197,5	818,4	44,6	54,999
	946,5	931,4	55,4	69,584
	1319,3	941,4	47,2	49,921
	776,4	158,4	16,4	84,829
	808,6	350,9	46,7	81,451
7	873,3	444,4	44	75,416
	608,9	362,6	58,4	108,164
	748	588,2	39,5	88,049
	1012,1	314,3	36,5	65,074
	1142,8	332,3	46,8	57,631
8	1260,8	414	39,7	52,238
	988,7	538,5	39	66,614
	1273,2	547,4	39,9	51,729
	696,2	202	14,6	94,601
	822	560,8	36,5	80,123
9	794,2	573,6	33,9	82,928
	958,1	677,4	46,3	68,741
	1005,5	690,9	35	65,501
	1266	146	15,1	52,023
10	493,9	344,3	40,7	133,349
	420,4	299	43,6	156,663
	1102,2	354,6	41	59,754
	1120,5	413,2	52,1	58,778
	1186,6	165,3	19,5	55,504
11	990,3	208,5	38,2	66,506
	1301,3	459	37,2	50,612
	1286,8	517,4	43,4	51,182
	1217,8	519,8	41,6	54,082
12	1056,2	249,4	19,7	62,357
	1298,5	565	30,8	50,721
	1287,1	587,3	32,4	51,170
	1208,6	601	35,2	54,494

Tabel 4.6 Lanjutan

Titik	d ₀	d ₁	d ₂	E _{LWD} (MPa)
	Mikrometer			
13	1227	600,7	33,9	53,677
	1096,9	158,9	15,6	60,043
	1438,5	490	23,8	45,785
	1243	553,9	30,1	52,986
	1246,4	620,1	28	52,841
	1225,3	649,4	34,2	53,751
	1053,7	187,6	17,9	62,505
14	953,8	377,2	29	69,051
	702	337,7	36,6	93,819
	1006,2	369,2	39	65,455
	1041,2	426,6	27,3	63,255
	840	282,5	27,7	78,406
15	685,3	677,1	60,6	96,105
	950,7	753,8	66,7	69,276
	763,9	694,4	65,2	86,217
	934,8	649,7	86,8	70,455
	998,1	169,4	22,1	65,986
16	581,4	359	59,7	72,280
	901,8	473,5	40,4	73,032
	1201,8	431,9	38,1	54,802
	1471,6	420,9	48,7	44,754
	Nilai minimal			43,957
Nilai maksimal			97,543	
Nilai rata-rata			65,542	
Standar deviasi			14,249	
Koefisien variasi			0,211	

Tabel 4.7 Hasil Analisis Pengujian LWD Level 3 Pengujian 0 hari

Titik	d ₀	d ₁	d ₂	E _{LWD} (MPa)
	Mikrometer			
1	1458,1	688,3	58,3	49,359
	1386,1	732,9	70,7	51,923
	972,3	741,3	98,7	74,021
	1378,1	722,8	92,5	52,224
	1236,6	705,8	106,3	58,200

Tabel 4.7 Lanjutan

Titik	d ₀	d ₁	d ₂	E _{LWD} (MPa)
	Mikrometer			
2	813,1	553,1	60,8	88,513
	918,9	836,4	85,4	78,322
	835,8	679,3	85,7	86,109
	1243,7	832,3	89,4	57,868
	1255,1	798,3	107	57,342
	1108,8	726,9	45,6	64,908
3	1104,1	884,6	63,1	65,185
	1276,6	943,4	63,2	56,376
	1287,3	970,6	59	55,908
	1254	818,4	42,3	57,393
	1439,7	439,8	46	49,989
	1682	748,2	69,4	42,788
4	1432,5	679,6	70,2	50,241
	1387,5	705,1	78,3	51,870
	1269	677	122	56,714
	996	968,5	66	72,259
	1126,3	1076,9	98,3	63,899
	1090,3	1097	97,8	66,009
5	948	948,9	95,3	75,918
	1147,1	1213,3	71,7	62,741
	1035,1	885,9	67,1	69,529
	1029,2	932,4	89,4	69,928
	1136,7	1088,4	66,7	63,315
	1283	1249	57,3	56,095
6	1269,3	1233,2	57,7	56,701
	857,8	654,5	45	83,901
	775,5	895,5	60	92,805
	797,5	1026	72,2	90,245
	1023,5	1064	70,4	70,318
	847,6	835,6	65,3	84,911
7	818,7	476,2	39,7	87,908
	681	708,2	54	105,683
	1050,8	830	60,1	68,491
	1224,9	806	44,8	58,756
	1105	905,3	82,2	65,131

