

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Material Agregat Kelas A

4.1.1. Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian berat jenis agregat penting dilakukan untuk menghitung volume yang ditempati oleh agregat. Semakin kecil berat jenis agregat maka volume agregat semakin besar, sebaliknya semakin besar berat jenis agregat maka volume agregat semakin kecil.

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat, didapatkan berat jenis rata-rata curah kering (*Bulk Specific Gravity*) sebesar 2,33, berat jenis jenuh kering permukaan rata-rata (*Saturated Surface Dry*) sebesar 2,41, berat jenis semu rata-rata (*Apparent Specific Gravity*) sebesar 2,55, dan penyerapan air rata-rata sebesar 3,75%. Data hasil pengujian analisis perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 1.

4.1.2. Keausan Agregat (*Los Angeles*)

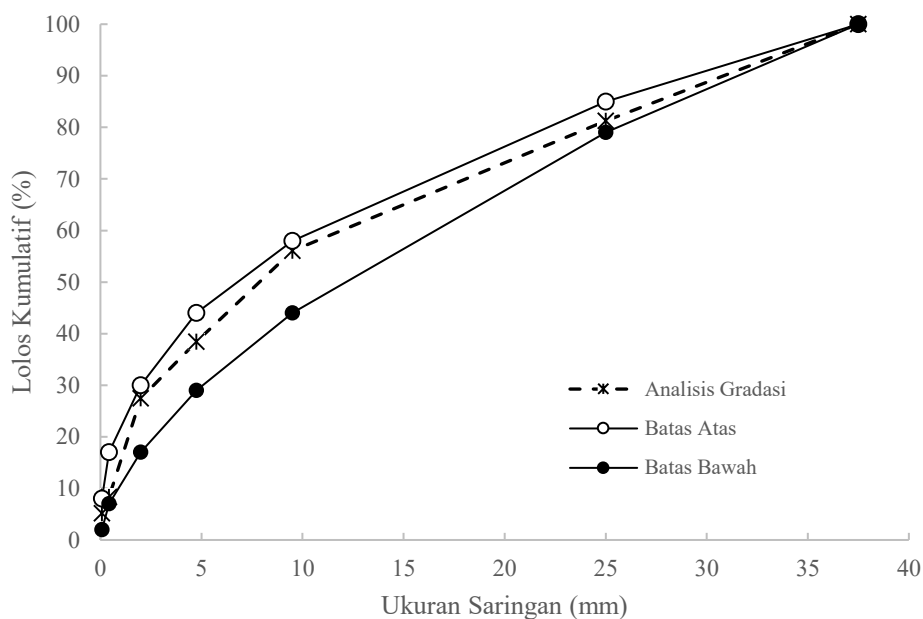
Keausan adalah perbandingan antara berat bahan yang hilang atau tergerus terhadap berat bahan awal. Pengujian keausan bertujuan untuk mengetahui kemampuan atau ketahanan agregat untuk menahan gesekan.

Semakin rendah nilai keausan maka semakin kuat daya tahan agregat, berlaku sebaliknya. Berdasarkan hasil pengujian keausan agregat kasar, didapatkan nilai keausan rata-rata sebesar 32,7%. Data hasil pengujian dan analisis hitungan dapat dilihat pada Lampiran 2.

4.1.3. Analisis Saringan

Pengujian analisis saringan dilakukan untuk menentukan distribusi ukuran butiran dari agregat.

Untuk hasil persentase lolos saringan telah sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan, grafik hasil analisis gradasi dapat dilihat pada Gambar 4.1. Data hasil pengujian analisis perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 3.



Gambar 4.1 Grafik hasil analisis gradasi saringan agregat kelas A

4.1.4. CBR Laboratorium

Pengujian *CBR* laboratorium untuk agregat dilakukan untuk menentukan potensi kekuatan material yang akan digunakan. Semakin besar nilai *CBR* yang dihasilkan, semakin bagus kekuatan struktural dalam menahan beban.

Berdasarkan hasil pengujian *CBR* Laboratorium agregat kelas A, dengan menggunakan uji proktor 10, 25 dan 56 kali tumbukan didapatkan nilai *CBR* laboratorium untuk proktor 10 tumbukan sebesar 18,5%, uji proktor 25 tumbukan sebesar 95,7% dan untuk uji proktor 56 tumbukan sebesar 115,1%.

Nilai *CBR* yang digunakan dan dilaporkan adalah nilai pada saat penetrasi 0,1". Nilai yang digunakan pada benda uji proktor 10 tumbukan adalah nilai *CBR* pada saat penetrasi 0,1" dan nilai *CBR* pada proktor 25 dan 56 tumbukan adalah nilai *CBR* pada saat penetrasi 0,2", karena nilai *CBR* 0,2" lebih besar daripada *CBR* 0,1".

Apabila dalam pelaksanaan ternyata nilai $CBR_{0,2''}$ lebih besar daripada nilai $CBR_{0,1''}$, maka pengujian harus diulang, dan apabila ternyata pada percobaan selanjutnya nilai $CBR_{0,2''}$ tetap lebih besar dari nilai $CBR_{0,1''}$ maka nilai *CBR* yang digunakan adalah nilai $CBR_{0,2''}$, Grafik dan hasil pengujian *CBR* Lab dapat dilihat pada Lampiran 4.

4.2 Perbedaan Tinggi Jatuh Beban Terhadap Pengukuran Modulus Elastisitas E_{LWD}

Alat *Light Weight Deflectometer (LWD)* memiliki 5 level tinggi beban jatuh (0, 1, 2, 3, 4). Pengujian dilakukan sebanyak dua kali dengan *levelling* yang berbeda yaitu level 1–2, hal ini dilakukan karena terjadinya *clipping* ketika diaplikasikan ke beban yang lebih tinggi.

Clipping terjadi apabila *count ADC* yang merupakan konversi dari *voltage* yang dihasilkan sensor melebihi 1024 untuk tipe-tipe mikrokontroler yang menggunakan 10 bits, hal ini diatasi dengan menurunkan beban yang akan memicu terjadinya gelombang pada lapisan yang diuji. Fenomena ini biasanya terjadi pada pengujian yang mempunyai kekuatan struktural rendah (Siegfried, 2018).

