

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

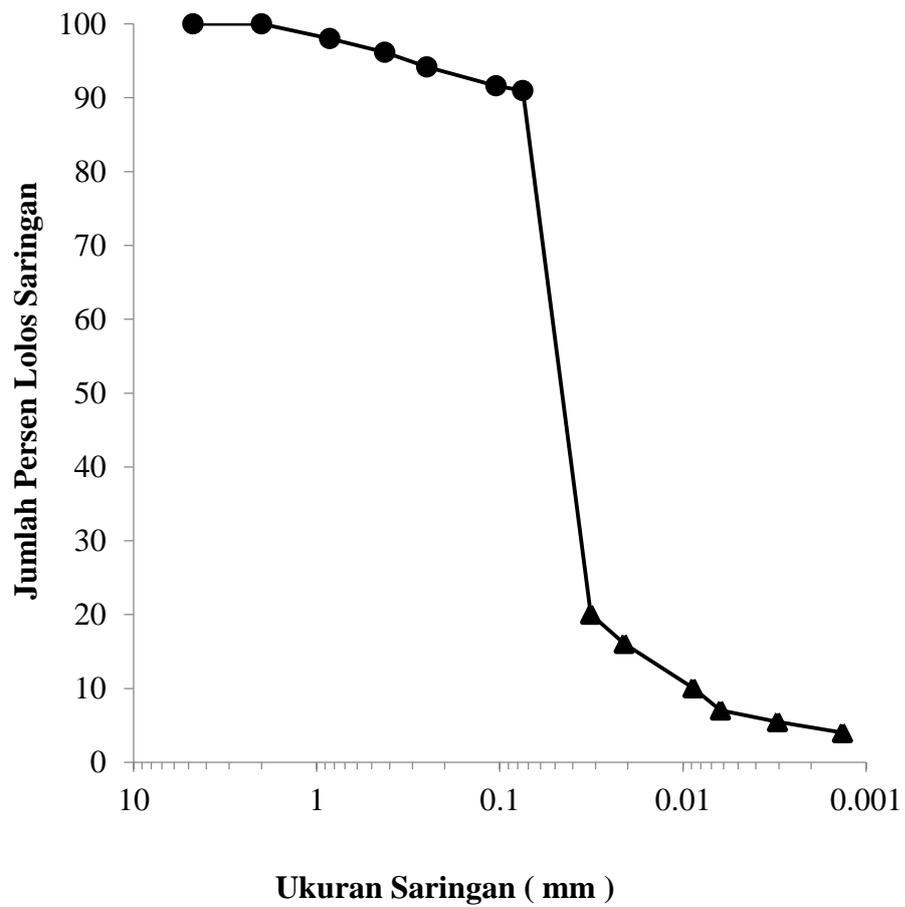
1. Pengujian Sifat-Sifat Fisis dan Indeks Tanah Colluvium

Pengujian sifat-sifat fisis dan indeks tanah dilakukan untuk mengetahui jenis atau klasifikasi dari tanah colluvium. Pengujian sifat-sifat fisis dan indeks tanah yang dilakukan meliputi uji berat jenis, uji batas cair, uji batas plastis, uji distribusi ukuran butir tanah, dan uji pemadatan *proctor* standar. Adapun hasil pengujian sifat-sifat fisis dan indeks tanah colluvium disajikan dalam Tabel 4.1.

