

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

##### **2.1.1 Penelitian Terdahulu**

Siegfried (2017) melakukan pengujian pada jalan tanah di Bogor dan Kuningan. Masing – masing lokasi dilakukan pengujian sebanyak 10 titik dengan menggunakan alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) Pusjatan dan DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*). Pada pengujian LWD Pusjatan menggunakan teknik gelombang yang menghasilkan lendutan, dari lendutan ini dikonversi menjadi modulus menggunakan rumus *Boussinesq*. Pada DCP dihitung nilai CBR tanah, setelah itu nilai CBR dikonversi menjadi modulus dengan menggunakan hubungan CBR dan modulus elastisitas seperti yang diberikan oleh AASHTO (1993). Kesimpulan yang didapat dari kedua alat ini bahwa pada pengujian LWD Pusjatan nilai modulus tidak jauh beda dengan menggunakan alat DCP. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa alat LWD Pusjatan bisa digunakan untuk mendapatkan kekuatan struktural pada jalan tanah .

Siegfried (2018) melakukan penelitian tentang penggunaan LWD Pusjatan sebagai alat alternatif dalam mengevaluasi perkerasan lentur. Penelitian yang dilakukan di seputar kampus Pusjatan dan diasumsikan sebagai jalan dengan lalu lintas sedang sampai rendah. Parameter yang digunakan dalam pengujian ini adalah modulus permukaan pada titik pembebanan dan modulus permukaan pada jarak 900 mm. Hasil rentang lendutan yang didapat pada jarak 900 mm pada alat FWD (*Falling Weight Deflectometer*) sebesar 108 MPa sampai dengan 233 MPa, sedangkan pada LWD sebesar 105 MPa sampai dengan 258 MPa. Dari kedua alat tersebut bahwa hasil perhitungan modulus terlihat hampir sama baik. Dari hasil yang didapat dapat disimpulkan bahwa penggunaan alat LWD Pusjatan dapat digunakan sebagai alat alternatif dalam mengevaluasi dari sistem perkerasan pada jalan dengan lalu lintas sedang sampai rendah.

Siegfried (2018) melakukan penelitian dengan alat LWD Pusjatan di laboratorium Alusa Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Jl. AH Nasution 264 Bandung. Data pengujian yang diambil sebanyak 19 titik dan didapat nilai modulus elastisitas. Dari nilai modulus elastisitas dapat digunakan untuk mengetahui keseragaman lapisan. Keseragaman lapisan dilihat dari nilai koefisien variasi. Nilai koefisien variasi yang didapat dari alat LWD Pusjatan sebesar 29% sehingga sudah memenuhi persyaratan yaitu  $\leq 30\%$  menurut AASHTO. Kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian adalah LWD Pusjatan dapat digunakan untuk *quality control* pemadatan tanah dasar dan lapisan granuler dalam konstruksi perkerasan jalan. LWD Pusjatan juga menghemat waktu, biaya dan jumlah pekerjaan dalam *quality control* pekerjaan pemadatan. LWD Pusjatan juga dapat digunakan untuk mengukur dan mengetahui kekuatan struktural tanah dasar dalam parameter modulus elastisitas dan bisa dikonversi menjadi nilai CBR dengan menggunakan rumus yang terdapat di AASHTO 1993.

Lapian, F. E. (2018) melakukan penelitian pada ruas Merauke–Bupul-BTS, Kabupaten Merauke/Boven. Tujuan dari penelitian yang dilakukan Lapian adalah mencari nilai modulus elastisitas pada ruas jalan dengan volume lalu lintas rendah dengan menggunakan alat LWD (*Light Weight Deflectometer*). Hasil  $E_{LWD}$  yang didapat dari pengujian lapangan menggunakan alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) berbeda – beda tergantung jenis perkerasan jalan yang diuji. Nilai modulus deformasi yang didapatkan juga bervariasi pada setiap lokasi pengujian, hal ini disebabkan karena variasi dalam pemadatan energi.

Novardi (2013) melakukan penelitian pada ruas jalan Klagon-Tempel KM 21+000-23+000, Kecamatan Moyudan, Kabupaten Sleman. Penelitian yang dilakukan menggunakan metode lendutan dari alat LWD (*Light Weight Deflectometer*) dan alat BB (*Benkelmen Beam*). Dari hasil lendutan yang didapat dari alat LWD berdasarkan beban *implus* dengan massa 12 kg dan pada alat BB berdasarkan beban statis dari truk bermassa 11 ton tidak ada hubungan antara kedua alat ini karena perbedaan metode alat.

Stamp & Mooney (2013) melakukan penelitian dengan alat LWD (*Light Weight Defletometer*) dari penelitian yang telah dilakukan menghasilkan nilai lendutan dan modulus elastisitas yang berbeda untuk kondisi tanah yang sama. Dalam penelitian ini faktor yang mempengaruhi karakteristik desain LWD dengan defleksi adalah pengukuran respon pelat terhadap permukaan tanah.