Data pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer, dimana data yang digunakan merupakan hasil dari pengujian di lapangan menggunakan alat *Light Weight Deflectometer (LWD)* yang memiliki . Pada tiap level dilakukan 5 kali tumbukan dalam satu titik uji, minimum tumbukan yang disyaratkan adalah 2 kali, data hasil pengujian titik 1–3 menggunakan level 1 dapat dilihat pada Tabel 4.1. Untuk hasil pengujian pada titik lain dapat dilihat pada Lampiran 5.

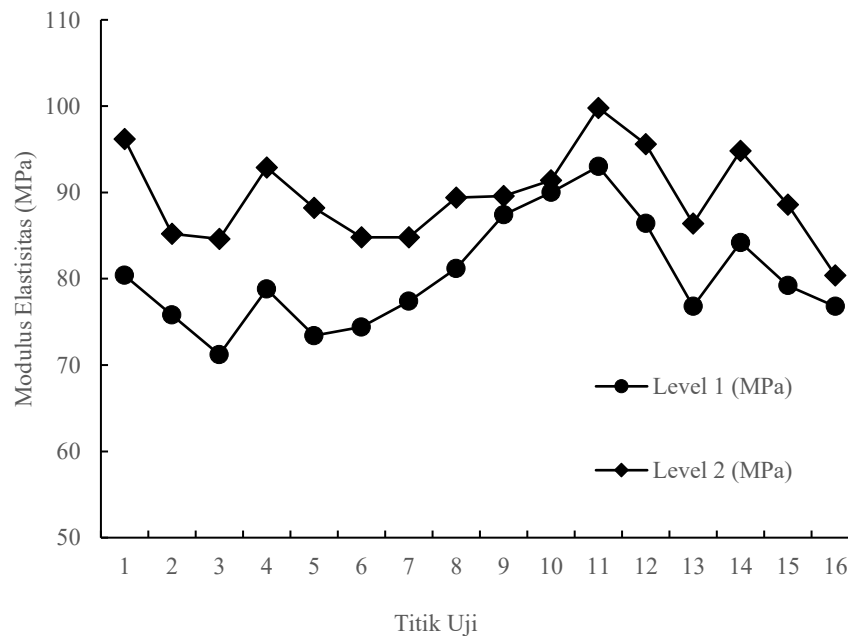
Tabel 4.1 Pengukuran E_{LWD} dengan tinggi jatuh level 1 pada titik 1 - 3

No. Uji	Beban (kg)	d_0 (mikron)	E_{LWD} Alat (MPa)
Titik 1	1243	478,4	97
	1243	553	84
	1243	587,2	79
	1243	642,1	72
	1243	650,3	71
	1243	664,7	70
Titik 2	1243	626,7	74
	1243	612,7	76
	1243	597,1	77
	1243	565,2	82
Titik 3	1243	625,7	74
	1243	690,8	67
	1243	692,3	67
	1243	577,3	80
	1243	682,5	68

Untuk data pengujian modulus elastisitas dengan menggunakan LWD dengan tinggi jatuh level 2 pada titik 1 dan 3 dapat dilihat pada Tabel 4.2 Untuk hasil pengujian pada titik lain dapat dilihat pada Lampiran 6.

Tabel 4.2 Pengukuran E_{LWD} dengan tinggi jatuh level 2 pada titik 1 – 3

No. Uji	Beban (kg)	d_0 (mikron)	E_{LWD} Alat (MPa)
Titik 1	1744	734,2	89
	1744	631,3	104
	1744	654,8	100
	1744	746,7	88
	1744	656,1	100
	1744	763,5	86
Titik 2	1744	897,5	73
	1744	729,7	91
	1744	759,8	86
	1744	729,3	90
	1744	821,6	80
	1744	703,5	93
Titik 3	1744	837,5	79
	1744	816,7	80
	1744	720,5	91



Gambar 4.2 Grafik hasil perbandingan E_{LWD} level 1 dan 2

Dari hasil pengujian E_{LWD} level 1 dan 2 yang dilakukan pada lokasi uji didapatkan nilai terkecil modulus elastisitas sebesar 52,069 MPa dan 64,419 MPa, nilai terbesar 102,88 MPa dan 107,144, Standar deviasi sebesar 9,389 dan 8,917, Koefisien varian sebesar 0,116 dan 0,099. Dengan nilai standar deviasi yang tidak terlalu besar maka penyebaran data tidak terlalu besar. Angka batas untuk nilai koefisien variansi adalah 0,3 (30%) yang diambil pada persyaratan AASHTO 1993, semakin kecil nilai koefisien varian maka keseragaman yang disyaratkan akan semakin baik.

Terdapat perbedaan hasil pengujian juga dapat dikarenakan pemadatan lapisan agregat yang tidak merata pada perkerasan menggunakan alat *stamper*. Penggunaan alat pemadat *stamper* sering terjadi pergeseran namun tidak begitu jauh dikarenakan pada awal ingin dipadatkan campuran mengalami getaran yang cukup besar sehingga terjadi perubahan (Harnaeni dkk. 2013).

Perbedaan tinggi jatuh secara teoritis memang berpengaruh pada hasil modulus elastisitas yang dihasilkan, Semakin besar level atau tinggi jatuh beban maka nilai modulus elastisitas yang dihasilkan akan semakin besar, hal ini dipengaruhi oleh gaya yang dihasilkan, dimana tinggi jatuh dan gravitasi menjadi pengaruh utama pada saat beban di jatuhkan, yang kemudian tegangan diterima oleh pelat bawah piringan.

Ketika beban jatuh semakin tinggi maka deformasi yang muncul akan lebih besar namun nilai modulus elastisitas semakin kecil. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.2, nilai modulus elastisitas level 1 lebih kecil dibandingkan dengan level 2.