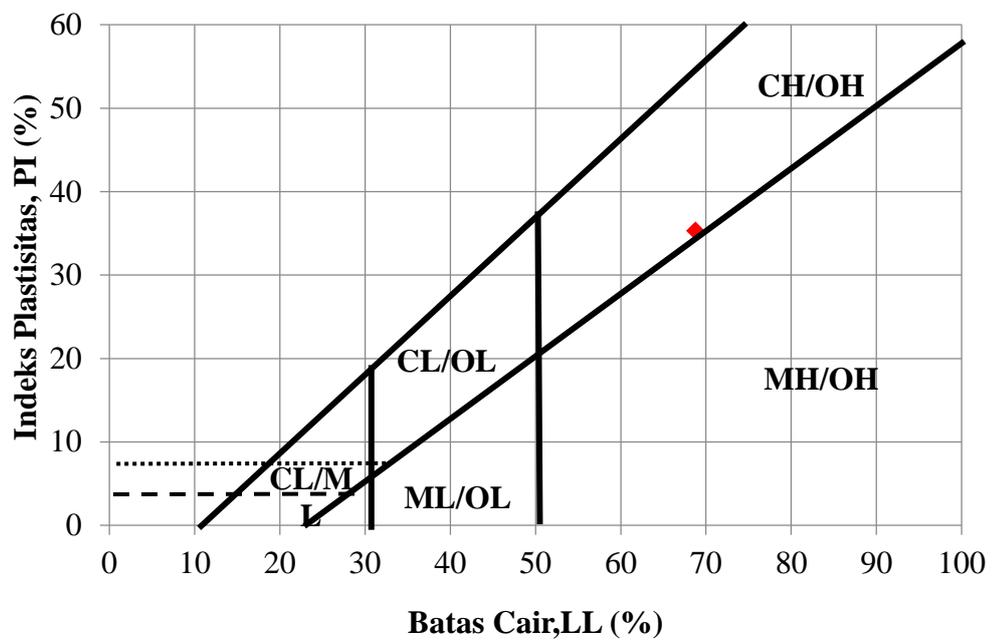
Tabel 4.1 Sifat-sifat fisis dan indeks tanah colluvium

Parameter	Hasil
Berat jenis, G_s	2,65
Batas-batas <i>atteberg</i> :	
Batas cair, LL	68,8 %
Batas plastis, PL	33,79 %
Indeks plastisitas, PI	35,26 %
Pemadatan <i>proctor standard</i> :	
Tanah asli :	
Berat volume kering maksimum, MDD	13,43 kN/m ³
Kadar air optimum, OMC	25 %
Tanah + 5% semen :	
Berat volume kering maksimum, MDD	13,08 kN/m ³
Kadar air optimum, OMC	26,5 %
Klasifikasi USCS	CH

Pada grafik distribusi ukuran butir tanah (lihat Gambar 4.1) menunjukkan bahwa tanah mengandung fraksi tanah berbutir kasar sebanyak 9,08% dan fraksi tanah berbutir halus 90,92%. Karena persentase fraksi tanah berbutir halus lebih dari 50%, maka dapat dikategorikan sebagai tanah berbutir halus. Dari hasil pengujian batas cair dan batas plastis (lihat Tabel 4.1), menurut sistem klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System (USCS)*, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai tanah lempung plastisitas tinggi dengan simbol CH.



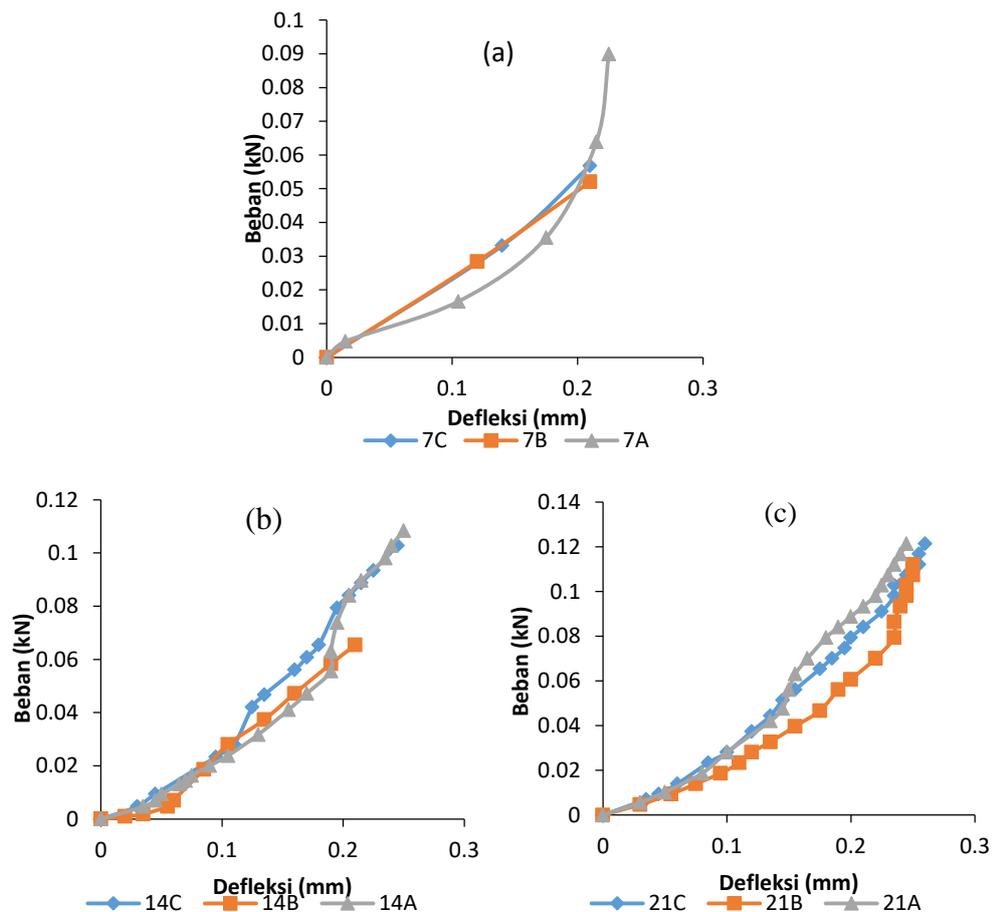
Gambar 4.1 Distribusi ukuran butir tanah colluvium



