

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

*Light Weight Deflectometer (LWD)* adalah alat yang dikembangkan di Jerman, khususnya sebagai alat alternatif untuk mengetahui masalah konstruksi pada struktur perkerasan jalan maupun pekerjaan tanah (Shivamanth dkk. 2015).

*LWD* adalah salah satu metode NDT yang dapat digunakan untuk mengetahui bagaimana kondisi suatu perkerasan jalan. Data yang dihasilkan dari alat ini berupa nilai penurunan atau lendutan beserta nilai modulus elastisitas.

##### 2.1.1. Penelitian-penelitian Terdahulu

Elhakim dkk. (2013) melakukan penelitian menggunakan alat *LWD* untuk mengevaluasi derajat kepadatan pasir. Biasanya nilai modulus yang didapatkan akan digunakan untuk melihat tingkat kepadatan pada bagian tanah. *LWD* merupakan alat yang cocok untuk menguji tanah yang memiliki butiran paling besar 63 mm. Benda uji yang digunakan adalah pasir kapur dan pasir yang mengandung silika.

Dilakukan pengujian mineralogi pada pasir untuk mengetahui struktur atom dari zat kristal yang terkandung dalam tanah uji. Pengujian menggunakan metode *X-ray Diffraction (XRD)* dan didapatkan kandungan dari pasir kapur terdiri atas 97% Aragonit (*Calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>)*) dan 0,16 % pasir kuarsa, sedangkan kandungan dari pasir silika adalah 96 % pasir kuarsa.

Pengujian *LWD* dilakukan pada benda uji dengan perbedaan kepadatan yaitu 20%, 40%, 60% dan 80% hal ini dilakukan untuk mempresentasikan kepadatan tanah yang kecil hingga besar. Benda uji dimuat pada sebuah *box* berukuran 1m<sup>3</sup>. Penelitian ini meninjau efek dari kepadatan tiap lapisan pada pasir terhadap nilai modulus yang dihasilkan alat *LWD*.

Pemadatan benda uji menggunakan *hammer* 5 kg pada tiap lapisan kepadatan yang bervariasi antara 10 hingga 20 cm. Pengujian *LWD* dilakukan setidaknya tiga kali pengulangan agar mendapatkan kontak yang baik ketika pelat beban jatuh pada permukaan benda uji.

Dari hasil pengujian didapatkan nilai modulus *LWD* pada pasir silika lebih tinggi dibandingkan dengan pasir kapur dengan tingkatan pemadatan yang sama. Semakin besar angka kepadatan pasir maka modulus yang dihasilkan akan lebih besar, berlaku sebaliknya.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengukuran menggunakan alat *LWD* terbagi menjadi dua, pertama ialah instrumen pendukung dari alat *LWD* itu sendiri, seperti tinggi jatuh beban, ukuran pelat, radius/jarak antar sensor dan berat beban jatuh (Benedetto dkk. 2013), dan kedua ialah parameter dan sifat volumetrik tanah yang rentan dengan keadaan di sekitar (Tehrani dkk. 2010).

Kavussi dkk. (2010) mengkaji hubungan nilai modulus yang dihasilkan alat *FWD* (*Falling Weight Deflectometer*) dengan nilai modulus menggunakan alat *PFWD* (*Portable Falling Weight Deflectometer*) yang sekarang dikenal sebagai *LWD* (*Light Weight Deflectometer*).

Pengujian masing-masing alat dilakukan secara terpisah pada berapa lokasi, dengan parameter pengujian yang sama seperti variasi ketebalan lapisan AC sebesar 200 mm dan 350 mm serta panjang titik uji yang sama yaitu 12 Km.

Pengujian *LWD* dilakukan sebanyak 3 kali pada satu titik dengan perbedaan berat jatuh masing-masing sebesar 5 kg , 10 kg , dan 15 kg pada berbagai lokasi uji. Hasil pengujian didapatkan nilai modulus elastisitas yang dihasilkan meningkat sesuai dengan berat jatuh yang dilakukan.

