

KONSISTENSI LIGHT WEIGHT DEFLECTOMETER PUSAT PENELITIAN JALAN DAN JEMBATAN (PUSJATAN) PADA JALAN TANAH

Nesta Permana¹⁾, Siegfried Syafier²⁾

¹⁾Universitas Langlangbuana

²⁾Universitas Langlangbuana

email: nestapermana6@gmail.com¹⁾, sigfried.syafier@gmail.com²⁾

ABSTRAK

Infrastruktur jalan yang kuat memainkan peran penting dalam mendukung mobilitas masyarakat, pertumbuhan ekonomi, dan pengembangan wilayah. Perkerasan jalan tanah merupakan jenis perkerasan yang paling sering digunakan di daerah pedesaan atau wilayah dengan lalu lintas ringan hingga sedang. Keunggulannya meliputi biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan perkerasan aspal serta kemudahan konstruksinya. Namun, tantangan utama perkerasan tanah terletak pada memastikan konsistensi dan stabilitas yang memadai, karena keberhasilan perkerasan bergantung pada pemadatan yang tepat. Pemadatan lapisan jalan tanah dasar merupakan aspek kritis yang, jika gagal, dapat menyebabkan deformasi dan kerusakan dini pada perkerasan. Salah satu alat yang digunakan untuk menguji stabilitas dan lendutan perkerasan adalah *Light Weight Deflectometer* (LWD), yang memberikan data penting mengenai kualitas tanah dasar sebelum perkerasan diterapkan.

Kata Kunci: Infrastruktur Jalan, Pemadatan Tanah, Light Weight Deflectometer, Stabilitas Perkerasan.

I. PENDAHULUAN

Sistem negara bergantung pada infrastruktur. Mobilitas masyarakat, pertumbuhan ekonomi, dan pengembangan wilayah akan diuntungkan oleh infrastruktur yang baik dan kuat. Perkerasan jalan, jalan tanah adalah jenis perkerasan jalan yang paling umum dipakai pada wilayah pedesaan atau daerah dengan lalu lintas ringan hingga sedang. Ini merupakan lapisan perkerasan yang terdiri dari agregat batu-batuan berukuran kasar yang disusun dalam lapisan tertentu dan dikompaksi untuk membuat struktur yang kokoh dan tahan lama. Keunggulan dari perkerasan ini adalah bahwa mereka lebih murah daripada perkerasan aspal. Serta cukup mudah untuk dibangun. Selain itu, perkerasan jalan tanah sangat baik untuk lalu lintas kendaraan ringan hingga menengah, membuatnya menjadi pilihan yang relevan saat membangun dan memperbaiki jalan di banyak tempat.

Meskipun perkerasan jalan memiliki banyak keuntungan, masalah utamanya adalah mendapatkan konsistensi dan stabilitas yang cukup. Perkerasan jalan bergantung pada adhesi antara partikel untuk membuat lapisan

yang padat dan kokoh. Metode pengujian yang tepat diperlukan untuk memastikan bahwa kualitas perkerasan jalan tanah sesuai dengan standar teknis yang berlaku. Kualitas dan kekuatan perkerasan jalan tanah akan dipengaruhi oleh variabel seperti bentuk dan ukuran butir, sifat material pengikat, dan teknik konstruksi. Tanah merupakan salah satu contoh unsur tersebut [1].

Pemadatan lapisan tanah adalah salah satu tugas yang paling penting saat mengerjakan pekerjaan jalan. Kegagalan pemadatan lapisan dasar akan menyebabkan kerusakan dini pada sistem perkerasan saat berumur pelayanan. Deformasi yang berlebihan akan menyebabkan kerusakan ini. Hal ini akan membahayakan orang yang melewati jalan tersebut dan merusak kendaraan yang melewati jalan tersebut [2].

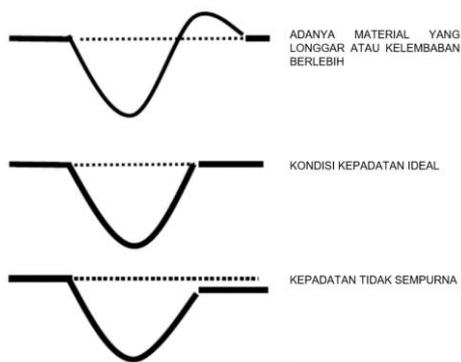
Salah satu alat uji yang telah digunakan untuk mengukur ketahanan dan kekuatan perkerasan adalah *Light Weight Deflectometer* (LWD). LWD adalah alat uji non-destruktif yang menjanjikan untuk melakukan pengujian cepat dan mudah tanpa merusak permukaan jalan [1]. Pengujian menggunakan LWD dilakukan dengan cara mengenakan beban

berat pada permukaan jalan dan mengukur kedalaman defleksi (kedalaman penurunan) yang terjadi pada permukaan jalan sebagai respons terhadap beban tersebut. Hasil uji LWD dapat memberikan informasi tentang kemampuan perkerasan jalan dalam menahan beban kendaraan dan menilai tingkat konsistensi dan stabilitasnya [1].