Gambar 4.2 Hubungan indeks plastisitas dan batas cair untuk klasifikasi tanah menurut USCS

2. Pengujian Lentur Balok (*Flexural Beam Test*)

Pada penelitian ini, total terdapat 12 sampel tanah semen yang diuji. Hasil pengujian lentur balok berupa kurva hubungan beban dan defleksi diberikan pada Gambar 4.3. Pada sampel berumur 3 hari tidak tercatat hasilnya dikarenakan sampel sudah mengalami keruntuhan ketika pengujian baru berjalan ± 2 detik. Untuk sampel berumur 7 hari, beban maksimum yang dapat diterima oleh sampel sebesar 0,089 kN, 0,052 kN, 0,057 kN dengan defleksi maksimum sebesar 0,23 mm, 0,21 mm, 0,21 mm, sedangkan pada sampel berumur 14 hari, beban maksimum yang dapat diterima oleh sampel sebesar 0,108 kN, 0,065 kN, 0,103 kN dengan defleksi maksimum sebesar 0,25 mm, 0,21 mm, 0,24 mm, dan untuk sampel berumur 21 hari, beban maksimum yang dapat diterima oleh sampel sebesar 0,121 kN, 0,112 kN, 0,133 kN dengan defleksi maksimum sebesar 0,24 mm, 0,25 mm, 0,27 mm.



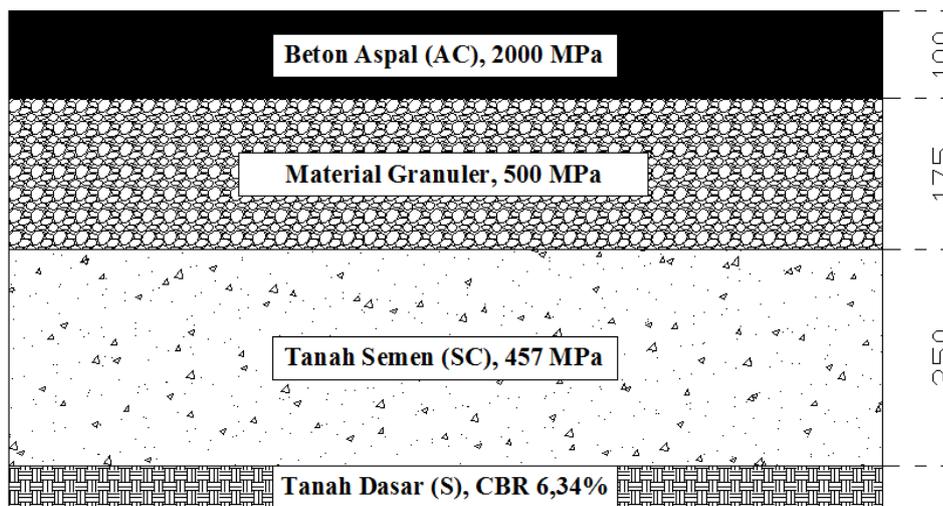
Gambar 4.3 Hubungan beban dan defleksi untuk sampel (a) umur 7 hari (b) 14 hari (c) umur 21 hari