Kemudian ditinjau pengaruh tinggi jatuh beban, berat jatuh beban dan diameter pelat dasar terhadap nilai modulus elastisitas yang dihasilkan. Pada pengujian ini berat jatuh beban yang digunakan seberat 15 kg dan pelat dengan variasi diameter antara 100 mm dan 300 mm.

Pengujian dilakukan pada empat yang berbeda, untuk variasi tinggi sebesar 515 mm, 375 mm, dan 275 mm. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Hasil pengujian *LWD* dengan perbedaan tinggi jatuh, dan diameter pelat (Kavussi dkk. 2010)

Proyek	Lokasi	Tinggi Jatuh (mm)			Cv (%)
		515	375	275	
<i>Yadegar Expressway</i>	P1	91	93	N/A	1,50%
	P2	83	78	N/A	4,10%
	P3	96	94	N/A	1,70%

Tabel 2.1 Hasil pengujian *LWD* dengan perbedaan tinggi jatuh, dan diameter pelat (Kavussi dkk. 2010) (Lanjutan)

Proyek	Lokasi	Tinggi Jatuh (mm)			Cv (%)
		515	375	275	
<i>Yadegar Expressway</i>	P4	176	167	N/A	3,80%
	P5	155	150	N/A	2,50%
<i>Amamali Expressway</i>	P1 (Dia = 300 mm)	80	89	90	6,40%
	P1 (Dia = 100 mm)	118	128	121	4,20%
	P2 (Dia = 300 mm)	66	68	63	3,80%
	P3 (Dia = 300 mm)	62	60	58	3,30%
	P4 (Dia = 300 mm)	83	84	83	0,70%

Korelasi nilai *LWD* dan *CBR* juga dilakukan, pengujian *LWD* menggunakan berat jatuh 10 Kg dan diameter pelat 300 mm. Hasil dari pengujian didapatkan hasil korelasi yang baik antara nilai *CBR* dan *LWD* dengan nilai antara 20% - 80%.

Nilai modulus yang dihasilkan *LWD* juga dibandingkan dengan nilai modulus yang dihasilkan alat *FWD* sehingga didapatkan korelasi dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,74 sehingga dapat dikatakan alat *LWD* atau *PFWD* bisa digunakan untuk mengevaluasi kekuatan dari struktur pekerasan jalan.

George dkk. (2009) melakukan penelitian terhadap korelasi antara nilai *LWD*, *DCP* dan *CBR* pada lapisan perkerasan *subgrade* menggunakan tanah laterit. Pengujian dilakukan di daerah Dakshina Kannada, Provinsi Karnataka, India.

Tanah laterik biasa ditemukan pada kawasan yang memiliki intensitas hujan yang tinggi, temperatur tinggi dan tingkat kelembaban yang tinggi. Pengujian tiap alat dilakukan pada 45 titik dengan lokasi yang sama tiap alatnya.

Hasil korelasi dari analisis regresi antara nilai *CBR* dan *DCP* didapatkan nilai  $R^2 = 0,82$ , untuk korelasi dari analisis regresi antara hasil *LWD* dan *DCP* didapatkan nilai  $R^2 = 0,72$ .

Jitarekul dkk. (2017) melakukan penelitian menggunakan alat *LWD* untuk mengevaluasi lapis perkerasan terhadap keamanan jalan, hal ini dilakukan dikarenakan tingginya tingkat kecelakaan yang terjadi. Nilai defleksi dan modulus elastisitas menjadi tinjauan utama dalam pengujian ini.