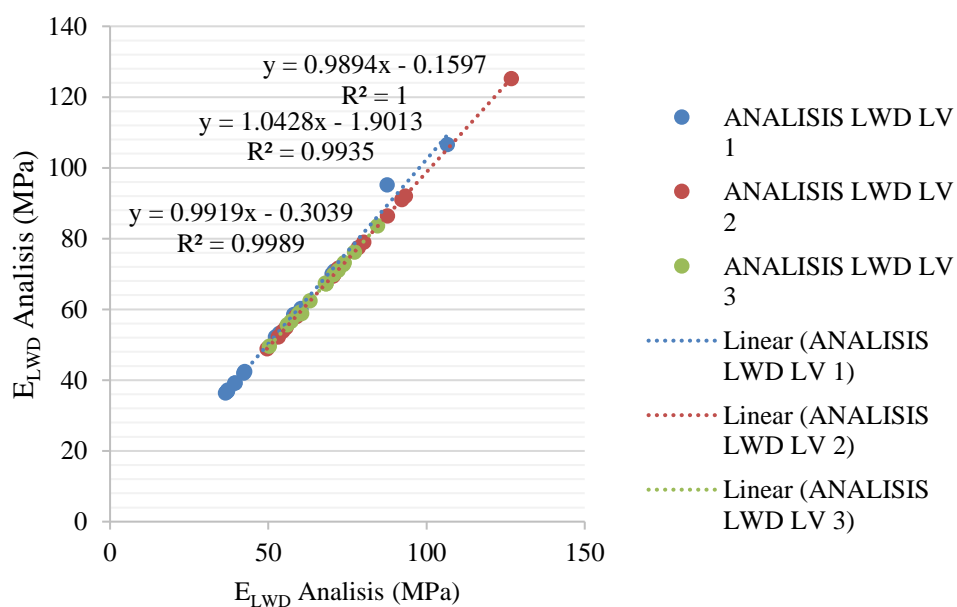
Tabel 4.7 Lanjutan

Titik	d ₀	d ₁	d ₂	E _{LWD} (MPa)
	Mikrometer			
9	844,4	683,6	36,2	85,232
	1497	912,6	58,1	48,077
	1263,1	938,4	70,5	56,979
	1427	984	75,7	50,435
	1283,8	1080,4	55,6	56,063
10	687,4	429	58,6	104,699
	1068	464,1	71,8	67,388
	1123,3	612,2	48,1	64,070
	1258,1	443,8	68,7	57,205
	1205	573,8	85,2	59,726
11	953,8	523,9	37,8	75,456
	1328,6	594,6	45,8	54,169
	1326,2	193,9	40,6	54,268
	1522,6	317,9	60,1	47,268
	1486	270,9	52,6	48,432
12	1181	520,6	32,8	60,940
	1082	740,7	49,6	66,516
	777	931,1	56,7	92,626
	871,2	1002,8	74	82,610
	1077	956,1	47,6	66,825
13	834,8	666,3	34,2	86,213
	852,6	652,2	68,7	84,413
	1454	791,1	50,5	49,498
	1228,6	837,2	53,9	58,579
	1160	823	54,9	62,043
14	715,4	323,2	57,3	100,601
	935,4	476,9	49,8	76,941
	1471,5	477,1	39,6	48,909
	981,7	531,6	74,1	73,312
	1190,7	630,8	68	60,444
15	838,8	668,5	65,8	85,801
	1299,3	808,4	99,4	55,392
	1152,2	759,8	86,7	62,463
	904,9	846,2	84,9	79,534
	1267,1	629,6	124,1	56,799

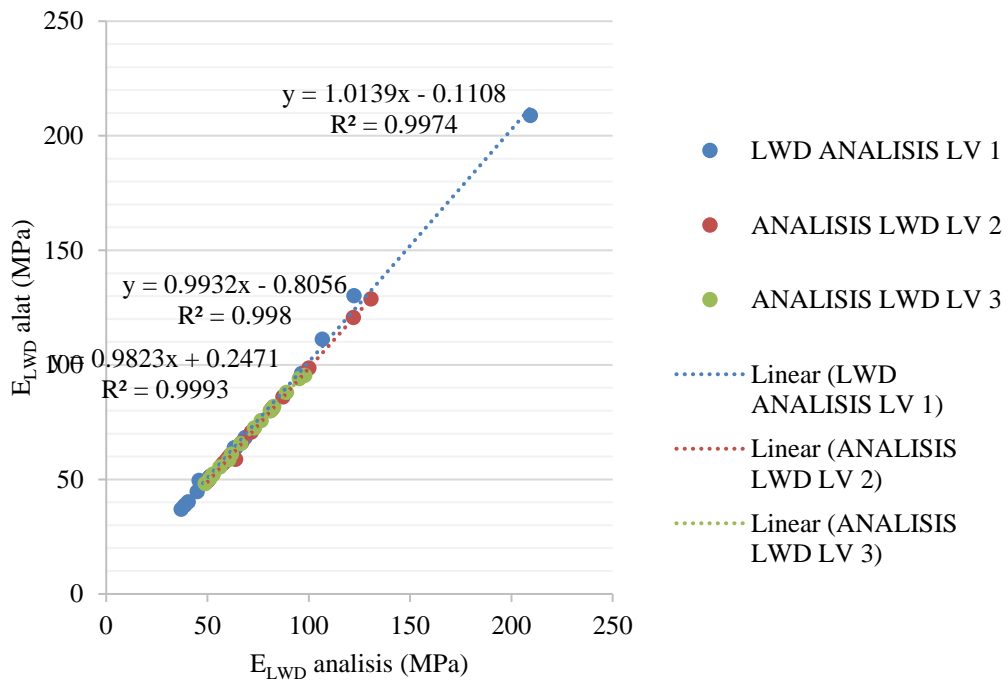
Tabel 4.7 Lanjutan

Titik	d ₀	d ₁	d ₂	E _{LWD} (MPa)
	Mikrometer			
16	1178,8	573,2	31,1	61,054
	1317,9	522,6	53	54,609
	1500	801,1	52,7	47,980
	882,5	991,9	59,1	81,553
	1257,6	1011,5	50,2	57,228
	Nilai minimal			42,788
Nilai maksimal			105,683	
Nilai rata-rata			66,402	
Standar deviasi			14,759	
Koefisien variasi			0,222	

