

KORELASI MODULUS ELASTISITAS *LIGHT WEIGHT DEFLECTOMETER* DAN *CALIFORNIA BEARING RATIO*

Indra Nurtjahjaningtyas¹

Jurusan Teknik Sipil
Universitas Jember
Jl. Kalimantan Tegalboto No.37,
Krajan Timur, Sumbersari, Kec.
Sumbersari, Kabupaten Jember,
Jawa Timur 68121

Paksitya Purnama Putra

Jurusan Teknik Sipil
Universitas Jember
Jl. Kalimantan Tegalboto No.37,
Krajan Timur, Sumbersari, Kec.
Sumbersari, Kabupaten Jember,
Jawa Timur 68121

Raffio Rasta Darmawan

Program Studi Teknik Sipil
Universitas Jember
Jl. Kalimantan Tegalboto No.37,
Krajan Timur, Sumbersari, Kec.
Sumbersari, Kabupaten Jember,
Jawa Timur 68121

Abstract

Road pavement construction requires standard planning and evaluation of the foundation layer's structural strength. The commonly used standard is the California Bearing Ratio (CBR). In situ, road layer CBR value evaluation mainly uses a Dynamic Cone Penetrometer (DCP), Sand Cone, or direct CBR. Using these tools requires a lot of equipment, time, and human resources; therefore, more efficient and practical in situ tests such as Light Weight Deflectometer (LWD) are needed. This research was conducted to find any correlation between the results of the LWD test and the results of Field CBR and DCP testing on pavement road's base course. Data collection was carried out at River Side and Rich Village residential areas. From this research, it can be concluded that there is a significant correlation between the LWD modulus value and the 600 mm CBR DCP and the max CBR DCP conversion modulus, with an average coefficient of correlation 0.96 and 0.958.

Keywords: correlation, light weight deflectometer, california bearing ratio, dynamic cone penetrometer, base course pavement

Abstrak

Pekerjaan konstruksi perkerasan jalan raya membutuhkan standar dalam perencanaan dan evaluasi kekuatan struktural lapisan pondasinya. Standar yang digunakan yakni nilai California Bearing Ratio (CBR). Evaluasi nilai CBR di lapangan sebagian besar dilakukan menggunakan alat Dynamic Cone Penetrometer (DCP), Sand Cone, atau CBR langsung. Penggunaan beberapa alat ini membutuhkan peralatan, waktu, dan sumber daya manusia yang tidak sedikit, oleh karena itu diperlukan pengukuran lapangan yang lebih efisien dan praktis seperti Light Weight Deflectometer (LWD). Penelitian ini dilakukan untuk melihat bagaimana korelasi hasil pengujian alat LWD pada base course perkerasan jalan dengan pengujian CBR Lapangan dan DCP. Pengambilan data dilakukan di dua tempat yaitu perumahan River Side Bondowoso dan perumahan Rich Village Jember menggunakan ketiga alat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Terdapat korelasi sangat kuat antara nilai modulus LWD uji dengan modulus konversi CBR DCP max dan CBR DCP kedalaman 600 mm. Dengan rerata nilai korelasi berurut 0.958 dan 0.96.

Kata Kunci: korelasi, light weight deflectometer, california bearing ratio, dynamic cone penetrometer, lapis pondasi perkerasan

LATAR BELAKANG

Pekerjaan konstruksi perkerasan jalan raya membutuhkan suatu standar dalam perencanaan dan evaluasi kekuatan struktural lapisan pondasinya. Standar yang digunakan yakni nilai *California Bearing Ratio* (CBR). Untuk evaluasi nilai CBR dari suatu lapisan jalan dilapangan sebagian besar dilakukan dengan pengukuran menggunakan alat *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP), *Sand Cone*, atau CBR langsung. Penggunaan beberapa alat ini membutuhkan peralatan, waktu, dan sumber daya manusia yang tidak sedikit, oleh karena

¹ Corresponding author: indra.nurtj@gmail.com

itu diperlukan pengukuran lapangan yang lebih efisien dan praktis. *Light Weight Deflectometer* (LWD) yang berkonsep seperti *falling weight deflectometer* (FWD) portabel ini menjadi salah satu solusi inovatif terkini.

