

**TESIS**  
**EVALUASI STRUKTUR PERKERASAN LENTUR JALAN DI ATAS TANAH**  
**RAWAN LONGSOR**  
**(STUDI KASUS: RUAS JALAN SORONG – MAKBON STA 17+125 –**  
**STA 17+408)**



**Disusun Oleh:**

**ASRUL SAPUTRA**

**19914040**

**KONSENTRASI PERENCANAAN DAN TEKNIK TRANSPORTASI**  
**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM MAGISTER**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

**2022**

# HALAMAN PERSETUJUAN

## TESIS

### EVALUASI STRUKTUR PERKERASAN LENTUR JALAN DI ATAS TANAH RAWAN LONGSOR

(STUDI KASUS: RUAS JALAN SORONG – MAKBON STA 17+125 –  
STA 17+408)




Disusun oleh  
**Asrul Saputra**  
19914040

Diperiksa dan disetujui oleh:


**Dr. Ir. Edy Purwanto, CES., DEA**

Dosen Pembimbing I

  
Tanggal: 30-08-2022

**Miftahul Fauziah, ST., MT., Ph.D**

Dosen Pembimbing II

  
Tanggal: 31.08.2022

# HALAMAN PENGESAHAN

## TESIS

### EVALUASI STRUKTUR PERKERASAN LENTUR JALAN DI ATAS TANAH RAWAN LONGSOR

(STUDI KASUS: RUAS JALAN SORONG – MAKBON STA 17+125 –  
STA 17+408)

Disusun oleh

**Asrul Saputra**

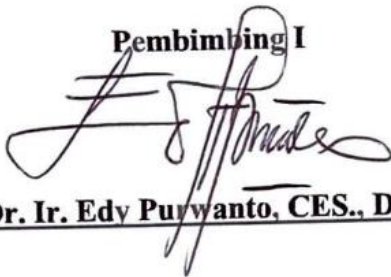
**19914040**

Telah diuji oleh Dewan Penguji  
pada tanggal 23 Agustus 2022

dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

(Susunan Dewan Penguji)

**Pembimbing I**



**Dr. Ir. Edy Purwanto, CES., DEA**

**Pembimbing II**



**Miftahul Fauziah, ST., MT., Ph.D**

**Penguji**



**Ir. Subarkah, MT**

Yogyakarta, 31-08-2022

Universitas Islam Indonesia

Studi Teknik Sipil, Program Magister

Ketua Jurusan,



  
**Miftahul Fauziah, ST., MT., Ph.D**

## Pernyataan Bebas Plagiasi

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan tesis yang saya susun sebagai syarat untuk menyelesaikan program magister di Program Studi Pascasarjana Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan tesis yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah ditulis dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh laporan tesis ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta,.....2022



Asrul Saputra  
19914040

## Kata Pengantar

Bismillah hirrohmanirrohim, alhamdulillah segala puji hanya milik Allah subhahuwata'ala atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyusun Proposal Tesis ini. Shalawat serta salam selalu kita tujukan kepada Rasulullah Shallahu'alaihi wa sallam.

Laporan hasil tesis ini disusun bertujuan untuk memenuhi syarat dalam mencapai derajat Magister Teknik pada Program studi Perencanaan dan Permodelan Transportasi. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Edy Purwanto, CES., DEA, selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan masukan-masukan selama penyusunan Tesis ini
2. Ibu Miftahul Fauziah, ST., MT., Ph.D, selaku Ketua Jurusan dan Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan masukan-masukan selama penyusunan Tesis ini
3. Ir. Subarkah, MT, selaku Dosen Penguji yang telah memberikan banyak masukan, saran, dan evaluasi agar lebih baik dikemudian hari
4. Orang tua dan keluarga, yang telah memberikan dukungan terbesar, motivasi, semangat serta do'a kepada penulis untuk dapat menyelesaikan Tesis ini.

Semoga Tesis ini dapat memberi manfaat bagi penulis secara pribadi dan juga bagi para pembaca.

Yogyakarta,.....2022

Asrul Saputra  
19914040

## Daftar isi

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
Pernyataan Bebas Plagiasi	iv
Kata Pengantar	v
Daftar isi	vi
Daftar Tabel	x
Daftar Gambar	xii
Daftar Lampiran	xv
Daftar Notasi dan Singkatan	xvi
Abstrak	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
<b>BAB II STUDI PUSTAKA</b>	<b>6</b>
2.1 Tinjauan Umum	6
2.2 Penelitian Struktur Perkerasan Lentur dan <i>Kenpave</i>	6
2.3 Penelitian Tentang Perkuatan Lereng <i>Soil Nailing</i>	8
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b>	<b>15</b>

3.1	Perkerasan Lentur	15
3.1.1	Lapis Permukaan	17
3.1.2	Lapisan Pondasi Atas ( <i>Base Course</i> )	17
3.1.3	Lapisan Pondasi Bawah ( <i>Subbase Course</i> )	18
3.1.4	Lapisan Tanah Dasar ( <i>Subgrade</i> )	19
3.2	Beban Lalu Lintas	20
3.2.1	Prosedur Desain	20
3.2.2	Lalu Lintas Harian (LHR)	24
3.3	Manual Desain Perkerasan Jalan (Bina Marga 2017)	25
3.4	Metode Mekanistik – Empirik	39
3.4.1	Karakteristik Material	40
3.4.2	Program <i>Kenpave</i>	41
3.4.3	Pemodelan Lapis Perkerasan Jalan	42
3.4.4	Program <i>Kenlayer</i>	46
3.4.5	Pemodelan Kerusakan	48
3.5	Fenomena Longsor ( <i>Land Slide</i> )	50
3.6	Stabilitas Lereng	54
3.6.1	Pendahuluan	54
3.6.2	Teori Analisis Stabilitas Lereng	57
3.6.3	Analisis Stabilitas Lereng dengan Bidang Longsor Berbentuk Lingkaran	58
3.6.4	Analisis Stabilitas Lereng <i>Fellenius Sliced Method</i>	59
3.7	Analisis Stabilitas Lereng Pengaruh Gempa	63

