

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

2.2.1. Penelitian Terdahulu tentang Pengujian *Light Weight Deflectometer* (LWD)

Siegfried (2017) melakukan penelitian yang dilakukan pada ruas kampus yang ada di sekitar kampus Pusjatan Bandung. Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian sistem Manajemen Perkerasan, menggunakan alat *Light Weight Deflectometer* (LWD). Alat LWD ini terdiri atas beban jatuhan, pelat beban, *geophone*, dan prosesor. Beban jatuhan bertujuan untuk mensimulasikan beban dinamis lalu lintas. Apabila beban dijatuhkan pada ketinggian tertentu maka akan menghasilkan vibrasi yang akan dicatat oleh *geophone*. Nilai lendutan yang dihasilkan kemudian di pakai untuk menghitung besaran modulus elastisitas dari lapisan yang diuji yang diperoleh dari persamaan *Bousinessq* (Transit New Zealand, 1998). Tujuan dari penelitian ini untuk melihat perbandingan dari masing-masing pengujian DCP dan LWD. Pengambilan data di lokasi Kuningan dilakukan di ruas jalan tanah yang menghubungkan perkebunan dan pemukiman warga. Dalam penelitian tersebut menjelaskan pola kerja LWD pusjatan terdiri atas beban jatuhan yang dijatuhkan pada ketinggian tertentu dan kemudian menghasilkan getaran yang kemudian menghasilkan getaran yang ditangkap oleh 3 buah *geophone*. Penelitian ini dilakukan di 2 lokasi jalan tanah yakni di Bogor dan Kuningan. Pada masing-masing lokasi ini di ambil 10 titik dan dilakukan pengujian LWD dan *Dynamic Cone Penetration* (DCP), pengambilan data di Bogor dilakukan pada jalan tanah di daerah perkampungan. Pusat pembebanan berada sejauh 0 mm, 200 mm, dan 900 mm dari *geophone*. Perhitungan untuk mendapatkan nilai lendutan dari vibrasi yang dihasilkan *geophone* harus diubah ke dalam bentuk frekuensi sehingga mendapatkan nilai lendutan untuk masing-masing *geophone* dan nilai lendutan tersebut yang kemudian digunakan untuk menghitung nilai modulus elastisitas tanah. Kesimpulan dari penelitian ini adalah hasil perbandingan DCP dan LWD menunjukkan bahwa korelasi antara LWD dan DCP berada dalam interval 85%

tingkat kepercayaan. Korelasi dengan tingkat kepercayaan 85 % sudah cukup wajar digunakan dalam teknik jalan raya pada umumnya. Kelebihan dari alat uji LWD sendiri terdapat pada kebutuhan teknisi yang lebih sedikit dibandingkan dengan alat uji DCP, dan dapat disimpulkan bahwa alat LWD Pusjantan dapat digunakan untuk mengetahui kekuatan struktural pada jalan tanah.

Siegfried (2018) menyebutkan besaran beban yang digunakan sangat ditentukan oleh level jatuh beban yang terdiri atas 5 level. Masing-masing level telah dilakukan kalibrasi dan validasi sebelumnya di laboratorium dengan menggunakan *load cell* standar.

Lapian (2018) melakukan penelitian mengenai studi modulus elastisitas pada ruas jalan yang volume lalu lintasnya rendah dengan menggunakan alat *Light Weight Deflectometer* (LWD). Penelitian ini juga dapat sebagai acuan dalam perencanaan stabilisasi 2 tahap tanah laterit dengan kapur dan semen yang perlu dibuatkan spesifikasi khusus. Koefisien variasi yang dihasilkan dari pengujian ini adalah 0,5% sampai 0,7%.

Warsiti (2009) menyatakan bahwa penambahan kadar kapur 10% merupakan kadar paling baik untuk stabilisasi sehingga dapat meningkatkan nilai CBR keadaan *unsoaked* sampai persentase 10% dan nilai CBR *soaked* dari 2,45% menjadi 7,6%. Sedangkan untuk nilai *swelling* tanah lempung, dengan bertambahnya persentase kadar kapur maka nilai *swelling* yang dihasilkan semakin kecil.

