

## **BAB II**

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

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

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

Makwana (2016) melakukan penelitian tentang penggunaan LWD untuk mengevaluasi modulus elastisitas dalam mengontrol kualitas jalan dengan menghubungkan kepadatan dengan kadar air. Pada penelitian ini modulus elastisitas dihitung menggunakan software LWDmod, menggunakan data pengujian kepadatan dan kadar air. Nilai kepadatan yang tinggi menunjukkan pemadatan yang baik, nilai kepadatan yang diperoleh berkisar antara 1,4-2 gm/cc dengan koefisien variasi 0,376 dan nilai kadar air berkisar antara 7-33% dengan koefisien variasi 0,092. Oleh karena itu, peningkatan nilai kepadatan dan penurunan kadar air merupakan parameter untuk mengontrol jaminan kualitas jalan yang baik.

Sulewska & Bartnik (2017) melakukan penelitian tentang analisis lapisan agregat ditempatkan pada tanah yang diperkuat dengan geosintetik dengan menggunakan LWD. Penggunaan geosintetik memiliki dampak yang signifikan terhadap modulus elastisitas, nilai modulus elastisitas yang didapat lebih tinggi dibandingkan agregat ditempatkan pada tanah yang tidak menggunakan geosintetik. Oleh sebab itu, penerapan LWD dapat mengontrol pemadatan lapisan agregat pada tanah yang diperkuat dengan geosintetik.

Stamp & Mooney (2013) melakukan penelitian tentang karakteristik alat LWD dengan pengukuran lendutan. Dari penelitian yang dilakukan, didapatkan 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.

Siegfried (2017) melakukan penelitian pada jalan tanah di Bogor dan Kuningan masing-masing lokasi diambil 10 titik pengujian. Pengujian pertama yang dilakukan menggunakan pengujian LWD, dari pengujian ini didapat nilai lendutan yang kemudian dihitung untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas.

Pada titik yang sama dilakukan pengujian *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP). Pengujian ini digunakan sebagai alat pembanding untuk mengetahui nilai modulus elastisitas. Hasil pengujian LWD dan DCP dibandingkan satu dengan yang lainnya. Dari kedua lokasi ini menunjukkan korelasi antara LWD dan DCP berada dalam interval 85% tingkat kepercayaan. Korelasi dengan tingkat kepercayaan 85% sudah cukup baik digunakan dalam teknik jalan raya. Pengujian ini membuktikan alat LWD bisa digunakan untuk mendapatkan kekuatan struktural jalan.

Syahrudin (2010) melakukan penelitian tentang pengujian daya dukung perkerasan jalan dengan DCP sebagai standar untuk evaluasi perkerasan jalan. Dari pengujian DCP dapat diketahui kedalaman lapisan perkerasan dan nilai CBR. Pengujian DCP relatif sangat cepat untuk mengidentifikasi nilai CBR lapis perkerasan jalan yang ada di lapangan, untuk penyelidikan atau pemeriksaan tebal dan daya dukung perkerasan jalan. Oleh sebab itu pengujian DCP perlu dijadikan pedoman untuk mengidentifikasi nilai CBR lapangan di Indonesia.

Burhanuddin & Junaidi (2018) meneliti tentang hubungan daya dukung tanah dengan menggunakan alat DCP dan CBR laboratorium rendaman. Dari permasalahan yang ada CBR laboratorium rendaman memerlukan waktu yang cukup lama, oleh karena itu dilakukannya pengujian DCP untuk menghasilkan nilai empiris yang didapat setelah dilakukan penelitian. Dari data CBR lapangan dan CBR laboratorium yang diperoleh, didapatkan hasil hitungan regresi dari keduanya dengan persamaan :  $CBR_{Dcp} = 1,803 + (0,347 \times CBR_{Lab})$ . Dari pengujian DCP yang dilakukan pada 10 titik pengujian didapatkan hasil CBR sebesar 6%. Pada pengujian CBR laboratorium rendaman selama 4 hari didapatkan hasil CBR lebih bagus dari nilai CBR lapangan.

Siegfried (2018) melakukan penelitian tentang penggunaan LWD Pujiantan sebagai alternatif dalam mengevaluasi perkerasan lentur. Tujuan dari penelitian ini untuk membuktikan alat LWD bisa digunakan untuk perancangan perkerasan lentur pada jalan dengan lalu lintas sedang sampai rendah. Pembuktian dilakukan dengan perbandingan modulus yang didapat dari alat FWD dan LWD. Dari penelitian ini didapat hubungan antara modulus permukaan dengan jarak 900 mm pada titik pembebanan yang dihitung menggunakan data lendutan FWD dan LWD. Dapat disimpulkan dari penggunaan alat LWD bisa digunakan sebagai alat alternatif

dalam mengevaluasi sistem perkerasan pada jalan dengan lalu lintas sedang sampai rendah.