3.7.1	Persyaratan Gempa Untuk Lereng (SNI 8460-2017)	63
3.7.2	Aplikasi Spektrum Respons Desain Indonesia 2021	66
3.7.3	Metode Analisis Gempa Untuk Lereng (EN 1998-5-2004)	67
3.8	<i>Soil Nailing</i>	69
3.8.1	Perancangan Dan Elemen Dasar	69
3.8.2	Tahapan Konstruksi	73
3.8.3	Kelebihan Dan Kekurangan	77
3.8.4	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan <i>Soil Nailing</i>	79
3.9	Program <i>Geo5</i>	90
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>		93
4.1	Lokasi Penelitian	93
4.2	Tahap Pengumpulan Data	93
4.2.1	Data Sekunder	93
4.3	Tahap Analisis Data	94
4.5	Metode Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017	97
4.6	Menghitung Tegangan dan Regangan Perkerasan Lentur Berdasarkan Program <i>Kenpave</i>	98
4.7	Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Dan Lereng Perkuatan <i>Soil Nailing</i>	99
<b>BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>		100
5.1	Desain Struktur Perkerasan Lentur Berdasarkan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan BM 2017	100
5.1.1	Kondisi Lapangan Struktur Perkerasan Ruas Jalan Sorong – Makbon Sta. 17+125 – 17+408	100



5.1.2	Perhitungan Kumulatif Beban Sumbu Standar ( <i>CESA</i> )	101
5.2	Evaluasi Tegangan dan Regangan berdasarkan Program <i>Kenpave</i>	103
5.3	Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan ( <i>Eksisting</i> )	111
5.3.1	Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Dengan Program <i>Geo5</i>	115
5.3.2	Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Perhitungan Manual	120
5.4	Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan <i>Soil Nailing</i>	125
5.4.1	Analisis Perkuatan Lereng Metode Baji	125
5.4.2	Analisis Perkuatan Lereng Program <i>Geo5</i>	133
5.5	Pembahasan	133
5.5.1	Struktur Perkerasan Lentur <i>Eksisting</i> dan Alternatif Menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan BM 2017	134
5.5.2	Pengaruh Respon Tegangan Regangan Struktur Perkerasan Lentur <i>Eksisting</i> dan Alternatif Menggunakan Metode Mekanistik Empiris Dengan <i>Kenpave-Kenlayer</i> Terhadap Umur Pelayanan	135
5.5.3	Faktor Keamanan Stabilitas Lereng <i>Eksisting</i> Dan Perkuatan Saat Kondisi Gempa Menggunakan Metode Perhitungan Manual ( <i>Fellenius &amp; Baji</i> ) Dan Program <i>Geo5</i>	137
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		141
6.1	Kesimpulan	141
6.2	Saran	142
DAFTAR PUSTAKA		143
LAMPIRAN		147

## Daftar Tabel

<b>Tabel 2.1</b> Rekapitulasi Penelitian Terdahulu	11
<b>Tabel 3.1</b> Hubungan Antara Fungsi dan Kelas Jalan dengan Beban Gandar	22
<b>Tabel 3.2</b> Konfigurasi Beban Sumbu Kendaraan	23
<b>Tabel 3.3</b> Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)	27
<b>Tabel 3.4</b> Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i) (%)	29
<b>Tabel 3.5</b> Faktor Distribusi Lajur (DL)	30
<b>Tabel 3.6</b> Nilai <i>VDF</i> Standar	31
<b>Tabel 3.7</b> Nilai <i>VDF</i> Masing – Masing Jenis Kendaraan Niaga	32
<b>Tabel 3.8</b> Pemilihan Jenis Perkerasan	35
<b>Tabel 3.9</b> Bagan Desain - 3A Desain Perkerasan Lentur dengan HRS <sup>1</sup>	37
<b>Tabel 3.10</b> Bagan Desain - 3B Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Fondasi Berbutir	38
<b>Tabel 3.11</b> Nilai Modulus Elastisitas Berdasarkan Jenis Bahan Perkerasan	43
<b>Tabel 3.12</b> Nilai <i>Poisson's Ratio</i>	44
<b>Tabel 3.13</b> Analisis Struktur Perkerasan	46
<b>Tabel 3.14</b> <i>Slope Measurements</i>	53
<b>Tabel 3.15</b> Penyebab Keruntuhan Lereng	55
<b>Tabel 3.16</b> Hubungan Nilai Faktor Keamanan Lereng dan Intensitas Longsor	63
<b>Tabel 3.17</b> Klasifikasi Situs	64
<b>Tabel 3.18</b> Besarnya Nilai Faktor Amplifikasi (AASHTO, 2012)	65
<b>Tabel 3.19</b> Nilai Faktor Keamanan Lereng pada Kondisi Gempa	66
<b>Tabel 3.20</b> Properti Baja Ulir [ASTM A615, $F_y = 420$ dan $525$ MPa (60 dan 75 ksi)]	70
<b>Tabel 3.21</b> Nilai Perkiraan Modulus Reaksi Lateral Tanah (Ks)	83
<b>Tabel 3.22</b> Daya Dukung Geser <i>Soil Nailing</i> Pada Tanah Pasir	84
<b>Tabel 3.23</b> Faktor Kapasitas Dukung Terzhagi	87