Burhanuddin & Junaidi (2018) melakukan penelitian pada ruas jalan Sp. Lamnyong – Lamreung dengan alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) untuk mengetahui CBR lapangan. Selain itu melakukan pengujian di laboratorium untuk pengujian pemadatan dan CBR Laboratorium. Penelitian yang telah dilakukan berisi tentang hubungan daya dukung tanah menggunakan alat DCP dan CBR laboratorium rendaman. Dari korelasi DCP dengan CBR mendapatkan persamaan regresi  $CBR_{DCP} = 1,083 + (0,347 \times CBR_{Lab})$ . Dari pengujian DCP dengan melakukan 10 titik pengujian mendapatkan hasil CBR tanah dasar rata – rata sebesar 6%. Pada pengujian CBR laboratorium rendaman yang dilakukan selama 4 hari mendapatkan hasil bahwa CBR setelah pemadatan lebih bagus dari nilai CBR lapangan.

Harimei (2018) melakukan penelitian dengan menggunakan alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) untuk mengetahui daya dukung tanah. Pada penelitian ini terdiri dari dua tahap, tahap pertama melakukan pengujian sifat fisik tanah berupa Kadar air, berat jenis, dan analisis butir. Tahap kedua yaitu pengujian sifat mekanis tanah lempung yaitu: pemadatan, DCP dan CBR. Setelah melakukan pengambilan data didapatkan nilai  $q_c$ ,  $M_v$ ,  $\alpha$  dan nilai CBR disetiap titik pengambilan sampel. Pada penelitian ini mengambil 2 sampel DCP 1 dan DCP 2. Dari DCP 1 dan DCP 2 mendapat nilai  $q_c$  berkisar antara 20 – 24 kg/cm<sup>2</sup>,  $M_v$  berkisar 0,025 – 0,056 cm<sup>2</sup>/kg dan  $\alpha$  sebesar 1,5 hingga 4. Hasil nilai CBR setiap masing – masing sampel lebih dari 2%. Nilai parameter ini membuktikan sifat fisis dari sampel DCP 1 dan DCP 2 merupakan *low plasticity loam*.

Sriharyani & Oktami (2016) melakukan pengujian di Apron Bandar Udara Radin Inten II Lampung dengan alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*). Dilakukan pengujian ini untuk mengetahui kekuatan tanah dasar dan fondasi jalan. Pengujian dilakukan sebanyak 10 titik. Tujuan penelitian untuk mengetahui

kedalaman galian tanah humus atau permukaan pada CBR 6% menggunakan alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*). Hasil yang didapat di titik mencapai 46 cm, titik dua mencapai 40 cm, titik tiga mencapai 30 cm, titik empat mencapai 45 cm, titik lima mencapai 60 cm, titik enam mencapai 54 cm, titik tujuh 66 cm, titik delapan 60 cm, titik sembilan 80 cm, titik sepuluh 50 cm.

Syahrudin (2010) melakukan penelitian di jalan Bangko Pusako Kabupaten Rokan Hilir dengan menggunakan alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya dukung perkerasan jalan dengan menggunakan alat DCP sebagai standar evaluasi perkerasan jalan. Dari pengujian DCP dapat untuk mengetahui kedalaman lapisan perkerasan dan nilai CBR. Hasil DCP dapat mengidentifikasi sampai kedalaman maksimum 120 cm, dengan tebal setiap lapisan sesuai dengan CBR yang diperoleh. Hasil pengujian DCP relatif sangat cepat untuk mengidentifikasi nilai CBR lapis perkerasan jalan di lapangan. Oleh sebab itu alat DCP perlu dijadikan pedoman sebagai mengidentifikasi nilai CBR lapangan di Indonesia.

## **2.2. Dasar Teori**

### **2.2.1. Perkerasan Jalan**

Jalan adalah prasarana transportasi yang dibangun di atas permukaan bumi yang sengaja dibuat oleh manusia dengan bentuk, ukuran, dan konstruksinya sehingga bisa digunakan untuk menyalurkan lalu lintas orang, hewan, dan kendaraan yang mengangkut barang-barang dari tempat yang satu ke tempat yang lainnya dengan cepat dan mudah. (Silvia Sukirman, 1994)

Tanah dalam kondisi alam jarang sekali mampu mendukung beban berulang dari kendaraan tanpa mengalami deformasi yang besar. Oleh sebab itu dibutuhkan perkerasan (*pavement*) yaitu suatu struktural yang dapat melindungi tanah dari beban roda kendaraan. Perkerasan jalan merupakan campuran antara agregat dan bahan pengikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas. Agregat yang digunakan berupa batu pecah atau batu belah atau batu kali, sedangkan bahan ikat yang digunakan dalam perkerasan jalan adalah aspal, semen, atau tanah liat (Hardiyatmo, 2015).