Light Weight Deflectometer (LWD) adalah alat yang digunakan untuk menguji sistem perkerasan jalan lentur, dan lapisan tanah dasar yang disiapkan untuk mendapatkan respon lendutan. Tujuan utama dari pengujian *Mini Light Weight Deflectometer* berbasis AKSELEROMETER ini adalah untuk mendapatkan konsistensi lapisan yang diuji. Agar menyediakan pondasi yang kaku dan stabil. Terdapat tiga kondisi umum hasil uji MLWD yang dapat ditemukan di lapangan, yaitu:

1. Adanya material yang longgar (*loose material*) atau kondisi kelembaban yang berlebihan.
2. Kondisi kepadatan ideal.
3. Kondisi kepadatan dengan kualitas tidak sempurna.

Ketiga kondisi tersebut diilustrasikan oleh tipikal respon sinyal dari hasil pengujian MLWD yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi respon sinyal dari pengujian MLWD [3]

Sifat fisik tanah adalah sifat yang dapat dilihat atau diamati secara langsung, seperti tekstur tanah, struktur tanah, porositas tanah, konsistensi tanah, kepadatan tanah [4]. Berikut adalah sifat tanah, seperti yang dijelaskan oleh Debbyyani:

1. Tekstur tanah, besar kecilnya ukuran partikel yang menyusun tanah. Setiap jenis tanah memiliki ukuran partikel yang berbeda. Jenis-jenis tanah yang dibedakan berdasarkan ukuran partikelnya. adalah tanah pasir, tanah liat, dan tanah lempung. Kondisi struktur tanah sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat fisik tanah lainnya, seperti porositas tanah dan warna tanah.
2. Struktur tanah: Beberapa jenis struktur tanah antara lain granular, gumpal, prisma, tiang, dan lempeng. Struktur tanah juga mencakup susunan ruangan partikel tanah yang bergabung untuk membentuk gumpalan kecil.
3. Porositas tanah adalah kemampuan tanah untuk menyerap air, yang berkorelasi dengan kepadatan tanah. Tanah yang lebih padat memiliki porositas yang lebih rendah karena tanah yang padat sulit untuk menyerap air. Tanah yang subur memiliki porositas yang lebih tinggi karena akan memudahkan akar tanaman untuk menembus tanah untuk mencari bahan organik, dan tanah dengan porositas tinggi juga mampu menahan air hujan.
4. Konsistensi tanah diukur dengan tingkat banyaknya tanah liat. Ini adalah karakteristik tanah yang menunjukkan kekuatan dan adhesi tanah pada berbagai tingkat kelembapan. Konsistensi juga berarti kemampuan tanah untuk menempel pada benda lain dan mencegah deformasi atau berpisah.
5. Kepadatan tanah biasanya tetap konstan, bervariasi antara 2,6 dan 2,75 gram per sentimeter. Lebih banyak air dapat disimpan di tanah dengan kepadatan rendah dibandingkan di tanah dengan partikel organik lebih sedikit. Namun hal ini tidak berarti bahwa tanah tersebut mendukung perkembangan tanaman. Pasir melimpah di tanah dengan kepadatan tinggi.

Struktur tanah merujuk pada penyusunan butiran primer dan sekunder tanah yang membentuk susunan tertentu dengan ruang pori di antaranya. Struktur ini menunjukkan karakteristik gumpalan tanah yang membulat, di mana tanah di sekitarnya juga menggumpal dengan bentuk yang lebih tajam di sudut luarnya. Bentuk tanah yang membulat serta tidak berpori mencerminkan

karakteristik strukturnya. Dengan demikian, tanah yang memiliki struktur ini, meskipun tidak terlalu kering dan mengandung sedikit air, masih tetap dapat mendukung pertumbuhan tanaman [4].

Tanah dengan tekstur umumnya kasar dan berpori memiliki butiran yang tersusun longgar, menciptakan banyak rongga udara di antara butirannya. Rongga ini memungkinkan air dan udara mengalir dengan mudah melalui tanah, menjadikannya ideal untuk digunakan dalam berbagai proyek konstruksi dan drainase. Sifat porositas dan drainase yang baik dari tanah granular sering dimanfaatkan dalam pembangunan infrastruktur seperti jalan raya, landasan pacu bandara, pondasi bangunan, serta proyek pemadatan tanah [3].

Meskipun alat *Light Weight Deflectometer* (LWD) Pusjatan telah banyak digunakan dalam berbagai pengujian tanah, penelitian terdahulu belum mencakup penggunaan alat ini secara spesifik pada media jalan tanah. Hal ini menimbulkan pertanyaan mengenai konsistensi dan keakuratan pengujian yang dilakukan menggunakan LWD Pusjatan pada jenis tanah ini. Tanpa adanya pengujian yang spesifik pada jalan tanah, tidak dapat dipastikan apakah alat ini memberikan hasil yang konsisten dan dapat diandalkan dalam kondisi tersebut.