Lapian (2018) melakukan penelitian tentang mengkaji nilai modulus elastisitas pada ruas jalan dengan volume lalu lintas rendah di BTS. Boven Digoel/Merauke menggunakan alat LWD. Dari penelitian yang dilakukan nilai modulus elastisitas yang didapat berbeda-beda pada setiap lokasi pengujian, hal ini disebabkan karena variasi dalam pemadatan energi.

Jitareekul dkk (2017) melakukan penelitian untuk mengevaluasi lapisan perkerasan jalan di Thailand menggunakan LWD dalam pengendalian keselamatan jalan. Dalam penelitian ini LWD digunakan untuk mengukur defleksi permukaan, dan modulus elastisitas lapisan perkerasan jalan. Koefisien variasi dari nilai defleksi dan modulus elastisitas berkisar antara 58-77%. Dari hasil tersebut diperoleh hubungan empiris antara nilai-nilai yang didapat dari pengujian LWD. Oleh sebab itu, alat LWD merupakan alat untuk mengukur defleksi dan modulus elastisitas secara cepat, sehingga alat ini dapat digunakan untuk peningkatan kontrol kualitas jalan.

Siegfried (2019) melakukan penelitian tentang alat LWD untuk *quality control* pekerjaan pemadatan tanah dasar. Pada pelaksanaan pekerjaan pemadatan parameter utama yang menjadi pertimbangan adalah derajat kepadatan. Pengukuran derajat kepadatan dalam pelaksanaan konstruksi menggunakan peralatan yang disebut konus pasir (*sandcone*). Alat ini digunakan untuk menghitung kepadatan lapangan kemudian membandingkan dengan kepadatan rencana yang didapat dari perancangan di laboratorium. Kelemahan dari penggunaan alat tersebut sebagai *quality control* dalam suatu proses pemadatan adalah waktu yang cukup lama. Hal ini sangat tidak efisien karena biasanya pekerjaan pemadatan mencapai panjang 2 kilometer. Dalam pengujian yang membutuhkan waktu yang lama ini, sehingga Spesifikasi Bina Marga (2018) mensyaratkan penggunaan alat LWD sebagai alternatif dalam proses *quality control* untuk pemadatan lapisan granular pada pekerjaan konstruksi jalan. Hal ini disebabkan penggunaan alat LWD bisa mempercepat pelaksanaan pekerjaan jalan.

## 2.2. Dasar Teori

### 2.2.1. Jalan

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas tanah permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel (Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006). Hardiyatmo (2007) menyatakan, fungsi perkerasan jalan meliputi :

1. Untuk melindungi struktur tanah dari pengaruh perubahan cuaca buruk.
2. Untuk memberikan kenyamanan dalam penggunaan jalan bagi pengendara.
3. Untuk mendistribusikan beban kendaraan.

### 2.2.2. Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur (*flexible pavement*) merupakan perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Perkerasan lentur memiliki kekakuan yang lebih rendah sehingga beban yang diterima kendaraan diteruskan ke lapisan permukaan dan disebarkan ke tanah dasar. Perkerasan lentur baik digunakan untuk jalan dengan beban lalu lintas ringan sampai sedang, seperti jalan perkotaan, jalan dengan sistem utilitas yang terletak di bawah perkerasan jalan, perkerasan bahu jalan, atau perkerasan dengan konstruksi bertahap. Struktur perkerasan lentur terdiri dari beberapa lapisan, dimana lapisan semakin ke bawah memiliki daya dukung yang jelek.

Menurut Silvia Sukirman (2010). Berikut beberapa jenis lapisan perkerasan, yaitu:

1. Lapis permukaan (*surface course*)

Lapis permukaan merupakan lapis paling atas dari struktur perkerasan jalan. Lapis permukaan perkerasan lentur menggunakan bahan pengikat aspal, sehingga menghasilkan lapis yang kedap air, memiliki stabilitas tinggi, dan memiliki daya tahan yang cukup selama masa pelayanan.

Lapis permukaan mempunyai fungsi utama sebagai:

- a. Dapat menahan beban vertikal dari kendaraan, oleh karena itu lapisan ini harus memiliki stabilitas yang tinggi.