<b>Tabel 5.1</b> Data Lalu Lintas Harian Ruas Jalan Nasional Kabupaten Sorong	101
<b>Tabel 5.2</b> Perkiraan Kumulatif Beban Lalu Lintas <i>ESA4 &amp; ESA5</i>	103
<b>Tabel 5.3</b> Bagan Desain Perkerasan Lentur Alternatif	103
<b>Tabel 5.4</b> Data <i>Input</i> Program <i>Kenpave</i>	104
<b>Tabel 5.5</b> Data <i>Input General</i>	105
<b>Tabel 5.6</b> Data <i>Input Zcoord</i>	105
<b>Tabel 5.7</b> Koordinat NPT	107
<b>Tabel 5.8</b> Nilai <i>Vertical Strain</i> dan <i>Horizontal Strain</i>	108
<b>Tabel 5.9</b> Analisis Jumlah Repetisi Beban <i>ESAL</i> yang mengakibatkan <i>Fatigue Cracking, Rutting, dan Deformation</i>	109
<b>Tabel 5.10</b> Analisis Beban Lalu Lintas terhadap Umur Pelayanan	109
<b>Tabel 5.11</b> Analisis Beban Lalu Lintas Alternatif 3 terhadap Umur Pelayanan	110
<b>Tabel 5.12</b> Data Parameter Tanah	113
<b>Tabel 5.13</b> Data Spektrum Respon Desain	114
<b>Tabel 5.14</b> Rangkuman Perhitungan Metode Fellenius	124
<b>Tabel 5.15</b> Parameter <i>Nail</i>	129
<b>Tabel 5.16</b> Parameter <i>Nail</i>	130
<b>Tabel 5.17</b> Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Internal Putus dan Cabut Tulangan	132
<b>Tabel 5.18</b> Rekapitulasi Struktur Lapis Perkerasan Lentur	134
<b>Tabel 5.19</b> Rekapitulasi Analisis Beban Lalu Lintas yang mengakibatkan <i>Fatigue Cracking, Rutting, dan Deformation</i> terhadap Umur Pelayanan	136
<b>Tabel 5.20</b> Rekapitulasi Hasil Penelitian	140

## Daftar Gambar

<b>Gambar 3.1</b> Penyebaran Beban Roda Melalui Lapisan Perkerasan Jalan	15
<b>Gambar 3.2</b> Susunan Lapis Konstruksi Perkerasan Lentur	16
<b>Gambar 3.3</b> <i>Multi Layered Elastic System</i>	40
<b>Gambar 3.4</b> Tampilan Awal Program <i>Kenpave</i>	41
<b>Gambar 3.5</b> Tampilan Layar <i>Layerinp</i>	46
<b>Gambar 3.6</b> Sumbu Standar Ekuivalen di Indonesia	47
<b>Gambar 3.7</b> Pola Longsoran	52
<b>Gambar 3.8</b> Definisi Kemiringan	54
<b>Gambar 3.9</b> Bentuk-Bentuk Bidang Longsor pada Lereng	59
<b>Gambar 3.10</b> Gaya-Gaya yang Bekerja pada Irisan	60
<b>Gambar 3.11</b> Tampilan Awal Aplikasi Desain Spektra Indonesia 2021	67
<b>Gambar 3.12</b> Model Analisis Stabilitas Lereng Pengaruh Gempa	68
<b>Gambar 3.13</b> Potongan Melintang Lereng Dengan Perkuatan <i>Soil Nailing</i>	69
<b>Gambar 3.14</b> Detail Potongan Melintang Lereng Dengan Perkuatan <i>Soil Nailing</i>	69
<b>Gambar 3.15</b> <i>Centralizers</i> (Penengah)	71
<b>Gambar 3.16</b> Sistem Drainase pada Dinding <i>Soil</i>	72
<b>Gambar 3.17</b> Tahapan Konstruksi Dinding <i>Soil Nailing</i> Secara Umum	73
<b>Gambar 3.18</b> Pemboran Lubang <i>Nail</i>	74
<b>Gambar 3.19</b> <i>Grouting</i> dengan Menggunakan Pipa Tremi	75
<b>Gambar 3.20</b> Tampilan Muka Sementara ( <i>Temporary Facing</i> )	76
<b>Gambar 3.21</b> Tampilan Muka Permanen ( <i>Permanent Wall Facing</i> )	77
<b>Gambar 3.22</b> Analisis External Stability dan Internal Stability	79
<b>Gambar 3.23</b> Gaya yang Bekerja dalam Metode Baji ( <i>Wedge Method</i> )	80
<b>Gambar 3.24</b> Grafik Korelasi untuk Tanah Pasir	83
<b>Gambar 3.25</b> Stabilitas Terhadap Penggeseran pada Perkuatan <i>Soil Nail</i>	85
<b>Gambar 3.26</b> Keruntuhan Putus Tulangan	88
<b>Gambar 3.27</b> Keruntuhan Cabut Tulangan	89