Wiqoyah (2006) melakukan penelitian tentang pengaruh kadar kapur, waktu perawatan dan perendaman terhadap kuat dukung. Tanah lempung yang diuji diberikan campuran kapur dikarenakan penambahan kapur pada tanah lempung dapat memperbaiki sifat fisis tanah. Hasil uji CBR dari pengujian ini dilakukan 3 hari dengan waktu perendaman 4 hari menunjukkan peningkatan nilai CBR seiring bertambahnya jumlah kapur yang diberikan pada tanah tersebut. Peningkatan maksimum baik pada saat perawatan 3 hari ataupun saat perendaman 4 hari terjadi penambahan 7,5% kapur, besarnya hasil peningkatan masing-masing yaitu; 23,64% dan 28,78%.

Sumarna (2015) melakukan penelitian percobaan dengan menggunakan alat *Dynamic Cone Penetration* (DCP) pada tanah timbunan, dan dari hasil pengujian

tersebut dapat disimpulkan bahwa kekuatan *prototipe* dari lapisan tanah dasar (*subgrade*) jalan dari usaha tani memiliki nilai *California Bearing Ratio* (CBR) yang merupakan hasil korelasi dari nilai pengujian DCP, dimana didapatkan hasil pada kedalaman 0-340 mm, 340-590 mm, dan 590-950 mm secara berturut-turut dan didapatkan nilai CBR rata-rata dari pengujian tersebut sebesar 7,62%, 19,67% 21,91%. Nilai CBR yang didapatkan tersebut ternyata memiliki nilai lebih besar daripada nilai CBR yang direncanakan yaitu sebesar 5,7%. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan tanah dasar (*subgrade*) telah memenuhi persyaratannya.

Menurut SNI 03-1744-1989, nilai CBR minimal tanah dasar disyaratkan adalah 6%. Perubahan partikel tanah menjadi partikel yang lebih besar akibat proses kimia dalam suatu rentang waktu tertentu, akan memberikan kontribusi terhadap pembentukan susunan partikel yang lebih kompak dan saling kunci antarpartikel yang lebih baik, sehingga memberikan dampak terhadap daya dukung tanah yang cenderung semakin bertambah dan pengembangan (*swelling*) tanah menjadi berkurang.

2.2 Dasar Teori

2.2.1. Jalan

Jalan merupakan salah satu prasarana transportasi dalam kehidupan yang sangat dibutuhkan, kedudukan serta peranan jaringan jalan yang ada merupakan akses untuk pengendalian struktur dalam pengembangan wilayah dan kependudukan serta menyangkut hajat kehidupan seseorang, terutama pada wilayah dan pada tingkat nasional serta sebagai pemerataan hasil pembangunan, Menurut penjelasan peraturan Pemerintah Republik Indonesia tentang Jalan No. 34/2006. Dalam pasal 6 dan pasal 9, dijelaskan bahwa fungsi jalan terdapat dalam sistem jaringan primer dan sekunder.

2.2.2. Jenis Perkerasan

Jenis konstruksi jalan perkerasan jalan yaitu dengan menyesuaikan dengan kondisi pada ltak atau daerah dimana akan dibangun sarana transportasi atau proyek jalan tersebut. Khususnya pada bahan yang digunakan sebagai material dalam proyek konstruksi yang diupayakan untuk mudah didapatkan serta lokasi yang tidak terlalu berjauhan dengan proyek agar dapat meminimalisir biaya yang akan di

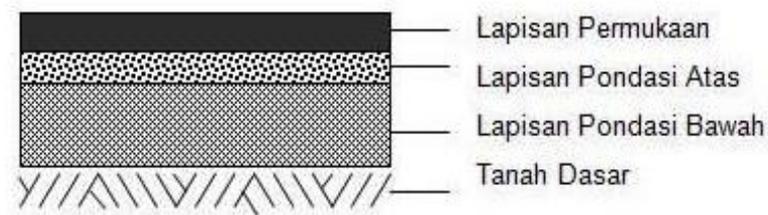
gunakan pada pekerjaan konstruksi tersebut. (Sukirman, 1999). Berdasarkan bahan pengikat konstruksi jalan dapat dibedakan menjadi :

1. Konstruksi Perkerasan Lentur (*Flexible pavement*)

Perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah lapis yang menggunakan bahan pengikat yaitu berupa aspal sebagai bahan pengikat antar material. Perkerasan ini memiliki lapisan-lapisan yang bersifat meneruskan dan menyebarkan beban lalu lintas yang dipikul ke tanah dasar.