Tabel 4.2 Nilai kuat lentur (F_{cf}) dan modulus lentur (E) material stabilisasi tanah colluvium dengan semen

Benda Uji	Umur	F_{cf} (MPa)	E (MPa)	F_{cf} regresi (MPa)	E regresi (MPa)
3A	3	-	-	-	-
3B		-	-		
3C		-	-		
7A	7	0.188	393.476	0,127	295,899
7B		0.094	244.954		
7C		0.114	265.444		
14A	14	0.212	431.532	0,190	397,417
14B		0.117	304.473		
14C		0.205	412.421		
21A	21	0,233	482,210	0,227	456,802
21B		0,215	436,215		
21 C		0,255	479,634		

3. Tebal Perkerasan Jalan

Hasil perhitungan tebal perkerasan jalan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.5. Struktur lapis perkerasan jalan tersusun atas material beton aspal 2000 MPa (*asphalt concrete*) sebagai lapis permukaan (*wearing course*) dengan ketebalan 100 mm, dibawah lapis permukaan dipilih material granuler 500 MPa sebagai lapis pondasi atas (*base course*) dengan ketebalan 175 mm, dan pada lapis pondasi bawah (*subbase course*) adalah material tanah colluvium yang distabilisasi menggunakan semen dengan ketebalan 250 mm.



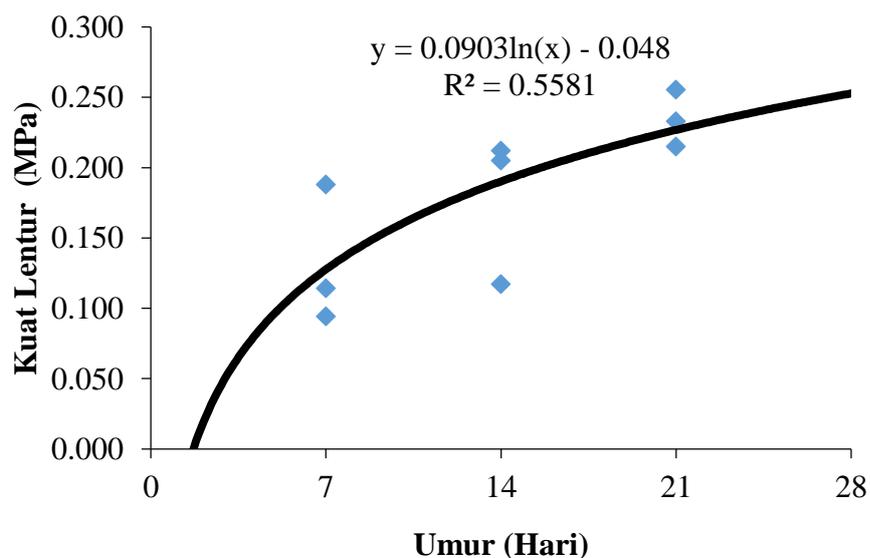
Gambar 4.4 Desain tebal lapis perkerasan jalan

B. Pembahasan

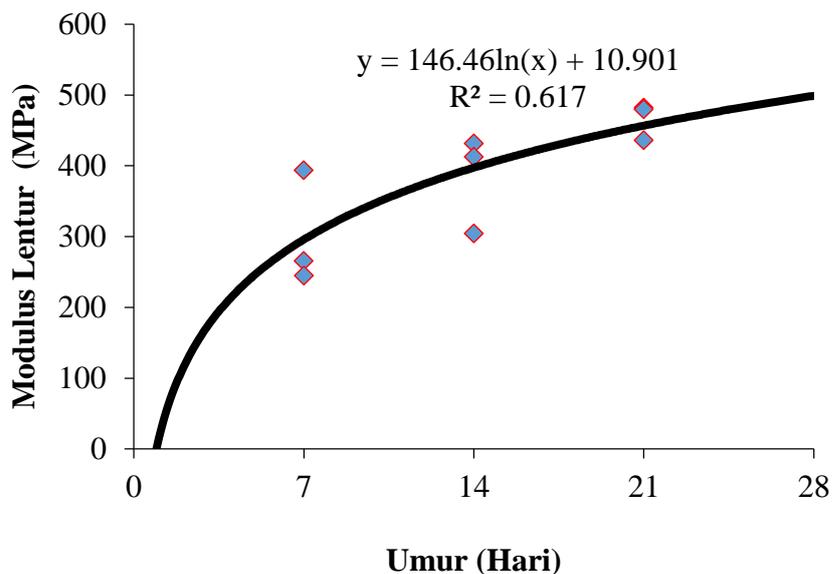
1. Pengaruh Umur terhadap Parameter Kuat Lentur dan Modulus Lentur