<b>Gambar 3.28</b> <i>Geo5 Solution</i>	90
<b>Gambar 3.29</b> <i>Program for Stability Analysis</i>	91
<b>Gambar 3.30</b> Tampilan Awal Program <i>GEO5</i>	92
<b>Gambar 4.1</b> Peta Lokasi	93
<b>Gambar 4.2</b> Bagan Alir Penelitian	95
<b>Gambar 4.3</b> Bagan Alir Metode Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017	97
<b>Gambar 4.4</b> Bagan Alir Metode Mekanistik Empirik Program <i>Kenpave</i>	98
<b>Gambar 4.5</b> Bagan Alir Stabilitas Lereng	99
<b>Gambar 5.1</b> Struktur Lapis Perkerasan Ruas Jalan Sorong – Makbon	100
<b>Gambar 5.2</b> Tampilan Menu <i>Layerinp</i>	104
<b>Gambar 5.3</b> Letak Titik Tinjauan Kerusakan	106
<b>Gambar 5.4</b> Struktur Lapis Perkerasan Lentur Alternatif Desain	110
<b>Gambar 5.5</b> Ilustrasi Rencana Pembebanan Roda Kendaraan Pada Lereng	112
<b>Gambar 5.6</b> Spektrum Respon Desain Lokasi Penelitian	114
<b>Gambar 5.7</b> Sketsa Lereng <i>Eksisting</i>	115
<b>Gambar 5.8</b> <i>Interface</i> Potongan Melintang Lereng	116
<b>Gambar 5.9</b> <i>Assign</i> (Penetapan Data Tanah)	117
<b>Gambar 5.10</b> <i>Surcharge</i> (Penambahan Beban)	118
<b>Gambar 5.11</b> <i>Earthquake</i> (Beban Gempa)	119
<b>Gambar 5.12</b> Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan	120
<b>Gambar 5.13</b> Pemodelan Lereng dengan Pias dan Dimensi (m)	121
<b>Gambar 5.14</b> Sketsa Lereng dengan Perkuatan	126
<b>Gambar 5.15</b> Analisis Stabilitas Lereng Perkuatan <i>Soil Nailing</i>	133
<b>Gambar 5.16</b> Grafik Perbandingan Tebal Lapis Permukaan dan Lapis Pondasi	135
<b>Gambar 5.17</b> Grafik Keseluruhan Umur Pelayanan pada setiap Perkerasan Lentur	137
<b>Gambar 5.18</b> Grafik Perbandingan Faktor Keamanan Kestabilan Lereng pada Keruntuhan Global	138

**Gambar 5.19** Grafik Hubungan Faktor Keamanan Antara Putus dan Cabut Tulangan dari *Nail*

139



## Daftar Lampiran

<b>Lampiran 1.</b> Layout Sta. 17+125 – 17+408	L-1
<b>Lampiran 2.</b> <i>Cross Section</i> Lereng <i>Eksisting</i> dengan Perkuatan oleh BPJN Papua Barat	L-2
<b>Lampiran 3.</b> Data Struktur Perkerasan Lentur <i>Eksisting</i>	L-3
<b>Lampiran 4.</b> Data Investigasi Tanah	L-4
<b>Lampiran 5.</b> <i>Output</i> Program <i>Kenpave Kenlayer</i>	L-7
<b>Lampiran 6.</b> <i>Output</i> Program <i>Geo5</i>	L-8