Hasil pengujian didapatkan dari berbagai lapis pekerasan dengan material yang paling sering digunakan di Thailand yaitu *Crushed Rock Base*, *Soil Aggregate Subbase*, *Selected material* dan *Subgrade*. Tiap material dibedakan diameter pelat

dan tinggi jatuh. Pengujian diambil paling sedikit empat titik pengujian pada tiap jenis material. Untuk hasil modulus dan defleksi didapatkan dari hasil rata-rata, standar deviasi, dan koefisien varian dari tiap jenis material perkerasan. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Hasil pengujian *LWD* pada tiap jenis perkerasan (Jitareekul dkk. 2017)

Type of Pavement Material	No. Data	d <sub>o</sub> (mm)	Rerata (mm)	Standar deviasi (mm)	Cv (%)	E <sub>LWD</sub> (MPa)	Mean (MPa)	Standar deviasi (MPa)	Cv (%)
Crushed Rock	52	0,025 – 0,255	0,087	0,051	58	170 – 1.794	693	399	58
Soil-Aggregate Subbase	80	0,027 – 0,382	0,076	0,068	62	64 – 730	287	141	49
Selected Material	114	0,009 – 0,142	0,044	0,025	57	106 – 1.215	404	227	56
Subgrade	81	0,013 – 0,345	0,067	0,052	77	34 – 738	200	131	65

Hasil koefisien varian dari hasil pengujian defleksi dan modulus elastisitas pada masing-masing jenis perkerasan yang berkisar antara 58% - 77% dan 49% - 65%, besarnya angka variabilitasnya dapat disebabkan dari lokasi pengujian, jenis material, kandungan air, kepadatan dan ketebalan perkerasan.

Siegfried (2018) melakukan pengujian menggunakan alat *LWD* dimana hasil modulus akan dibandingkan dengan modulus hasil alat *FWD*, untuk mengetahui apakah alat *LWD* dapat dijadikan alat alternatif dari *FWD*. Dilakukannya hal ini karena alat *FWD* yang tersedia di Indonesia saat ini hanyalah sebanyak 11 buah. Jumlah ini tentu tidak bisa melayani pengujian untuk seluruh jalan yang ada.

Alat *LWD* yang digunakan agak berbeda dengan alat *LWD* pada umumnya. Perbedaannya berupa tidak adanya *load cell* sebagai sensor untuk mengukur beban jatuhnya yang digunakan. Pengujian *LWD* dan *FWD* dilakukan pada titik uji yang sama, berlokasi di dalam kampus Pusjatan yang bisa diasumsikan sebagai jalan beraspal dengan lalu lintas rendah hingga sedang.

Pengujian *FWD* dilakukan sebanyak 23 titik uji. Besarnya beban target yang diberikan pada umumnya adalah 40 kN atau dalam satuan tegangan sebesar 560 kPa yang terkadang dalam pengoperasiannya tegangan yang dihasilkan bisa mencapai 600 kPa.

Pengujian *LWD* dilakukan sebanyak 23 titik uji yang berlokasi sama dengan pengujian *FWD*, jarak antar *geophone* pada *LWD* pusjatan adalah 0 mm, 200 mm, dan 900 mm. Hasil dari perbandingan modulus elastisitas antara alat *LWD* dan *FWD* pada lendutan titik pembebanan ( $d_0$ ) dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Perbandingan hasil uji alat *LWD* dan *FWD* (Siegfried, 2018)

Titik	$E_{FWD}$ (MPa)	$E_{LWD}$ (MPa)
1	289,2	278,5
2	921,4	996,4
3	604	598,9
4	503,6	440,3
5	246,1	219,6
6	209,5	212,8
7	243,1	254,5
8	237,5	217,5
9	142,7	155,1
10	225,1	227,2
11	191,2	180,5
12	146,8	164,6
13	192,1	149,3
14	165,5	147,8
15	160,1	149,7
16	179,4	130,8
17	178,7	205,2
18	211	246
19	193,1	205,9
20	212,4	213,2
21	222,8	197,3
22	203,2	206,7
23	197,5	204,4

Dari hasil korelasi antara hasil uji alat *LWD* dan *FWD* didapatkan persamaan  $y = 1,0509x - 16,802$  dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,9791, koefisien relasi yang cukup besar membuktikan bahwa hubungan modulus permukaan yang dihitung menggunakan data lendutan *FWD* dan *LWD* mempunyai hubungan yang cukup kuat. Dapat dikatakan alat *LWD* dapat digunakan sebagai alternatif dari alat *FWD* yang terbukti bisa diterima khusus untuk evaluasi dari sistem perkerasan pada jalan dengan lalu lintas rendah hingga sedang.