Pada perkerasan lentur (*flexible pavement*) terdiri dari empat lapis material konstruksi jalan di atas lapis tanah dasar, keempat lapis struktur perkerasan jalan :

- a. Lapis tanah dasar (*subgrade*), lapis tanah yang berfungsi sebagai tempat perletakan lapis perkerasan dan mendukung konstruksi perkerasan jalan di atasnya. Menurut spesifikasi, tanah dasar adalah lapisan paling atas dari timbunan badan jalan setebal 30 cm, yang mempunyai persyaratan tertentu sebagai fungsinya, yaitu berkenaan dengan kepadatan dan daya dukungnya (CBR).
- b. Lapis pondasi bawah (*subbase course*) yaitu, lapis perkerasan yang terletak di atas lapisan tanah dasar dan di bawah lapis pondasi atas yang berfungsi sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda ke tanah dasar, sebagai lapis peresapan agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
- c. Lapis pondasi atas (*base course*) yaitu, lapis perkerasan yang terletak di antara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan. Lapis ini berfungsi juga sebagai bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan bawahnya, sebagai bantalan terhadap lapis permukaan.
- d. Lapis permukaan / penutup (*surface course*) adalah lapisan yang bersentuhan langsung dengan beban roda kendaraan. Lapis ini berfungsi sebagai lapisan yang langsung menahan akibat beban roda kendaraan, lapisan yang langsung menahan gesekan akibat rem kendaraan (lapis aus), dan sebagai lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan di bawahnya.



Gambar 2.1 Lapisan Peverasan Lentur.
 Sumber : Bina Marga No. 03/MN/B/1893

2. Konstruksi Perkerasan Kaku (*Rigid pavement*)

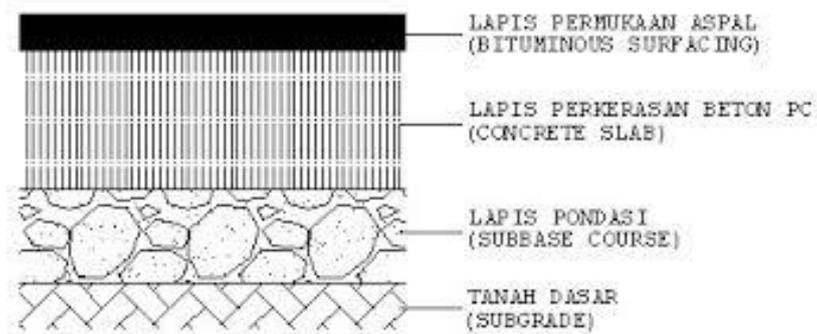
Peverasan kaku (*Rigid pavement*) adalah lapisan perkerasan yang menggunakan bahan dasar sement untuk bahan ikat antar material perkerasan yang digunakan. Pada lapisan atas tanah dasar diberikan plat beton menggunakan tulangan atau tidak menggunakan tulangan. Konstruksi perkerasan kaku ini jarang digunakan karena biaya yang dikeluarkan cukup besar dan mahal. Beton segar yang dituangkan akan mengeras setelah melakukan pengecoran, pada perkerasan ini kualitas beton sangat menentukan kualitas dari perkerasannya.



Gambar 2.2 Lapisan Peverasan Kaku.
 Sumber : Bina Marga No. 03/MN/B/1983

3. Konstruksi Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*).

Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*) ini adalah perkerasan yang menggabungkan antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku, yang di maksud menggabungkan di sini adalah perkerasan lentur (*flexible pavement*) berada diatas perkerasan kaku (*rigid pavement*), kedua perkerasan ini sama-sama memiliki fungsi sebagai pemikul beban lalu lintas diatasnya. Persyaratan perkerasan aspal yang mempunyai ketebalan dan kekakuan yang cukup agar dapat mencegah retak dan refleksi dari perkerasan beton di bawahnya.