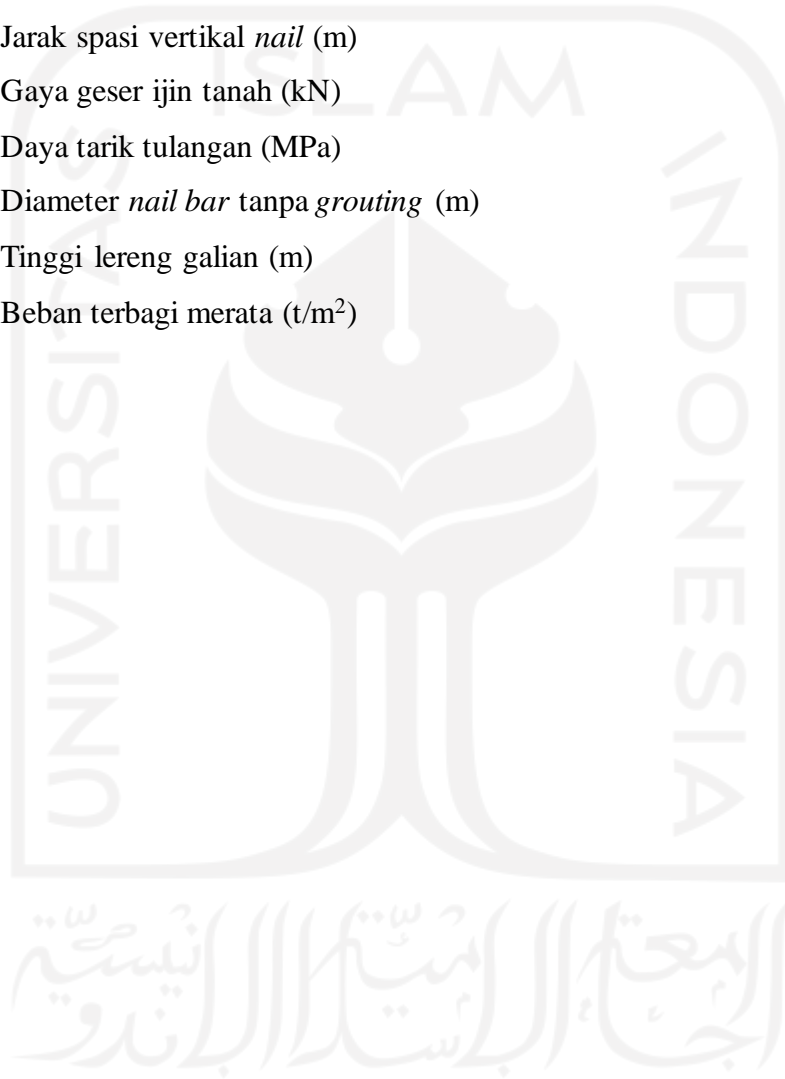
## Daftar Notasi dan Singkatan

Ac	= Kontak area ( <i>The area of contact</i> ) (t/m <sup>2</sup> )
q	= Beban (t)
a	= <i>Tire pressure</i> (tekanan ban) (m <sup>2</sup> )
Pd	= Beban untuk satu roda
Sd	= Jarak antar 2 roda
LHRT	= Lalu lintas harian rata-rata tahunan
LHRo	= Lalu lintas harian rata-rata awal umur rencana
n	= Umur rencana (tahun)
i	= Angka pertumbuhan (%)
R	= Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas
UR	= Umur rencana (tahun)
ESA	= Lintasan harian rata – rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan perhari)
LHR	= Lalu lintas hari rata-rata (satuan kendaraan)
VDF	= <i>Vehicle damage factor</i> (Faktor ekivalen beban)
CESAL	= Kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana
DL	= Faktor distribusi lajur
DD	= Faktor distribusi arah
R	= Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif
E	= Modulus elastisitas (kPa atau Psi)
$\tau$	= Tegangan (kPa)
$\varepsilon$	= Regangan (%)
p	= Beban kendaraan (kN/lns)
Nf	= Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol <i>fatigue cracking</i>
$\varepsilon_t$	= <i>Tensile strain</i> di lokasi tinjauan yang dihitung berdasarkan respon model struktur regangan tarik pada bagian bawah lapis permukaan



$\nu$	= <i>Poisson,s ratio</i>
$ E^* $	= Modulus elastisitas pada lapis permukaan atau lapis HMA
$N_r$	= Jumlah nilai beban repitisi yang diijinkan untuk mengontrol <i>rutting</i>
$N_d$	= Jumlah nilai beban repitisi yang diijinkan untuk mengontrol <i>deformation</i>
$\epsilon_c$	= Regangan tekan vertikal di atas lapisan dasar
$f_5$	= Koefisien kriteria deformasi permanen
$f_4$	= Koefisien kriteria deformasi permanen
SF	= Faktor aman
$\tau$	= Tahanan geser maksimum
$\tau_d$	= Tahanan geser yang timbul akibat gaya berat tanah yang akan longsor
$c$	= Kohesi (kN/m <sup>2</sup> )
$\sigma$	= Tegangan normal
$\phi$	= Sudut geser dalam tanah (°)
$c_d$	= Kohesi yang terjadi
$\phi_d$	= Sudut gesek dalam yang terjadi
$N_i$	= Resultan gaya normal efektif
$U_i$	= Tekanan air pori
$R$	= Jari-jari lingkaran longsor (m)
$W_i$	= Berat massa tanah irisan ke-i (kN)
$\Theta_i$	= Sudut yang didefinisikan (°)
$F_h$	= Gaya seismik
$K_h$	= Koefisien percepatan horizontal
$\alpha$	= kemiringan bidang longsor (°)
$\beta$	= kemiringan lereng (°)
$T$	= Gaya tarik ijin tulangan (kN)
$V$	= Gaya geser ijin tulangan (kN)
$R_n$	= Daya dukung tarik tulangan (kN)
$L_f$	= Panjang bidang gelincir (m)
$L_e$	= Panjang <i>nail</i> belakang bidang longsor (m)

- $K_a$  = Koefisien tekanan tanah lateral
- $\gamma$  = Berat volume tanah ( $t/m^3$ )
- $L$  = Panjang *nail* (m)
- $\sigma_h$  = Tegangan horizontal ( $t/m^2$ )
- $S_v$  = Jarak spasi vertikal *nail* (m)
- $P_u$  = Gaya geser ijin tanah (kN)
- $F_y$  = Daya tarik tulangan (MPa)
- $D$  = Diameter *nail bar* tanpa *grouting* (m)
- $H$  = Tinggi lereng galian (m)
- $q$  = Beban terbagi merata ( $t/m^2$ )



## Abstrak

Kestabilan lereng sangat berpengaruh pada beban-beban yang bekerja di atas lereng, seperti pada kasus ini beban kendaraan dan beban perkerasan jalan akan memberikan dampak yang signifikan. Sehingga, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kondisi-kondisi tersebut.

Untuk mempermudah proses analisis maka dalam penelitian ini akan dibantu dengan program *Kenpave* dan program *Geo5*. Metode Bina Marga 2017 digunakan untuk menentukan jenis struktur perkerasan berdasarkan repitisi beban kendaraan. Setelah memperoleh jenis struktur perkerasan dan jenis kendaraan maka dapat dilakukan analisis kestabilan lereng perkuatan *soil nailing* menggunakan metode Baji.