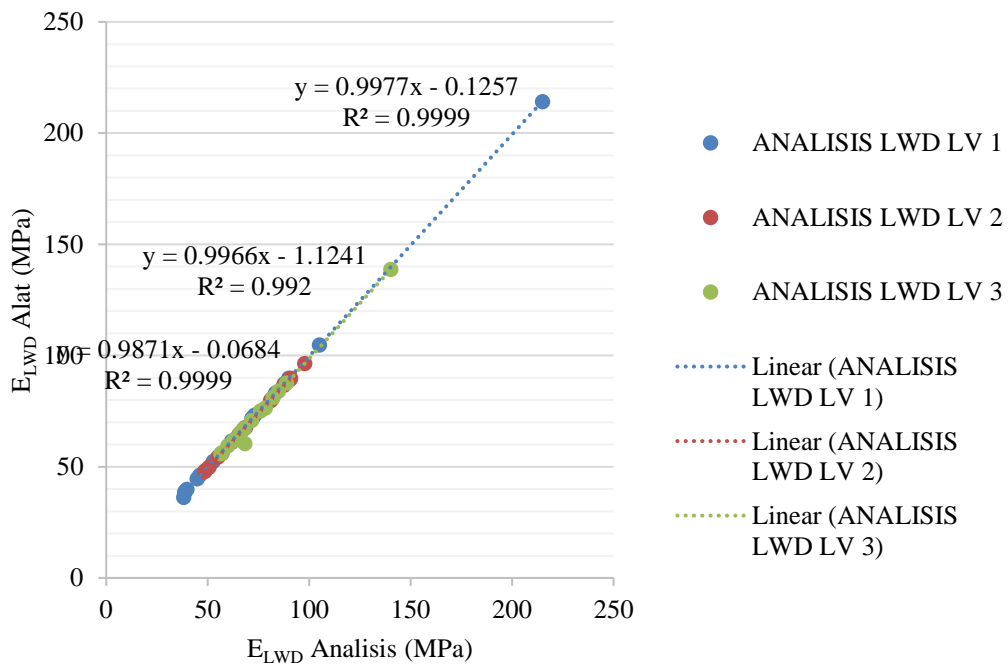
Tabel hasil analisis perhitungan untuk pengujian pada hari ke-3 dan hari ke-7 terlampir. Perbandingan nilai modulus elastisitas yang dihasilkan pada saat pengujian dengan nilai modulus elastisitas analisis dapat dilihat pada Gambar 4.8 untuk pengujian hari ke-0, Gambar 4.9 untuk pengujian hari ke-3, dan Gambar 4.10 untuk pengujian hari ke-7.



Gambar 4.8 Perbandingan Modulus Elastisitas Analisis dan Alat Pengujian 0 hari



Gambar 4.9 Perbandingan Modulus Elastisitas Analisis dan Alat Pengujian 3 hari



Gambar 4.10 Perbandingan Modulus Elastisitas Analisis dan Alat Pengujian 7 hari

4.2.1 Pengujian Validitas dan Realibilitas

Pengujian validitas adalah pengujian untuk mengukur ketepatan/valid tidaknya suatu data yang akan digunakan dalam suatu penelitian. Suatu data dikatakan mempunyai validitas yang tinggi apabila data tersebut memberikan hasil ukur yang tepat dan akurat. Selain itu pengujian validitas juga dapat berfungsi untuk mendeteksi kecermatan pengukuran suatu data. Kecermatan disini diartikan untuk mendeteksi perbedaan-perbedaan kecil yang ada pada suatu data tersebut.

Dalam melakukan uji validitas menggunakan program SPSS yang mana teknik pengujiannya menggunakan korelasi *Bivariate Pearson* atau dengan cara mengkorelasikan masing-masing data dengan total data, yang disebut dengan total data adalah penjumlahan dari keseluruhan data yang akan diuji validitasnya.

Dari hasil pengujian validitas hasil yang didapatkan dari data modulus elastisitas baik yang analisis maupun alat dapat dilihat pada nilai Sig (2-tailed) sebesar 0,000, yang artinya hasil dari data tersebut adalah valid. Hasil untuk pengujian hari ke-0, hari ke-3, dan hari ke-7 dapat dilihat pada Tabel 4.8 sampai Tabel 4.10 di bawah ini.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Validitas

Hari	E _{LWD} alat		E _{LWD} analisis		N
	Pearson Correlation	Sig. (2-tailed)	Pearson Correlation	Sig. (2-tailed)	
0	,995**	,000	,995**	,000	240
3	,996**	,000	,996**	,000	240
7	,999**	,000	,999**	,000	240

Pengujian realibilitas adalah pengujian untuk menunjukkan sejauh mana tingkat kepercayaan suatu data yang dihasilkan dalam suatu penelitian. Dengan kata lain, realibilitas adalah pengujian tingkat konsistensi atau kemantapan suatu data. Dalam suatu penelitian dapat dikatakan konsisten apabila memberikan hasil yang sama atau stabil. Tinggi rendahnya realibilitas secara empirik ditunjukkan dengan suatu angka yang disebut koefisien realibilitas.