Dari hasil pengujian lentur balok didapatkan nilai kuat lentur dan modulus lentur untuk masing-masing sampel, yang selanjutnya diplotkan pada grafik hubungan kuat lentur dengan umur dan modulus lentur dengan umur menggunakan analisis regresi seperti yang disajikan pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7. Adapun nilai kuat lentur dan modulus lentur dari hasil analisis regresi dapat dilihat Tabel 4.2.

Berdasarkan Gambar 4.6 dan Tabel 4.2, nilai kuat lentur terendah diperoleh pada sampel berumur 3 hari dengan nilai yang tidak terbaca dikarenakan patah lebih dini (sebelum waktu pembacaan) pada saat pengujian. Pada sampel berumur 7 hari didapatkan nilai kuat lentur 0,127 MPa, meningkat 49,61% pada umur 14 hari dengan nilai kuat lentur sebesar 0,190 MPa, kemudian pada sampel berumur 21 hari didapatkan nilai kuat lentur sebesar 0,227 MPa, meningkat 19,89 % dari sampel berumur 14 hari. Berdasarkan Gambar 4.7 dan Tabel 4.2, nilai modulus lentur untuk sampel berumur 7 hari didapatkan sebesar 295,899 MPa, meningkat 34,31 % pada umur 14 hari dengan nilai modulus lentur sebesar 397,417 MPa, kemudian pada sampel berumur 21 hari didapat nilai modulus lentur rata-rata sebesar 456,802 MPa, meningkat 14,94 % dari sampel berumur 14 hari.



Gambar 4.5 Hubungan antara kuat lentur (*flexural strength*) dengan umur sampel



Gambar 4.6 Hubungan antara modulus lentur (*flexural modulus*) dengan umur sampel

Hubungan antara kuat lentur dan modulus lentur dengan umur sampel memiliki persamaan yaitu semakin bertambahnya umur maka semakin meningkat pula kuat lentur dan modulus lentur dari sampel stabilisasi tanah colluvium dengan semen. Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 memberikan gambaran bahwa nilai kuat lentur maupun modulus lentur meningkat secara tajam dari umur 1 hari ke umur 14 hari, kemudian terjadi peningkatan kuat lentur dan modulus lentur yang relatif kecil setelah umur 14 hari. Hal ini terjadi karena terdapat reaksi hidrasi semen dalam campuran tanah colluvium, semen, dan air. Menurut Muntohar (2014), Reaksi hidrasi semen menghasilkan formasi *Calcium-Silicate-Hydrate* (C-S-H) dan *Calcium-Alumina-Hydrate* (C-A-H) yang memiliki peran sebagai perekat yang memperbaiki struktur dan memberikan kekuatan pada tanah. Peningkatan kekuatan paling cepat terjadi dalam kurun waktu antara satu hari hingga satu bulan. Selanjutnya peningkatan kekuatan relatif kecil selama proses hidrasi dan membentuk bahan semen yang berlangsung hingga beberapa tahun.