LWD mengukur lendutan dan kekakuan lapisan perkerasan dengan beban tertentu, yang nantinya dapat dilihat derajat kepadatannya. LWD, yang pertama kali dikembangkan di Jerman untuk digunakan dalam konstruksi pondasi perkerasan, semakin mendapat perhatian untuk digunakan dalam kendali mutu/jaminan mutu (QC/QA) selama konstruksi perkerasan. LWD telah dievaluasi secara ekstensif di beberapa negara Eropa, terutama di Inggris Raya dan Amerika Serikat khususnya Minnesota.

Di Indonesia sendiri pada tahun 2018 Spesifikasi Binamarga baru mulai mensyaratkan LWD dalam proses quality control untuk pemadatan lapisan granular konstruksi jalan. Karena alat LWD ini dapat dikatakan baru, di Jawa Timur khususnya Jember masih sangat jarang ditemui dan digunakan sebagai alat kontrol kualitas konstruksi jalan. Oleh karena itu perlu diadakan penelitian penggunaan alat LWD pada konstruksi jalan. Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian alat LWD pada base course perkerasan jalan yang akan dikorelasikan dengan hasil pengujian CBR Lapangan dan DCP.

Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan ditemukan hubungan antara nilai LWD dengan nilai CBR sehingga dapat dijadikan acuan ataupun bahan pertimbangan penggunaan LWD sebagai alat kontrol kualitas pekerjaan pemadatan lapisan pondasi maupun perencanaan ketebalan perkerasan jalan raya. Diharapkan pula, dapat dijadikan sumber kajian atau referensi oleh peneliti selanjutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Uji

1. Lokasi Ruas Jalan Perumahan River Side Bondowoso

Penelitian tentang korelasi nilai modulus elastisitas LWD dan CBR pada base course perkerasan jalan dilakukan dengan tiga jenis pengujian di empat titik uji pada ruas jalan perumahan River Side, Bondowoso. Hasil yang didapatkan berupa data *Penetration Rate* (PR) dalam satuan mm/tumbukan dari pengujian DCP dan nilai perbandingan penetrasi/beban/waktu dari pengujian CBR Lapangan sesuai BSN (2011). Nilai CBR lapangan pada pembacaan dial 1' dan 2' dikelompokkan menjadi CBR lap min untuk nilai CBR terkecil dan CBR lap max untuk nilai CBR terbesar. Data pengujian DCP berupa nilai PR diolah menjadi nilai CBR dengan persamaan sesuai dengan SEMENPU (2010)

$$\log_{10}(CBR) = 2.8135 - 1.313 \log_{10}(PR) \quad (1)$$

Dimana,

CBR = Nilai *California Bearing Ratio* (%).

PR = Penetrasi rata-rata (mm/blows).

Setelah itu dipilih tiga jenis CBR representatif yakni CBR minimum, CBR maximum, dan CBR untuk kedalaman 60 cm/ 2*Diameter plat LWD (Makwana, 2016). Sedangkan data dari pengujian LWD berupa modulus elastisitas (Evd) dalam satuan MPa. Data hasil pengujian disajikan dalam Tabel 1

Tabel 1. Hasil pengujian LWD, CBR lapangan, dan CBR DCP River Side.

