

## **BAB II**

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

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

Lapis pondasi (*base course*) adalah bagian perkerasan yang terletak diantara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah atau bagian tanah dasar.. Struktur perkerasan memerlukan pondasi jalan yang mantap yaitu tidak mengalami deformasi yang berlebihan akibat peralatan selama konstruksi dan lalu lintas selama umur perkerasan (Manual Desain Pekerjaan Umum, 2012).

Menurut Amaliyah, dkk (2015) lapis pondasi mengalami tegangan tarik dan regangan tekan pada saat perkerasan menerima beban. Kekuatan dan keawetan suatu konstruksi perkerasan sangat tergantung dari kualitas agregat dan daya dukung tanah. Lapis pondasi adalah bagian dari perkerasan yang letaknya berada pada bawah lapis permukaan dan di atas lapis pondasi bawah.

Menurut Hardiyatmo (2015) fungsi lapis pondasi (*base course*) antara lain:

- a. Lapis perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan ke lapisan dibawahnya.
- b. Lapisan peresap untuk lapisan pondasi bawah.

#### **2.2. Penelitian Terdahulu tentang Penggunaan LWD pada jalan**

Siegfried (2018) dalam penelitiannya yang berjudul “Penggunaan LWD Pujian pada jalan tanah untuk pengecekan kekuatan tanah” menganalisa tentang parameter kekuatan struktural pada suatu perkerasan dengan perbandingan dua alat yaitu LWD dan DCP yang dilakukan pada dua lokasi jalan dengan 10 titik pengujian pada masing-masing lokasi jalan. Nilai CBR tanah pada lokasi tersebut didapatkan dari pengujian DCP kemudian dihitung dengan korelasi antara rata-rata penetrasi dengan nilai CBR. Nilai CBR yang telah dihitung kemudian dikonversi menjadi modulus elastisitas dengan menggunakan korelasi antara nilai modulus dan CBR. Pada pengujian ini besar perbedaan hasil dari kedua alat menunjukkan bahwa korelasi antara pengujian LWD dan DCP cukup kuat. Namun, korelasi antara nilai CBR dan modulus dengan menggunakan korelasi tersebut hanya untuk jenis tanah yang nilai CBRnya  $\leq 10\%$  karena terdapat titik

dengan hasil pengujian antara LWD dan DCP agak berbeda jauh. Besar nilai perbedaan tersebut disebabkan karena pada jalan tanah terdapat benda keras atau batu di kedalaman tertentu yang mempengaruhi hasil pada pengujian.

Lapian (2018) dalam penelitiannya yang berjudul “Studi modulus elastisitas pada ruas jalan dengan volume lalu lintas rendah menggunakan alat *Light Weight Deflectometer*” menyatakan hal utama dalam pertumbuhan ekonomi adalah ketersediaan infrastruktur jalan yang baik dengan kualitas yang baik. Oleh sebab itu kualitas pada jalan harus mempunyai struktur lapis perkerasan jalan dengan desain dan metode yang baik agar mampu melayani peningkatan lalu lintas. Secara umum, perencanaan perkerasan jalan pada saat ini tidak lagi berdasarkan penentuan kekuatan bahan secara teliti dan perhitungan tegangan. Cara empiris dan cara CBR adalah cara yang cukup terkenal untuk perencanaan perkerasan jalan pada saat ini. Pentingnya pondasi perkerasan dalam hal kemungkinan masa layanan jangka Panjang mulai diakui. Namun, spesifikasi lapis perkerasan berdasarkan kinerja kurang dikembangkan dengan baik.