Gambar 2.3 Lapisan Perkerasan Komposit.

Sumber : Bina Marga No. 03/MN/B/1983

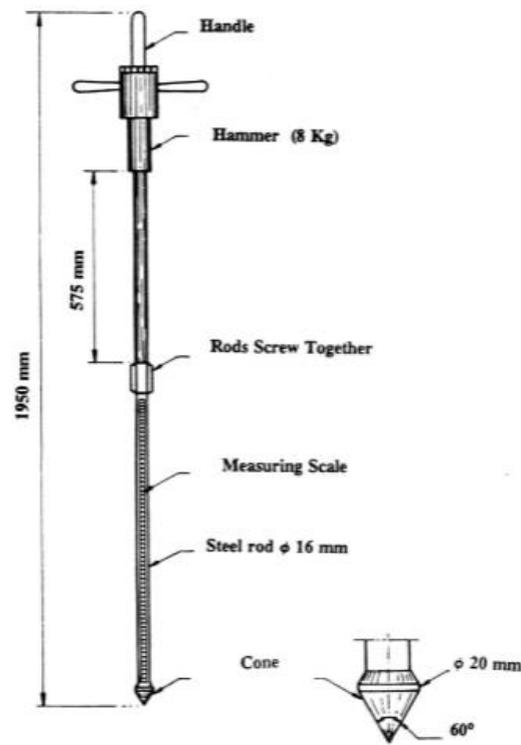
2.2.3. Dynamic Cone Penetration (DCP)

Dynamic Cone Penetrometer (DCP) adalah alat uji yang bisa digunakan untuk mengetahui nilai dari kekuatan tanah, DCP dipelajari terutama untuk kaitannya dengan struktur perkerasan dan yang berkaitan utama dengan *California Bearing Ratio* (CBR) yang bersifat *in situ*. Alat *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) ini adalah alat yang ringan dan *portable* serta menarik untuk mengetahui nilai dari CBR tanah dengan mudah. Kemudahan dalam pengoperasian alat ini sangat baik. Cara untuk menghitung nilai dari daya dukung tanah yang bekerja dengan mengolah data-data yang dihasilkan dari pengujian DCP, yaitu berupa nilai kedalaman yang dihasilkan dari tiap titik uji dengan melihat kedalaman masuknya ujung konus (mm) kedalam tanah, dengan dilakukannya beberapa kali tumbukan. Semakin dalam masuknya ujung konus ke dalam tanah maka semakin lunak tanah dasar di bawahnya. (Sumarna, 2015)

Dynamic Cone Penetrometer (DCP) ini memiliki batang baja berukuran 16 mm, kerucut baja dengan diameter 20 mm dan sudut 60° di tiap titik uji nya. DCP menjatuhkan palu dengan berat palu 8 kg dengan tinggi jatuhnya yaitu 575 mm. Indeks dari nilai DCP didefinisikan sebagai nilai kedalaman tiap penetrasi (D) dalam mm, setiap pukulan palu tersebut.

Alat DCP pada Gambar 2.4 terdiri dari bagian tangkai baja yang dibagian ujung dipasang konus baja dengan ukuran dan bentuk tertentu, dan di bagian atas dilengkapi dengan batang pengarah jatuh palu penumbuk. Metode DCP ini adalah cara pengujian perkerasan jalan (tanah dasar/*subgrade*, pondasi bahan berbutir) yang relatif cepat, yaitu dengan masuknya ujung konus ke dalam tanah yang

ditimbulkan oleh pukulan palu dengan beban dan tinggi jatuh tertentu menerus sampai kedalaman tertentu. Untuk memperkirakan nilai CBR tanah ada beberapa metode yang dapat digunakan, salah satunya dengan menggunakan DCP. Disamping itu DCP adalah salah satu pengujian tanpa merusak atau *Non Destructive Testing* (NDT), yang digunakan untuk lapis pondasi batu pecah, pondasi bawah sirtu, stabilitas tanah dengan semen atau kapur dan tanah dasar.