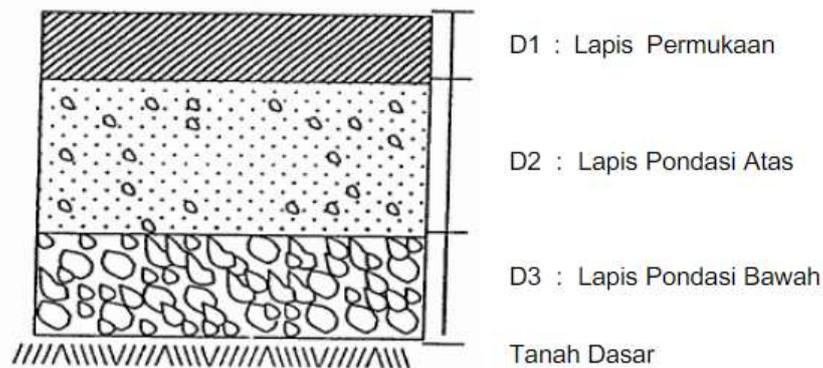
Fungsi lapisan perkerasan untuk menyalurkan beban roda ke area permukaan tanah dasar yang lebih luas dibandingkan luas kontak roda dan perkerasan, sehingga mereduksi tegangan maksimum yang terjadi pada tanah dasar. Artinya tekanan yang terjadi dalam kondisi dimana tanah dasar tidak mengalami deformasi berlebihan selama masa pelayanan perkerasan. ( Hardiyatno, 2015)

Fungsi utama dari perkerasan jalan adalah memikul beban lalu lintas kemudian menyebarkan beban, baik ke arah horisontal maupun vertikal dan akhirnya meneruskan beban ke tanah dasar (*subgrade*). Dengan demikian beban pada tanah dasar tidak melampaui daya dukung tanah yang diijinkan. Karakteristik perkerasan bergantung bukan hanya pada sifat lalu lintasannya, tetapi juga pada sifat – sifat tanah di mana perkerasan dibangun. Elemen – elemen struktural utama dalam pembangunan jalan meliputi timbunan, pondasi di bawah timbunan, galian dan perkerasan jalan.

Sistem perkerasan ini harus dirancang tahan lama, sehingga tidak mengalami kerusakan yang diakibatkan pengaruh lingkungan (air, oksigen, pengaruh temperatur). Material pembentuk perkerasan jalan umumnya sangat dipengaruhi oleh faktor kelembapan (kadar air) dan lingkungan. Kelembapan yang berlebih dalam struktur perkerasan, umumnya akan berakibat buruk pada kinerja perkerasan. Silvia Sukirman (1999) menyatakan bahwa berdasarkan bahan pengikatnya konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan atas :

1. Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*)

Perkerasan ini terdiri atas lapisan batuan dipadatkan yang letaknya di bawah permukaan aspal. Pada perkerasan ini kekuatan perkerasan diperoleh dari ketebalan lapisan pondasi bawah (*Subbase*), pondasi (*base*) dan lapis permukaan (*surface course*). Lapis perkerasan lentur pada umumnya ditunjukkan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Susunan Lapis Perkerasan Lentur (*flexibel pavement*)

Sumber : Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (2002)

Dari Gambar 2.1 dapat dilihat struktur lapis perkerasan lentur ada 3 berikut adalah penjelasannya:

a. Lapis permukaan (*Surface Course*)

Lapis permukaan terletak paling atas pada suatu jalan raya. Lapis permukaan ini berfungsi untuk memberikan keamanan dan permukaan yang halus/rata. Lapis permukaan jalan harus memenuhi syarat – syarat sebagai berikut :

- 1) Mempunyai kekesatan atau tahanan terhadap pengelinciran.
- 2) Mampu menahan beban kendaraan dalam deformasi permanen.
- 3) Dapat mencegah masuknya air kedalam struktur perkerasan.

Campuran yang digunakan dalam lapis permukaan jalan memiliki sifat stabilitas, kelenturan, awet, tahan terhadap pengelinciran, kedap air, mudah dikerjakan dan tahan terhadap kelelahan. Karakteristik permukaan akan lebih ditentukan terutama oleh jumlah kendaraan dan kondisi iklim, dibanding beban maksimum yang diharapkan bekerja di permukaan perkerasan.

b. Lapis pondasi

Lapis pondasi (*base course*) dan lapis pondasi bawah (*subbase course*), digunakan dalam perkerasan lentur untuk menahan kekuatan perkerasan lentur melalui :

- 1) Penambahan kekakuan dan ketahanan.
- 2) Pembentukan lapisan yang relatif lebih tebal, sehingga beban perkerasan lebih menyebar.

Hal – hal tersebut merupakan syarat utama lapis pondasi, tetapi lapisan ini kadang – kadang juga menyediakan fungsi drainase. Lapis pondasi (*base course*) adalah elemen utama struktur perkerasan yang berfungsi :

- 1) Menyebarkan tekanan akibat beban – beban lalu lintas agar tanah dasar (*subgrade*) tidak mengalami tekanan secara berlebihan.
- 2) Sebagai dasar peletakan lapis permukaan.

Permukaan lapis pondasi ditutup oleh pelat beton pada tipe perkerasan kaku dan ditutup aspal pada perkerasan lentur. Lapis pondasi harus tahan terhadap pelapukan, karena lapis pondasi kurang terlindung dibandingkan dengan tanah dasar. Lapisan pondasi memiliki tahanan yang lebih tinggi terhadap deformasi dibandingkan dengan tanah dasar. Material yang stabilitasnya dipengaruhi oleh air harus tidak dipakai untuk lapis pondasi.