Pengujian LWD pada lapisan aspal, lapis pondasi, lapis pondasi bawah atau tanah dasar harus memperhatikan level tegangan yang digunakan pada pengujian. Level tegangan yang harus diperhatikan yaitu bahan tanah dasar dan lapis pondasi bersifat *stress dependent* dan volume bahan pada tanah dasar dan lapis pondasi yang dipengaruhi oleh beban merupakan fungsi dari besaran beban itu sendiri. Pengujian dilakukan pada 3 titik dengan beban sebesar 300 kg. pengujian memperoleh kepadatan relatif berkisar antara 20 hingga 80 % dengan nilai  $E_{LWD}$  12 hingga 38 MPa pada pasir yang mengandung silika dan hasil pada pengujian dengan pasir berkapur berkisar antara 20 sampai 80% untuk kepadatan relatif dengan nilai  $E_{LWD}$  berkisar antara 20 sampai 32 MPa. Nilai koefisien variasi yang diperoleh berkisar antara 0,5% hingga 0,7%.  $E_{LWD}$  yang diperoleh bervariasi tergantung pada jenis perkerasan yang di uji.

## 2.3. Dasar Teori

### 2.3.1 Material Agregat A Lapis Pondasi (*Base Course*)

Pemilihan material perkerasan didasarkan pada beberapa pertimbangan seperti persyaratan untuk struktur perkerasan, keawetan, biaya, tingkat kemudahan dalam pelaksanaan dan pengalaman. Material untuk perkerasan lentur dan kaku, meliputi : agregat batuan atau material granuler, aspal, beton dan baja tulangan. Agregat adalah sekumpulan butiran batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain yang berupa material alam atau buatan (Hardiyatmo, 2015).

Agregat buatan pada perkerasan lentur digunakan sebagai material pembentuk lapis permukaan, lapis pondasi dan lapis pondasi bawah. Gradasi pada material tersebut harus memenuhi syarat keawetan, kestabilan dan kekuatan. Material granuler yang terdiri dari kerikil atau batu pecah yang mempunyai gradasi tertentu merupakan bahan dasar dari perkerasan (Hardiyatmo, 2015).

Menurut Hardiyatmo (2015), persyaratan material lapis pondasi lebih ketat dibandingkan dengan persyaratan lapis pondasi bawah atau tanah dasar. Bahan – bahan lapis pondasi tingkat harus cukup awet dan kuat. Material lapis pondasi (*base course*) pada perkerasan lentur didasarkan pada pertimbangan ekonomis, antara lain:

- a. Batu pecah bergradasi
- b. Makadam
- c. Kerikil pecah atau tak dipecah
- d. Batukapur
- e. Terak (slag)
- f. Koral

Menurut Manual Desain Pekerjaan Umum (2012), macam-macam bahan alam yang mempunyai CBR > 50% dapat digunakan untuk lapis pondasi, contohnya: batu pecah, kerikil pecah dan tanah yang distabilisasi dengan semen atau kapur dan bahan lainnya. Lapis pondasi mempunyai CBR antara 65% - 95% tergantung pada klasifikasi material yang digunakan. Departemen Pekerjaan Umum (2005) membagi agregat lapis pondasi menjadi 3 kelas, yaitu: kelas A, B

dan C. Lapis pondasi atas (*base*) terdiri dari agregat A atau B dan lapis pondasi bawah (*subbase*) terdiri dari agregat kelas C.

Agregat tipe A merupakan salah satu campuran agregat untuk material pada lapis pondasi (*base course*) pada suatu perkerasan jalan dengan CBR minimal 90%. Kekuatan pada lapis pondasi (*base course*) dapat dilihat ketebalan lapisannya seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Ketebalan Lapisan yang Diijinkan

Bahan	Persyaratan Tebal (mm)	Lapisan banyak dijijinkan
Agregat Kelas A 40 (40 mm grading)	150 – 200	Ya
Agregat Kelas A 30 (30 mm grading)	120 – 150	Ya
Agregat Kelas A 25 (25 mm grading)	100 – 125	Ya
Agregat Kelas B (50 mm grading)	Min 200	Ya
Agregat Kelas B (40 mm grading)	150 – 200	Ya

Sumber : Peraturan Menteri Pekerjaan Umum tahun 2012 tentang Manual Desain Perkerasan Jalan