Dari penelitian ini realibilitas yang dihasilkan dari data modulus elastisitas dapat dilihat pada Tabel 4.9 di bawah ini.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Reliability hari ke-0

Hari	Reliability Statistic	
	Cronbach's Alpha	N of Items
0	,997	2
3	,998	2
7	1,000	2

Pengujian validitas dan realibilitas dari data hasil nilai dapat diambil kesimpulan bahwa data dari hasil penelitian tersebut valid karena dari pengujian validitas menunjukkan angka yang mendekati nilai 1 yang artinya tingkat kevalidan hampir 100%, dan data hasil penelitian tersebut juga dapat dipercaya dikarenakan dari uji realibilitas menggunakan SPSS mendapatkan hasil mendekati nilai 1 yang artinya juga hasil dapat dipercaya 100%.

4.4. Modulus Elastisitas DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*)

4.3.1 Hasil Pengujian DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*)

Pengujian alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) pada penelitian ini adalah dengan melakukan tumbukan pada setiap titik yang sama pada saat pengujian sebelumnya dengan alat *Light Weight Deflectometer* (LWD) tujuannya adalah untuk membandingkan hasil yang didapatkan dari kedua alat tersebut. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.10 untuk pengujian 0 hari.

Tabel 4.10 Hasil Pengujian DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) Pengujian 0 hari

Titik	Kumulatif tumbukan	Penetrasi (cm)	Kumulatif Penetrasi (mm)	DCPI (mm/tumbukan)
1	1	2,5	2,5	2,5
	2	4,3	6,8	1,8
	3	6,4	13,2	2,1
2	1	1	1	1
	2	2	3	1
	3	4	7	2
3	1	2	2	2
	2	3,8	5,8	1,8
	3	5,6	11,4	1,8
4	1	3	3	3

2	5,5	8,5	2,5
3	6,5	15	1

Tabel 4.10 Lanjutan

Titik	Kumulatif tumbukan	Penetrasi (cm)	Kumulatif Penetrasi (mm)	DCPI (mm/tumbukan)
	2	3,5	4,9	2,1
	3	5	9,9	1,5
	1	2	2	2
6	2	4,5	6,5	2,5
	3	6	12,5	1,5
	1	1,5	1,5	1,5
7	2	3,4	4,9	1,9
	3	5	9,9	1,6
	1	1,5	1,5	1,5
8	2	4	5,5	2,5
	3	5	10,5	1
	1	2	2	2
9	2	3,5	5,5	1,5
	3	4,8	10,3	1,3
	1	2	2	2
10	2	3,5	5,5	1,5
	3	5,2	10,7	1,7
	1	3	3	3
11	2	4,5	7,5	1,5
	3	6	13,5	1,5
	1	1	1	1
12	2	2,5	3,5	1,5
	3	4	7,5	1,5
	1	2	2	2
13	2	3,5	5,5	1,5
	3	7,4	12,9	3,9
	1	2,5	2,5	2,5
14	2	4	6,5	1,5
	3	5,5	12	1,5
	1	2	2	2
15	2	3,5	5,5	1,5
	3	5	10,5	1,5
	1	2,5	2,5	2,5
16	2	3,8	6,3	1,3
	3	6	12,3	2,2

1.3.2 Perhitungan Nilai CBR (%)

Setelah menghitung nilai DCPI dari pengujian *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP), maka dengan nilai DCPI yang didapatkan selanjutnya adalah menghitung nilai CBR (%). Nilai DCPI berdasarkan ASTM D6951 didapat dari :

$$DCPI = \frac{\text{Penetrasi between reading}}{\text{number of blows}} \times 1 \dots \dots \dots (4.4)$$

Contoh Perhitungan pada titik 1 pengujian 0 hari

$$\begin{aligned} DCPI &= \frac{\text{Penetrasi between reading}}{\text{number of blows}} \times 1 \\ &= \frac{13,2}{6,4} \times 1 = 4,4 \text{ cm/blow} \end{aligned}$$

Untuk rumus CBR (%) berdasarkan ASTM D6951 sebagai berikut:

$$\text{Log (CBR)} = \frac{292}{DCPI^{1,12}} \dots \dots \dots (4.5)$$

Contoh Perhitungan pada titik 1 pengujian 0hari

$$\begin{aligned} \text{Log (CBR)} &= \frac{292}{DCPI^{1,12}} \\ &= \frac{292}{4,4^{1,12}} = 55,55 \% \end{aligned}$$

Hasil nilai DCPI pada pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.11, dan untuk hasil perhitungan nilai CBR dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.11 Hasil Nilai DCPI