4.2.1. Analisa Perhitungan Manual E_{LWD}

Analisa yang digunakan untuk perhitungan modulus elastisitas, menggunakan rumus perhitungan *Boussinesq* sebagai berikut :

$$E_{LWD} = \frac{K \times (1 - \mu^2) \times P \times r}{d_0}$$

Dimana,

K = $\pi/2$ dan 2 untuk pelat kaku dan lentur ,

d_0 = Lendutan pada pusat pembebanan (mikron),

- P = Tegangan seragam dibawah piring (MPa),
 μ = *Poisson Ratio*, (0,15 untuk beton, 0,35 untuk perkerasan)
 r = Radius / jari-jari pelat pembebanan (mm),

Untuk analisis manual modulus elastisitas pada level 1 titik uji 1 adalah sebagai berikut :

- Berat beban jatuh (m) = 12 kg,
 Percepatan gravitasi (g) = 9,81 m/s²,
 Tinggi jatuh (h) ;
 Level 1 = 0,23 m,
 Level 2 = 0,33 m,
 Konstanta kekakuan material (C) = 449 × 10⁸ N/m (SNI 3966:2012)
Poisson Ratio (μ) = 0,35,
 a = 15 mm,
 d_0 = 553 mikron.

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}
 F &= \sqrt{2 \times m \times g \times h \times c} \\
 &= \sqrt{2 \times 12 \times 9,81 \times 0,23 \times 449 \cdot 10^8} \\
 &= 1559291,147 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{F}{\pi \times a^2} \\
 &= \frac{1559291,147}{\pi \times 15^2} \\
 &= 2205,946 \text{ MPa.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{LWD} &= \frac{K \times (1 - \mu^2) \times P \times r}{d_0} \\
 &= \frac{\frac{\pi}{2} \times (1 - 0,35^2) \times 2205,946 \times 15}{553} \\
 &= 82,476 \text{ MPa.}
 \end{aligned}$$

Data keseluruhan hasil analisis modulus elastisitas manual menggunakan rumus *Boussinesq* akan dibandingkan dengan hasil modulus elastisitas dari alat *LWD*. Perbandingan hasil analisis dan alat pada titik 1 - 2 menggunakan level 1 dan

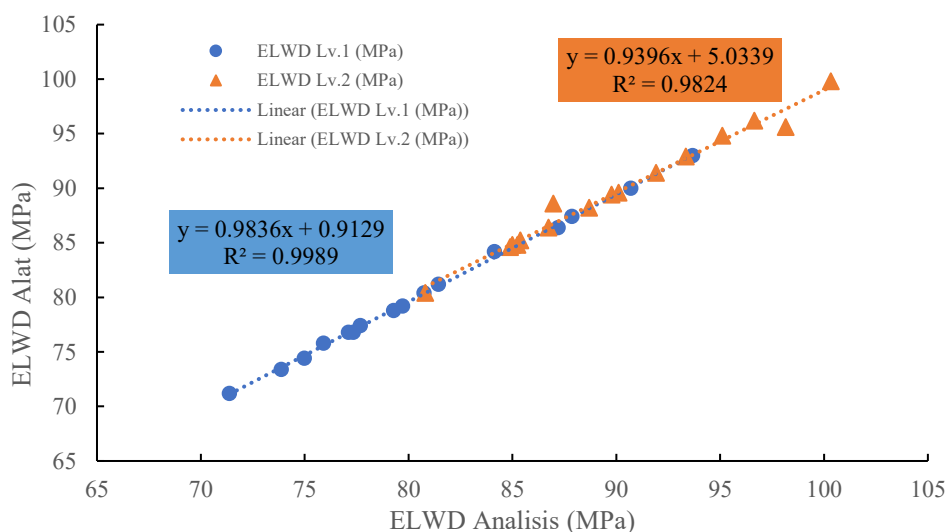
2 dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4, untuk hasil perbandingan keseluruhan antara titik uji dapat dilihat pada Lampiran 7.

Tabel 4.3 Hasil modulus elastisitas (alat) dan modulus elastisitas (analisis) pada level 1

No. Uji	Beban (kg)	d_0 (mikron)	E_{LWD} (Alat) (MPa)	E_{LWD} (Analisis) (MPa)
Titik 1	1243	478,4	97	97,031
	1243	553	84	82,476
	1243	587,2	79	79,052
	1243	642,1	72	72,293
	1243	650,3	71	71,382
	1243	664,7	70	69,835
Titik 2	1243	626,7	74	74,07
	1243	612,7	76	75,762
	1243	597,1	77	77,742
	1243	565,2	82	82,129

Tabel 4.4 Hasil modulus elastisitas (alat) dan modulus elastisitas (analisis) pada level 2

No. Uji	Beban (kg)	d_0 (mikron)	E_{LWD} (Alat) (MPa)	E_{LWD} (Analisis) (MPa)
Titik 1	1744	734,2	89	89,705
	1744	631,3	104	104,327
	1744	654,8	100	100,582
	1744	746,7	88	88,203
	1744	656,1	100	100,383
	1744	763,5	86	86,263
Titik 2	1744	897,5	73	73,383
	1744	729,7	91	90,258
	1744	759,8	86	86,683
	1744	729,3	90	90,308
	1744	821,6	80	80,162



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Modulus Elastisitas dari Hasil Analisis dan Hasil Alat *LWD* pada tiap level

Dari hasil analisis regresi, didapatkan nilai R^2 pada perbandingan level 1 sebesar 0,9989 dan level 2 sebesar 0,9824, dimana jika nilai R^2 semakin mendekati 1 maka ikatan antar variabel semakin kuat, berlaku sebaliknya. Menurut Harsanto (2007) koefisien penentu atau dalam statistik biasa disebut *coefficient of determination* adalah indeks yang menyatakan seberapa dekat garis hasil regresi linier dengan data. Nilai R^2 terletak antara 0-1 dan kecocokan model dikatakan lebih baik jika nilai R^2 semakin mendekati 1. Untuk tabel interpretasi nilai korelasi dapat dilihat pada Tabel 4.5.