### 2.3.2 *Light Weight Deflectometer (LWD)*

*Light Weight Deflectometer (LWD)* adalah suatu sistem perkerasan jalan yang digunakan untuk mengukur kekuatan struktur jalan terutama untuk jalan yang tanpa penutup. LWD merupakan alat yang diciptakan lebih praktis, mudah dibawa, dan ringan seiring dengan perkembangan teknologi, sensor dan mikro elektronika yang sangat pesat pada saat ini. LWD adalah alat yang memiliki pengaruh kedalaman lebih dangkal dibandingkan FWD. Penggunaan alat *Light Weight Deflectometer (LWD)* ini berkembang cukup pesat di Eropa dan Afrika khususnya di Amerika dan Afrika Selatan (Horak, 2008).

Menurut Pd 03-2016-B, alat *Light Weight Deflectometer* ini merupakan alat pengukuran lendutan dari permukaan lapisan akibat beban *impact* yang dijatuhkan. Selain dari lendutan pada titik pembebanan, lendutan juga harus bisa diukur pada jarak tertentu dari titik pembebanan tersebut. Lendutan yang dihasilkan dapat digunakan untuk menentukan kinerja perkerasan dan karakteristik lapisan perkerasan.

Pola kerja alat LWD terdiri atas beban jatuhan yang dijatuhkan pada ketinggian tertentu dan kemudian menghasilkan getaran yang ditangkap oleh *geophone*. Posisi *geophone* ini berada pada 0 mm, 200 mm, serta 900 mm dari pusat pembebanan. Getaran yang diterima oleh *geophone* kemudian diubah menjadi digital oleh prosesor dan kemudian dikirim ke laptop (Siegfried, 2018).

Pengujian dengan alat LWD ini merupakan salah satu jenis dari *plate bearing test*. Beban yang digunakan merupakan beban *impact* yang ditimbulkan oleh suatu massa yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu pada karet buffer. Beban ini kemudian disalurkan pada pelat pembebanan yang diletakkan pada permukaan lapisan yang akan diuji. Beban *impact* ini akan menyebabkan pergerakan vertikal atau lendutan pada permukaan lapisan yang diuji. Pemberian asumsi beban yang dijatuhkan terhadap struktur perkerasan lentur dapat memberikan dampak yang sama seperti beban roda kendaraan dan respon perkerasan jalan terhadap beban kendaraan yang berupa lendutan (Rosyidi dan Siegfried, 2010).

Lendutan yang ditimbulkan akibat beban jatuhan diukur dengan instrumen tertentu. Pengujian bisa dilakukan beberapa kali pada lokasi yang sama. Besarnya lendutan dapat dihitung dari data vibrasi yang dicatat oleh *geophone* yang dihasilkan akibat beban jatuh pada alat yang dihitung menggunakan rumus Boussinesq. Menurut Shivanth, dkk (2015) perhitungan defleksi yang diukur untuk memperkirakan modulus elastisitas permukaan dengan rumus sebagai berikut:

$$E_{LWD} = \frac{(1-\mu^2) \times K \times \sigma_0 \times \alpha}{d_c} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

$E_{LWD}$  = Modulus elastisitas pada permukaan (MPa)

$\mu$  = *Poisson's rattoo*

$K$  = Faktor tegangan distribusi ( $\frac{\pi}{2}$  atau 2)

$d_0$  = Lendutan (mikro meter)

$\sigma_0$  = Tegangan terapan (MPa)

$\alpha$  = Jari-jari pelat (mm)

Masing-masing titik pengujian akan menghasilkan nilai lendutan dan modulus elastisitas yang didapat langsung setelah pengujian dilakukan. Pemilihan alat LWD ini sebagai alternatif dari alat DCP agar pengujian kekuatan struktural pada perkerasan jalan khususnya lapis pondasi (*base course*) lebih efektif dan efisien dalam kecepatan, waktu, maupun keakuratan data yang didapat.