Titik	DCPI		
	0 hari	3 hari	7 hari
1	4,4	3,75	2,834
2	2,334	3	3,167
3	3,8	3,5	2,834
4	5	3	4,167
5	3,3	3,167	4,067
6	4,167	3	3
7	3,3	1,875	2,067
8	3,5	3,25	4,234
9	3,434	3	2,5
10	3,567	2,175	4,167
11	4,5	2,567	3,1
12	2,5	3,25	3,034
13	4,3	4	4
14	4	4,2	2,834
15	3,5	4,5	2,834

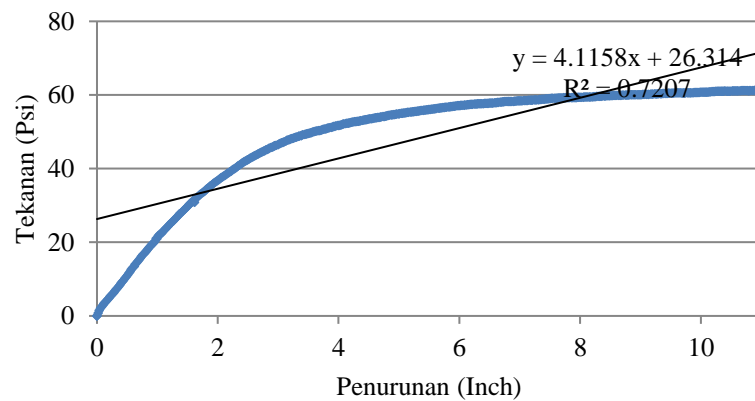
16	4,1	3,6	3,334
----	-----	-----	-------

Tabel 4.12 Hasil Nilai CBR (%)

Titik	Nilai CBR (%)		
	Ohari	3 hari	7 hari
1	55,555	66,446	90,928
2	113,009	85,312	80,29
3	65,468	71,784	90,928
4	48,144	85,312	59,045
5	76,674	80,29	60,674
6	59,045	85,312	85,312
7	76,674	144,419	129,48
8	71,784	77,997	58
9	73,331	85,312	104,639
10	70,276	122,301	59,045
11	54,174	101,585	82,236
12	104,639	77,997	84,242
13	57,004	61,813	61,813
14	61,813	58,526	90,928
15	71,784	54,174	90,928
16	60,127	69,555	75,799

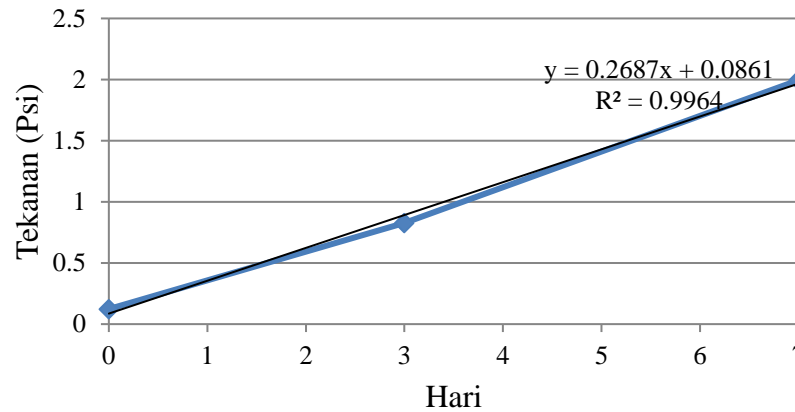
1.3.3 Perhitungan Nilai CBR Desain

Nilai CBR desain didapatkan dengan melakukan pengujian laboratorium dengan menggunakan alat CBR yang tersedia. Data yang didapatkan pada saat pengujian 0 hari dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 CBR Subgrade Pengujian 0 hari dengan Kadar Kapur 2%

Dilihat dari gambar, dapat disimpulkan bahwa nilai CBR pada hari ke-0 nilainya semakin naik. Pengujian hari ke-3 dan hari ke-7 nilainya juga semakin tinggi, dapat dilihat pada Gambar 4.12 pengujian hari ke-7 adalah pengujian CBR yang menghasilkan nilai tekanan paling tinggi.

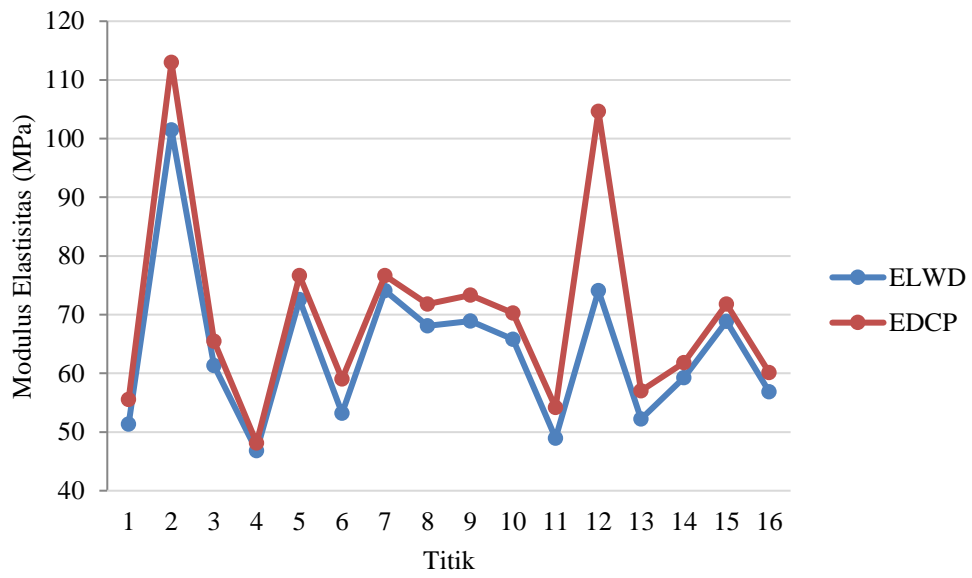


Gambar 4.12 CBR Subgrade dengan Kadar Kapur 2%.