Siegfried (2018) melakukan penelitian untuk pengecekan kualitas pekerjaan pemadatan tanah dasar menggunakan alat *LWD*, pemadatan merupakan salah satu aktivitas yang perlu mendapat perhatian penuh dalam pelaksanaan konstruksi suatu sistem perkerasan jalan.

Pengujian dilakukan di laboratorium Alusan Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Jl. AH Nasution 264 Bandung. Contoh uji perkerasan terdiri atas 3 lapisan yaitu lapis permukaan dari ACWC setebal 5 cm, lapis fondasi kelas A setebal 25 cm dan lapis kelas B setebal 30 cm.

Tanah dasar ditargetkan mempunyai *CBR* sebesar 6% atau setara dengan modulus elastisitas 60 MPa. Pengujian pemadatan ini dilakukan pada saat proses konstruksi tanah dasar dan dilakukan 19 titik pengujian. Untuk hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Hasil pengujian *LWD* pusjatan (Siegfried, 2018)

Titik	Beban (kg)	$d_0$ (mikron)	$E_0$ (MPa)
1	563	312.0	67
2	563	231.8	90
3	563	258.3	81
4	563	208.6	101
5	563	165.0	90
6	563	213.8	98
7	563	318.0	66
8	563	170.2	123
9	563	167.0	126
10	563	319.1	66
11	563	188.2	111
12	563	190.5	110
13	563	198.7	106
14	563	158.7	132
15	563	212.2	99
16	563	158.3	132
17	563	264.3	79
18	563	293.0	72
19	563	399.3	53

Dari tabel terlihat bahwa beban yang digunakan sebesar 563 kg. Lendutan maksimum yang terjadi adalah 319,1 mikron yang menghasilkan modulus sebesar 66 MPa. Dengan menggunakan persamaan yang terdapat dalam AASHTO 1993, maka nilai modulus 66 MPa setara dengan *CBR* tanah sebesar 6,6%.

Dari hasil pembahasan, *LWD* pusjatan telah diterima sebagai bagian dari spesifikasi untuk pengecekan kualitas untuk pemadatan tanah dasar dan lapisan *granular* lainnya dalam konstruksi jalan raya.

## 2.2. Landasan Teori

### 2.2.1. Klasifikasi Jalan dan Tipe Perkerasan Jalan

Jalan merupakan prasarana transportasi yang memiliki peran besar untuk memajukan negara. Jalan memiliki peranan penting untuk menghubungkan satu daerah dengan daerah lainnya baik daerah besar ke daerah besar lainnya, maupun dengan daerah terpencil sekalipun.

Dengan fasilitas jalan yang mumpuni, jalan dapat memajukan berbagai macam bidang dari ekonomi hingga pendidikan, hal ini menjadikan jalan sangat dibutuhkan oleh masyarakat ramai.

Jalan diklasifikasikan berdasarkan kelas jalan yaitu kelas I, II, IIIA, IIIB dan IIIC yang disesuaikan dengan fungsi-fungsi jalan yang berbeda.

Selain disesuaikan menurut fungsinya jalan juga disesuaikan menurut kemampuan jalan menerima beban dari lalu lintas yang dinyatakan dengan Muatan Sumbu Terberat (MST) dalam satuan ton.

Kemampuan tersebut merupakan kemampuan jalan untuk melayani lalu lintas dengan dimensi tertentu. Klasifikasi kelas jalan menurut RSNI T-14-2004 dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Klasifikasi kelas jalan menurut RSNI T-14-2004

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Dimensi Kendaraan Maksimum		MST (ton)
		Panjang (m)	Lebar (m)	
I	Jalan Arteri	18	2,5	>10
II	Jalan Arteri	18	2,5	10
IIIA	Jalan Arteri	18	2,5	8
	Jalan Kolektor	18	2,5	8
IIIB	Jalan Kolektor	12	2,5	8
IIIC	Jalan Lokal	9	2,1	8

a. Jalan Arteri

Menurut UU RI No. 13 Tahun 1980 jalan arteri merupakan jalan yang melayani angkutan umum dengan ciri perjalanan jarak jauh, jumlah jalan masuk dibatasi, dan kecepatan rata-rata tinggi.