Gambar 2.4 Alat uji *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP)

Hubungan nilai pengujian CBR dengan DCP yaitu data DCP yang dihasilkan merupakan jumlah data rata-rata dari penetrasi per pukulan (mm/blow), dan dari data tersebut untuk mendapatkan nilai CBR, bisa dengan persamaan ASTM (1999) sebagai berikut:

$$\text{CBR} = 292/\text{DCP}^{1.12} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana : DCP = nilai DCP (mm/blow)

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, banyak hubungan DCP dan CBR digambarkan pada rumus berikut ini:

$$\text{Log (CBR)} = a - b \log (\text{DCP}) \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan:

- DCP = nilai DCP (mm/blow).
 a = nilai konstanta antara 2,44–2,60
 b = nilai konstanta antara 1,07 –1,16

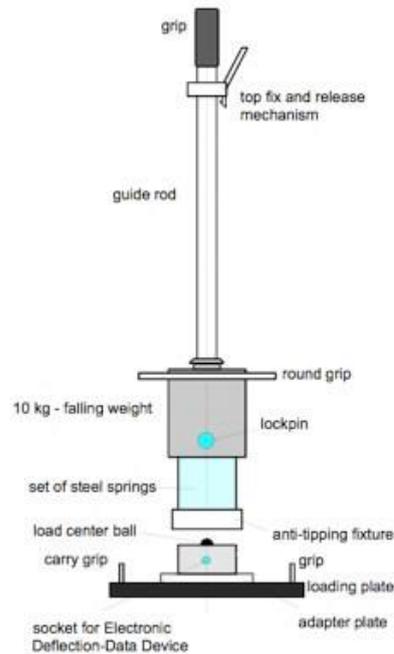
Persamaan diatas, dapat digunakan untuk beberapa jenis tanah, diantaranya tanah granular, *cohesive*, *aggregate base course*, hingga *piedmont residual soil*. Untuk beberapa jenis tanah, rumus yang digunakan berbeda koefisien untuk persamaan garisnya. (Lengkong, 2013).

2.2.4. *Light Weight Deflectometer (LWD)*

Siegfried (2018) *Light Weight Deflectometer (LWD)* merupakan salah satu alat yang digunakan untuk mengukur kekuatan struktural dari suatu sistem perkerasan jalan. Alat ini cukup praktis karena hanya membutuhkan 2 orang operator dalam pengoperasiannya. Selain itu juga pengujian yang dilakukan lebih cepat karena hasil pengukuran langsung didapat sesaat setelah pengujian dilakukan. Alat LWD ini terdiri atas beban jatuhan, pelat pembebanan, dan sensor *geophone*. Beban yang dijatuhkan pada ketinggian tertentu akan menghasilkan gelombang yang ditangkap langsung oleh *geophone*. Dengan menggunakan prinsip-prinsip teori gelombang kemudian bisa dihitung lendutan yang dihasilkan. Data lendutan ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus *Boussinesq* kemudian akan menghasilkan modulus elastisitas yang merupakan parameter kekuatan struktural dari lapisan tanah.

Light weight deflectometer (LWD) merupakan salah satu metode pemeriksaan kualitas lendutan yang dapat dilakukan pada lapis perkerasan jalan, dan metode ini memiliki sifat tidak merusak *Non Destruction Test (NDT)*. NDT sendiri mampu mengukur karakteristik bahan perkerasan melalui pengamatan perilaku defleksi dan perpindahan partikel yang diakibatkan oleh beban *static* dan *dynamic*. Metode NDT yang berkembang saat ini diantaranya *Benkelmen Beam (BB)*, *Falling Weight Deflectometer (FWD)*, *Light Weight Deflectometer (LWD)*, *Spectral Analysis of Surface (SASW)*, *Ground Penetrating Radar*, dan *Rolling Dynamic Deflectometer*.