Hasilnya diperoleh desain alternatif 3 perkerasan lentur berupa *AC-WC* 4 cm, *AC-BC* 5 cm, *AC Base* 6 cm, dan LFA Kelas A 40 cm mampu mencapai umur pelayanan sebesar 20 tahun sampai terjadi kerusakan *deformation*, dengan nilai repetisi beban *ESAL* sebesar 2.363.985. Untuk desain perkuatan lereng *soil nailing* diperoleh nilai faktor aman sebesar 1,90 ( $SF \geq 1,30$ ) untuk perhitungan manual metode Baji, dan nilai faktor aman sebesar 1,34 ( $SF \geq 1,30$ ) untuk hasil program *Geo5*, dari kedua hasil tersebut dianggap lereng telah aman.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kota Sorong sebagai pintu masuk daratan Papua dan Papua Barat secara khusus menjadikannya berada di jalur strategis. Seperti yang dipaparkan oleh (Ekonomi Bisnis.com n.d.) Kota Sorong di Provinsi Papua Barat memiliki potensi strategis sebagai pusat pertumbuhan nasional dan penggerak ekonomi wilayah. Dirjen Penyediaan Perumahan Kementerian PUPR, Hamid (2020) mengatakan pengembangan pada tahap pertama direncanakan mulai selama 2019-2028 diarahkan pada permukiman, kawasan industri, pusat kota baru, dan Ruang Terbuka Hijau (RTH). Sebagai bentuk perhatian terhadap infrastruktur jalan di Papua Barat, Wakil Menteri PUPR, Jhon Wempi Wetipo dalam kunjungannya ke jalan trans Sorong-Tambrauw guna melihat secara dekat kondisi jalan tersebut kemudian diagendakan untuk pengerjaan jalan. Wakil Menteri PUPR, Wetipo (2020) menjelaskan ruas jalan nasional Sorong-Makbon-Mega sepanjang 103 Km merupakan ruas jalan yang ditangani Satuan Kerja Wilayah II Sorong. Panjang fungsional ruas 55,75 Km dan panjang efektif jalan tanah (japat/urpil) 33,5 Km. Ruas jalan ini juga menggunakan skema *Multi Years Contract* (MYC) 3 tahun anggaran, 2020, 2021, 2022 dan saat ini masih dalam proses lelang karena mengalami 1 kali gagal proses pelelangan (Vini, 2020).

Pada satu bagian ruas jalan Sorong-Makbon Sta. 17+310 secara geografis terletak pada pegunungan yang berpotensi longsor, dengan sudut kemiringan  $37^\circ$  lereng masuk dalam kategori sangat curam. Kondisi tersebut tidak menguntungkan karena dapat mempermudah masa tanah untuk bergerak. Dengan demikian diperlukan infrastuktur yang aman dan mampu memberikan pelayanan bagi pengendara. Mengingat urgensinya, suatu lereng dapat dikategorikan tingkat bahayanya berdasarkan evaluasi stabilitas lereng dengan menganalisis faktor keamanan lereng. Hal tersebut yang dijadikan alasan kenapa perlu untuk dievaluasi pada penelitian ini,

dengan asumsi bahwa lereng *eksisting* (tanpa perkuatan) belum aman. Untuk mengatasi hal tersebut maka Balai Pelaksana Jalan Nasional (BPJN) Papua Barat, Satker Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Papua Barat (2020) membuat perencanaan khusus daerah rawan longsor. Kegiatan ini difokuskan pada perkuatan lereng dan pelebaran jalan. Metode perkuatan lereng yang digunakan BPJN Papua Barat adalah dengan menggunakan beronjong berangkur dan geotekstil komposit.

Untuk memperkuat alasan yang disampaikan setidaknya ada dua penelitian terpublikasi yang berhubungan dengan lereng dan struktur perkerasan jalan. Menurut Chasanah (2012) dalam studinya menyatakan bahwa akibat adanya struktur perkerasan jalan di atas lereng akan memberikan suatu pembebanan dan menimbulkan gaya vertikal kumulatif dari kendaraan dan struktur perkerasan, dengan adanya tekanan vertikal yang berada di atas lereng tersebut maka lereng harus mampu menahan gaya tersebut. Sejalan itu, Setiawan dkk. (2016) menyatakan bahwa tujuan dari dibangunnya struktur perkerasan yang stabil di atas tanah alami adalah agar tersedianya lapis aus yang baik untuk mendukung proses pendistribusian beban kendaraan. Ketebalan dari setiap lapisan struktur perkerasan harus mampu melindungi tanah alami (tanah dasar) dari beban kendaraan, oleh sebab itu pemilihan jenis lapisan struktur perkerasan harus tepat guna.

Berdasarkan hasil observasi yang telah dijelaskan, dapat ditarik kesimpulan bahwa ketika lereng *eksisting* akan dievaluasi maka beban-beban yang bekerja harus diperhitungkan, secara otomatis struktur perkerasan lentur juga akan terevaluasi. Usulan perkuatan lereng pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan *soil nailing*. Selain itu perangkat lunak *Geo5* dan *Kenpave* digunakan untuk memudahkan dalam proses analisis evaluasi lereng dan struktur perkerasan. Oleh karena itu penelitian tentang evaluasi struktur perkerasan lentur jalan di atas tanah rawan longsor akan dilakukan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka permasalahan yang dapat dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah desain alternatif struktur perkerasan lentur pada Ruas Jalan Sorong-Makbon Sta. 17+125 – Sta. 17+408 dengan menggunakan metode Bina Marga 2017?
2. Bagaimanakah hasil respon tegangan regangan terhadap umur pelayanan struktur perkerasan lentur *eksisting* dan berbagai alternatif desain pada Ruas Jalan Sorong-Makbon Sta. 17+125 – Sta. 17+408 berdasarkan *output software Kenpave*?
3. Bagaimanakah stabilitas dari lereng tanpa perkuatan dan lereng dengan perkuatan *soil nailing* pada Ruas Jalan Sorong-Makbon Sta. 17+310 dengan menggunakan metode perhitungan manual dan *software Geo5*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengusulkan berbagai alternatif desain struktur lapis perkerasan lentur dengan metode Bina Marga 2017 pada Ruas Jalan Sorong-Makbon Sta. 17+125 – Sta. 17+408.
2. Mengevaluasi respon tegangan-regangan dan memprediksi umur pelayanan struktur perkerasan lentur *eksisting* dan berbagai alternatif desain berdasarkan *output software Kenpave* pada Ruas Jalan Sorong-Makbon Sta. 17+125 – Sta. 17+408.
3. Mengetahui perbandingan stabilitas lereng tanpa perkuatan dan lereng dengan perkuatan *soil nailing* menggunakan metode perhitungan manual dan *software Geo5* pada Ruas Jalan Sorong-Makbon Sta. 17+310.