Kebaruan dari penelitian ini terletak pada eksplorasi penggunaan LWD Pusjatan dalam pengujian pada jalan tanah, yang belum pernah dilakukan sebelumnya. Penelitian ini berusaha menjawab celah pengetahuan tersebut dengan melakukan pengujian yang komprehensif terhadap performa alat LWD Pusjatan pada media jalan tanah. Dengan demikian, penelitian ini akan memberikan kontribusi baru dalam bidang pengujian tanah, khususnya terkait validitas penggunaan LWD Pusjatan pada kondisi jalan tanah yang lebih kompleks dibandingkan media uji lainnya. Hasil dari penelitian ini diharapkan tidak hanya mengisi kekosongan literatur yang ada, tetapi juga memberikan pedoman teknis yang lebih jelas bagi praktisi di lapangan dalam menggunakan LWD Pusjatan untuk pengujian pada jalan tanah.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kepadatan dan daya dukung tanah, yang sangat penting dalam proses

pembangunan infrastruktur seperti jalan. Jika pengujian terhadap tanah tidak dilakukan dengan benar, dampaknya mungkin tidak segera terlihat. Namun, dalam beberapa tahun setelah pembangunan, masalah seperti penurunan kepadatan tanah, pergeseran jalan, serta kerusakan struktur yang mudah dapat muncul. Penggunaan alat *Light Weight Deflectometer* (LWD) yang dikembangkan oleh Pusat Penelitian Jalan dan Jembatan (Pusjatan) bertujuan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam tentang konsistensi tanah serta faktor-faktor yang mempengaruhi hasil pengujian. Variabel-variabel tersebut dapat berdampak signifikan terhadap hasil pengukuran, sehingga memahami bagaimana konsistensi dan faktor lain memengaruhi hasil pengujian menjadi sangat penting.

Penelitian ini akan memberikan wawasan yang lebih komprehensif mengenai penerapan *Light Weight Deflectometer* Pusjatan dalam pengujian tanah di jalan raya. Dengan demikian, studi ini diharapkan dapat berkontribusi dalam meningkatkan akurasi dan keandalan pengujian tanah dalam industri konstruksi dan proyek-proyek infrastruktur.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif untuk mencapai kesimpulan yang akurat dan terukur. Metode kuantitatif dipilih karena bergantung pada data konkrit dan nyata, yang bersifat numerik serta dapat diukur secara objektif. Data angka yang dihasilkan dari pengukuran akan digunakan untuk menguji hipotesis serta menjawab permasalahan yang diteliti. Menurut Sugiyono [5], metode kuantitatif efektif dalam menganalisis data dengan mengutamakan pendekatan statistik guna memastikan validitas dan reliabilitas hasil penelitian.

Proses pengumpulan data dilakukan melalui pengujian langsung di lapangan menggunakan alat *Mini Light Weight Deflectometer* (LWD), yang telah banyak digunakan dalam pengujian tanah. Alat ini berfungsi memberikan pengukuran numerik yang menunjukkan tingkat konsistensi dan daya dukung tanah pada lapisan permukaan atau lapisan dalam. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan getaran pada

frekuensi tertentu, di mana angka yang dihasilkan mencerminkan reaksi tanah terhadap beban tersebut. Data ini kemudian dianalisis untuk menilai kekuatan dan kestabilan lapisan tanah, serta mengevaluasi performa struktural tanah dalam mendukung konstruksi jalan atau infrastruktur lainnya.

Langkah-langkah dalam metode ini mencakup persiapan lokasi pengujian, pelaksanaan uji LWD, pengumpulan data hasil pengukuran, serta analisis data menggunakan metode statistik. Data yang diperoleh dari uji LWD mencakup angka defleksi tanah, yang digunakan untuk menghitung parameter daya dukung tanah dan mengevaluasi kapasitas strukturalnya. Analisis kuantitatif terhadap data ini dilakukan untuk memastikan keandalan dan konsistensi hasil yang didapat, serta untuk menguji apakah tanah memenuhi standar daya dukung yang diperlukan untuk proyek konstruksi.

Dengan menggunakan metode ini, penelitian diharapkan mampu memberikan hasil yang akurat mengenai kapasitas daya dukung tanah serta kesesuaiannya dalam berbagai aplikasi konstruksi, khususnya untuk proyek-proyek infrastruktur seperti jalan raya. Hasil dari pengukuran kuantitatif ini juga akan memberikan gambaran yang jelas tentang kualitas tanah di lokasi penelitian, serta memungkinkan rekomendasi teknis yang lebih baik dalam penggunaan metode pengujian tanah di masa mendatang.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan mengambil data dari tiga titik pengujian. Pada setiap titik, dilakukan sebanyak 30 kali percobaan untuk memastikan hasil yang akurat dan representatif. Pengujian menggunakan alat *Light Weight Deflectometer* (LWD) dilakukan dengan ketinggian beban jatuhnya sebesar 25 cm, yang digunakan untuk mengukur daya dukung tanah di setiap titik pengujian. Hasil dari percobaan ini kemudian dianalisis untuk menilai konsistensi dan kestabilan tanah di lokasi yang diuji.