Bahan – bahan untuk lapis pondasi harus cukup kuat dan awet, supaya dapat menahan beban – beban yang bekerja padanya, maka untuk menentukan bahan lapis pondasi perlu dilakukan pengujian bahan. Macam – macam bahan alam yang mempunyai  $CBR \geq 50\%$  dan indeks plastisitas ( $PI \leq 4\%$ ) dapat dipergunakan untuk lapis pondasi, contohnya batu pecah, krikil pecah, tanah yang telah distabilisasi dengan bahan tertentu seperti semen atau kapur.

#### c. Lapis pondasi bawah

Lapis pondasi ini terdiri dari material pilihan, seperti kerikil alam yang stabil (awet), tetapi material ini tidak sepenuhnya memenuhi syarat karakteristik seperti yang disyaratkan pada lapis pondasi (*base*). Jenis material yang disyaratkan dengan nilai  $CBR \geq 20\%$  dan indeks plastisitas ( $PI \leq 10\%$ ).

Penggunaan lapis pondasi bawah adalah untuk membentuk lapis perkerasan yang relatif cukup tebal bermaksud untuk penyebaran beban, tetapi dengan biaya yang lebih murah. Kualitas lapis pondasi bawah dapat bervariasi sejauh persyaratan tebal rancangan terpenuhi. Pada umumnya

persyaratan kepadatan dan kadar air ditentukan dari hasil uji laboratorium atau lapangan. Fungsi dari lapis pondasi bawah sebagai berikut:

- 1) Sebagai lapisan pertama, agar pelaksanaan pembangunan jalan berjalan lancar.
- 2) Untuk mencegah material tanah dasar masuk ke dalam lapis pondasi.
- 3) Untuk efisiensi penggunaan material, agar lapisan yang lain dapat dikurangi tebalnya, sehingga menghemat biaya.
- 4) Sebagai bagian dari struktur perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban kendaraan.

## 2. Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*)

Perkerasan ini terdiri atas pelat beton yang letaknya langsung di atas tanah atau di atas lapisan granuler. Perkerasan ini yang terbuat dari plat beton, oleh kekakuan dan modulus elastisitasnya yang tinggi, cenderung akan menyebarkan beban ke area yang lebih luas ke tanah. Dengan demikian bagian terbesar dari kekuatan struktur perkerasan diberikan dari plat betonnya itu sendiri. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton.

Perkerasan kaku biasanya banyak digunakan untuk jalan – jalan utama dan bandara. Perkerasan kaku atau perkerasan beton semen portland umumnya terdiri hanya dua lapis, yaitu : pelat beton dan pondasi bawah (*subbase*), tapi lapisan permukaan aspal kadang – kadang ditambahkan pada saat pembangunan maupun sesudahnya. Lapis pondasi bawah berfungsi untuk :

- a. Mengendalikan pengaruh pemompa (*pumping*).
- b. Mengendalikan aksi pembekuan.
- c. Sebagai lapisan drainase.
- d. Mengendalikan kembang susut tanah dasar.

## 3. Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*)

Perkerasan ini merupakan perkerasan kaku yang dikombinasi dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku. Kedua perkerasan ini bekerjasama memikul beban lalu lintas maka perlu adanya persyaratan ketebalan perkerasan supaya memiliki kekakuan yang cukup dan dapat mencegah retak refleksi dari perkerasan beton dibawahnya. Konstruksi ini

umumnya memiliki tingkat kenyamanan yang lebih baik bagi pengendara dibandingkan dengan konstruksi perkerasan beton semen sebagai lapis permukaan tanpa aspal.

### ***2.2.2. Dynamic Cone Penetrometers (DCP)***

Australia merupakan negara pertama kali yang mengembangkan alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) dan dikembangkan oleh Scala (1956). Alat DCP sekarang merupakan alat yang dikembangkan dari *The Transvaal Roads Departement in South Africa* (Luo, 1998). Alat DCP mulai dikenalkan di Indonesia sejak tahun 1985/1986. Pengujian dengan alat DCP pada dasarnya sama dengan alat CP (*Cone Penetrometer*) yang sama – sama mencari nilai CBR. Pada alat *Cone Penetrometer* (CP) dilengkapi dengan *proving ring* dan arloji pembacaan, tetapi pada alat *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) melalui ukuran (satuan) dengan menggunakan mistar.

Prinsip utama alat DCP yaitu memeriksa kekuatan struktural dari lapisan tanah dengan parameter utama adalah rata – rata penetrasi dari konus pada beban standar. Nilai ini biasanya dikenal dengan satuan *mm/blows*. Dengan alat DCP ini bisa dihitung nilai CBR dan juga ketebalan dari masing – masing lapisan jalan tanah.