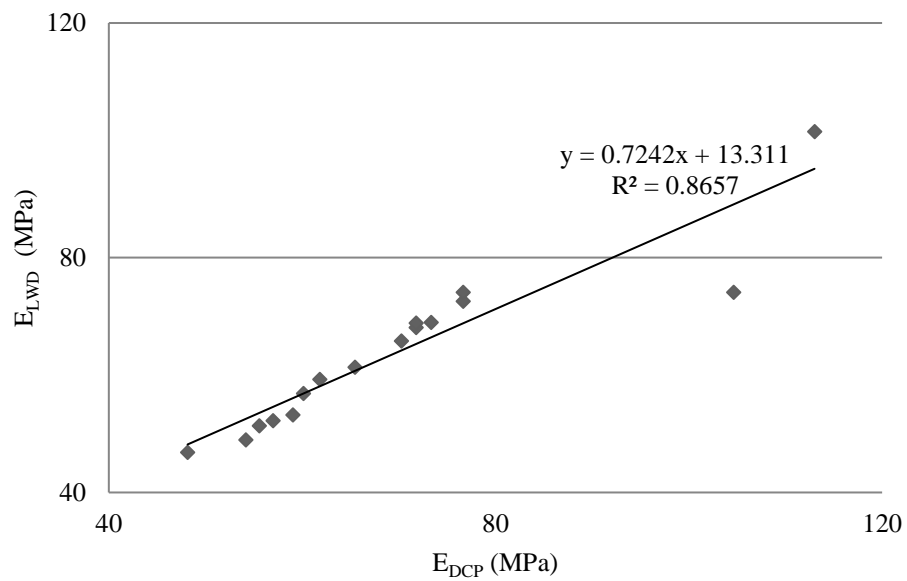
4.5. Perbandingan Alat LWD dan DCP

4.5.1 Perbandingan Nilai E_{LWD} Dengan Nilai DCPI

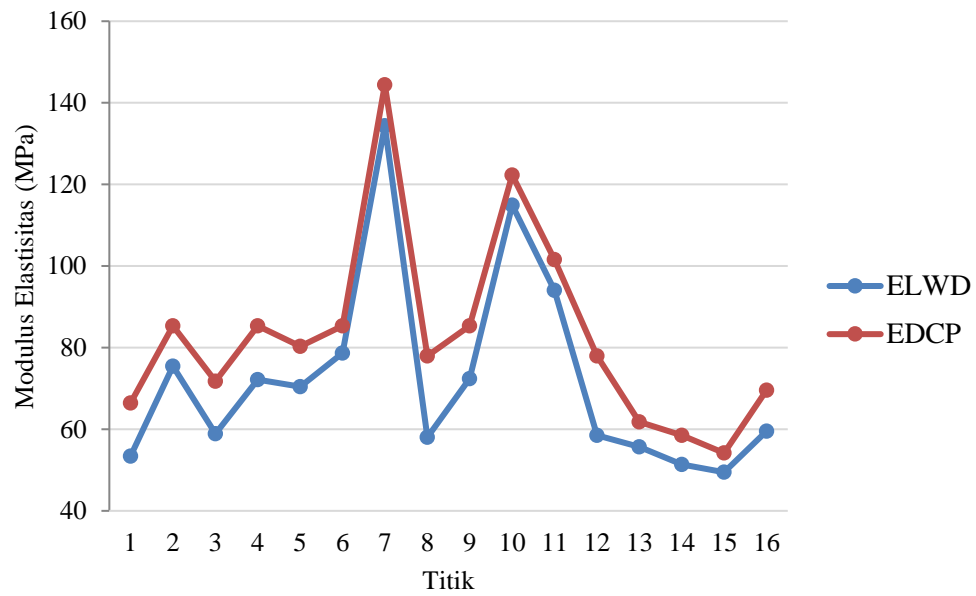
Nilai modulus elastisitas yang dihasilkan pada alat LWD dengan nilai DCPI yang dihasilkan pada saat pengujian dengan menggunakan alat DCP hasilnya lebih besar nilai DCPI. Hal itu mungkin disebabkan karena alat LWD menggunakan sensor otomatis yang dapat mendeteksi secara detail, sedangkan alat DCP masih menggunakan tenaga manual manusia sehingga setiap tumbukan menghasilkan nilai yang berbeda. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.13 grafik hubungan antara nilai modulus elastisitas dari alat LWD dengan nilai DCPI dari pengujian alat DCP.