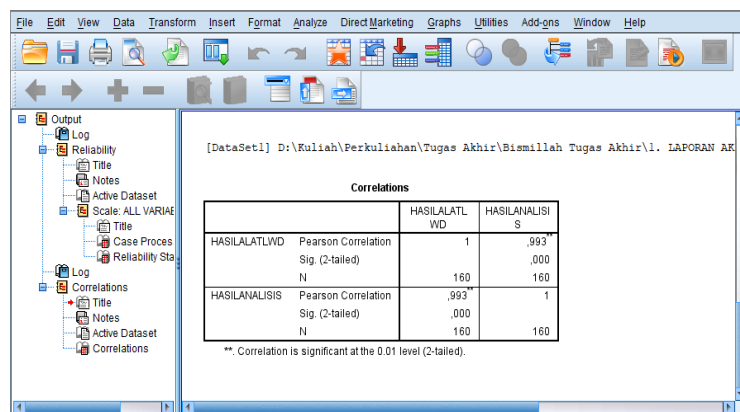
Tabel 4.5 Interpretasi nilai korelasi (Rahmawati, 2017)

Koefisien korelasi R^2	Interpretasi
0	Tidak berkorelasi
0,01 – 0,20	Korelasi sangat rendah
0,21 – 0,40	Korelasi rendah
0,41 – 0,60	Korelasi agak rendah
0,61 – 0,80	Korelasi cukup
0,81 – 0,99	Korelasi tinggi
1	Korelasi sangat tinggi (Kuat)

Dapat disimpulkan bahwa nilai modulus elastisitas hasil dari alat *LWD* sesuai dengan analisis manual perhitungan modulus elastisitas *Boussinesq*, seperti yang terlihat pada Gambar 4.3.

4.2.2. Pengujian Validitas dan Reabilitas Menggunakan Program SPSS

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketepatan dari suatu alat ukur dalam menghasilkan ukurannya. Hasil dari pengujian validitas dan reabilitas menggunakan program SPSS dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5



[DataSet1] D:\Kuliah\Perkuliahan\Tugas Akhir\Bismillah Tugas Akhir\1. LAPORAN AK

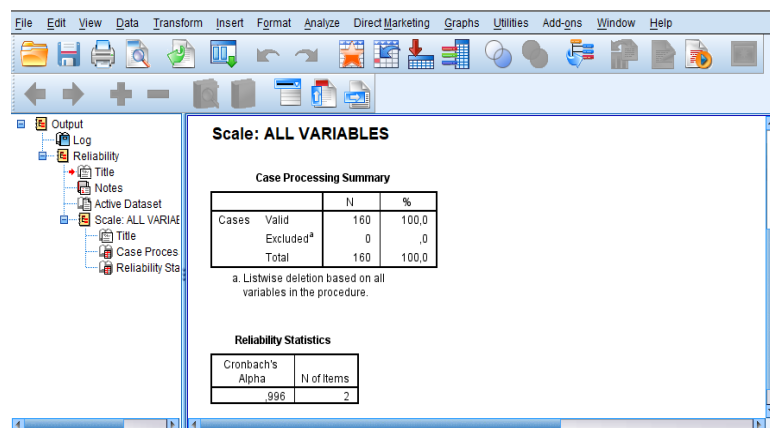
Correlations

		HASILALATLWD	HASILANALISIS
HASILALATLWD	Pearson Correlation	1	,993
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	160	160
HASILANALISIS	Pearson Correlation	,993	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	160	160

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

Gambar 4.4 Hasil uji validitas dari nilai modulus elastisitas (alat) dan nilai modulus elastisitas analisis hitungan

Berdasarkan hasil analisis program SPSS, nilai *Pearson Correlation* yang didapat pada item Hasil analisis dan Hasil alat adalah 0,993 hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua data valid karena nilai *r* hitung (*Pearson Correlation*) lebih besar dari 0,3.



Scale: ALL VARIABLES

Case Processing Summary

		N	%
Cases	Valid	160	100,0
	Excluded ^a	0	,0
	Total	160	100,0

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

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
,996	2

Gambar 4.5 Hasil uji reabilitas dari nilai modulus elastisitas (alat) dan nilai modulus elastisitas analisis hitungan

Dari hasil analisis reabilitas program SPSS, diketahui angka *Cronbach alpha* sebesar 0,996 melebihi nilai minimal *Cronbach alpha* yaitu 0,6. Dapat disimpulkan bahwa instrumen penelitian yang digunakan dapat dikatakan reliabel.

4.3 Hasil Pengujian *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*

Data pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer, dimana data yang digunakan merupakan hasil dari pengujian di lapangan menggunakan alat *DCP*. Pada umumnya pengujian *DCP* diiringi dengan pengujian tebal lapis perkerasan (*test pits*), namun pada penelitian ini hanya menggunakan pengujian *DCP*, dikarenakan keterbatasan, lokasi, waktu serta biaya.

Pengujian dilakukan satu kali uji tiap titik, dimana lokasi tiap titik uji tepat berada pada titik pengujian menggunakan alat *LWD* sebelumnya, Untuk data pengujian pada titik 1 - 5 dapat dilihat pada Tabel 4.6. Hasil keseluruhan pengujian *DCP* dapat dilihat pada Lampiran 8.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian *DCP* pada titik 1 – 5

Titik	Banyak Tumbukan	Kumulatif tumbukan	Penetrasi (mm)	Kumulatif Penetrasi (mm)	<i>DCPI</i> (mm/tumbukan)
1	1	1	1,5	1,5	2,534
	1	2	2,6	4,1	
	1	3	3,5	7,6	
2	1	1	2	2	2,834
	1	2	3	5	
	1	3	3,5	8,5	
3	1	1	1	1	2,934
	1	2	3,3	4,3	
	1	3	4,5	8,8	
4	1	1	1,5	1,5	2,667
	1	2	2,7	4,2	
	1	3	3,8	8	
5	1	1	1,5	1,5	2,7
	1	2	3	4,5	
	1	3	3,6	8,1	

4.3.1. Analisis Nilai *CBR* dari Pengujian *DCP*

Sekarang ini alat *DCP* yang banyak dikenali dan digunakan di Indonesia adalah *DCP* yang diperkenalkan oleh TRL yang dilaporkan pada *Overseas Road Note 31*, Chrowthorne, UK (1993). Alat *DCP* jenis ini dapat mengukur kekuatan struktural jalan tanah dalam parameter *CBR* sampai dengan kedalaman 1000 mm.