River Side Titik Uji	LWD	CBR lap		CBR DCP		
	Evd (MPa)	Min (%)	Max (%)	Min (%)	Max (%)	600 mm (%)
RS1	86.82	45.55	46.43	12.98	74.71	45.19
RS2	25.80	39.14	41.13	8.40	19.93	22.99
RS3	65.10	30.96	34.49	8.04	47.62	34.02
RS4	47.53	44.66	45.77	8.74	47.16	34.02

2. Lokasi Ruas Jalan Perumahan Rich Village Jember

Pengujian modulus LWD dan CBR lapangan *base course* juga dilakukan pada lima titik uji ruas jalan perumahan Rich Village, Jember. Hasil pengujian didapatkan data CBR Lapangan berupa perbandingan penetrasi/beban/waktu dan data modulus elastisitas (Evd) dari pengujian LWD. Data pengujian CBR lapangan pada pembacaan dial 1' dan 2' dikelompokkan menjadi nilai CBR minimum dan CBR maximum sedangkan nilai LWD dalam MPa. Data hasil pengujian *base course* Rich village disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian LWD dan CBR lapangan Rich Village

Rich Village Titik Uji	LWD	CBR lap	
	Evd (MPa)	Min (%)	Max (%)
E1	159.2	80.96	86.02
E2	58.6	97.83	98.95
E3	36.9	64.09	67.47
D1	97.5	59.03	76.46
D2	68.8	80.96	86.02

Nilai CBR dan Modulus berdasarkan lapangan dan konversi

Data hasil pengujian LWD, CBR lapangan, CBR DCP perlu dikonversi untuk dapat dibandingkan dalam satu elemen. Pada penelitian ini perbandingan dilakukan pada nilai CBR (%) dan nilai modulus elastisitas (MPa). Data CBR (%) hasil pengujian CBR lapangan dan DCP dikonversi menggunakan tiga rumus empiris dikutip dari Look (2007) berdasarkan AASHTO untuk CBR > 10% (2), NAASRA untuk CBR > 5% (3), dan QMR untuk CBR > 15% (4). Sedangkan data pengujian LWD lapangan dengan satuan MPa dikonversikan menjadi nilai CBR (%) menggunakan invers dari tiga persamaan AASHTO, NAASRA, dan *Queensland Main Road*.

$$E = 36 \text{ CBR}^{0.5} \quad (2)$$

$$E = 22.4 \text{ CBR}^{0.5} \quad (3)$$

$$E = 21.2 \text{ CBR}^{0.64} \quad (4)$$

dimana,

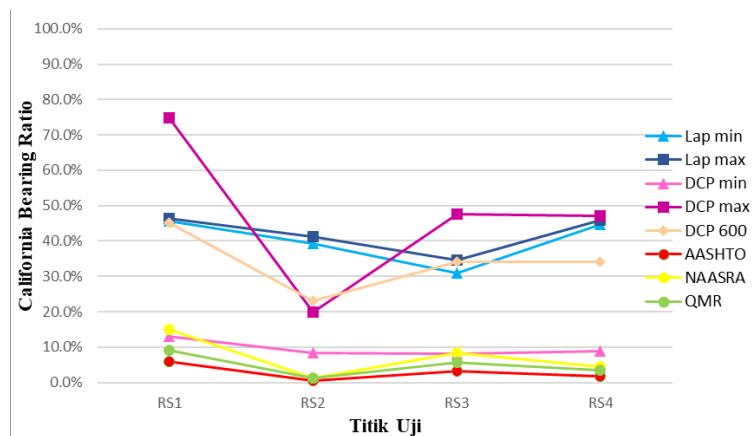
CBR = Nilai *California Bearing Ratio* (%)

E = Modulus *Base Course* (Mpa)

1. Lokasi Ruas Jalan Perumahan River Side Bondowoso

Tabel 3. Nilai CBR lapangan, CBR DCP pengujian dan CBR konversi LWD River Side

Titik Uji	CBR Lapangan		CBR DCP		CBR konversi LWD			
	Min (%)	Max (%)	Min (%)	Max (%)	600mm (%)	AASHTO (%)	NAASRA (%)	QMR (%)
RS1	45.55	46.43	12.98	74.71	45.19	5.82	15.02	9.05
RS2	39.14	41.13	8.40	19.93	22.99	0.51	1.33	1.36
RS3	30.96	34.49	8.04	47.62	34.02	3.27	8.45	5.77
RS4	44.66	45.77	8.74	47.16	34.02	1.74	4.50	3.53