#### **1. Perhitungan nilai Modulus dari DCP**

Saat melakukan pengujian menulis jumlah tumbukan dan penetrasi. Setiap masing – masing tumbukan bisa dihitung nilai CBRnya. Semakin kecil nilai penetrasi DCPI (*mm/blow*) maka semakin besar nilai CBR yang terjadi. Persamaan yang digunakan untuk kolerasi DCPI dan CBR ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kolerasi nilai CBR – DCP menurut penelitian terdahulu

Penelitian	Persamaan	Material yang di uji
Kylen (1975)	$\text{Log CBR} = 2,62 - 1,27 \log \text{PI}$	Jenis tanah yang tidak diketahui
Smith dan Pratt (1983)	$\text{Log CBR} = 2,555 - 1,145 \log \text{PI}$	Kerikil dan kohesif
Harison (1987)	$\text{Log CBR} = 2,70 - 1,12 \log \text{PI}$ Dimana $\text{PI} < 10 \text{ mm/pukulan}$	Kerikil dan kohesif
Ese dkk (1994)	$\text{Log CBR} = 2,44 - 1,07 \log \text{PI}$	Agregat Lapisan Pondasi
NCDOT (1998)	$\text{Log CBR} = 2,60 - 1,07 \log \text{PI}$	Agregat Lapisan Pondasi dan kohesif
Coonse (1999)	$\text{Log CBR} = 2,53 - 1,14 \log \text{PI}$	Tanah residu
Nazal dkk (2003)	$\text{CBR} = 2559,4 / (7,35 + \text{PI} 1,84) + 1,04$ Dimana $6,31 < \text{PI} < 66,67$	Granular dan tanah kohesif
Webster dkk (1992)	$\text{Log CBR} = 2,465 - 1,12 \log \text{PI}$	Macam-macam jenis tanah

Sumber: Uz dkk (2015)

Korelasi antara DCPI dengan modulus elastisitas dapat dilihat pada Tabel 2.2.

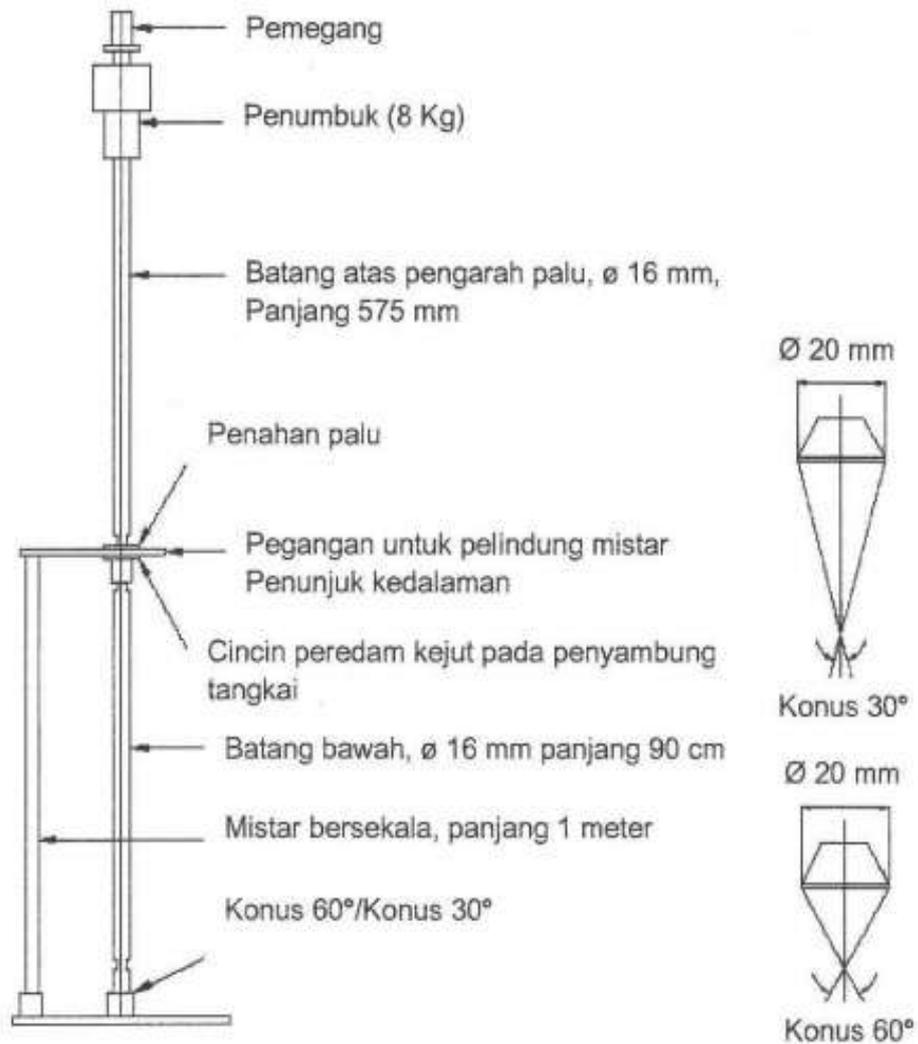
Tabel 2.2 Kolerasi nilai DCP – Modulus Elastisitas menurut penelitian terdahulu