- b. Lapis aus (*wearing course*) karena menerima gesekan dan getaran roda dari kendaraan yang mengerem.
- c. Lapis kedap air, sehingga air hujan yang jatuh di atas lapis permukaan tidak meresap ke lapis di bawahnya yang mengakibatkan kerusakan struktur perkerasan jalan.
- d. Lapis yang menyebarkan beban ke lapis pondasi.

2. Lapis pondasi atas (*base course*)

Lapis pondasi atas (*base course*) merupakan lapis perkerasan yang terletak di antara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan. Material yang digunakan untuk lapis pondasi atas adalah material yang cukup kuat dan awet sesuai syarat teknik dalam spesifikasi pekerjaan. Lapis pondasi dapat dipilih lapis berbutir tanpa pengikat atau lapis dengan aspal sebagai pengikat.

Lapis pondasi atas memiliki fungsi sebagai:

- a. Menahan gaya vertikal dari beban kendaraan dan disebarkan ke lapis di bawahnya.
- b. Lapis peresap untuk lapis permukaan.
- c. Bantalan atau perletakan lapis permukaan.

3. Lapis pondasi bawah (*subbase course*)

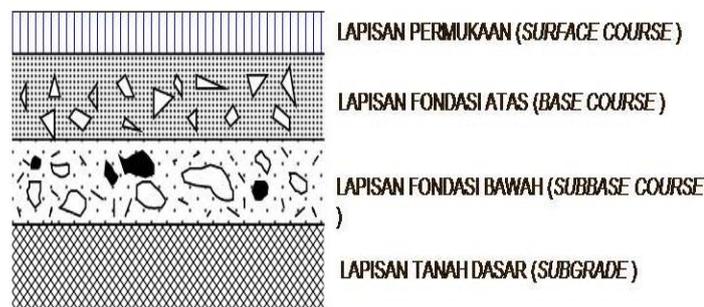
Lapis pondasi bawah (*subbase course*) merupakan lapis perkerasan yang terletak di antara lapis pondasi dan tanah dasar. Lapis pondasi bawah berfungsi sebagai:

- a. Bagian dari struktur perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban kendaraan ke lapis tanah dasar. Lapis ini harus memiliki stabilitas yang cukup dan mempunyai nilai CBR sama atau lebih besar dari 20%, serta Indeks Plastis (IP) sama atau lebih kecil dari 10%.
- b. Efisiensi penggunaan material.
- c. Lapis peresap, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
- d. Lapis pertama, agar pelaksanaan pekerjaan dapat berjalan lancar, sehubungan dengan kondisi lapangan yang memaksa harus segera menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca, atau lemahnya daya dukung tanah dasar menahan roda alat berat.

- e. Lapis *filler* untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapis pondasi.

#### 4. Lapis tanah dasar (*subgrade*)

Lapis tanah setebal 50-100 cm di atas dimana akan diletakkan lapisan pondasi bawah dinamakan lapisan tanah dasar (*subgrade*). Mutu persiapan lapis tanah dasar sebagai perletakkan struktur perkerasan jalan sangat menentukan ketahanan struktur dalam menerima beban lalu lintas selama masa pelayanan. 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 kadar air optimum bernilai konstan selama umur rencana. Hal ini dapat dicapai dengan pelengkap drainase yang memenuhi syarat.



Gambar 2.1 Lapisan perkerasan jalan lentur

Sumber : Bina Marga Konstruksi Perkerasan Lentur

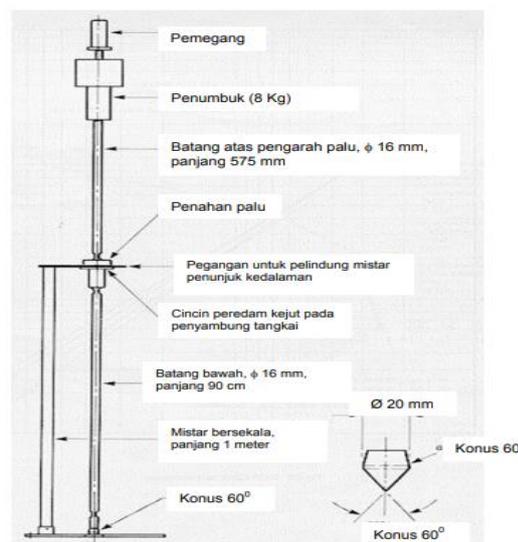
#### 2.2.3. *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*