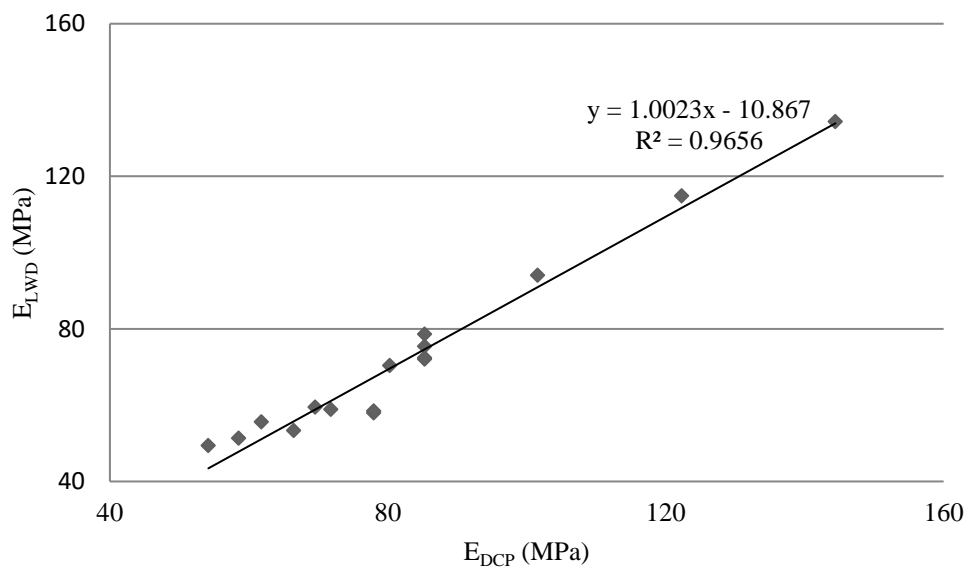
Gambar 4.13 Hubungan E_{LWD} dengan E_{DCP} pengujian 0 hari



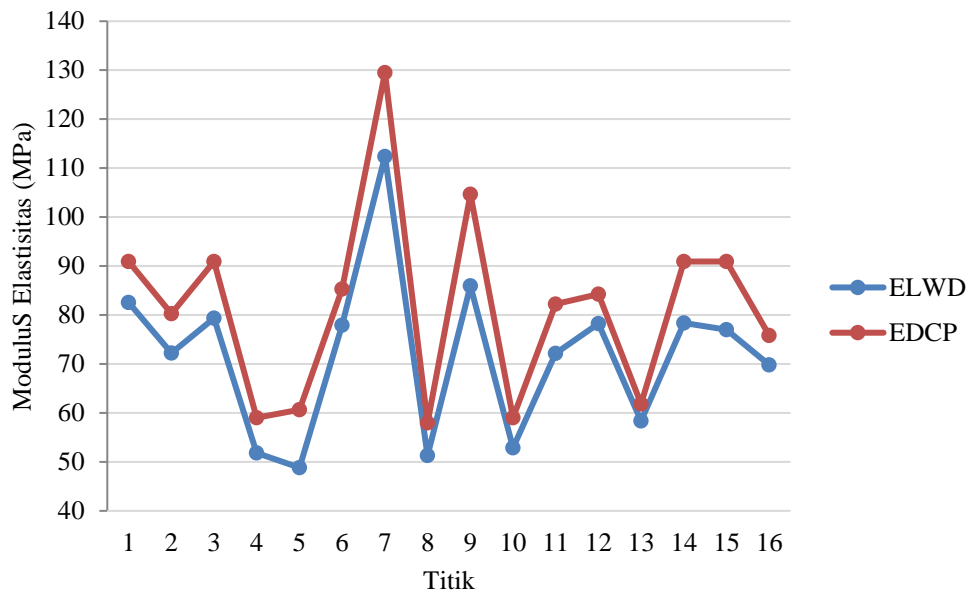
Gambar 4.14 Korelasi Nilai E_{LWD} dengan E_{DCP} pengujian 0 hari



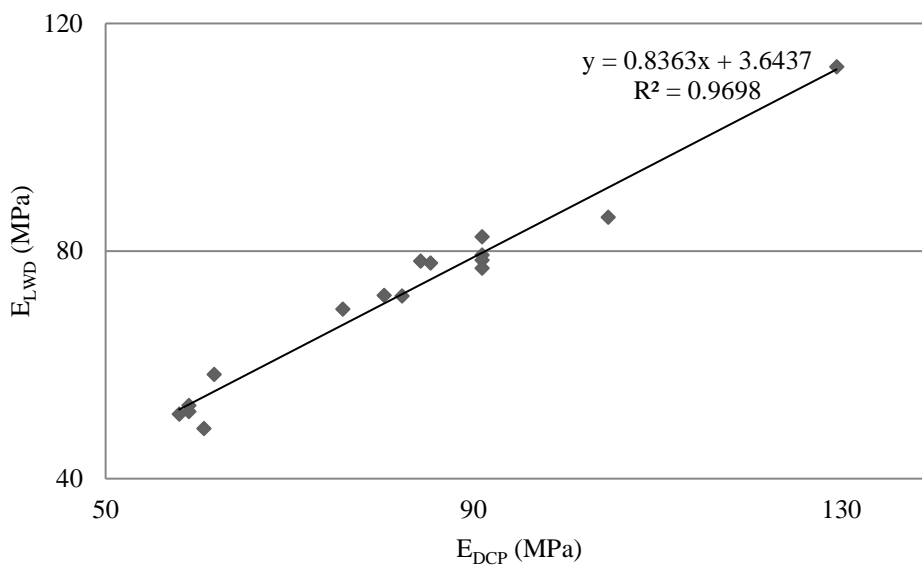
Gambar 4.15 Hubungan E_{LWD} dengan E_{DCP} pengujian 3 hari