## 1.4 Batasan Penelitian

Agar penelitian ini dapat berfokus dan terarah maka penelitian dibatasi sebagai berikut.

1. Lokasi penelitian hanya pada ruas jalan Sorong-Makbon Sta. 17+125 – Sta. 17+408, terkhusus untuk penanganan lereng berada pada Sta. 17+310.
2. Data yang digunakan dalam analisis menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Balai Pelaksana Jalan Nasional Papua Barat Satker Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Provinsi (P2JN) Papua Barat Tahun 2020.
3. Data lalu lintas harian yang digunakan adalah hasil yang diperoleh dari Dinas Perhubungan Kabupaten Sorong (2019).
4. Tebal perkerasan dan repitisi beban kendaraan menggunakan metode Bina Marga 2017.
5. Perhitungan respon tegangan regangan menggunakan *software Kenpave-Kenlayer*
6. Prediksi kerusakan perkerasan lentur dengan meninjau *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*.
7. Analisis stabilitas lereng menggunakan metode *Fellenius Sliced Method*, Baji (*Wedge*), dan program *Geo5*.
8. Data tanah dan struktur perkerasan lentur *eksisting* diperoleh dari P2JN Papua Barat (2020).
9. Pengaruh terhadap stabilitas lereng ditinjau berdasarkan akibat beban struktur perkerasan jalan, beban sumbu kendaraan, beban gempa, dan topografi lereng.
10. Perkuatan yang diaplikasikan hanya menggunakan *driven soil nailing* (tanpa *grouting*) dengan spesifikasi sesuai kebutuhan di lapangan.
11. Data gempa yang digunakan bersumber dari [rsa.ciptakarya.pu.go.id](http://rsa.ciptakarya.pu.go.id) (2021)

## 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun hasil yang dapat dimanfaatkan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui alternatif lain dalam penanganan struktur perkerasan jalan sampai pada tahapan evaluasi sesuai analisis yang ada.
2. Mengetahui penanganan yang tepat untuk dapat meminimalisir terjadinya longsor menggunakan perkuatan *soil nailing*.
3. Menambah wawasan ilmu pengetahuan dalam bidang keteknikan transportasi yang lebih luas.





## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Umum**

Deformasi permanen dapat dikontrol dengan menggunakan regangan tekan vertikal berdasarkan kesamaan antara regangan elastis dan regangan plastis dalam bahan perkerasan. Dibatasinya regangan elastis yang terjadi pada tanah dasar akan mengontrol komponen-komponen lain di atas tanah dasar, dalam hal ini bagian lapis permukaan akan ikut terkendali. (Dinata dkk., 2017). Bangunan di atas tanah umumnya akan menimbulkan tegangan dan regangan pada tanah. Tegangan yang terjadi akan menyebar ke bawah dan semakin ke bawah tegangannya akan semakin kecil. Akibat dari tegangan tersebut memberikan pengaruh secara volumetric atau yang disebut regangan. Apabila gaya-gaya dari luar yang terjadi melebihi tegangan tanah maka tanah akan mengalami deformasi atau penurunan.

#### **2.2 Penelitian Struktur Perkerasan Lentur dan *Kenpave***

Setiawan dkk., (2016) dalam penelitiannya telah merancang tebal perkerasan dan nilai kemampuan jalan dalam mengalami retak leleh dan retak alur pada ruas Jalan Masopati-Sukomoro. Metode empiris yang digunakan dalam penelitiannya adalah metode Bina Marga 1987 dan *AASHTO* 1993 yang kemudian dianalisis menggunakan metode mekanistik yaitu program *Kenpave*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa tebal perkerasan yang dirancang dengan metode Bina Marga 1987 tidak mampu mengakomodasi repetisi beban kendaraan untuk jenis kerusakan *fatigue cracking* dan *rutting*, dengan tebal perkerasan sebesar 7,5 cm untuk lapis permukaan, 20 cm untuk lapis pondasi atas, dan 28 cm pada lapis pondasi bawah. Tebal perkerasan yang dirancang dengan metode *AASHTO* 1993 menghasilkan perkerasan sebesar 16 cm untuk lapis permukaan, 10 cm untuk lapis pondasi atas dan 15 cm untuk lapis pondasi bawah.