1) Jalan Arteri Primer

Jalan arteri primer merupakan jalan yang menghubungkan antar dua pusat kegiatan nasional atau menghubungkan pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan wilayah. Jalan arteri primer tidak boleh terganggu oleh kegiatan lokal, lalu lintas lokal, dan lalu lintas ulang alik.

2) Jalan Arteri Sekunder

Jalan arteri sekunder merupakan jalan yang menghubungkan kawasan primer dengan kawasan sekunder kesatu atau menghubungkan antar kawasan sekunder kesatu atau menghubungkan antar kawasan sekunder kesatu dengan sekunder kedua.

b. Jalan Kolektor

Menurut UU RI No. 13 tahun 1980 jalan kolektor merupakan jalan yang melayani angkutan pengumpul dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang, jumlah masuk dibatasi, kecepatan rata-rata sedang.

1) Jalan Kolektor Primer

Jalan kolektor primer merupakan jalan yang menghubungkan antar pusat kegiatan wilayah atau menghubungkan pusat kegiatan wilayah dengan pusat kegiatan lokal.

2) Jalan Kolektor Sekunder

Jalan kolektor sekunder merupakan jalan yang menghubungkan antar kawasan sekunder kedua atau menghubungkan kawasan sekunder kedua dengan kawasan sekunder ketiga.

c. Jalan Lokal

Jalan lokal, menurut UU RI No. 13 tahun 1980 merupakan jalan yang melayani angkutan setempat dengan ciri perjalanan jarak dekat, jumlah jalan masuk tidak dibatasi, dan kecepatan rata-rata rendah.

Jalan lokal terdiri dari jalan lokal sekunder yang menghubungkan kawasan sekunder kesatu dengan perumahan atau menghubungkan kawasan sekunder



kedua dengan perumahan atau menghubungkan kawasan sekunder ketiga dengan perumahan, dan seterusnya sampai menghubungkan antar perumahan.

Berdasarkan perkerasannya, jalan dibagi menjadi empat macam, yaitu perkerasan lentur, perkerasan kaku, perkerasan komposit dan jalan tak diperkeras.

a. Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur (perkerasan aspal) ini tersusun atas aspal sebagai lapisan permukaan dan pada bagian bawah terdiri dari bahan berbutir yang dihamparkan di atas tanah dasar. Perkerasan lentur digunakan untuk semua kelas jalan. Umur rencana pada perkerasan jalan lentur berkisar antara 10–20 tahun, pembangunannya tidak menggunakan panel-panel seperti pada perkerasan kaku sehingga tidak memiliki sambungan.

b. Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku (perkerasan beton) banyak digunakan di jalan-jalan utama, contohnya di bandara. Perkerasan kaku cocok digunakan untuk melayani lalu lintas yang tinggi.

Umur rencana pada perkerasan kaku berkisar antara 20 – 40 tahun. Perkerasan kaku ini dibuat dalam panel-panel sehingga dibutuhkan sambungan. Perbedaan yang paling menonjol antara perkerasan kaku dan perkerasan lentur yaitu perbedaan saat menyebarkan beban menuju tanah dasar (*subgrade*).

Pada perkerasan lentur kekuatan perkerasan bergantung pada setiap komponen lapis perkerasan yaitu pondasi bawah, pondasi atas, dan lapisan permukaan. Sedangkan, pada perkerasan kaku beban yang diterima akan disebarkan ke area yang lebih luas ke tanah dasar. Jadi, perkerasan lentur kekuatan perkerasannya diperoleh dari ketebalan lapis perkerasan sedangkan perkerasan kaku kekuatannya berasal dari pelat beton.

c. Perkerasan Komposit

Perkerasan komposit merupakan perkerasan gabungan antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Lapisan perkerasan ini terdiri dari lapisan beton aspal yang terletak di atas perkerasan semen *Portland* atau perkerasan yang dirawat. Untuk itu perlu adanya persyaratan ketebalan perkerasan aspal agar mempunyai kekakuan yang cukup serta dapat mencegah retak refleksi dari perkerasan yang berada pada lapisan bawah perkerasan komposit.