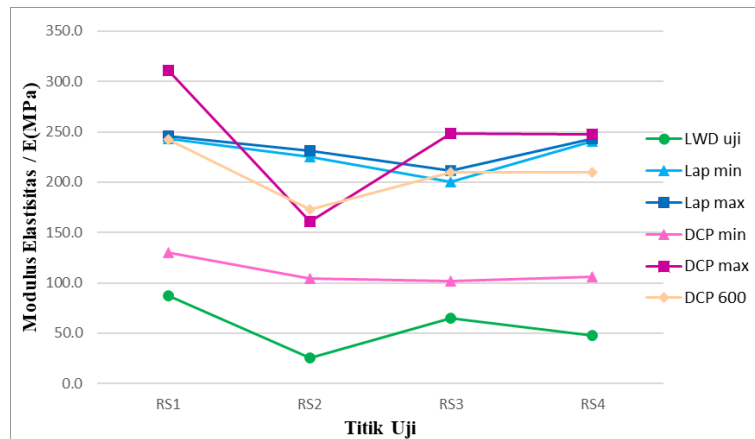


Gambar 1. Grafik California Bearing Ratio River Side

Berdasarkan gambar 1 Dapat dilihat bahwa nilai CBR hasil konversi dari LWD uji berdasarkan AASHTO, NAASRA, dan QMR semua berada dibawah CBR uji lapangan baik DCP maupun CBR lapangan (*pressure plate*). Nilai CBR dari uji DCP maximum menempati tiga nilai CBR terbesar dari empat titik uji dan konversi LWD dengan persamaan AASHTO memiliki nilai CBR terendah pada setiap titik. Titik uji RS2 memiliki rerata nilai CBR terendah yakni 17% dan RS1 memiliki rerata CBR tertinggi dengan nilai 32%.

Tabel 4. Nilai modulus LWD uji dan modulus konversi CBR uji berdasarkan AASHTO

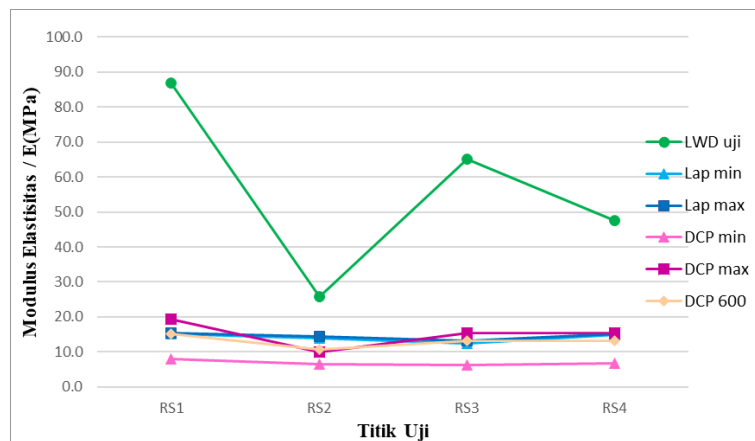
Titik Uji	AASHTO LWD E _{vd} (MPa)	Konversi CBR lap		Konversi DCP		
		E min (MPa)	E max (MPa)	E min (MPa)	E max (MPa)	E 600mm (MPa)
RS1	86.82	242.96	245.31	129.70	311.17	241.99
RS2	25.80	225.21	230.87	104.34	160.73	172.60
RS3	65.10	200.30	211.43	102.08	248.44	209.96
RS4	47.53	240.59	243.55	106.43	247.23	209.96

Gambar 2. Grafik modulus LWD dan konversi AASHTO *River Side*

Berdasarkan gambar 2 nilai modulus dari LWD uji berada di bawah semua nilai modulus hasil konversi dari CBR uji. Terdapat kemiripan pola grafik yang signifikan dari modulus LWD uji dengan modulus konversi DCP 600 mm, terdapat perbedaan rerata 152.32 MPa dan deviasi 5% dari rerata.