Penelitian	Persamaan	Material yang diuji
De Beer (1990)	$E_s = 1176 (\text{PI})^{-1,082}$	Granular dan tanah kohesif
Pandey dkk (2003)	$M_R = 357,87 (\text{PI})^{-0,6445}$	Granular dan tanah kohesif
Chent et al (2005)	$E_s = 537,8 (\text{PI})^{-0,664}$	Granular dan tanah kohesif
Siekmeier dkk (2009)	$E_{\text{PI}=10} = 3,04758 - [1,06166 \log (\text{PI})]$	Granular dan tanah kohesif
Gerorge dan Uddin (2000)	$M_R = 235,3 (\text{PI})^{-0,475}$	Granular

Sumber: Uz dkk (2015)

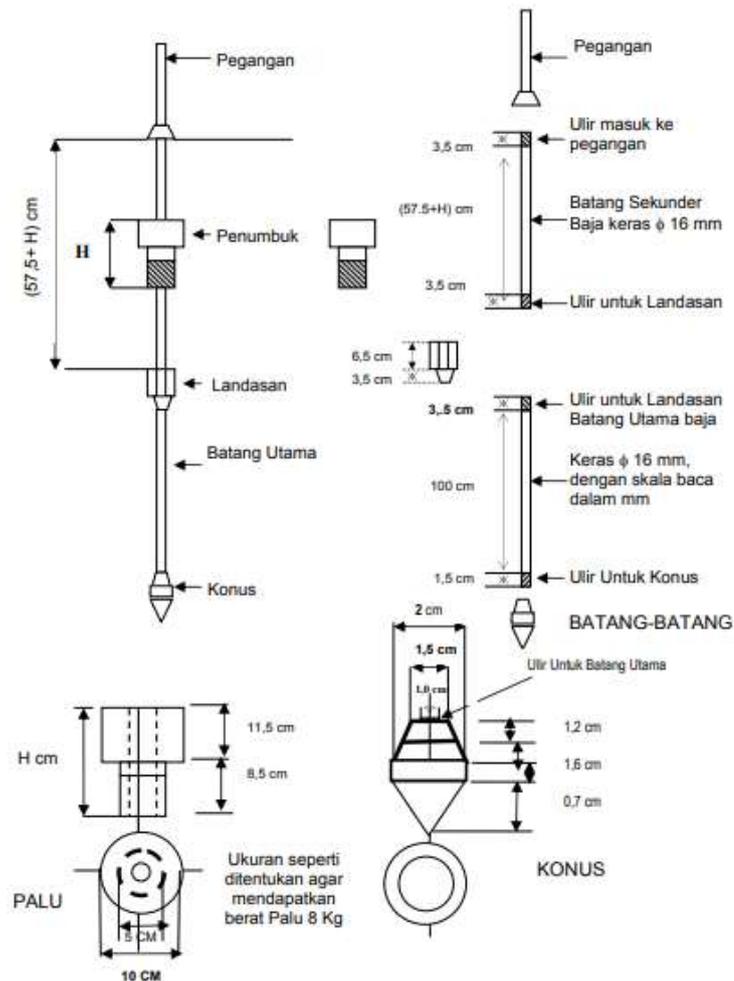
## 2. Bagian alat *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*

Alat ini terdiri dari 3 bagian utama yang satu sama lain harus disambungkan sehingga cukup kaku, seperti dijelaskan pada Gambar 2.2 dan pada Gambar 2.3 penjelasan dari setiap pambagian penetrometer konus dinamis.



Gambar 2.2 *Penetrometer* konus dinamis (DCP)

Sumber : Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 04/SE/M/2010



Gambar 2.3 Bagian dari *penetrometer* konus dinamis (DCP)

Sumber :Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 04/SE/M/2010

Keterangan bagian – bagian alat *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) sebagai berikut:

a. Bagian atas

- 1) Pemegang.
- 2) Batang bagian atas diameter 16 mm, tinggi-jatuh setinggi 575 mm.
- 3) Penumbuk berbentuk silinder berlubang, berat 8 kg.

b. Bagian tengah

- 1) Landasan penahan penumbuk terbuat dari baja.
- 2) Cincin peredam kejut.
- 3) Pegangan untuk pelindung mistar sebagai penunjuk kedalaman.

c. Bagian bawah

- 1) Batang bawah dengan panjang 90 cm dan diameter 16 mm.
- 2) Batang penyambung dengan panjang antara 40 cm sampai dengan 50 cm.  
Memiliki diameter 16 mm.
- 3) Mistar beskala dengan panjang 1 meter yang terbuat dari plat baja
- 4) Konus terbuat dari baja keras berbentuk kerucut di bagian ujung, diameter 20 mm, sudut  $60^\circ$  atau  $30^\circ$ .
- 5) Cincin pengaku.