Perhitungan nilai *CBR* yang biasa digunakan adalah persamaan dari TRL, *Road Note 8*, 1990 (konus 60°) dengan persamaan $\text{Log } CBR = 2,48 - 1,057(\text{Log } DCPI)$.

Selain menggunakan persamaan dari TRL (1990) untuk menganalisis nilai *CBR* menggunakan alat *DCP*, digunakan juga beberapa persamaan dari untuk material tipe *granular*, seperti penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh Uz dkk. (2015). Persamaan yang digunakan adalah persamaan dari Kylene, (1975), Smith dkk. (1983), NCDOT (1998), Coonse (1999), dan Webster dkk. (1992). Hasil analisis *CBR* pada titik uji 1 dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil analisis *CBR* dengan berbagai persamaan untuk material tipe *granular*

<i>Research</i>	Model	<i>CBR</i> (%)
Kylene (1975)	$\text{Log } CBR = 2,62 - 1,27 \log PI$	127,987
Smith dkk. (1983)	$\text{Log } CBR = 2,555 - 1,145 \log PI$	123,778
NCDOT (1998)	$\text{Log } CBR = 2,60 - 1,07 \log PI$	147,207
Coonse (1999)	$\text{Log } CBR = 2,53 - 1,14 \log PI$	117,397
Webster dkk. (1992)	$\text{Log } CBR = 2,465 - 1,12 \log PI$	102,977
TRL (1990)	$\text{Log } CBR = 2,48 - 1,057 \log PI$	113,026

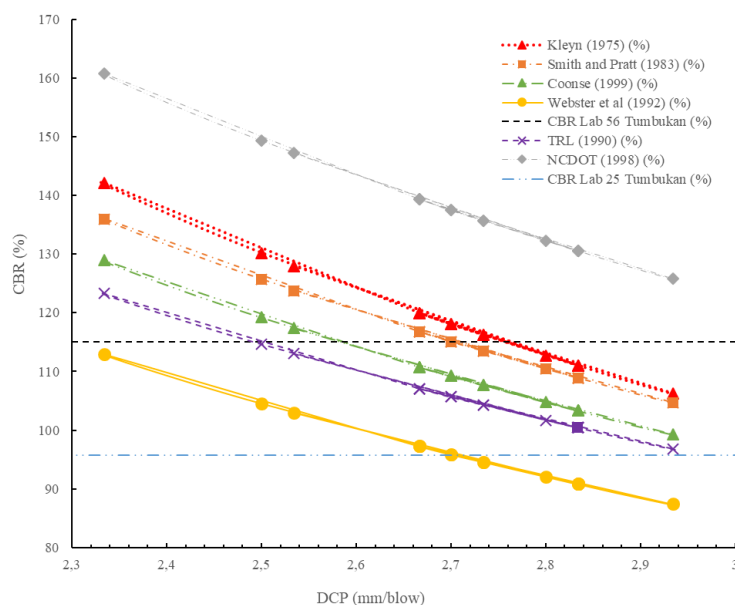
Masing-masing perhitungan diatas memiliki nilai terbesar 147,207 dan nilai terkecil 102,977, Variabilitas data yang dihasilkan pada titik uji 1 cukup tinggi yaitu 47,558 dengan koefisien variansi sebesar 0,387. dapat dikatakan persebaran data yang dihasilkan cukup tinggi, perbedaan hasil analisis nilai *CBR* dengan menggunakan persamaan yang berbeda dapat disebabkan karena jenis alat *DCP* yang digunakan saat pengujian terdahulu tidak sama seperti alat yang digunakan ketika pengujian ini dilakukan.

Hasil dari menggunakan beberapa analisis pada tiap titik akan digunakan sebagai pembandingan antara hasil uji menggunakan alat *LWD* yang merupakan nilai modulus elastisitas dan nilai dari *CBR* yang didapat dari nilai *DCP*. Data hasil *CBR* menggunakan analisis tersebut pada titik uji lainnya dapat dilihat pada Lampiran 9.

4.3.2. Perbandingan Nilai *CBR* Laboratorium dan *CBR-DCP*

Hasil dari pengujian *CBR* Laboratorium akan dibandingkan dengan hasil *CBR-DCP* dengan berbagai analisis. Berdasarkan hasil pengujian *CBR* Laboratorium agregat kelas A, dengan menggunakan uji proktor 10, 25 dan 56 kali tumbukan didapatkan nilai *CBR* laboratorium untuk proktor 10 tumbukan sebesar 18,5%, uji proktor 25 tumbukan sebesar 95,7% dan untuk uji proktor 56 tumbukan sebesar 115,1%.

Untuk hasil uji proktor 10 tumbukan *CBR* Laboratorium tidak disertakan karena hasil terlalu kecil sehingga simpangan antara hasil *CBR* Laboratorium dan *CBR-DCP* terlalu besar. Hasil perbandingan nilai *CBR* Lab dan *CBR-DCP* dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Hasil perbandingan analisis *CBR* Lab dan *CBR-DCP* dari berbagai model persamaan

Dari grafik yang dihasilkan, nilai *CBR* lab menyinggung beberapa garis persamaan hasil *CBR-DCP* yaitu milik Kleyn (1975), Smith dkk. (1999), Coonse (1999) dan TRL (1990) , sehingga dilakukan perhitungan probabilitas antar nilai *CBR* Lab dan *CBR-DCP* yang menyinggung.

Hasil dari nilai probabilitas yang menggunakan distribusi normal menggunakan tabel probabilitas z, didapatkan hasil probabilitas pada persamaan Kleyn (1975) sebesar 36,32% , Smith and Pratt (1983) sebesar 49,2%, Coonse (1999) sebesar 77,94%, dan TRL (1990) sebesar 91,77%. Untuk analisis manual perhitungan probabilitas dapat dilihat pada Lampiran 10.