Data Hasil Pengambilan lendutan 30 kali pengambilan data pada tiap titik uji sebagai berikut:

1. Pengujian Pada Titik 1



Gambar 2. Pengujian alat di titik 1

Semua data yang telah diambil pada saat penelitian di olah menggunakan aplikasi Microsoft Excel, sebagai berikut hasilnya:

a. Rata-rata Defleksi (Lendutan)

Pengukuran defleksi atau lendutan tanah di titik 1 dilakukan sebanyak 30 kali percobaan. Nilai rata-rata lendutan diambil dengan menjumlahkan seluruh data lendutan yang diperoleh dari pengujian, kemudian membaginya dengan jumlah percobaan. Dengan menggunakan rumus rata-rata sebagai berikut [5]:

$$\bar{x} = \frac{\sum \chi^1 + \chi^2 \dots \chi^n}{n}, = 1,2,3, \dots n \quad (1)$$

Dalam pengujian ini, total nilai defleksi yang diperoleh adalah:

$$\bar{x} = \frac{3890,5 + 4115 + 3972,8 + 4195,9 + 4322,2 + 3995,2 \dots}{30}$$

Dari perhitungan ini, diperoleh rata-rata defleksi sebesar 4169,31 mikron. Nilai ini mencerminkan respons rata-rata tanah terhadap beban jatuh yang diberikan selama pengujian. Interpretasi dari nilai rata-rata ini adalah bahwa tanah di titik 1 mengalami deformasi sebesar 4169,31 mikron saat diuji, yang dapat dianggap sebagai indikasi tingkat daya dukung tanah di lokasi tersebut. Semakin kecil nilai rata-rata defleksi, semakin tinggi kemampuan tanah untuk menahan beban tanpa mengalami deformasi yang signifikan. Dalam konteks ini, nilai defleksi tersebut bisa menjadi acuan untuk menilai kekuatan struktural tanah di titik 1.

b. Standar Deviasi

Standar deviasi digunakan untuk mengukur sejauh mana variasi atau penyebaran nilai defleksi dari rata-ratanya. Rumus standar deviasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\chi_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Dalam pengujian ini, total nilai standar deviasi yang diperoleh adalah:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(3890,5-4169,31)+(4115-4169,31)+(3972,8-4169,31)+\dots+n}{30-1}}$$

Berdasarkan hasil pengujian, perbedaan antara setiap nilai lendutan dengan rata-rata dihitung, lalu dijumlahkan dan dibagi dengan jumlah data dikurangi satu (n-1). Setelah menghitung, nilai standar deviasi pada titik 1 adalah 137,49 mikron. Hasil ini berarti bahwa variasi antar data pengujian relatif kecil, menunjukkan bahwa tanah di titik 1 memiliki respon yang cukup konsisten terhadap beban yang diberikan. Semakin rendah standar deviasi, semakin kecil variasi hasil lendutan, yang menunjukkan konsistensi daya dukung tanah di titik tersebut. Oleh karena itu, nilai standar deviasi ini mengindikasikan bahwa tanah di titik 1 cenderung stabil dan tidak memiliki variasi defleksi yang terlalu besar, yang menjadi tanda positif untuk stabilitas konstruksi di atas tanah ini.

c. Koefisien Variasi

Koefisien variasi (KV) adalah perbandingan antara standar deviasi dengan rata-rata, yang kemudian dinyatakan dalam bentuk persentase. KV digunakan untuk menilai tingkat keragaman data relatif terhadap rata-rata. Rumus untuk koefisien variasi adalah:

$$KV = \frac{s}{x} \times 100\% \tag{3}$$

Dengan nilai standar deviasi sebesar 137,49 mikron dan rata-rata 4169,31 mikron, diperoleh koefisien variasi sebagai berikut:

$$KV = \frac{137,49}{4169,31} \times 100\% = 3,30\%$$

Koefisien variasi sebesar 3,30% memberikan informasi mengenai keragaman data relatif terhadap rata-rata. Nilai ini menunjukkan bahwa hanya 3,30% dari hasil lendutan yang bervariasi dari rata-rata, menunjukkan tingkat keragaman data yang sangat rendah. Dengan nilai koefisien variasi yang rendah, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa tingkat keakuratan dan presisi pengujian defleksi di titik 1 sangat baik. Artinya, hasil pengukuran lendutan di titik ini dapat diandalkan dan memberikan gambaran

yang jelas tentang karakteristik tanah di lokasi pengujian.

2. Pengujian Pada Titik 2



Gambar 3. Pengujian alat di titik 2

Semua data yang telah diambil pada saat penelitian di olah menggunakan aplikasi Microsoft Excel, sebagai berikut hasilnya:

a. Rata-rata Defleksi (Lendutan)

Pengukuran defleksi pada titik 2 dilakukan sebanyak 30 kali percobaan. Nilai rata-rata lendutan dihitung dengan menjumlahkan semua data lendutan dari hasil pengujian, kemudian dibagi dengan jumlah percobaan. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut [6]:

$$\bar{x} = \frac{\sum x^1 + x^2 + \dots + x^n}{n}, = 1,2,3, \dots n \tag{1}$$

Dalam pengujian ini, total nilai defleksi yang diperoleh adalah:

$$\bar{x} = \frac{2956 + 2900,3 + 3100,7 + 3051,1 + 2666,8 + 2913,9 + \dots}{30},$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai rata-rata lendutan pada titik 2 adalah 2945,62 mikron. Hasil ini menunjukkan bahwa tanah di titik 2 mengalami deformasi sekitar 2945,62 mikron ketika diberi beban tertentu. Nilai defleksi ini sedikit lebih rendah dibandingkan dengan titik 1, yang dapat mengindikasikan bahwa daya dukung tanah di titik ini lebih baik atau lebih stabil. Dengan kata lain, tanah di titik 2 cenderung mengalami deformasi yang lebih kecil di bawah tekanan yang sama, sehingga memiliki potensi untuk mendukung struktur yang lebih kuat.