2. Perhitungan Desain Perkerasan Jalan

Pada penelitian ini, material stabilisasi tanah colluvium dengan semen diaplikasikan pada ruas jalan Siluk-Kretek, Bantul sebagai lapis pondasi bawah (*subbase course*) dari struktur perkerasan jalan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.2. Adapun data perencanaan jalan yang meliputi data geometrik, data lingkungan, dan data lalu lintas dari ruas jalan Siluk-Kretek, Bantul yang digunakan dalam perhitungan desain perkerasan jalan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3 Data geometrik jalan

Nama Jalan	Ruas Jalan Siluk-Kretek, Bantul, D.I. Yogyakarta
Status Jalan	Jalan Provinsi
Fungsi Jalan	Kolektor
Kelas Jalan	II
Tipe Jalan	2 Lajur 2 Arah

(Sumber : *Muyasyaroh, 2017, Tabel 5.1*)

Tabel 4.4 Data perancangan tebal perkerasan jalan

CBR Tanah Dasar	5,23%
Umur Rencana, P	10 Tahun
Pertumbuhan Lalu Lintas, R	3,5% per Tahun
Distribusi Arah, DF	50%
Reliability	90%

(Sumber : *Muyasyaroh, 2017, Tabel 5.2*)

Tabel 4.5 Data lalu lintas

Jenis Kendaraan	LHR
Mobil Penumpang	2809
Bus Kecil	105
Bus Besar	20
Truk Sedang 2 As	89
Truk Besar 2 As	116
Total	3139

(Sumber : *Muyasyaroh, 2017, Tabel 5.3*)

a. Perhitungan Lalu Lintas Desain

1) Menghitung faktor pertumbuhan kumulatif, CGF

Faktor pertumbuhan kumulatif dihitung berdasarkan angka pertumbuhan lalu lintas (R) yaitu sebesar 3,5% dan umur rencana (P) 10 tahun, dengan menggunakan persamaan 2. 3.

$$\text{Karena nilai } R = 3,5\%, \text{ maka nilai } CGF = \frac{(1+0,01 \times 3,5)^P - 1}{0,01 \times 3,5} = 11,73$$

2) Menghitung persentase kendaraan berat, %HV

Berdasarkan Tabel 2. 1, yang dikategorikan sebagai kendaraan berat ialah kendaraan kelas 3 hingga kelas 12. Sehingga dalam menghitung persentase kendaraan berat dibutuhkan jumlah total kendaraan (AADT) dan jumlah kendaraan berat (HV) yang terdapat pada data lalu lintas (lihat tabel 4.4).

$$\%HV = \frac{HV}{AADT} \times 100\%$$

$$\%HV = \frac{330}{3139} \times 100\% = 10,51\%$$

3) Menentukan angka kelompok gandar per kendaraan berat, N_{HVAG}

Penentuan angka kelompok gandar per kendaraan berat didasarkan pada jenis jalan (*urban roads* atau *rural roads*) dengan cara asumsi sesuai Tabel 2. 3. Karena ruas jalan Siluk-Kretek termasuk *rural roads*, maka nilai $N_{HVAG} = 2,8$.

4) Menentukan faktor distribusi arah, LDF

Faktor distribusi arah ditentukan dengan cara asumsi sesuai Tabel 2. 2. berdasarkan jumlah lajur yang terdapat pada ruas jalan Siluk-Kretek yaitu 2 lajur. Sehingga didapatkan nilai $LDF = 1,00$.

5) Menghitung kelompok gandar kendaraan berat kumulatif, N_{DT}

$$N_{DT} = 365 \times (AADT \times DF) \times \frac{\%HV}{100} \times LDF \times CGF \times N_{HVAG}$$

$$= 365 \times (3139 \times 0,5) \times \frac{10,51}{100} \times 1 \times 11,73 \times 2,8$$

$$= 1.978.265 \text{ HVAG} = 1,978 \times 10^6 \text{ HVAG}$$

6) Menentukan ESA/HVAG dan SAR/ESA

Nilai ESA/HVAG dibutuhkan untuk menentukan angka desain ekivalen beban gandar standar (DESA). Sedangkan nilai SAR/ESA dibutuhkan untuk menentukan angka desain beban repetisi gandar standar (DSAR) untuk masing-masing jenis kerusakan (*distress mode*). Nilai ESA/HVAG dan SAR/ESA didapatkan berdasarkan asumsi sesuai pada Tabel 2. 4. Karena ruas jalan Siluk-Kretek, Bantul termasuk jalan *rural*, maka nilai ESA/HVAG dan SAR/ESA untuk setiap jenis kerusakan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.6 Karakteristik TLD untuk jalan *rural*