Perangkat LWD ini pada umumnya memiliki komponen pelat pemuat yang berukuran diameter 100 – 300 mm, dengan berat jatuh dari 10 – 20kg, frase laser/akselerometer/*geophone* untuk menentukan defleksi, dan sel beban yang dikalibrasi sebelum digunakan untuk menentukan tegangan kontak plat. (Siegfried, 2017)



Gambar 2.5 Alat Uji *Light Weight Deflectometer* (LWD)

Sumber : *Office of Geotechnical Services*

Dalam perhitungan modulus elastisitas digunakan rumus *Boussinesq* Siegfried, (2018) yang diturunkan pada persamaan sebagai berikut:

$$E_0(0) = \frac{2(1-\mu^2)\sigma_o a}{D_o} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$E_0(r) = \frac{(1-\mu^2)\sigma_o a^2}{r D r} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan :

$E_0(0)$: Modulus permukaan pada pusat pembebanan, MPa.

$E_0(r)$: Modulus permukaan pada jarak r dari pusat pembebanan, MPa.

σ_o : Tegangan kontak antara pelat pembebanan dengan permukaan, Pa.

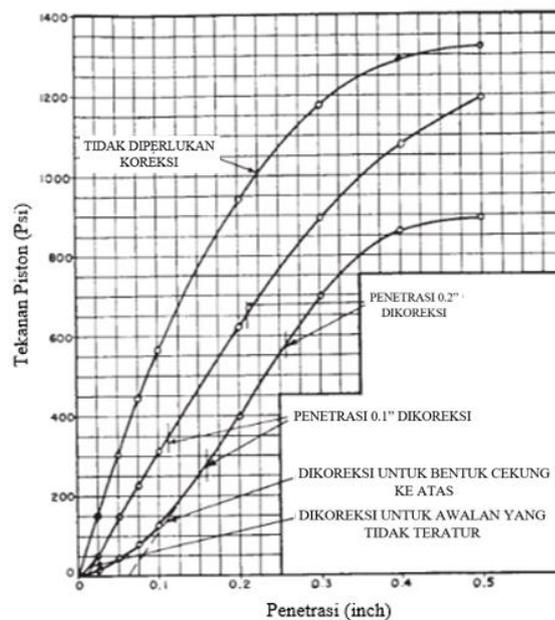
r : Jarak *geophone* dari pusat pembebanan, mm.

μ : *Poisson's rattoo*

- a : Jari-jari pelat pembebanan, mm.
 D_0 : Lendutan pada pusat pembebanan, mikro meter.
 D_r : Lendutan pada jarak r dari pusat pembebanan, mikro meter.

2.2.5 California Bearing Ratio (CBR) Laboratorium

Menurut Sukirman dalam Iqbal dkk. (2014) CBR didefinisikan sebagai nilai perbandingan antara beban yang dibutuhkan untuk penetrasi contoh tanah sebesar 0,1"/0,2" dengan beban yang ditahan batu pecah standar pada penetrasi 0,1"/0,2". Menurut Andriyani dkk. (2012) definisi CBR (*California Bearing Ratio*) adalah suatu perbandingan antara beban percobaan (*test load*) dengan beban standar (*standar load*) dan dinyatakan dalam persen. Iqbal dkk. (2014) menerangkan bahwa CBR tanpa rendaman (*unsoaked*) digunakan bertujuan untuk mendapatkan nilai CBR pada keadaan kepadatan maksimum dengan kadar air yang telah ditentukan. Menurut Pandiangan dkk. (2016) harga CBR didefinisikan sebagai nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibanding dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR 100% dalam memikul beban.



Gambar 2.6 Kurva dan Koreksi nilai CBR (ASTM, 1999)

Nilai CBR diperoleh dari pembacaan penetrasi pada 0,1" dan 0,2". Hasil pembacaan CBR kemudian diplotkan menjadi kurva hubungan antara beban penetrasi (psi) dan kedalaman penetrasi (inch) kemudian diperoleh nilai $CBR_{0,1"}$ dan $CBR_{0,2"}$. Kurva yang diperoleh tidak selalu sesuai dengan rujukan ASTM

(1999) dalam standar D1883 dijelaskan dalam Gambar 2.2 kemudian dikoreksi sesuai dengan standar tersebut. Cara koreksi dengan meluruskan kurva yang berawal kurang sesuai sehingga membentuk kurva yang lurus kemudian geser titik penetrasi 0 ke garis koreksi sehingga nanti kurva akan bergeser sesuai garis koreksi.