b. Standar Deviasi

Standar deviasi pada titik 2 dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{2}$$

Dalam pengujian ini, total nilai standar deviasi yang diperoleh adalah:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(2956-2945,62)+(2900,3-2945,62)+(3100,7-2945,62)+\dots+n}{30-1}}$$

Setelah menghitung perbedaan antara setiap nilai lendutan dengan rata-rata, dan kemudian menjumlahkan hasilnya, diperoleh nilai standar deviasi sebesar 150,94 mikron. Standar deviasi mengukur variasi hasil lendutan dari rata-ratanya. Nilai ini menunjukkan bahwa data lendutan di titik 2 menunjukkan tingkat variasi yang lebih besar dibandingkan dengan titik 1. Meskipun rata-rata lendutan lebih rendah, tanah di titik 2 memiliki respons yang lebih bervariasi terhadap beban, menunjukkan adanya sedikit ketidakseragaman dalam daya dukung tanah di lokasi ini. Variasi ini mungkin terjadi karena faktor eksternal seperti kelembapan atau komposisi tanah yang berbeda-beda.

c. Koefisien Variasi

Koefisien variasi (KV) dihitung dengan membandingkan standar deviasi dengan rata-rata lendutan, dan dinyatakan dalam bentuk persentase:

$$KV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\% \tag{3}$$

Dengan standar deviasi sebesar 150,94 mikron dan rata-rata 2945,62 mikron, diperoleh koefisien variasi sebagai berikut:

$$KV = \frac{150,49}{2945,62} \times 100\% = 5,12\%$$

Nilai koefisien variasi 5,12% menunjukkan bahwa variasi lendutan di titik 2 relatif lebih besar dibandingkan titik 1 (3,30%). Nilai menunjukkan bahwa hasil pengujian lendutan di titik 2 masih memiliki tingkat konsistensi yang cukup baik. Nilai ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat variasi dalam hasil pengujian, perbedaannya relatif kecil dan tidak terlalu signifikan. Artinya, hasil pengujian di titik 2 dapat diandalkan untuk menggambarkan kondisi umum tanah di lokasi tersebut, meskipun tidak sehomogen titik 1.

3. Pengujian Pada Titik 3



Gambar 4. Pengujian alat di titik 2

Semua data yang telah diambil pada saat penelitian di olah menggunakan aplikasi Microsoft Excel, sebagai berikut hasilnya:

a. Rata-rata Defleksi (Lendutan)

Nilai rata-rata lendutan pada titik 3 dihitung dengan membagi total nilai defleksi dari 30 kali pengujian dengan jumlah pengujian. Rumus yang digunakan adalah:

$$\bar{x} = \frac{\sum \chi^1 + \chi^2 \dots \chi^n}{n}, = 1,2,3, \dots n \tag{1}$$

Dalam pengujian ini, total nilai defleksi yang diperoleh adalah:

$$\bar{x} = \frac{2956 + 2900,3 + 3100,7 + 3051,1 + 2666,8 + 2913,9 \dots}{30}$$

Dari hasil perhitungan, diperoleh rata-rata defleksi sebesar 2945,62 mikron. Nilai ini menunjukkan bahwa terdapat variasi sekitar 150,94 mikron dari hasil rata-rata lendutan di titik 3. Artinya, meskipun rata-rata lendutan berada pada nilai yang konsisten, hasil pengujian menunjukkan adanya fluktuasi atau perbedaan dalam karakteristik tanah di beberapa titik pengujian. Variasi ini dapat terjadi karena beberapa faktor seperti perbedaan kondisi tanah lokal, kelembapan, atau kepadatan tanah. Oleh karena itu, meskipun rata-rata lendutan menunjukkan kestabilan yang baik, variasi ini harus diperhatikan karena dapat mempengaruhi kualitas daya dukung tanah secara keseluruhan.

b. Standar Deviasi

Standar deviasi di titik 3 dihitung untuk mengukur seberapa jauh hasil pengukuran lendutan menyebar dari rata-ratanya. Rumus yang digunakan adalah:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\chi^i - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{2}$$

Dalam pengujian ini, total nilai standar deviasi yang diperoleh adalah:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(2956-2945,62)+(2900,3-2945,62)+(3100,7-2945,62)+\dots+n}{30-1}}$$

Setelah menghitung perbedaan antara setiap nilai lendutan dengan rata-rata, dan kemudian menjumlahkan hasilnya, diperoleh nilai standar deviasi sebesar 150,94 mikron. Artinya, meskipun rata-rata lendutan berada pada nilai yang konsisten, hasil pengujian menunjukkan adanya fluktuasi atau perbedaan dalam karakteristik tanah di beberapa titik pengujian. Variasi ini dapat terjadi karena beberapa faktor seperti perbedaan kondisi tanah lokal, kelembapan, atau kepadatan tanah. Oleh karena itu, meskipun rata-rata lendutan menunjukkan kestabilan yang baik, variasi ini harus diperhatikan karena dapat mempengaruhi kualitas daya dukung tanah secara keseluruhan.