### 2.2.3. *Light Weight Deflectometer (LWD)*

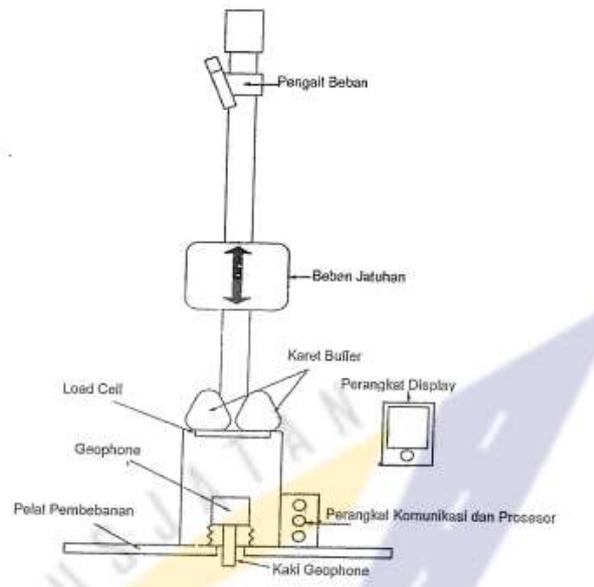
Alat *Light Weight Deflectometer (LWD)* ini juga dikenal sebagai alat *Portable Falling Weight Deflectometer (PFWD)*. Alat LWD merupakan alat yang praktis karena ketika berpindah posisi saat melakukan pengujian bisa diangkat dengan tangan atau menggunakan kereta dorong. Selain itu hasil pengukuran alat LWD yang didapat lebih cepat karena hasilnya langsung diperoleh saat pengujian dilakukan. Alat ini juga hanya membutuhkan 2-3 orang operator sehingga alat ini cukup praktis. *Light Weight Deflectometer (LWD)* bersifat tidak merusak NDT (*Non Destruction Test*). Menurut ASTM E2583-07, LWD merupakan alat yang secara umum digunakan untuk uji coba lapisan perkerasan.

*Plate Bearing* merupakan salah satu metode pengujian menggunakan alat LWD. Beban yang digunakan LWD merupakan beban impact yang diperoleh dari suatu massa yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu pada karet *buffer*. Kemudian beban ini disalurkan ke pelat pembebanan yang terletak pada permukaan lapisan yang akan diuji.

Beban impact akan menyebabkan lendutan pada permukaan lapisan yang diuji. Lendutan yang dihasilkan alat LWD bisa digunakan untuk perancangan tebal perkerasan jalan. Nilai lendutan juga bisa digunakan untuk parameter *quality control* dan *quality assurance* dan kekuatan struktur lapis perkerasan seperti yang

dijelaskan menurut ASTM D4695. Hasil dari setiap pengujian LWD adalah nilai lendutan dan nilai modulus elastisitas.

Pada pengujian lapisan tertentu seperti aspal, lapis pondasi bawah atau tanah dasar harus memperhatikan level tegangan yang digunakan. Sebab pada bahan tanah dasar dan lapis pondasi memiliki sifat *stress dependent* sehingga harus hati – hati saat melakukan pengujian LWD pada bahan granular. Nilai tegangan yang telah digunakan sebaiknya tidak jauh beda dengan tegangan aktual rata – rata yang terjadi selama umur pelayanan perkerasan tersebut. Pengaruh dari volume bahan tanah dasar dan lapis pondasi adalah beban. Beban adalah fungsi dari besaran beban itu sendiri. Volume tanah yang telah dipengaruhi oleh pengujian LWD lebih kecil dari volume tanah dari beban aktual lalu lintas yang terjadi maka perlu perhatian khusus dalam melakukan analisis LWD. Gambar 2.4 merupakan komponen dari alat LWD (*Light Weight Deflectometer*).



Gambar 2.4 Komponen alat LWD (*Light weight Deflectometer*)

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), No 19/SE/M/2016

Ketrangan :

1. Pelat pembebanan (*bearing plate*) ini terbuat dari bahan logam yang ada lubang ditengahnya (*annulus*). Diameter dari *annulus* 50 mm – 75 mm, sedangkan untuk tebal pelat ( $10 \pm 5$ ) mm. Pelat pembebanan ini berbentuk lingkaran dengan diameter 100 mm – 300 mm.

2. *Load cell* berfungsi untuk mengukur besaran beban yang ditimbulkan oleh beban jatuhan. Minimum akurasi dari alat *load cell* sebesar 0,1 Kn. Kalibrasi *load cell* harus pada rentang 0 - 15 Kn.
3. *Geophone* berfungsi untuk mengukur lendutan vertikal yang telah ditimbulkan oleh beban jatuhan. Akurasi dari *geophone*  $\pm 2$  mikrometer. Rentang kalibrasi pada *geophone* 0 – 2000 mikrometer.
4. Besar beban jatuhan dengan rentang 10 kg – 20 kg yang diangkat pada ketinggian tertentu dan apabila beban dijatuhkan akan memberikan beban impak pada pelat pembebanan.
5. Karet *buffer* berfungsi menyalurkan beban impak ke pelat pembebanan dalam jangka waktu 16 – 30 mili detik.
6. Prosesor yang telah dilengkapi dengan *Analog to Digital Converter* (ADC) dan program untuk mencatat data gelombang serta memproses menjadi lendutan. Program yang telah digunakan memberikan data masukan berupa besaran *Poisson's ratio*, temperatur, kekakuan plat, lokasi, dan tipe perkerasan yang akan diuji.
7. Akurasi  $\pm 1$  mikrometer harus mampu dicatat prosesor.
8. Selama periode minimum 60 mill detik yang harus dicatat beban maksimum dan pengukuran lendutan.
9. Akurasi beban maksimum  $\pm 1$  Kn yang harus mampu dicatat prosesor.