#### d. Jalan Tak Diperkeras

Jalan tak diperkeras merupakan jalan yang memiliki perkerasan sederhana, dimana lapisan permukaan jalan hanya lapisan *granular* (kerikil) yang dihamparkan di atas tanah dasar.

Jalan tak diperkeras hanya terdiri dari lapisan tanah dasar yang dipadatkan. Tipe jalan ini digunakan apabila volume kendaraan sangat rendah. Kelemahan dari penggunaan jalan tak diperkeras yaitu permukaannya yang kasar sehingga saat kendaraan lewat maka kerikil akan mengalami gerakan lateral dan mengeluarkan debu-debu yang beterbangan. Pemeliharaan drainase samping pun sulit karena selalu terisi tanah maupun kerikil yang lepas dari permukaan perkerasan.

### 2.2.2. Lapis Perkerasan Jalan

Silvia Sukirman (1999) menyatakan berdasarkan jenis dan fungsi konstruksi perkerasan terdiri atas:

#### a. Lapisan permukaan (*surface course*)

Lapisan yang terletak paling atas disebut lapis permukaan yang berfungsi sebagai lapis penahan beban roda, lapisan mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.

#### b. Lapisan fondasi atas (*base course*)

Lapisan perkerasan yang terletak diantara lapis fondasi bawah dan lapis permukaan dinamakan lapis fondasi atas (*base course*), fungsi lapisan fondasi atas ini antara lain sebagai bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya, sebagai lapisan peresapan untuk lapisan fondasi bawah, dan sebagai bantalan terhadap lapisan permukaan.

#### c. Lapisan fondasi bawah (*subbase course*)

Lapis perkerasan yang terletak antara lapis fondasi atas dan tanah dasar dinamakan lapis fondasi bawah (*subbase*) Lapis fondasi bawah berfungsi sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda ke tanah dasar. Lapisan ini harus cukup kuat, mempunyai  $CBR \geq 20\%$  dan  $PI \leq 10\%$ .

#### d. Lapisan tanah dasar (*subgrade*)

Lapisan tanah setebal 50-100 cm di atas mana akan diletakkan lapis fondasi bawah dinamakan lapis tanah dasar. Lapisan tanah dasar dapat berupa tanah asli

yang dipadatkan, jika tanah aslinya baik, tanah yang didatangkan dari tempat lain dan dipadatkan atau tanah yang distabilisasi dengan kapur atau bahan lainnya.

Pemadatan yang baik diperoleh jika dilakukan kadar air optimum dan diusahakan kadar air tersebut konstan selama umur rencana. Hal ini dapat dicapai dengan pelengkap drainase yang memenuhi syarat.

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

Alat *Light Weight Deflectometer (LWD)* saat ini tengah populer menjadi alat untuk mengetahui kekakuan suatu material yang hemat waktu serta biaya yang menentukan nilai defleksi dan modulus elastisitas permukaan baik pada lapisan permukaan tanah (Grasmick dkk. 2014).

*LWD* adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengetahui kekuatan suatu lapis permukaan dalam konstruksi jalan raya. Dalam pengoperasiannya dilakukan dengan cara menjatuhkan beban dengan tinggi dan berat yang telah ditentukan pada permukaan perkerasan jalan yang akan diuji.

*LWD* juga dapat digunakan untuk mengetahui kekakuan atau kekerasan dari permukaan tanah. Hasil dari lendutan yang didapat pada pengujian digunakan untuk menghitung modulus elastisitas pada area yang diuji serta dapat digunakan sebagai pemeriksa material yang ada pada ruas jalan selama kegiatan konstruksi sedang berlangsung telah mencapai kepadatan yang sesuai.