Penentuan nilai CBR pada umumnya menggunakan persamaan 2.3 dan 2.4 ASTM (1999) berikut ini :

$$CBR_{0,1''} = \left(\frac{P_{0,1''}}{1000} \right) \times 100 \dots\dots\dots(2.4)$$

$$CBR_{0,2''} = \left(\frac{P_{0,2''}}{1500} \right) \times 100 \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan,

$CBR_{0,1''}$ = Nilai CBR pada penetrasi 0,1 inch atau 2,54 mm

$CBR_{0,2''}$ = Nilai CBR pada penetrasi 0,2 inch atau 5,08 mm

Nilai CBR yang umum digunakan adalah nilai $CBR_{0,1''}$. Jika nilai $CBR_{0,2''}$ lebih besar dari nilai $CBR_{0,1''}$ maka perlu dilakukan pengujian ulang, namun apabila nilai $CBR_{0,2''}$ tetap lebih besar maka nilai $CBR_{0,2''}$ dapat dipergunakan sebagai nilai CBR tanah. (Andriyani dkk, 2012)

ASTM (1999) dalam standar D1883 menjelaskan bahwa ada 3 variasi energi penumbukan yang bisa dilakukan dalam pengujian CBR yaitu 10, 25, dan 56 kali tumbukan. Penelitian terdahulu yang telah dilakukan Respati dkk. (2012) dan Putra & Budiman (2013) menggunakan variasi jumlah tumbukan 10, 25, dan 56 kali. Variasi pada energi pemadatan yang digunakan tersebut berfungsi untuk mencari nilai CBR masing-masing jumlah energi penumbukan.

2.2.6. Validitas dan Reliabilitas

Pengujian validitas adalah pengujian yang dapat dikatakan memiliki validitas yang tinggi jika pengujian tersebut menjalankan fungsi ukurnya, atau memberikan hasil ukur yang tepat dan akurat sesuai dengan maksud dilakukannya pengujian tersebut. Suatu pengujian yang menghasilkan data yang tidak relevan dapat dikatakan sebagai pengujian yang memiliki validitas rendah. Pengertian dari validitas juga bisa diartikan sebagai aspek kecermatan dalam sisi pengukuran. Suatu

alat ukur yang valid dapat menjalankan fungsi ukurnya dengan tepat, juga memiliki kecermatan tinggi. Arti kecermatan disini adalah dapat mendeteksi perbedaan-perbedaan kecil yang ada pada data yang diukurnya. Dalam pengujian validitas terhadap suatu data hasil dari penelitian, dibedakan menjadi 2, yaitu validitas faktor dan validitas item. Validitas faktor diukur bila item yang disusun menggunakan lebih dari satu faktor (antara faktor satu dengan yang lain ada kesamaan). Validitas item ditunjukkan dengan adanya korelasi atau dukungan terhadap item total (skor total), perhitungan dilakukan dengan cara mengkorelasikan antara skor item dengan skor total item.

Uji validitas dilakukan dengan menggunakan bantuan program SPSS yang teknik pengujian ini juga sering digunakan oleh para peneliti. Untuk uji validitas menggunakan korelasi *Bivariate Pearson* yang analisis ini dengan cara mengkorelasikan masing-masing data dengan data total. Yang dimaksud dengan data total adalah penjumlahan dari keseluruhan data yang ada. Data bisa dikatakan valid apabila data tersebut berkorelasi signifikan dengan data total atau jumlah dari keseluruhan data.

Menurut Sukirman (1999), reliabilitas adalah nilai probabilitas dari kemungkinan tingkat pelayanan dapat dipertahankan. Pengujian realibilitas adalah pengujian yang memberi jaminan bahwa perkiraan tersebut dapat terpenuhi. Reliabilitas juga berfungsi untuk mengetahui tingkat kepercayaan suatu data yang dihasilkan dalam suatu penelitian. Dengan kata lain, realibilitas adalah pengujian tingkat konsistensi atau kemantapan suatu data. Suatu penelitian dapat dikatakan konsisten apabila hasil yang di dapatkan sama atau stabil. Tinggi rendahnya realibilitas secara empirik ditunjukkan dengan suatu angka yang disebut koefisien realibilitas.