Alat *Light Weight Deflectometer* terdiri dari beberapa komponen utama sebagai berikut (Pd 03-2016-B):

- a. Plat Pembebanan (Bearing Plate) berbentuk lingkaran dengan diameter 100 mm, 200 mm, dan 300 mm terbuat dari bahan logam dengan lobang ditengahnya untuk mengukur lendutan yang terjadi akibat beban jatuhan.
- b. Load cell yang digunakan untuk mengukur besaran beban yang ditimbulkan oleh beban jatuhan. Akurasi dari load cell ini minimum 0.1 kN. Didalam melakukan kalibrasi, load cell ini harus dikalibrasi pada rentang 0 - 15 kN.
- c. Geophone untuk mengukur lendutan vertikal yang ditimbulkan oleh beban jatuhan. Akurasi dari geophone ini  $\pm 2$  Mm. Di dalam melakukan kalibrasi, geophone ini harus dikalibrasi pada rentang 0 - 2000 Mm.
- d. Beban jatuhan dengan rentang 10 - 20 kg yang bisa diangkat pada ketinggian tertentu dan ketika dijatuhkan akan memberikan beban impact pada plat pembebanan.
- e. Karet Buffer yang bertujuan untuk menyalurkan beban impact ke plat pembebanan dalam rentang waktu 16 - 30 mili detik.
- f. Prosesor yang dilengkapi dengan ADC dan program untuk mencatat data gelombang serta memprosesnya menjadi lendutan. Program yang digunakan memberikan keleluasaan kepada operator untuk memberikan data masukan berupa besaran Poisson's ratio, temperatur, kekakuan plat, lokasi, dan tipe perkerasan yang diuji.

Menurut Putranto (2017) dalam penelitian Kopf dan Adam (2004) dan Brandl (2003), menunjukkan bahwa asumsi kekuatan beban dapat dihitung menggunakan rumus:

$$F = \sqrt{2 \times m \times g \times h \times C} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

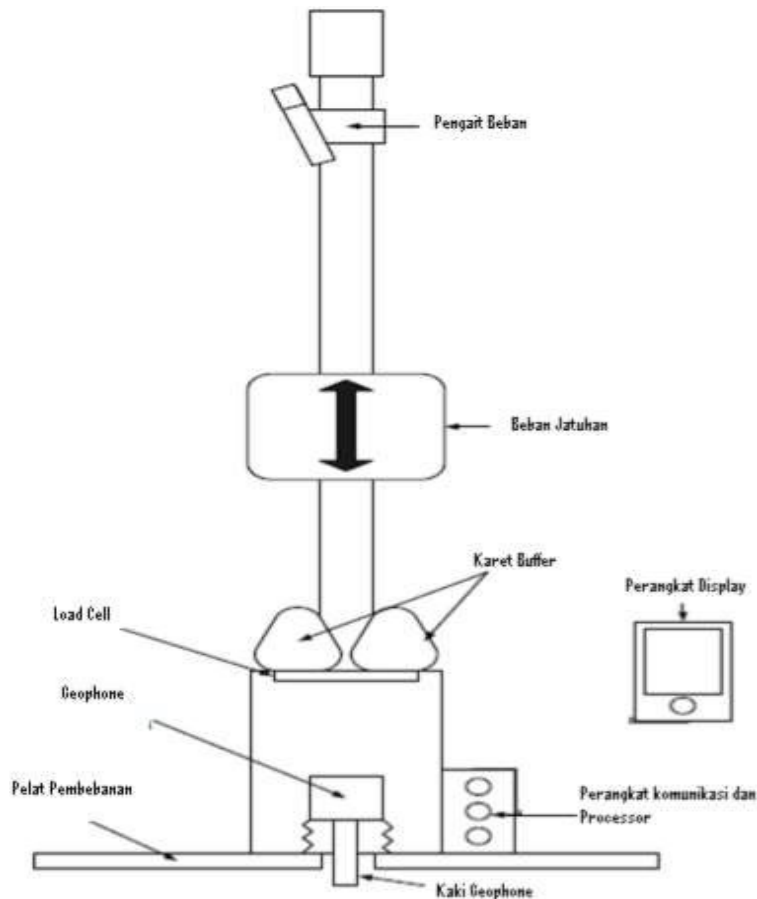
F = gaya terapan (kN)