Tabel 5. Nilai ELWD uji dan modulus konversi CBR uji berdasarkan NAASRA

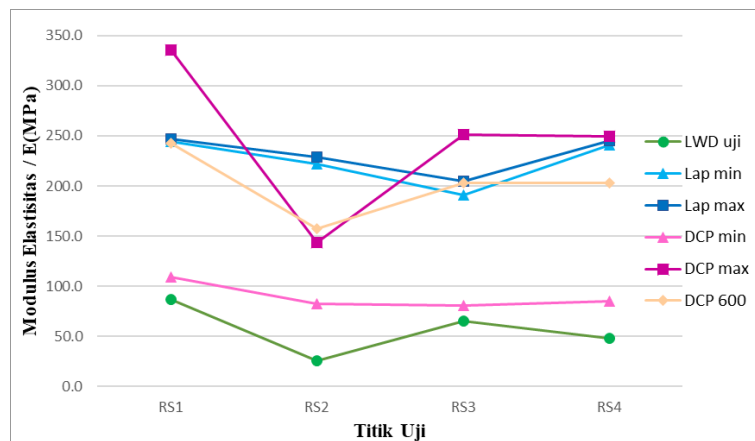
NAASRA	LWD	Konversi CBR lap		Konversi DCP		
Titik Uji	Evd (MPa)	E min (MPa)	E max (MPa)	E min (MPa)	E max (MPa)	E 600mm (MPa)
RS1	245.31	15.12	15.26	8.07	19.36	15.06
RS2	230.87	14.01	14.37	6.49	10.00	10.74
RS3	211.43	12.46	13.16	6.35	15.46	13.06
RS4	243.55	14.97	15.15	6.62	15.38	13.06

Gambar 3. Grafik Modulus LWD dan konversi NAASRA *River Side*

Berbanding terbalik dengan konversi AASHTO, semua nilai modulus konversi NAASRA berada dibawah nilai modulus LWD uji. Nilai modulus berdasarkan konversi NAASRA memiliki nilai rerata 12.71 MPa sedangkan modulus LWD memiliki rerata 56.32 MPa.

Tabel 6. Nilai ELWD dan modulus konversi CBR uji berdasarkan *Queenland Main Road*

QMR	LWD	Konversi CBR lap		Konversi DCP		
Titik Uji	Evd (MPa)	E min (MPa)	E max (MPa)	E min (MPa)	E max (MPa)	E 600mm (MPa)
RS1	86.82	244.21	247.23	109.36	335.20	242.96
RS2	25.80	221.61	228.76	82.77	143.90	157.65
RS3	65.10	190.73	204.40	80.49	251.27	202.59
RS4	47.53	241.16	244.97	84.91	249.71	202.59

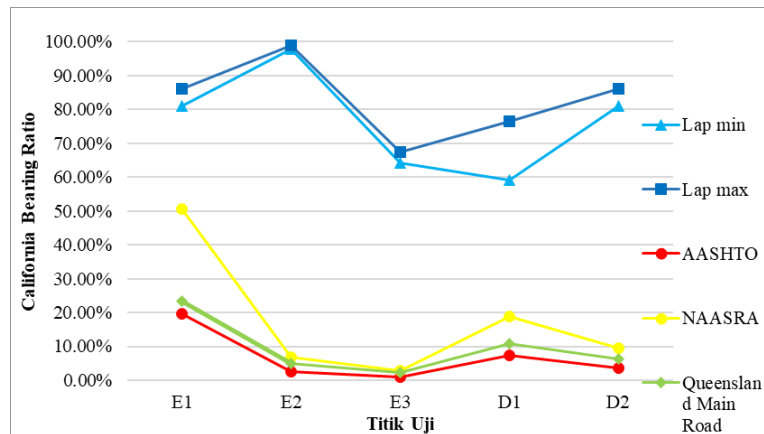
Gambar 4. Grafik Modulus LWD dan konversi QMR *River Side*