c. Koefisien Variasi

Koefisien variasi mengukur tingkat variasi relatif terhadap rata-rata dalam bentuk persentase. Rumus yang digunakan adalah:

$$KV = \frac{s}{x} \times 100\% \tag{3}$$

Dengan standar deviasi sebesar 150,94 mikron dan rata-rata 2945,62 mikron, diperoleh koefisien variasi sebagai berikut:

$$KV = \frac{150,49}{2945,62} \times 100\% = 5,12\%$$

Koefisien variasi dihitung dengan membagi nilai standar deviasi dengan rata-rata lendutan, lalu dikalikan dengan 100% untuk mendapatkan persentase variasi. Hasilnya menunjukkan nilai koefisien variasi sebesar 5,12%. Nilai koefisien variasi sebesar 5,12% mengindikasikan bahwa hasil pengukuran lendutan pada titik 3 relatif konsisten, dengan variasi yang kecil, yaitu hanya sekitar 5,12% dari rata-rata lendutan. Ini menunjukkan bahwa, meskipun terdapat sedikit variasi dalam hasil pengukuran, perbedaan antar percobaan tidak signifikan dan dapat dianggap wajar dalam konteks pengujian tanah. Dengan demikian, hasil pengujian lendutan di titik 3 dapat diandalkan untuk menggambarkan kondisi tanah secara keseluruhan, meskipun tetap ada sedikit fluktuasi yang harus diperhatikan untuk memastikan keandalan tanah dalam konstruksi.

Berikut adalah tabel nilai rata-rata lendutan LWD pada ketiga titik pengujian:

Tabel 1. Nilai rata-rata lendutan LWD di 3 Titik

No Titik	D0
No	Micron
Uji titik 1	4169,31
Uji titik 2	2945,62
Uji titik 3	4100,15

Berdasarkan data tabel di atas, dapat dipahami bahwa:

1. Uji Titik 1: Nilai rata-rata lendutan pada titik ini tercatat sebesar 4169,31 micron. Angka ini menunjukkan bahwa tanah di titik 1 mengalami deformasi yang cukup signifikan saat diberikan beban. Hal ini mungkin mengindikasikan bahwa tanah di titik ini memiliki daya dukung yang lebih rendah dibandingkan titik lainnya, atau bahwa tanah tersebut lebih lunak dan mudah mengalami defleksi ketika diberi tekanan.
2. Uji Titik 2: Pada titik 2, rata-rata lendutan tercatat sebesar 2945,62 micron, yang lebih rendah dibandingkan titik 1. Ini menunjukkan bahwa tanah di titik 2 lebih mampu menahan deformasi akibat beban, yang mungkin menandakan bahwa tanah di area ini lebih padat atau lebih stabil, sehingga tidak mengalami defleksi sebesar titik 1.
3. Uji Titik 3: Nilai rata-rata lendutan pada titik 3 adalah 4100,15 micron, yang mendekati nilai pada titik 1. Hal ini menunjukkan bahwa tanah di titik 3 mengalami deformasi yang hampir sama dengan titik 1 ketika diberikan beban. Meskipun nilai ini tidak setinggi titik 1, tanah di titik 3 tampaknya memiliki karakteristik yang lebih lunak dibandingkan titik 2, dengan kemampuan menahan beban yang relatif menengah.

Secara keseluruhan, perbedaan nilai rata-rata lendutan di ketiga titik pengujian ini mencerminkan variasi karakteristik tanah di setiap area. Tanah dengan nilai lendutan yang lebih tinggi menunjukkan deformasi yang

lebih besar ketika diberi beban, yang dapat mengindikasikan kapasitas daya dukung yang lebih rendah. Sebaliknya, nilai lendutan yang lebih rendah menunjukkan bahwa tanah lebih mampu menahan deformasi dan memiliki daya dukung yang lebih baik, yang penting untuk menentukan stabilitas tanah dalam mendukung struktur infrastruktur di atasnya.

Berikut adalah tabel nilai standar deviasi lendutan LWD di ketiga titik pengujian:

Tabel 2. Nilai standar deviasi lendutan LWD di 3 Titik

No Titik	D0
Uji titik 1	137,49
Uji titik 2	150,94
Uji titik 3	180,96

Berdasarkan data tabel di atas, dapat dipahami bahwa:

1. Uji Titik 1: Nilai standar deviasi pada titik 1 adalah 137,49 mikron. Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat variasi pengukuran yang relatif kecil di sekitar rata-rata lendutan pada titik ini. Standar deviasi yang lebih rendah mencerminkan konsistensi hasil pengukuran lendutan, yang mengindikasikan bahwa tanah di titik 1 memiliki karakteristik yang relatif seragam dalam hal respons terhadap beban.
2. Uji Titik 2: Pada titik 2, standar deviasi tercatat sebesar 150,94 mikron. Nilai ini menunjukkan adanya sedikit lebih banyak variasi dibandingkan titik 1. Meskipun masih dalam batas yang dapat diterima, variasi ini mengindikasikan bahwa tanah di titik 2 memiliki beberapa perbedaan dalam kapasitas menahan beban, yang dapat disebabkan oleh perbedaan kondisi tanah atau distribusi kelembapan di area tersebut.
3. Uji Titik 3: Standar deviasi di titik 3 adalah 180,96 mikron, yang merupakan nilai tertinggi di antara ketiga titik. Nilai ini menunjukkan adanya variasi yang lebih besar dalam hasil pengukuran lendutan pada titik ini. Variasi yang lebih tinggi ini dapat mengindikasikan bahwa tanah di titik

3 memiliki lebih banyak ketidakseragaman dalam hal sifat fisiknya atau kondisi pengujian, yang mungkin mempengaruhi daya dukung tanah.