Untuk menganalisis nilai modulus elastisitas dari alat LWD (*Light weight Deflectometer*) bisa menggunakan metode *Boussinesq*. Menurut rumus *Boussinesq*, yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$E = \frac{2(1-\nu^2) \times \sigma_0 \times a}{d_0} \times f \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan :

- E = Modulus elastisitas (Mpa).  
d<sub>0</sub> = Lendutan pada pusat pembebanan, mikrometer .  
 $\mu$  = Rasio poisson.  
 $\sigma_0$  = Tegangan terapan (Mpa).  
a = Jari – jari pelat (mm).  
f = Factor bentuk tergantung pada distribusi tegangan.

### 2.2.4 Koefisien Variasi

Koefisien Variasi (CV) merupakan suatu sistem perbandingan antara simpangan standar dengan nilai hitung rata –rata yang dinyatakan dalam bentuk persentase. Semakin kecil nilai koefisien variasi, maka data yang ada akan semakin baik, jika semakin besar nilai koefisien variasi maka data yang ada akan semakin tidak baik pula. Untuk menghitung nilai koefisien variasi menggunakan rumus berikut :

$$CV = \frac{S}{X} \times 100\% \dots \dots \dots (3.2)$$

Keterangan :

- CV = Koefisien variasi.
- S = Simpangan Baku.
- X = Nilai rata – rata.

### 1.2.5 Uji Validitas

Menurut Azwar (1986), uji validitas merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengukur ketepatan dan kecermatan suatu variabel terkait fungsinya dalam suatu penelitian. Validitas dalam penelitian merupakan derajat ketepatan alat ukur terhadap objek yang diukur Sitinjak, dkk (2006). Kemudian Ghozali (2009) menyatakan bahwa uji validitas menunjukkan sah atau tidaknya suatu kuesioner dalam penelitian.

Penentuan validitas dengan cara perhitungan korelasi yang didapat nilai koefisien korelasi setiap item yang menunjukkan bagaimana derajat validitas item tersebut. Lalu untuk menentukan kelayakan item dalam kuesioner dilakukan uji signifikansi koefisien korelasi. Menurut Azwar (1986), item dikatakan valid saat nilai signifikansi lebih dari 0.05 (>0.05) yang kemudian disesuaikan dengan r tabel menurut jumlah responden (N). Untuk menghitung uji validitas bisa menggunakan persamaan berikut:

$$r_{xy} = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{\{N \sum X^2 - (\sum X)^2\} \{N \sum Y^2 - (\sum Y)^2\}}} \dots \dots \dots (3.3)$$

Keterangan:

X = Skor yang diperoleh subyek dari seluruh item.

Y = Skor total yang diperoleh dari seluruh item.

$\sum X$  = Jumlah skor dalam distribusi X.

$\sum Y$  = Jumlah skor dalam distribusi Y.

$\sum X^2$  = Jumlah kuadrat dalam skor distribusi X.

$\sum Y^2$  = Jumlah kuadrat dalam skor distribusi Y.

N = Banyaknya *responden*.

### 1.2.6 Uji Reliabilitas

Uji reliabilitas menunjuk pada konsisten skor yang dicapai oleh orang yang sama ketika diuji berulang kali dengan tes yang sama pada kesempatan yang berbeda (Anastasi & Urbin,1998).

Tinggi rendahnya reliabilitas dinyatakan dengan suatu nilai yang disebut koefisien reliabilitas. Koefisien reliabilitas berkisaran antara 0-1. Koefisien reliabilitas dilambangkan  $r_x$  dengan x adalah adalah index kasus yang dicari. Rumus pengujian reliabilitas menggunakan rumus *Alpha Cronbach's* sebagai berikut :

$$r_x = \left( \frac{n}{n-1} \right) \left( 1 - \frac{\sum \sigma_t^2}{\sigma_t^2} \right) \dots \dots \dots (3.4)$$

Keterangan :

$r_x$  = Reliabilitas yang dicari.

$n$  = Jumlah item pertanyaan.

$\sum \sigma_t^2$  = Jumlah varians ikon setiap items.

$\sigma_t^2$  = Varians total.

Sedangkan untuk nilai rentang *Alpha Cronbach's* sebagai berikut :

1. Alpha < 0.50 reliabilitas rendah.
2. 0.50 < alpha < 0.70 reliabilitas moderat.
3. Alpha > 0.70 maka reliabilitas mencukupi (*sufficient reliability*).
4. Alpha > 0.80 maka reliabilitas kuat.
5. Alpha > 0.90 maka reliabilitas sempurna.