Dari nilai probabilitas yang didapatkan, persamaan yang digunakan untuk mencari nilai *CBR-DCP* pada pengujian ini adalah persamaan milik TRL (1990). Untuk hasil analisis nilai *CBR-DCP* dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil analisis nilai *CBR* dari pengujian *DCP*

Titik	<i>DCPI</i> (mm/tumbukan)	<i>CBR</i> (TRL (1990)) (%)
1	2,534	113,026
2	2,834	100,419
3	2,934	96,805
4	2,667	107,077
5	2,7	105,694
6	2,834	100,419
7	2,8	101,708
8	2,734	104,305
9	2,734	104,305
10	2,667	107,077
11	2,334	123,288
12	2,5	114,651
13	2,834	100,419
14	2,667	107,077
15	2,7	105,694
16	2,834	100,419

4.4 Hubungan Hasil Pengujian *LWD* dan *CBR-DCP*

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada lapisan *subgrade* kelas A, didapatkan nilai *CBR* yang dikonversi dari hasil kecepatan penurunan (*DCPI*) dari pengujian *DCP* dan modulus elastisitas dari pengujian *LWD*.

Kemudian di buat analisis regresi menggunakan hasil pengujian dari masing-masing alat untuk melihat korelasi antar hasil dari kedua alat apakah ikatan antar variabel kuat atau tidak.

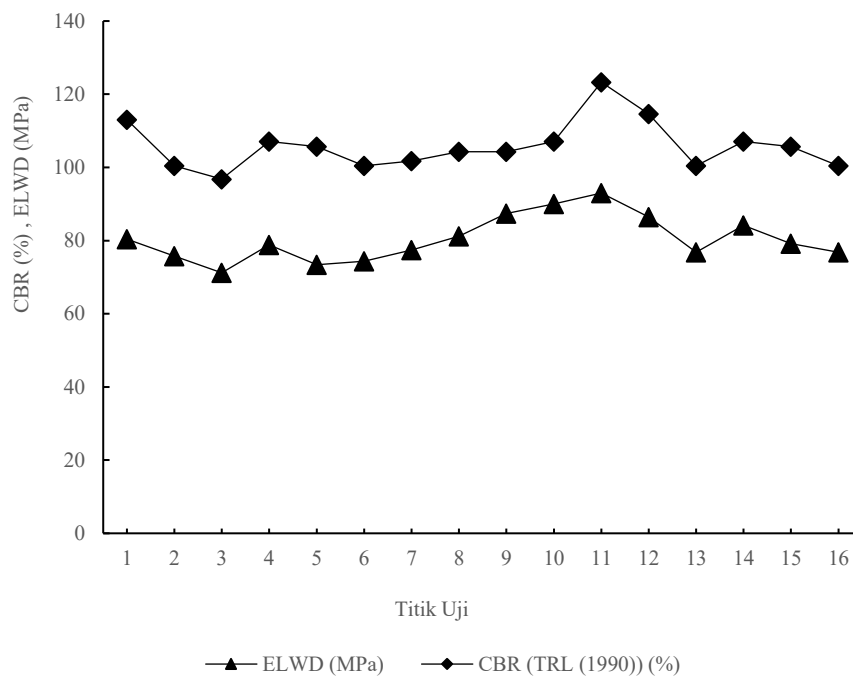
Untuk hasil perbandingan nilai *CBR-DCP* menggunakan persamaan TRL (1990) dan E_{LWD} level 1 dapat dilihat pada Tabel 4.8, dan hasil perbandingan nilai *CBR-DCP* menggunakan persamaan TRL (1990) dan E_{LWD} level 2 dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Perbandingan hasil E_{LWD} lv. 1 dan *CBR* dari pengujian *DCP*

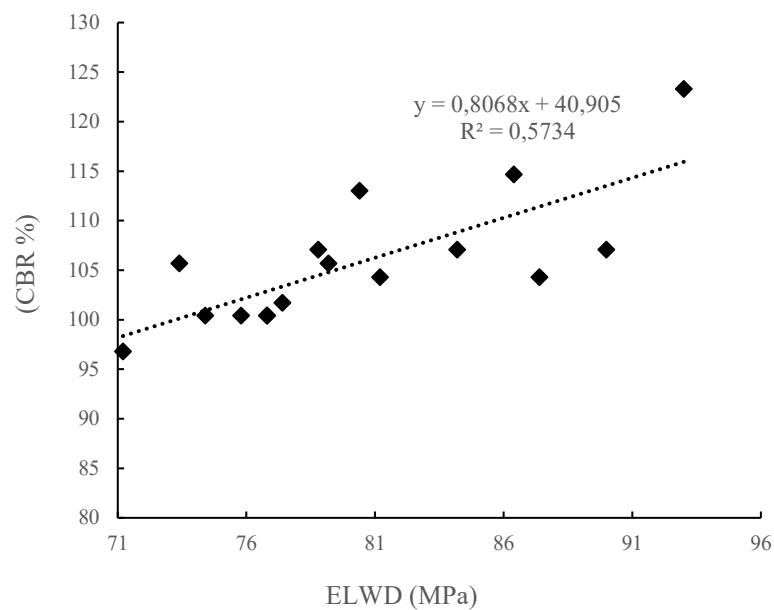
Titik	E_{LWD} (MPa)	<i>CBR</i> (TRL (1990)) (%)
1	80,4	113,026
2	75,8	100,419
3	71,2	96,805
4	78,8	107,077
5	73,4	105,694

Tabel 4.9 Perbandingan hasil $ELWD$ lv. 1 dan CBR dari pengujian DCP
(Lanjutan)

Titik	$ELWD$ (MPa)	CBR (TRL (1990)) (%)
6	74,4	100,419
7	77,4	101,708
8	81,2	104,305
9	87,4	104,305
10	90	107,077
11	93	123,288
12	86,4	114,651
13	76,8	100,419
14	84,2	107,077
15	79,2	105,694
16	76,8	100,419