m = massa berat jatuh (kg)

g = percepatan karena gravitasi, 9,81 (m / s<sup>2</sup>)

h = tinggi drop (m)

C = konstanta kekakuan material (N / m)

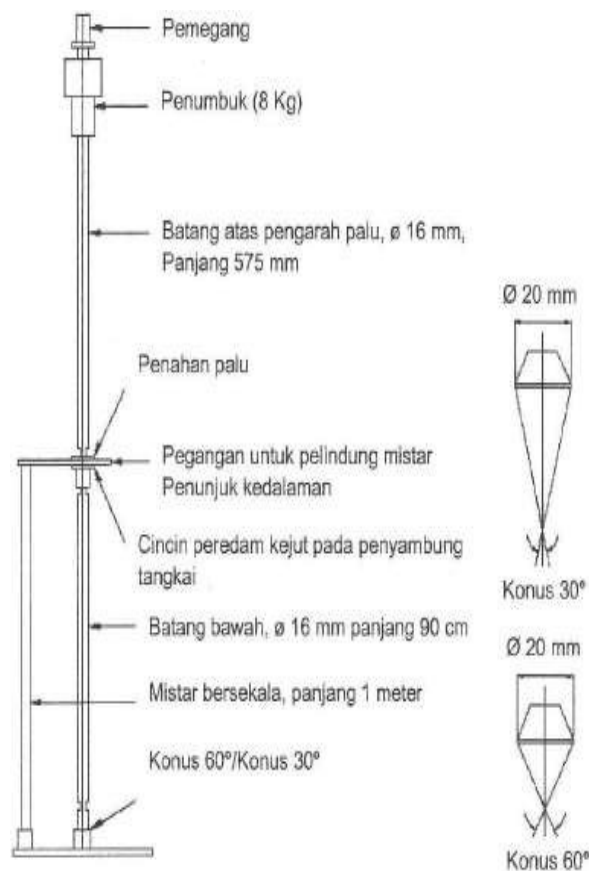


Gambar 2.1 Skematik alat *Light Weight Deflectometer*

Sumber : Pedoman Metoda pengujian lendutan menggunakan *Light Weight Deflectometer* (LWD)

### 2.3.3 Dynamic Cone Penetrometer (DCP)

*Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) adalah alat yang digunakan untuk mengetahui daya dukung tanah (CBR). Peralatan DCP yang digunakan adalah *Transport Research Laboratory* (TRL). TRL merupakan salah satu jenis DCP yang dapat mengukur kedalaman parameter CBR kekuatan struktural jalan tanah sampai dengan ke dalaman 1000 mm (TRL, 1993). Alat DCP ini hanya untuk mendapat kekuatan tanah timbunan pada pembuatan badan jalan, alat ini dipakai pada pekerjaan tanah karena mudah dipindahkan ke semua titik yang diperlukan tetapi letak lapisan yang diperiksa tidak sedalam pemeriksaan tanah dengan alat sondir (Lengkong dkk, 2013).



Gambar 2.2 Gambar alat Penetrometer konus dinamis (DCP)

Sumber : Pedoman Cara Uji *California Bearing Ratio* (CBR) dengan *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP).



Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan nilai *California Bearing Ratio* (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 yang tertentu dimensi dan sudutnya, ke dalam tanah untuk setiap pukulan dari palu/hammer yang berat dan tinggi jatuh tertentu pula (Lengkong dkk, 2013).