Secara konfigurasi grafik modulus konversi QMR mirip dengan konversi AASHTO tetapi sebaran datanya lebih jauh. Semua nilai modulus konversi berada diatas nilai modulus LWD uji. Bila dilakukan perbandingan modulus DCP 600 seperti pada ASSHTO, didapatkan rerata jarak 145.13 MPa yang lebih kecil dibanding rerata jarak AASHTO tetapi memiliki simpangan 9% yang mana lebih besar dari AASHTO.

2. Lokasi Ruas Jalan Perumahan Rich Village Jember

Tabel 7. Nilai CBR lapangan uji dan CBR konversi LWD uji

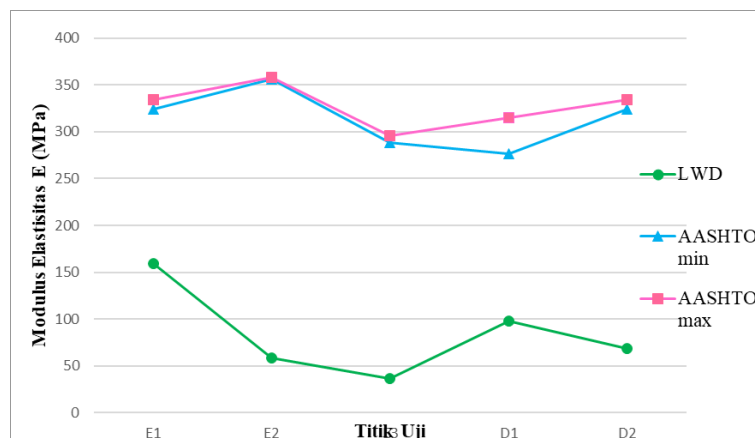
CBR Titik Uji	Uji Lapangan		Konversi LWD		QMR (%)
	Lap min (%)	Lap Max (%)	AASHTO (%)	NAASRA (%)	
E1	80.96	86.02	19.56	50.51	23.34
E2	97.83	98.95	2.65	6.84	4.90
E3	64.09	67.47	1.05	2.71	2.38
D1	59.03	76.46	7.34	18.95	10.85
D2	80.96	86.02	3.65	9.43	6.29

Gambar 5. Grafik *California Bearing Ratio Rich Village*

Semua nilai CBR konversi berada dibawah nilai CBR Lapangan dengan rerata rentang yang cukup jauh. Rentang perbedaan rerata CBR lapangan dan CBR konversi persamaan AASHTO berjarak 76.64%, persamaan NAASRA berjarak 65,8%, dan persamaan QMR berjarak 73.94%. Tidak ditemukan hubungan yang signifikan baik searah maupun berbanding terbalik antara garis CBR konversi dan CBR lapangan.

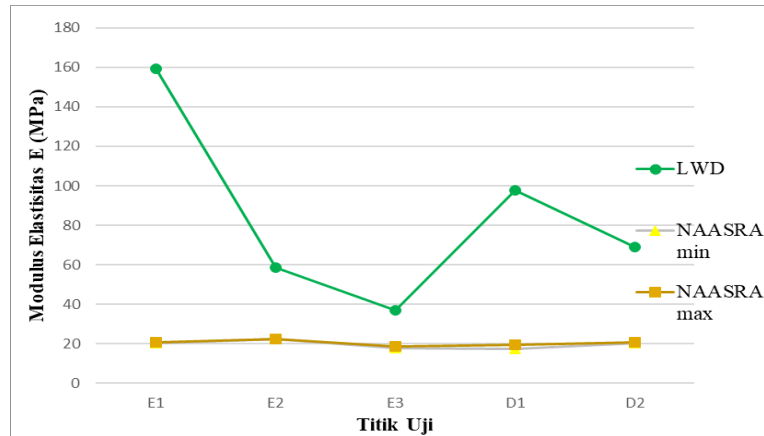
Tabel 8. Nilai modulus LWD uji dan modulus konversi CBR uji berdasarkan AASHTO