*Light Weight Deflectometer (LWD)* pertama kali digunakan pada tahun 1998 oleh Departemen Perhubungan Minnesota (*Mn/DOT*) pada proyek penelitian jalan. Mulai tahun 2005 *LWD* telah digunakan oleh *Mn/DOT* sebagai alat untuk pemadatan jalan dan tanggul dan konstruksi parit, perawatan gorong-gorong dan lainnya. Selain mudah dalam penggunaan serta ringan untuk dibawa, perangkat *LWD* ini dapat digunakan dengan cepat untuk menentukan nilai modulus elastisitas.

Modulus elastisitas *LWD* ( $E_{LWD}$ ) dihitung dengan menggunakan teori *Boussinesq*. Modulus defleksi pada permukaan ( $E_0$ ), dapat dihitung menggunakan rumus *Boussinesq*, sebagai berikut :

$$E_{LWD} = \frac{K \times (1 - \mu^2) \times P \times r}{d_0} \dots\dots\dots (2.1)$$

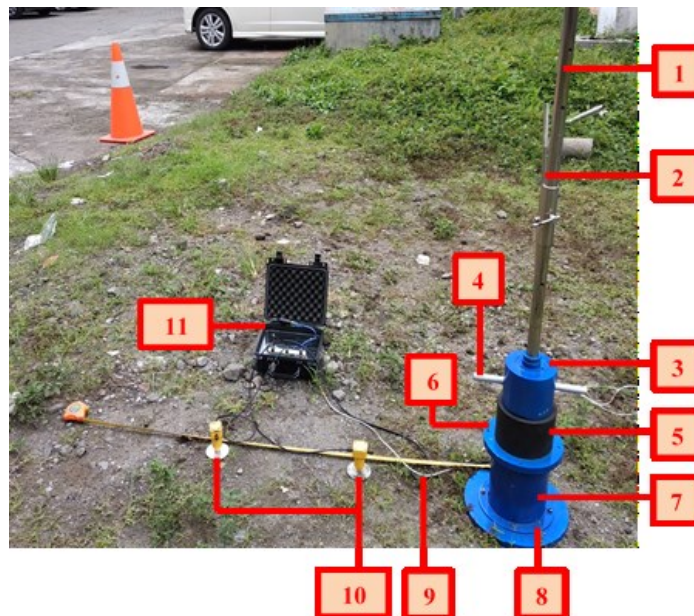
Dimana,

- $K$  =  $\pi/2$  dan 2 untuk pelat kaku dan lentur ,  
 $d_0$  = Lendutan pada pusat pembebanan (mikron),  
 $P$  = Tegangan seragam dibawah piring (MPa),  
 $\mu$  = *Poisson Ratio* , (0,15 untuk beton, 0,35 untuk perkerasan)  
 $r$  = Radius / jari-jari pelat pembebanan (cm),

Konsep kerja dari alat *Light Weight Deflectometer (LWD)* adalah dengan menjatuhkan beban seberat  $\pm 22$  lb atau sekitar 10-20 kg, dengan menggunakan *Geophone* ke *loading plate* untuk mengamati lendutan yang terjadi pada lapis permukaan tanah maupun perkerasan.

Alat ini dihubungkan dengan sensor yang terhubung dengan perangkat elektronik yang dapat mencatat gerakan dari piringan pada saat uji dilakukan. Beban dijatuhkan pada ketinggian tertentu yang disebut *Leveling* maka akan menghasilkan getaran/vibrasi yang kemudian akan dicatat oleh *Geophone*. *Level* pada alat LWD terbagi menjadi 5 (0 - 4), dimana level 0 memiliki ketinggian jatuh sebesar 0,13 cm , level 1 sebesar 0,23 m level 2 sebesar 0,33 m level 3 sebesar 0,47 m dan level 4 sebesar 0,60 m.