Parameter utama DCP adalah nilai rata-rata penetrasi dari konus pada beban standar untuk memperkirakan kekuatan struktural dari lapisan tanah. Nilai DCP yang diambil adalah jumlah rata-rata dari penetrasi per pukulan (mm/blow). Berdasarkan nilai DCP yang ada, dapat dicari nilai CBR yang ada. Semakin kecil nilai penetrasi DCP (mm/blow), maka makin besar nilai CBR yang terjadi, dan sebaliknya semakin besar nilai penetrasi DCP (mm/blow), maka makin kecil nilai CBR yang terjadi. Nilai korelasi yang terjadi didapat dari beberapa percobaan yang sudah dilakukan oleh beberapa peneliti.

Penggunaan DCP sebagai alat ukur untuk mendapatkan nilai *California Bearing Ratio* (CBR) mempunyai keistimewaan dibanding alat penetrasi lainnya yang sangat membantu dalam survey teknik pada perencanaan rekonstruksi (Helmi dkk, 2013). Nilai CBR (*California Bearing Ratio*) dapat digunakan untuk parameter kekuatan struktural jalan. Nilai CBR dari pengujian DCP kemudian dihitung dengan korelasi antara rata-rata penetrasi dengan nilai CBR. Nilai CBR yang telah dihitung kemudian dikonversi menjadi modulus elastisitas dengan menggunakan korelasi antara nilai modulus dan CBR (Siegfried, 2018).

Menurut Hardiyatmo (2015) korelasi antara DCP dan CBR oleh USAE Waterways Experiment Station menghasilkan nilai indeks DCP yang dikonversikan dengan nilai CBR menggunakan persamaan :

$$\text{LogCBR} = 2,46 - 1,12(\text{logDCP}) \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

CBR = kekuatan tanah yang digunakan untuk perancangan

DCP = indeks DCP = kedalaman penetrasi oleh satu kali pukulan (mm)

Menurut Amini (2013) korelasi hasil uji antara DCP dan CBR sudah pernah ada pada penelitian-penelitian sebelumnya dapat terlihat seperti Tabel 2.2

Tabel 2.2 Korelasi DCP dan CBR dari beberapa peneliti

Peneliti	Persamaan	Material yang Diuji
Kylen (1975)	$\text{Log CBR} = 2,62 - 1,27 \log \text{PI}$	Jenis tanah yang tidak diketahui
Smith and Pratt (1983)	$\text{Log CBR} = 2,555 - 1,145 \log \text{PI}$	
Harison (1987)	$\text{Log CBR} = 2,70 - 1,12 \log \text{PI}$ $\text{PI} < 10 \text{ mm/fall}$	Kerikil dan kohesif
Ese, dkk (1994)	$\text{Log CBR} = 2,44 - 1,07 \log \text{PI}$	Agregat tanah dasar
NCDOT (1998)	$\text{Log CBR} = 2,60 - 1,07 \log \text{PI}$	Agregat tanah dasar dan kohesif
Coonse (1999)	$\text{Log CBR} = 2,53 - 1,14 \log \text{PI}$	Tanah residu Piedmound
Gabr, dkk (2000)	$\text{Log CBR} = 1,40 - 0,55 \log \text{PI}$	
Nazal, dkk (2003)	$\text{CBR} = 2559,44 / (7,35 + \text{PI } 1,84) + 1,04$ dimana $6,31 < \text{PI} < 66,67$	
Webster, dkk (1992)	$\text{Log CBR} = 2,465 - 1,12 \log \text{PI}$	Macam-macam jenis tanah
Livneh (1995)	atau $\text{CBR} = 292 / \text{PI } 1,12$	
Siekmeier, dkk (2000)		Kerikil dan kohesif
Chent dkk (2001)		

### 2.3.4 Analisis Statistik

Analisis statistik pada data pengujian ini yaitu menggunakan koefisien variasi, uji korelasi *Product Momen*, uji *T-Student* dan koefisien determinan.