Berikut adalah tabel nilai koefisien variasi lendutan LWD di tiga titik pengujian:

Tabel 3. Nilai Koefisien Varian lendutan LWD di 3 Titik

No Titik	D0
Uji titik 1	3,30
Uji titik 2	5,12
Uji titik 3	4,41

Berdasarkan data tabel di atas, dapat dipahami bahwa:

1. Uji Titik 1: Koefisien variasi di titik ini tercatat sebesar 3,30%, yang menunjukkan bahwa hasil pengukuran lendutan cukup konsisten. Variasi yang rendah mengindikasikan tanah di titik 1 memiliki sifat yang relatif seragam dalam hal kemampuan menahan beban, sehingga dapat dikatakan bahwa karakteristik tanah di titik ini stabil.
2. Uji Titik 2: Nilai koefisien variasi di titik 2 adalah 5,12%, yang sedikit lebih tinggi dibandingkan titik 1. Hal ini menunjukkan adanya variasi yang lebih besar dalam hasil pengukuran lendutan pada titik ini. Meski masih dalam batas yang wajar, peningkatan variasi ini mengindikasikan bahwa mungkin terdapat perbedaan dalam komposisi atau kondisi tanah di titik ini, yang dapat mempengaruhi daya dukung tanah.
3. Uji Titik 3: Pada titik 3, koefisien variasi tercatat sebesar 4,41%, yang menunjukkan variasi yang berada di antara titik 1 dan titik 2. Hasil ini mengindikasikan bahwa tanah di titik ini memiliki karakteristik yang cukup konsisten, meskipun ada

sedikit fluktuasi dalam hasil pengukuran lendutan.

Secara keseluruhan, nilai koefisien variasi lendutan dari ketiga titik pengujian menunjukkan bahwa meskipun ada perbedaan variasi antar titik, hasil pengujian tetap dalam batas yang dapat diterima. Variasi lendutan yang relatif rendah ini memberikan indikasi bahwa tanah di area pengujian memiliki kemampuan yang baik untuk menahan beban, sehingga dapat dianggap layak untuk digunakan dalam proyek konstruksi dan infrastruktur.

Reliabilitas hasil pengujian merupakan aspek yang sangat penting untuk memastikan bahwa data yang diperoleh dari alat pengujian konsisten dan dapat dipercaya. Untuk menilai reliabilitas dari pengujian lendutan atau defleksi yang dilakukan di tiga titik, metode Cronbach Alpha digunakan. Metode ini sering kali dipakai untuk mengukur tingkat konsistensi internal, khususnya dalam data yang bersifat kuantitatif dan didasarkan pada banyak pengamatan. Nilai Cronbach Alpha yang lebih tinggi (dekat dengan 1) menunjukkan bahwa pengukuran memiliki konsistensi yang baik dan dapat diandalkan.

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, nilai varians dari data pengukuran di setiap titik diambil, kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai varians total. Nilai Cronbach Alpha dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\alpha_u = \left(\frac{k}{k-1} \right) \left(1 - \frac{\sum S_i^2}{S_t^2} \right) \tag{4}$$

Berdasarkan rumus tersebut, berikut adalah perhitungan yang dilakukan:

Tabel 4. Perhitungan Metode Cronbach Alfa

Jumlah data	Titik			Varian Butir Data
	1	2	3	
1	3890,5	2956	3878,7	287467,463
2	4115	2900,3	4104,6	487657,123
3	3972,8	3100,7	4103,1	297057,043
4	4195,9	3051,1	3914,5	355868,76
5	4322,2	2666,8	3801,7	716544,57
6	3995,2	2913,9	4231	493260,623
7	4311,1	2877,7	4212,5	641008,093

8	4140,7	2902	3903,9	432375,923
9	4255,4	2982,9	3939	438915,403
10	4292,3	2848,2	4226	664692,223
11	3952,2	2880,8	3942,9	379340,143
12	4190,9	2710	3929,3	624698,643
13	4208,2	2752,3	4025,1	628865,043
14	4284,8	2896,6	4144	583821,773
15	4033,5	2881,6	4274,3	554078,59
16	4132,5	2902,6	4092,4	488314,343
17	4223,9	2826	4164,6	624915,143
18	3931,2	2881,9	4484,2	662367,463
19	3924,3	2816,3	4153,4	511331,203
20	4372	2839,4	3962,1	629556,01
21	4214,6	3167	4252,2	379423,093
22	4311,6	2973,1	3897,7	469630,103
23	4379,4	3025,2	3970,4	482423,613
24	4140,6	2899,7	3939,9	443688,223
25	4258	2926	4279,6	601153,92
26	4193,1	2892,9	3891,6	463137,33
27	4166,5	3175,4	4360,7	404154,823
28	4270,4	3239,7	4398,7	403680,73
29	4209,6	3239,5	4330,8	357786,523
30	4190,9	3242,9	4195,5	301028,653
Skor Total	125079,3	88368,5	123004,4	—————
Sigma Varian				14808242,6
Varian Total				425272269