Tipe Perkerasan	Tipe Kerusakan	Indeks Kerusakan	Nilai Rural TLD
Perkerasan granuler dengan lapis permukaan aspal tipis	Semua jenis kerusakan	ESA/HVAG	0,9
		ESA/HV	2,5
Perkerasan dengan satu atau lebih lapisan terikat	Kelelahan material aspal	SAR _a /ESA	1,1
	<i>Rutting and Shape Loss</i>	SAR _s /ESA	1,6
	Kelelahan material bersemen	SAR _c /ESA	12

7) Menghitung angka desain ekivalen beban gandar standar, DESA

$$\begin{aligned} \text{DESA} &= \text{ESA/HVAG} \times N_{\text{DT}} \\ &= 0,9 \times 1,978 \times 10^6 \text{ ESA} \\ &= 1,78 \times 10^6 \text{ ESA} \end{aligned}$$

8) Menghitung desain repetisi sumbu standar, DSAR

$$\text{DSAR}_{\text{asc}} = \text{SAR}_{\text{asc}} / \text{ESA} \times \text{DESA}$$

a) Kelelahan Aspal

$$\text{DSAR}_a = 1,1 \times 1,78 \times 10^6 = 1,958 \times 10^6 \text{ SAR}$$

b) *Rutting* dan *Shape Loss*

$$DSARs = 1,6 \times 1,78 \times 10^6 = 2,848 \times 10^6 \text{ SAR}$$

c) Kelelahan Material Bersemen

$$DSARc = 12 \times 1,78 \times 10^6 = 2,136 \times 10^7 \text{ SAR}$$

b. Perhitungan Tebal Perkerasan

1) Asumsi komposisi perkerasan

Material *asphalt concrete* dipilih sebagai lapis permukaan (*surface course*) dan material granular *high standard* dipilih sebagai lapis pondasi atas (*base course*), dengan asumsi nilai modulus elastisitas material tersebut berdasarkan Austroads, 2004. Khusus untuk material granular, karakteristik material dapat dilihat pada Tabel 2.6. Sedangkan untuk material stabilisasi tanah colluvium dengan semen (*soil cement*) dijadikan sebagai lapis pondasi bawah (*subbase course*) karena nilai modulus lentur hasil dari pengujian yang relatif kecil. Adapun asumsi komposisi material perkerasan dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Asumsi material yang digunakan dalam desain perkerasan jalan

	Type Material	E	Ketebalan
2)	<i>Asphalt Concrete</i>	2000 MPa	100
	<i>Granular Material</i>	500 MPa	175
	<i>Soil Cement</i>	457 MPa	250
	<i>Subgrade, CBR = 6,34%</i>	63,4 MPa	∞

2) Parameter Elastis Material

a) Tanah Dasar (*Subgrade*)

$$\begin{aligned} \text{CBR} &= 6,34\% \\ \text{Modulus vertikal (E}_V\text{)} &= 10 \times \text{CBR} \\ &= 10 \times 6,34 \\ &= 63,4 \text{ MPa} \\ \text{Modulus horizontal (E}_H\text{)} &= 0,5 \times E_V \\ &= 0,5 \times 63,4 \\ &= 31,52 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Angka poisson (} V_V=V_H \text{)} &= 0,45 \\ \text{Modulus geser (f)} &= \frac{E_V}{1 + V_V} \\ &= \frac{63,4}{1 + 0,45} \\ &= 43,72 \text{ MPa} \end{aligned}$$

b) *Soil Cement*

$$\begin{aligned} \text{Modulus lentur (E)} &= 457 \text{ MPa} \\ \text{Angka poisson (} V_V \text{)} &= 0,2 \end{aligned}$$

c) *Material Berbutir (Granular Material)*

$$\begin{aligned} \text{Modulus vertikal (} E_V \text{)} &= 500 \text{ MPa} \\ \text{Modulus horizontal (} E_H \text{)} &= 0,5 \times E_V \\ &= 0,5 \times 500 \\ &= 250 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{Angka poisson (} V_V=V_H \text{)} = 0,35$$

$$\begin{aligned} \text{Modulus geser (f)} &= \frac{E_V}{1 + V_V} \\ &= \frac{500}{1 + 0,35} \\ &= 370,37 \text{ MPa} \end{aligned}$$

d) *Beton Aspal (Asphalt Concrete)*

$$\begin{aligned} \text{Modulus vertikal (} E_V \text{)} &= 2000 \text{ MPa} \\ \text{Angka poisson (} V_V \text{)} &= 0,4 \end{aligned}$$