AASHTO	LWD	Konversi CBR Lap	
Titik Uji	Evd (MPa)	E min (MPa)	E max (MPa)
E1	159.2	323.92	333.89
E2	58.6	356.07	358.11
E3	36.9	288.21	295.70
D1	97.5	276.60	314.79
D2	68.8	323.92	333.89

Gambar 6. Grafik Modulus LWD dan konversi AASHTO *Rich Village*

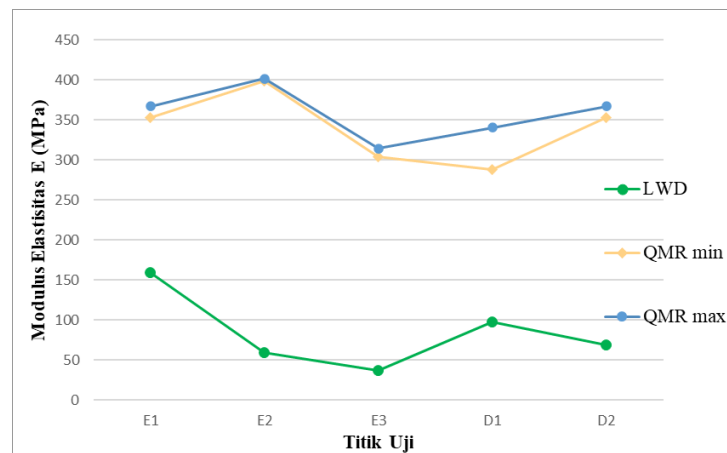
Tabel 9. Nilai modulus LWD uji dan modulus konversi CBR uji berdasarkan NAASRA

NAASRA Titik Uji	LWD Evd (MPa)	Konversi CBR Lap	
		E min (MPa)	E max (MPa)
E1	159.2	20.16	20.78
E2	58.6	22.16	22.28
E3	36.9	17.93	18.40
D1	97.5	17.21	19.59
D2	68.8	20.16	20.78

Gambar 7. Grafik Modulus LWD dan konversi NAASRA *Rich Village*

Tabel 10. Nilai ELWD uji dan E konversi CBR uji berdasarkan QMR

QMR Titik Uji	LWD Evd (MPa)	Konversi CBR Lap	
		E min (MPa)	E max (MPa)
E1	159.2	352.88	366.84
E2	58.6	398.32	401.24
E3	36.9	303.88	314.02
D1	97.5	288.30	340.21
D2	68.8	352.88	366.84

Gambar 8. Grafik Modulus LWD dan konversi QMR *Rich Village*

Koefisien Korelasi

Pada penelitian ini digunakan aplikasi *Statistical Package for Social Science* (SPSS 29) sebagai alat bantu analisis statistik sesuai Kafle, (2019). Menurut Sugiyono, (2017) interpretasi koefisien korelasi (R) dapat dibagi seperti pada tabel 11 dibawah ini.

Tabel 11. Interpretasi nilai Koefisien Korelasi.

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0.00 – 0.199	Sangat rendah
0.20 – 0.399	Rendah
0.40 – 0.599	Cukup
0.60 – 0.799	Kuat
0.80 – 1.000	Sangat Kuat

Korelasi modulus elastisitas pengujian LWD dan modulus dari konversi pengujian CBR dan DCP sesuai tabel-tabel diatas dicari menggunakan SPSS dan didapatkan koefisien korelasi (R) seperti tabel 12 dan 13 dibawah.