Kekuatan struktur suatu perkerasan jalan bergantung pada daya dukung tanah dalam kepadatan maksimum. Bila perkerasan jalan tidak mempunyai kekuatan yang cukup, maka jalan tersebut akan mengalami kerusakan. Oleh karena itu untuk menilai kekuatan dasar yang akan dipakai untuk menentukan tebal lapisan perkerasan digunakan nilai *California Bearing Ratio (CBR)*. Namun terdapat beberapa kendala di lapangan dengan keterbatasan transportasi dan penyediaan perangkat pengujian. Alternatif alat yang bisa digunakan adalah *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*. DCP merupakan suatu alat yang dirancang untuk menguji kekuatan lapisan granular dan tanah dasar perkerasan jalan (Lengkong dkk, 2013).

*Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) merupakan salah satu cara 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. Hasil pengujian DCP ini dikorelasikan dengan nilai *California Bearing Ratio* (CBR) untuk keperluan perencanaan pemeliharaan dan peningkatan jalan termasuk perencanaan tebal perkerasan jalan (Syahrudin, 2010).

Menurut Lengkong dkk (2013), pengujian DCP bertujuan untuk menentukan nilai CBR tanah dasar, timbunan, dan/atau suatu sistem perkerasan. Pengujian ini akan memberikan data kekuatan tanah sampai kedalaman kurang lebih 70 cm di bawah permukaan lapisan tanah yang ada atau permukaan tanah dasar. Pengujian ini dilakukan dengan mencatat data masuknya konus ke dalam tanah untuk setiap pukulan dari palu yang masing-masing memiliki berat dan tinggi jatuh berbeda. Pengujian dilaksanakan dengan mencatat jumlah pukulan (*blow*) dan penetrasi dari konus (kerucut logam) yang tertanam pada tanah atau lapisan pondasi karena pengaruh penumbuk kemudian dengan menggunakan grafik dan rumus, pembacaan penetrometer diubah menjadi pembacaan yang setara dengan nilai CBR.

Alat DCP terdiri dari beberapa komponen ditunjukkan pada Gambar 2.2 sebagai berikut:



Gambar 2.2 Alat DCP

Sumber : *Transport Research Laboratory Department for International Development*

Hubungan nilai CBR dan DCP, dari data nilai DCP merupakan jumlah rata-rata dari penetrasi per pukulan (mm/pukulan). Dari nilai DCP yang ada, dapat dicari nilai

CBR. Semakin kecil nilai penetrasi DCP (mm/pukulan), maka semakin besar nilai CBR yang terjadi, dan sebaliknya semakin besar nilai penetrasi DCP (mm/pukulan), semakin kecil nilai CBR yang terjadi. Berdasarkan hasil dari penelitian Uz dkk (2015), persamaan yang digunakan antara hubungan DCP dan CBR ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 CBR Model Predikisi menurut DCP-PI

Penelitian	Persamaan	Material yang diuji
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 $\text{PI} < 10$ mm/pukulan	Kerikil dan kohesif
Ese dkk (1994)	$\text{Log CBR} = 2,44 - 1,07 \log \text{PI}$	Agregat lapis pondasi
NCDOT (1998)	$\text{Log CBR} = 2,60 - 1,07 \log \text{PI}$	Agregat lapis 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)

Hubungan antara nilai DCPI dengan nilai modulus elastisitas dapat digunakan dengan persamaan yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 dibawah ini:

Tabel 2.2 Modulus Elastisitas menurut DCP-PI

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 dkk (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)

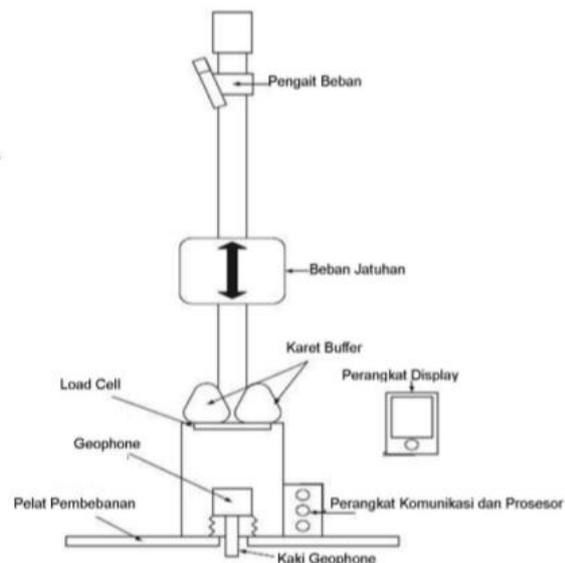
#### 2.2.4. *Light Weight Deflectometer (LWD)*