3) Menentukan Regangan Vertikal (*Vertical Strain*)

Parameter-parameter yang sebelumnya telah dihitung dan diasumsikan, dimasukkan ke dalam program CIRCLY untuk mendapatkan regangan kritis pada area dasar lapis aspal, dasar lapis material bersemen, dan diatas tanah dasar,. Program CIRCLY yang digunakan pada analisis ini adalah versi 6.0 *trial*. Regangan kritis dari hasil *running* program CIRCLY dapat dilihat pada Gambar 4.8.

```

Job Summary File  Damage File  .CLO File
-----
Tugar Akhir

Asphalt- 2000MPa
Maximum damage values for each vehicle type
-----
Vehicle Type      Damage Factor      Critical Strain
-----
ESA750-Full       .40434E+00         -0.21572E-03

Maximum of total damage=          0.4043428

Soil Cement, 457 Mpa
Maximum damage values for each vehicle type
-----
Vehicle Type      Damage Factor      Critical Strain
-----
ESA750-Full       .31539E-01         -0.15378E-03

Maximum of total damage=          3.1538781E-02

Subgrade, CBR=6,34,Aniso
Maximum damage values for each vehicle type
-----
Vehicle Type      Damage Factor      Critical Strain
-----
ESA750-Full       .87239E-03         0.30504E-03

Maximum of total damage=          8.7239395E-04

```

Gambar 4.7 Output program CIRCLY

- 4) Menghitung repetisi beban yang diizinkan (*Allowable Loading*)
 Nilai repetisi beban yang diizinkan dihitung untuk masing-masing tipe kerusakan.

- a) Deformasi permanen tanah dasar yang diizinkan

$$\begin{aligned}
 N_s &= \left(\frac{9300}{\mu\varepsilon} \right)^7 \\
 &= \left(\frac{9300}{305} \right)^7 \\
 &= 2,45 \times 10^{10} \text{ SAR}
 \end{aligned}$$

- b) Kelelahan material bersemen yang diizinkan

$$N_c = RF \left(\frac{\left(\frac{113000}{E^{0,804}} + 191 \right)}{\mu\varepsilon} \right)^{12}$$

$$= 2 \left(\frac{\left(\frac{113000}{457^{0,804}} + 191 \right)}{154} \right)^{12}$$

$$= 1,30 \times 10^{10} \text{ SAR}$$

c) Kelelahan aspal yang diizinkan

$$N_A = RF \left(\frac{6918(0,856 \times V_B + 1.08)}{S_{MIX}^{0,36} \mu \varepsilon} \right)^5$$

$$= 1,5 \left(\frac{6918(0,856 \times 14,08 + 1.08)}{2000^{0,36} \times 216} \right)^5$$

$$= 2,26 \times 10^7 \text{ SAR}$$

Tabel 4.8 Hasil analisis repetisi beban izin dan repetisi beban rencana lalu lintas

Tipe Kerusakan (<i>Distress Mode</i>)	Beban yang diizinkan (SAR)	Lalu Lintas Desain/Rencana (SAR)
Deformasi Permanen Tanah Dasar (<i>Permanent Deformation of Subgrade</i>)	$2,45 \times 10^{10}$	$2,848 \times 10^6$
Kelelahan Material Bersemen (<i>Cemented Material Fatigue</i>)	$1,30 \times 10^{10}$	$2,136 \times 10^7$
Kelelahan Aspal (<i>Asphalt Fatigue</i>)	$2,26 \times 10^7$	$1,958 \times 10^6$

Dari hasil analisis repetisi beban lalu lintas rencana dan repetisi beban yang diizinkan untuk masing-masing jenis kerusakan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.8, diperoleh nilai repetisi beban yang diizinkan lebih besar daripada nilai beban lalu lintas rencana ($N > DSAR$). Sehingga dapat disimpulkan bahwa asumsi komposisi atau susunan lapis perkerasan dapat diterima.