Dari hasil di atas didapatkan hasil berikut :

Tabel 5. Perhitungan Metode Cronbach Alfa

k	30
k/k-1	1,034483
$\frac{\sum S_i^2}{S_t^2}$	0,034821
$\left(1 - \frac{\sum S_i^2}{S_t^2} \right)$	0,965179
Signifikan	1
R1	0,998461
Status	Reliabel

Berdasarkan perhitungan, nilai Cronbach Alpha yang diperoleh adalah 0,998461. Nilai ini mendekati angka 1, yang menunjukkan bahwa hasil pengukuran dari ketiga titik pengujian memiliki konsistensi internal yang sangat tinggi. Artinya, hasil pengujian menggunakan alat *Light Weight Deflectometer* (LWD) Pusjatan dapat dikatakan sangat reliabel untuk mengukur lendutan atau defleksi di lapangan. Dengan kata lain, data yang diperoleh dari pengukuran ini memiliki tingkat kepercayaan yang tinggi dan dapat digunakan sebagai acuan dalam analisis daya dukung tanah pada proyek infrastruktur.

Signifikansi yang mencapai angka 1 juga menandakan bahwa hasil perhitungan ini dapat diandalkan secara statistik [7], sehingga memberikan keyakinan lebih pada konsistensi dan keakuratan alat LWD dalam pengujian kondisi lapisan tanah.

Secara keseluruhan, hasil perhitungan Cronbach Alpha ini mendukung penggunaan LWD Pusjatan sebagai metode yang andal dalam mengevaluasi karakteristik tanah, khususnya dalam proyek konstruksi jalan dan infrastruktur lainnya.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai pengujian menggunakan *Light Weight Deflectometer* (LWD) Pusjatan pada bidang jalan tanah, beberapa kesimpulan utama dapat diambil sebagai berikut:

1. Konsistensi Pengukuran LWD: Berdasarkan analisis reliabilitas menggunakan metode Cronbach Alpha, LWD Pusjatan menunjukkan tingkat konsistensi yang sangat tinggi. Nilai Cronbach Alpha mendekati 1, menandakan bahwa alat ini dapat digunakan dengan andal untuk mengukur lendutan atau defleksi pada jalan tanah. Alat ini memberikan hasil yang stabil dan konsisten dalam pengujian, menjadikan data yang dihasilkan layak untuk analisis teknis lebih lanjut.
2. Koefisien Variasi sebagai Indikator Konsistensi: Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil nilai koefisien variasi, semakin konsisten data yang dihasilkan. Nilai koefisien variasi yang

dihitung pada tiga titik pengujian menunjukkan bahwa titik dengan koefisien variasi terendah memiliki tingkat konsistensi yang lebih baik dibandingkan titik lainnya. Dengan kata lain, pengukuran di titik tersebut lebih dapat diandalkan.

3. Hasil Pengukuran pada Tiga Titik: Pengambilan data pada tiga titik pengujian menghasilkan nilai koefisien variasi sebagai berikut:

- Titik 1: 3,30%
- Titik 2: 5,12%
- Titik 3: 4,41%
- Dari hasil ini, titik 1 memiliki nilai koefisien variasi yang paling kecil, menunjukkan bahwa data yang diperoleh pada titik ini adalah yang paling konsisten dibandingkan dengan titik lainnya. Konsistensi pengukuran pada titik ini menjadi indikator keandalan hasil pengujian.

4. Keandalan LWD dalam Pengujian Jalan Tanah: Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa LWD Pusjatan merupakan alat yang konsisten dan layak digunakan dalam pengujian lendutan atau defleksi pada bidang jalan tanah. Alat ini memberikan hasil yang dapat dipercaya untuk digunakan dalam analisis struktur tanah dan daya dukungnya, sehingga relevan untuk diterapkan dalam proyek infrastruktur jalan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Riqqi, A. (2023). Konsistensi LWD (Light Weight Deflectometer) Pusjatan untuk Jalan Kerikil. *Cerdika: Jurnal Ilmiah Indonesia*, 3(12), 1172-1180.
- [2] Syafier, S. (2017). Penggunaan Light Weight Deflectometer Pusjatan Untuk Quality Control Pekerjaan Pemadatan Tanah Dasar. *JURNAL TIARSIE*. 15. 10.32816/tiarsie.v15i2.35.
- [3] Sugiyono. (2018). *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif*. Bandung: Alfabeta.
- [5] Nurinda, D. (2023). *Sifat Fisik Tanah, Tekstur, Warna Tanah*.

- [6] Octoria, D. (2022). *Rumus Standar Deviasi: Pengertian, Fungsi, Jenis, dan Contoh.*
- [7] Yulia, Y. (2019). Cronbach Alpha. *Retrieved from repository.stei.ac.id.*