Menurut ASTM E2583-07, LWD merupakan alat yang secara umum digunakan untuk uji coba lapisan perkerasan. *Light Weight Defletometer (LWD)* adalah sebuah alat yang terdiri dari beban jatuhan, pelat pembebanan, dan sensor *geophone*. Dari pengujian LWD didapatkan nilai lendutan yang digunakan untuk menentukan kekakuan dari permukaan perkerasan dengan teknik analisis yang sesuai. LWD merupakan perangkat untuk mengukur defleksi dari berat jatuh dan menghasilkan modulus.

Kolase dkk (2015) menyatakan pengujian dengan metode LWD yaitu defleksi tanah atau perkiraan modulus tanah dinamisnya (dari analisis *Boussinesq* pelat pembebanan pada setengah ruang elastis), telah digunakan sebagai nilai relatif dan kualitatif karena kriterianya tergantung pada kepadatan kering dan kadar air.

Menurut Pd 03-2016-B Metoda uji lendutan menggunakan *Light Weight Deflectometer (LWD)*, alat LWD terdiri dari beberapa bagian yang diilustrasikan pada Gambar 2.3 sebagai berikut:

1. Pelat pembebanan yang berbentuk lingkaran dengan diameter 100 mm s/d 300 mm.
2. *Load cell* yang digunakan untuk mengukur besaran beban yang ditimbulkan oleh beban jatuhan. Akurasi dari *load cell* minimum 0,1 kN. Kalibrasi *load cell* harus pada rentang 0 – 15 kN.
3. *Geophone* untuk mengukur lendutan vertikal yang ditimbulkan oleh beban jatuhan.
4. Beban jatuhan dengan rentang 10 – 20 kg yang bisa diangkat pada ketinggian tertentu dan ketika dijatuhkan memberikan beban impak pada pelat pembebanan.
5. Karet *buffer* yang bertujuan untuk menyalurkan beban impak ke pelat pembebanan.
6. Prosesor yang dilengkapi dengan *Analog to Digital Converter (ADC)* dan program untuk mencatat data gelombang serta memprosesnya menjadi lendutan. Program yang digunakan memberikan data masukan berupa besaran poisson rasio, temperatur, kekakuan plat, lokasi, dan tipe perkerasan yang diuji.



Gambar 2.3 Bagian-bagian alat uji LWD

Sumber : Pd 03-2016-B Metoda uji lendutan menggunakan *Light Weight Deflectometer* (LWD)

Dalam perhitungan modulus elastisitas digunakan rumus *Boussinesq* yang diturunkan sebagai berikut:

$$E_0 = \frac{K \times (1-\mu^2) \sigma_c \times a}{d_0} \dots \dots \dots (2.1)$$

Sumber : Kolase dkk (2015)

Keterangan :

$E_0$  : Modulus permukaan pada pusat pembebanan, MPa.

$\sigma_c$  : Tegangan kontak antara pelat pembebanan dengan permukaan, MPa.

$\mu$  : *Poisson's ratio*

$K$  : Faktor tegangan distribusi (2 atau  $\frac{\pi}{2}$  untuk perkerasan kaku dan perkerasan lentur)

$a$  : Jari-jari pelat pembebanan, mm.

$d_0$  : Lendutan pada pusat pembebanan, mikro meter.

### 2.2.5. Validitas dan Realibilitas

Validitas merupakan suatu uji instrument yang dilakukan untuk mengukur valid tidaknya suatu data penelitian. Menurut Ghazali (2018) suatu data dapat dikatakan valid jika setiap variabel mampu mengukur hal yang diukur. Penentuan validitas dengan cara perhitungan korelasi yang didapat dari nilai koefisien korelasi setiap item yang menunjukkan kelayakan data tersebut.

Realibilitas merupakan suatu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui seberapa konsisten data selama dua kali atau lebih terhadap permasalahan yang sama menggunakan alat pengukuran yang sama (Sugiyono, 2014). Semakin tinggi tingkat hubungan antara nilai yang diperoleh melalui pengukuran yang berulang, sehingga data semakin dapat diandalkan. Tinggi rendahnya reliabilitas dinyatakan dengan suatu nilai yang disebut koefisien reliabilitas. Koefisien reliabilitas berkisaran antara 0-1. Salah satu alat ukur realibilitas adalah *Cronbach's Alpha* yang memiliki rentang sebagai berikut :

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