Gambar 4.16 Korelasi Nilai E_{LWD} dengan E_{DCP} pengujian 3 hari



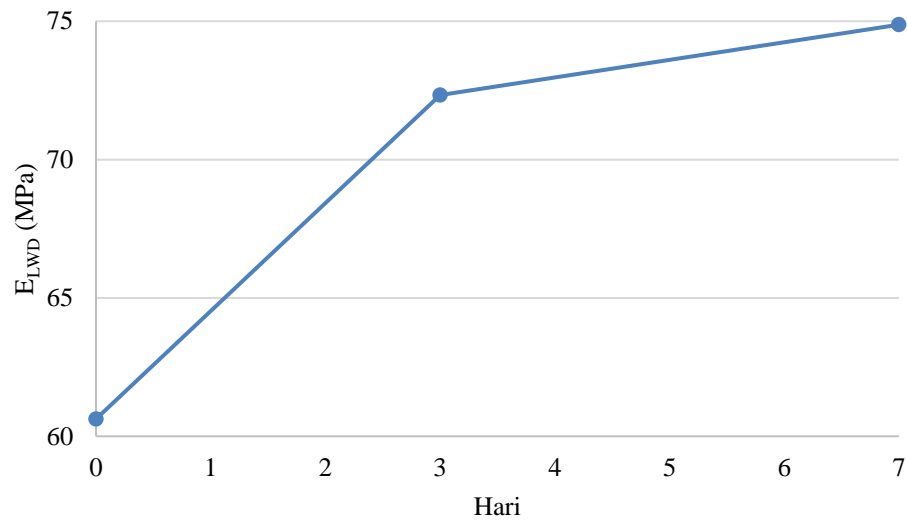
Gambar 4.17 Hubungan E_{LWD} dengan E_{DCP} pengujian 7 hari



Gambar 4.18 Korelasi Nilai E_{LWD} dan E_{DCP} pengujian 7 hari

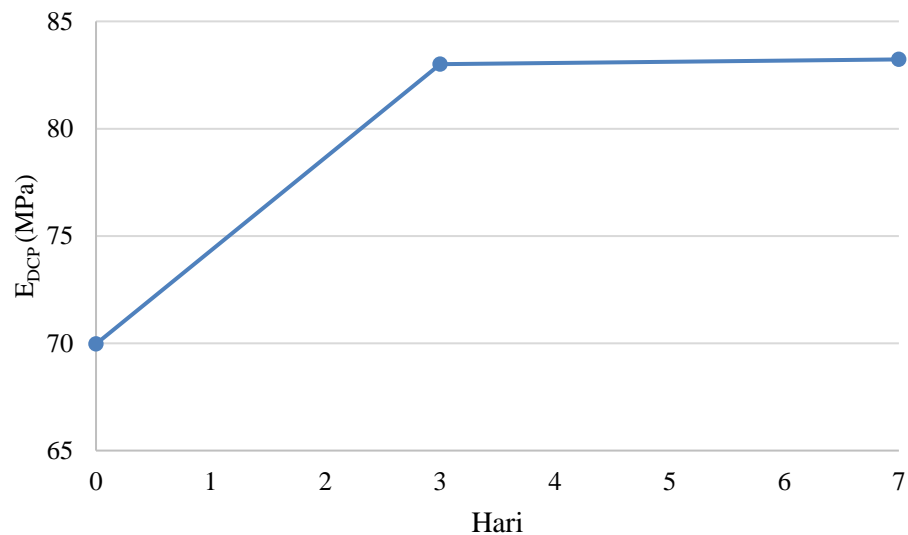
4.5.2 Perbandingan Nilai E_{LWD} dan E_{DCP} Dilihat dari Hari Pengujian

Pengujian *Light Weight Deflectometer* (LWD) dilakukan selama 3 kali dalam waktu 7 hari dengan tujuan untuk mengetahui hubungan antara nilai modulus elastisitas yang dihasilkan dengan waktu pengujian. Dapat dilihat dari gambar 4.19 bahwa hubungan antara hasil nilai modulus elastisitas yang didapatkan dari hari ke-0 sampai hari ke-7 mengalami kenaikan.



Gambar 4.19 Pengaruh Hari dengan Nilai E_{LWD}

Selanjutnya untuk pengujian *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP), sama halnya dengan LWD, pengujian ini juga dilakukan 3 kali dalam kurun waktu 7 hari yaitu pada hari ke-0, hari ke-3 dan hari ke-7. Hasil dari pengujian yang didapatkan juga mengalami kenaikan hingga hari terakhir pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.20 di bawah ini.



Gambar 4.20 Pengaruh Hari dengan Nilai E_{DCP}