Tabel 12. Koefisien Korelasi (R) ELWD *River Side* berdasarkan SPSS

<i>Proximity Matrix</i>		
<i>Correlation between Vectors of Values</i>		Tingkat Hubungan
	RS_Elwd	
RS_Elwd	1.000	
RS_AASHTO_Ecbrlapmin	0.123	Sangat Rendah
RS_AASHTO_Ecbrlapmax	0.130	Sangat Rendah
RS_AASHTO_Edcpmin	0.737	Kuat
RS_AASHTO_Edcpmax	0.957	Sangat Kuat
RS_AASHTO_Edcp600mm	0.960	Sangat Kuat
RS_NAASRA_Ecbrlapmin	0.124	Sangat Rendah
RS_NAASRA_Ecbrlapmax	0.128	Sangat Rendah
RS_NAASRA_Edcpmin	0.737	Kuat
RS_NAASRA_Edcpmax	0.957	Sangat Kuat
RS_NAASRA_Edcp600mm	0.960	Sangat Kuat
RS_QMR_Ecbrlapmin	0.129	Sangat Rendah
RS_QMR_Ecbrlapmax	0.135	Sangat Rendah
RS_QMR_Edcpmin	0.739	Kuat
RS_QMR_Edcpmax	0.960	Sangat Kuat
RS_QMR_Edcp600mm	0.960	Sangat Kuat
This is a similarity matrix		

Tabel 13. Koefien korelasi (R) ELWD *Rich Village* berdasarkan SPSS

<i>Correlation between Vectors of Values</i>		Tingkat Hubungan
	RV_Elwd	
RV_Elwd	1.000	
RV_AASHTO_Ecbrlapmin	0.039	Sangat Rendah
RV_AASHTO_Ecbrlapmax	0.211	Rendah
RV_NAASRA_Ecbrlapmin	0.040	Sangat Rendah
RV_NAASRA_Ecbrlapmax	0.212	Rendah
RV_QMR_Ecbrlapmin	0.036	Sangat Rendah
RV_QMR_Ecbrlapmax	0.204	Rendah
This is a similarity matrix		

Terdapat 6 nilai koefisien korelasi yang masuk pada kategori korelasi sangat kuat yaitu korelasi RS Elwd dengan RS AASHTO Edcpmax, RS AASHTO Edcp600mm, RS NAASRA Edcpmax, RS NAASRA Edcp600mm, RS QMR Edcpmax, dan RS QMR Edcp600mm. Hubungan ELWD dan EDCPmax pada ketiga konversi memiliki korelasi sangat kuat dengan rerata koefisien korelasi 0.958. Hubungan ELWD dan EDCP600mm pada ketiga konversi memiliki korelasi sangat kuat dengan rerata koefisien korelasi 0.960. Sedangkan tidak terdapat korelasi kuat antara nilai ELWD dengan ECBR lapangan

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis hasil penelitian dan pembahasan tentang korelasi nilai modulus elastisitas *Light Weight Deflectometer* (LWD) dan *California Bearing ratio* (CBR) pada *Base Course* perkerasan jalan maka dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi sangat kuat antara nilai modulus elastisitas LWD uji dengan modulus hasil konversi nilai CBR pengujian DCP max dan nilai CBR pengujian DCP 600mm.

DAFTAR PUSTAKA

- Look, B.G., 2007, *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables* (1st ed.). Taylor & Francis. Hal 166, <https://doi.org/10.1201/9780203946602>.
- Badan Standarisasi Nasional. 2011 *Cara Uji CBR (California Bearing Ratio) Lapangan*. Jakarta. SNI 1738-2011.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). 2010. *Pedoman Cara Uji California Bearing Ratio (CBR) Dengan Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*. Jakarta: Kementerian PUPR. 20hal
- Kafle S.C., 2019, *Correlation and Regresion Analysis Using SPSS*, Bharatpur, Oxford research Department, 10 hal
- Makwana, P. 2016, *Structural evaluation and quality assurance of flexible pavement using Light Weight Deflectometer*, Journal of Civil and Structural Engineering. 6. 10.6088/ijcser.6014.
- Sugiyono. 2017. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*, Bandung, Alfabeta,