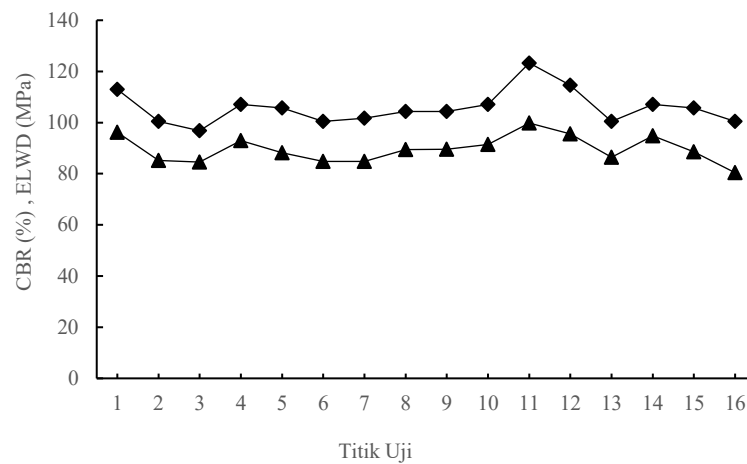
Gambar 4.7 Grafik perbandingan hasil pengujian LWD lv. 1 dan DCP titik 1



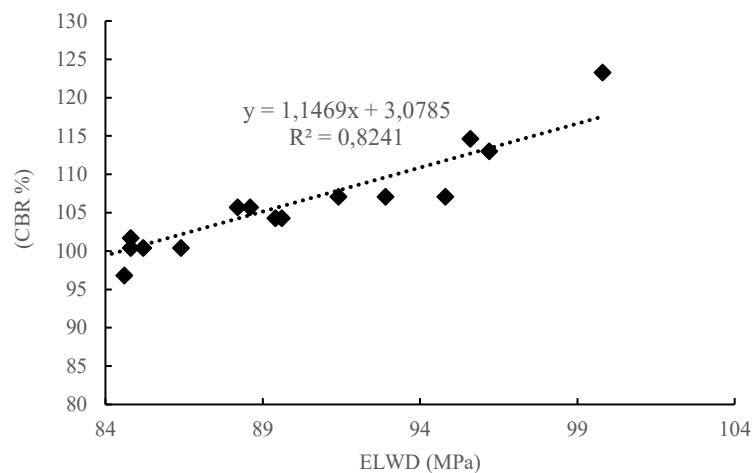
Gambar 4.8 Hubungan nilai E_{LWD} lv. 1 (MPa) dan CBR (%)

Tabel 4.10 Perbandingan hasil E_{LWD} lv. 2 dan CBR dari pengujian DCP

Titik	E_{LWD} (MPa)	CBR (TRL (1990)) (%)
1	96,2	113,026
2	85,2	100,419
3	84,6	96,805
4	92,9	107,077
5	88,2	105,694
6	84,8	100,419
7	84,8	101,708
8	89,4	104,305
9	89,6	104,305
10	91,4	107,077
11	99,8	123,288
12	94,8	114,651
13	86,4	100,419
14	94,8	107,077
15	88,6	105,694
16	80,4	100,419



Gambar 4.9 Grafik perbandingan hasil pengujian LWD lv. 2 dan $CBR-DCP$



Gambar 4.10 Hubungan nilai E_{LWD} lv. 2 (MPa) dan CBR (%)

Berdasarkan hubungan antara nilai E_{LWD} (MPa) dan CBR (%) pada masing-masing level memperoleh hasil yang berbeda, hubungan hasil LWD dengan tinggi jatuh level 1 dan CBR didapatkan analisis regresi dengan persamaan $y = 0,8068x + 40,905$ dan nilai $R^2 = 0,5734$ dapat dilihat pada Gambar 4.5, Untuk hasil LWD dengan tinggi jatuh level 2, hasil analisis regresi yang di dapat adalah $y = 1,1469x - 3,0785$ dan nilai $R^2 = 0,8241$ yang dapat dilihat pada Gambar 4.7. Jika nilai R^2 semakin mendekati 1 maka ikatan antar variabel semakin kuat, berlaku sebaliknya.

Berdasarkan hasil dari persamaan berikut dapat diketahui bahwa nilai pada kedua pengujian ini memiliki karakteristik yang sama, yaitu jika nilai CBR yang

diuji memiliki nilai yang besar maka nilai modulus elastisitas yang dihasilkan juga akan besar, berlaku sebaliknya.

Dapat disimpulkan bahwa nilai modulus elastisitas dari alat *LWD* dan nilai *CBR-DCP* berbanding lurus, dimana dengan nilai *CBR* dapat menentukan kualitas suatu kondisi perkerasan apakah masih layak digunakan atau tidak.

4.4.1. Perbandingan nilai E_{LWD} dan E_{DCP}

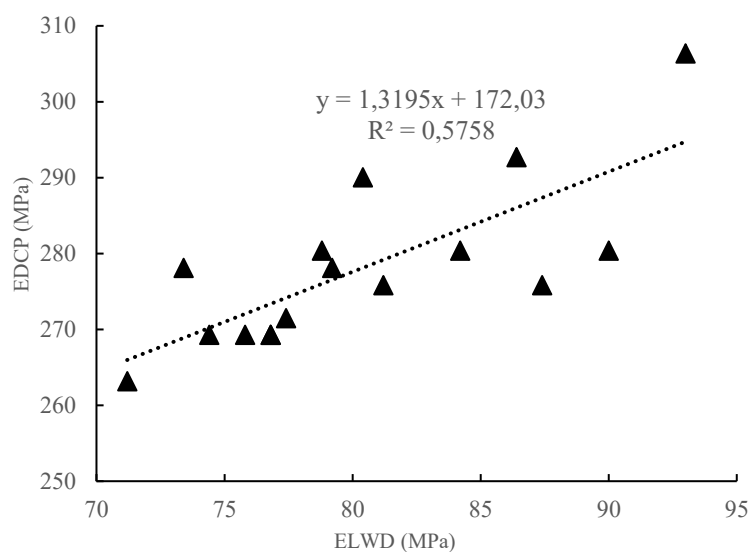
Hasil dari pengujian *LWD* dan *DCP* dibandingkan kembali dengan menggunakan satuan yang sama, untuk mengubah nilai satuan agar memiliki satuan yang sama, nilai *DCPI* yang di dapat pada pengujian *DCP* akan digunakan pada berbagai persamaan dari Pandey dkk. (2003), Lavoie (2005), Chen dkk. (2005), Mohammed dkk. (2007) dan Gerorge and Uddin (2000),

Hasil perhitungan konversi hasil *DCPI* ke MPa pada titik 1 dapat dilihat pada Tabel 4.11, Hasil perhitungan konversi pada titik uji lain terlampir pada Lampiran 11.