#### a. Koefisien Variasi

Koefisien Variasi (KV) menunjukkan tingkat variabilitas dari perbandingan antara simpangan standar dengan nilai hitung rata-rata yang dinyatakan dalam bentuk presentase seperti pada persamaan 4 (Akbar dkk, 2015).

$$KV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

KV = Koefisien Variasi

S = Simpangan Baku

$\bar{X}$  = Nilai Rata-Rata

#### b. Uji Korelasi *Product Momen*

Uji korelasi bertujuan untuk mengetahui kekuatan hubungan dan arah antara data yang berkaitan yang dilambangkan (r). Menurut Azwar (2012) rumus uji korelasi *Product Momen* yang digunakan yaitu seperti pada persamaan 5.

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \times \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

$r_{xy}$  = Korelasi antara variable X dengan Y

X = variabel independent (prediktor)

Y = variabel dependen (hasil)

n = Jumlah Sampel

Menurut Akbar dkk (2015) dalam buku Sugiyono (2007) untuk dapat memberikan penafsiran terhadap koefisien korelasi yang ditemukan tersebut besar atau kecil, maka dapat berpedoman pada ketentuan yang tertera pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Pedoman interpretasi terhadap koefisien korelasi

Interval Koefesien	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,199	Sangat Rendah
0,20 – 0,399	Rendah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat Kuat

Sumber : Sugiyono, (2007)

Analisis korelasi adalah metode statistika yang digunakan untuk menentukan derajat hubungan linier antara dua variabel atau lebih. Semakin tinggi derajat hubungan garis lurus maka semakin nyata hubungan linier (garis lurus) antara kedua variabel atau lebih. Ukuran untuk derajat hubungan garis lurus ini dinamakan koefisien korelasi.

c. Uji T-Student

Hasil perhitungan (r) dapat dilakukan uji hipotesis menggunakan uji T-*student* untuk menguji kebenaran sebuah hipotesa, maka hasil korelasi diuji signifikansi sebagai berikut:

$H_0$  : Korelasi negatif, tidak terdapat hubungan signifikan yang positif antara variabel.

$H_1$  : Korelasi positif, terdapat hubungan signifikan yang positif antara variabel.

Selanjutnya, untuk melihat signifikan hubungan antara kedua variabel diperoleh dengan perhitungan uji t sebagai berikut :

$$t = \frac{r \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \dots\dots\dots (6)$$

dengan :

t = pengujian koefisien korelasi ( $t_{hitung}$ )

r = koefisien korelasi

n = jumlah data

Hasil  $t_{hitung}$  kemudian dibandingkan dengan  $t_{tabel}$ , kemudian digunakan asumsi tingkat kepercayaan (nilai  $\alpha$ ) dan nilai derajat kebebasan (dk) untuk menentukan  $t_{tabel}$  maka didapatkan ketetapan bahwa:

1.  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak apabila,  $t_{hitung} \leq t_{tabel}$
2.  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima apabila,  $t_{hitung} \geq t_{tabel}$

d. Koefisien Determinasi

Koefisien determinasi ( $r^2$ ) merupakan proporsi variabilitas dalam suatu data yang dihitung didasarkan pada model statistik. Menurut Azwar (2012) secara umum  $r^2$  digunakan sebagai informasi mengenai kecocokan suatu model. Regresi  $r^2$  ini dijadikan sebagai pengukuran seberapa baik garis regresi mendekati nilai data asli yang dibuat model. Apabila  $r^2$  sama dengan 1, maka angka tersebut menunjukkan garis regresi cocok dengan data secara sempurna. Besar kecilnya sumbangan nilai variabel X terhadap Y dapat ditentukan dengan rumus koefisien determinasi sebagai berikut:

$$KD = r^2 \times 100\% \dots\dots\dots(7)$$

dengan:

KD = nilai koefisien determinasi

$r^2$  = nilai koefisien korelasi