Komponen penyusun alat *Light Weight Deflectometer (LWD)* dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Bagian-bagian alat *LWD*

Keterangan :

1. *Guide rod*  
Berfungsi sebagai pemegang beban pada alat *LWD*.
2. Pengait beban  
Berfungsi sebagai penahan dan pelepas beban yang akan dijatuhkan.
3. Beban jatuh  
Beban yang akan diberikan kepada benda uji dengan berat berkisar 10-20 kg, untuk alat *LWD* pusjatan adalah 12 kg.
4. *Carry grip*  
Berfungsi sebagai pegangan beban agar lebih mudah ketika pengoperasian alat.
5. Karet *buffer*  
Berfungsi sebagai peredam beban yang jatuh agar pantulan yang terjadi tidak terlalu besar.
6. *Anti-tipping fixture*  
Berfungsi untuk menahan pemegang dan beban jatuh agar tetap pada posisi awal.
7. Tabung sensor lendutan  
Berfungsi sebagai pengukur defleksi pada titik jatuh beban.
8. Pelat pembebanan  
Berfungsi untuk mendistribusikan beban yang seragam ke permukaan.
9. Kabel  
Berfungsi sebagai penghubung antar instrumen alat agar dapat saling mengirimkan data hasil pengujian ke prosesor.
10. *Geophone*  
Berfungsi sebagai pencatat vibrasi/getaran yang dihasilkan oleh beban.
11. Prosesor  
Berfungsi sebagai “otak” dalam alat, dimana pengolahan data yang dihasilkan dilakukan di prosesor yang kemudian menghasilkan nilai modulus elastisitas dari pengujian.

#### **2.2.4. Dynamic Cone Penetrometer (DCP)**

*Dinamic Cone Penetrometer (DCP)*, berupa alat sederhana dengan indikator ukur dan beban tumbuk di atasnya. Pengujian ini dilakukan dengan mencatat data

masuknya konus yang tertentu dimensi dan sudutnya, ke dalam tanah untuk setiap pukulan dari palu / *hammer* yang berat dan tinggi jatuh tertentu pula.

Pengujian DCP merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memperkirakan nilai *CBR* tanah atau bahan *granular* dengan cepat dan cukup akurat. Jika dibandingkan dengan pengujian menggunakan *CBR* rendaman dengan 4 hari perendaman akan memakan waktu yang lebih lama, biaya pengambilan sampel, penyiapan sampel dan pengujian sampel juga lebih mahal dibandingkan dengan pengujian dengan alat *DCP* (Burhanuddin & Junaidi, 2018).

Di samping itu alat *DCP* juga dikenal dengan pengujian NDT (*Non Destructive Test*) yang digunakan pada lapis pondasi batu pecah, pondasi bawah sirtu, stabilisasi tanah dengan semen atau kapur pada tanah dasar (Syaruddin S., 2010).

Beberapa organisasi internasional mempunyai beberapa jenis alat pengukur daya dukung tanah dan dibuat korelasi antara hasil pengukuran alat *DCP* dengan pengukuran daya dukung tanah yang lain. Beberapa organisasi internasional di seluruh dunia memiliki berbagai alat pengukur dukung tanah yang kemudian dibuatlah hubungan antara hasil pengukuran menggunakan alat *DCP* dengan pengukuran daya dukung tanah yang lain.

Komponen penyusun *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)* pada bagian atas terdiri dari batang bagian atas dengan diameter 16 mm dan tinggi jatuh sebesar 575 mm, kemudian terdapat penumbuk berbentuk silinder berlubang dengan berat 8 kg. Pada bagian tengah alat terdapat landasan penahan yang terbuat dari baja yang berfungsi untuk menahan beban, kemudian terdapat cincin peredam dan pegangan pelindung mistar yang menunjukkan kedalaman pada saat penurunan terjadi.

Pada bagian bawah alat uji terdiri dari batang bagian bawah dengan panjang 90 cm dan diameter 16 mm, kemudian terdapat batang penyambung dengan panjang berkisar 40 – 50 cm dengan memiliki ujung berulir berdiameter 16 mm, dan terdapat mistar sepanjang 1 meter yang terbuat dari pelat baja, konus yang terbuat dari baja keras pada ujung alat dengan diameter 20 mm dan memiliki sudut 60° atau 30°.