Tabel 4.11 Hasil konversi *DCPI* ke MPa

<i>Researches</i>	<i>Models</i>	<i>Resilien modulus Predicted from DCPI (MPa)</i>
Pandey dkk. (2004)	$M_R = 415,4 (PI)^{-0,25}$	196,550
Lavoie (2005)	$M_R = 348,3 (PI)^{-0,64}$	192,096
Chen dkk. (2005)	$E_s = 537,76 (PI)^{-0,6645}$	290,064
Mohammed dkk. (2007)	$M_R = 151,8 (PI)^{-1,096}$	54,790
Gerorge and Uddin (2000)	$M_R = 235,3(PI)^{-0,475}$ (<i>For Granular Materials</i>)	151,292

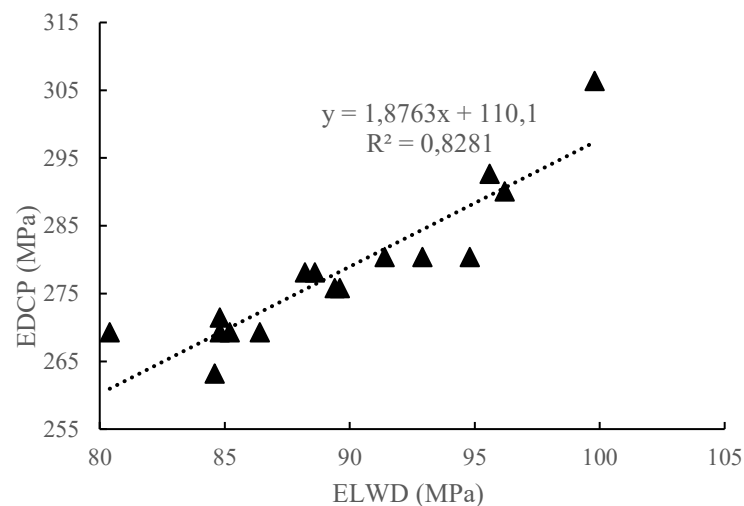
Berdasarkan hubungan analisis regresi antara nilai E_{LWD} dan E_{DCP} menggunakan persamaan di atas, didapatkan nilai R^2 paling mendekati 1 adalah persamaan milik Chen dkk. (2005) dengan hasil E_{LWD} level 1 diperoleh analisis regresi dengan persamaan $y = 1,3195x + 172,03$, dengan nilai $R^2 = 0,5758$ yang dapat dilihat pada gambar 4.8, Untuk hasil analisis regresi antara nilai E_{LWD} level 2 dan E_{DCP} didapatkan persamaan $y = 1,8763x + 110,1$ dengan nilai $R^2 = 0,8281$ yang dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12. Data dan grafik hasil analisis menggunakan persamaan lainnya dapat dilihat pada Lampiran 12.



Gambar 4.11 Hubungan nilai E_{LWD} level 1 dan E_{DCP} menggunakan persamaan Chen dkk. (2005)

Tabel 4.12 Hasil E_{LWD} level 1 (MPa) dan E_{DCP} (MPa) menggunakan persamaan Chen dkk. (2005)

Titik	E_{LWD} (MPa)	E_{DCP} Chen dkk. (2005) (MPa)
1	80,4	290,043
2	75,8	269,295
3	71,2	263,165
4	78,8	280,377
5	73,4	278,097
6	74,4	269,295
7	77,4	271,462
8	81,2	275,796
9	87,4	275,796
10	90	280,377
11	93	306,339
12	86,4	292,678
13	76,8	269,295
14	84,2	280,377
15	79,2	278,097
16	76,8	269,295



Gambar 4.12 Hubungan nilai E_{LWD} level 2 dan E_{DCP} menggunakan persamaan Chen dkk. (2005)

Tabel 4.13 Hasil E_{LWD} level 2 (MPa) dan E_{DCP} (MPa) menggunakan persamaan Chen dkk. (2005)

Titik	E_{LWD} (Mpa)	E_{DCP} Chen dkk. (2005) (Mpa)
1	96,2	290,043
2	85,2	269,295
3	84,6	263,165
4	92,9	280,377
5	88,2	278,097
6	84,8	269,295
7	84,8	271,462
8	89,4	275,796
9	89,6	275,796
10	91,4	280,377
11	99,8	306,339
12	95,6	292,678
13	86,4	269,295
14	94,8	280,377
15	88,6	278,097
16	80,4	269,295

Pemilihan persamaan milik Chen dkk. (2005) pada perhitungan E_{DCP} pada pengujian ini diperkuat oleh penelitian sebelumnya, Menurut Chen dalam George (2009:191), Chen menggabungkan hasil penelitian dari AASHTO (1993) dan Powell (1984) untuk mendapatkan hubungan antara nilai penetrasi ($DCPI$) untuk

pengukuran *DCP* dan modulus (MPa), Persamaan ini diperkuat dengan penelitian menggunakan *DCP* dan *FWD* untuk jalan di Texas, hubungan antara modulus elastisitas *FWD* dan nilai modulus elastisitas berbasis pada kecepatan penetrasi (*DCPI*) menghasilkan nilai $R^2 = 0,855$.