Dinata dkk., (2017) melakukan penelitian di ruas Jalan Karangmojo-Semin Sta. 0+000 – 4+050 untuk mengevaluasi perbandingan tebal perkerasan menggunakan dua metode dan menganalisis tegangan regangan yang terjadi. Metode yang digunakan adalah metode analisa komponen dari Bina Marga 1987 dan metode *AASHTO* 1993 dengan analisis tegangan regangan menggunakan program *Kenpave*. Hasil dari perhitungan tebal perkerasan diperoleh bahwa nilai tebal perkerasan dengan menggunakan metode *AASHTO* 1993 lebih tebal dibandingkan dengan Metode Bina Marga 1987. Hasil evaluasi menggunakan program *Kenpave* menunjukkan potensi terjadi kerusakan akibat tegangan dan regangan yang lebih besar adalah dengan metode Bina Marga 1987.

Rahmawati dkk., (2018) melakukan penelitian dengan membandingkan nilai tebal perkerasan menggunakan metode analisa komponen 1987, metode *Austroroads* 2004 dan metode *Asphalt Institute* 1999, serta menganalisis kerusakan jalan lentur menggunakan program *Kenpave* sehingga didapat nilai repetisi beban untuk kerusakan retak lelah (*fatigue cracking*) dan retak alur (*rutting*). Berdasarkan metode *Asphalt Institute* diperoleh tebal perkerasannya memiliki nilai terkecil, kemudian setelahnya metode analisa komponen, dan yang paling tebal metode *Austroroads*. Dari nilai tebal perkerasan tersebut maka telah dilakukan analisis kerusakan yang menunjukkan bahwa tebal perkerasan Metode *Austroroads* mampu mencapai umur rencana, sedangkan tebal perkerasan metode analisa komponen dan metode *Asphalt Institute* akan mengalami kerusakan sebelum umur rencana.

Maryam & Putra (2020) dalam penelitiannya mendesain struktur perkerasan lentur berlokasi di jalan luar lingkaran Timur Surabaya. Dengan menggunakan 5 metode yang dikeluarkan oleh Bina Marga, diantaranya keluaran tahun 1987, 2002, 2011, 2013, dan 2017 yang kemudian dari hasil desainnya akan dibandingkan. Pengumpulan data berupa data primer tentang kondisi wilayah pada jalan luar lingkaran Timur Surabaya dan data sekunder berupa data LHR, data *CBR*, data geometrik jalan dan data curah hujan. Pada penelitiannya diperoleh hasil yang efektif dengan menggunakan metode Bina Marga 2002 berupa CTB apabila sumber daya memadai dan mudah untuk

diaplikasikan. Jika tidak mudah dan sulit dalam penggunaan CTB maka dapat digunakan jenis struktur perkerasan berupa lapis permukaan *AC WC* setebal 5 cm dan *AC BC* setebal 20 cm, untuk lapis pondasi atas kelas A setebal 15 cm dengan CBR 95%, dan lapis pondasi bawah setebal kelas B setebal 20 cm dengan CBR 80%.

### 2.3 Penelitian Tentang Perkuatan Lereng *Soil Nailing*

Ummu dkk., (2020) meneliti tentang Analisis stabilitas lereng akibat beban bangunan perumahan dengan menggunakan perkuatan soil nailing untuk meningkatkan nilai SF yang hanya sebesar  $0,341 < 1,5$  (lereng sebelum perkuatan). Metode yang digunakan yaitu metode *Fellenius* untuk menganalisis lereng sebelum perkuatan. Pemasangan *soil nail* dengan panjang 10 m, jarak vertikal horisontal 1 m, dan kemiringan *nail*  $20^\circ$ , dengan metode Baji (*Wedge*) untuk menganalisis lereng dengan perkuatan *soil nail*, dan dengan bantuan program *Geoslope* untuk menjadi pembanding dalam analisis lereng dengan perkuatan. Hasilnya analisis metode Baji SF  $1,617 > 1,5$  (keruntuhan global), SF  $2,916 > 1,5$  (gaya geser), dan  $\sigma_{ijin} \text{ (max)} 17686,979 \text{ kN/m}^2 < (\text{Qijin}) 129712,94 \text{ kN/m}^2$  untuk daya dukung dengan tambahan pelat bawah lebar 1 m. Semakin kecil sudut pemasangan nail maka semakin besar SF stabilitas internal, gaya geser, dan putus cabut tulangan. Terdapat perbedaan antara metode Baji (manual) dengan program *Geoslope*, disebabkan metode Baji menggunakan bidang gelincir planar dan analisis program *Geoslope* menggunakan bidang gelincir lingkaran.

Kumalasari (2012) dalam penelitiannya tentang analisis stabilitas lereng bersifat teoritis yang akan diberikan perkuatan *soil nailing* dengan variasi kemiringan lereng. Metode yang digunakan yaitu metode *Bishop* untuk menganalisis lereng tanpa perkuatan. Variasi kemiringan lereng  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ , dan  $90^\circ$ . Pemasangan *nail* dengan variasi sudut  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ , dan  $30^\circ$ , dengan jarak setiap nail 1m, 1,5m, dan 2m. Menggunakan metode *Wedge* (Baji) untuk menganalisis lereng perkuatan *soil nail*, dan dengan bantuan program *Geoslope* untuk menjadi pembanding dalam analisis lereng dengan perkuatan. Hasil penelitiannya diperoleh bahwa apabila lereng semakin curam maka nilai faktor keamanan akan berkurang. Kemiringan lereng yang ditambahkan dari

45° ke 60° dan dari 60° ke 90° yang menjadi penyebab turunnya nilai faktor keamanan sebesar 7% dan 47% pada perhitungan manual, 6% dan 46% dengan menggunakan program Geoslope. Jarak antar nail yang ditambahkan sebesar ( $\Delta H$ ) = 0,5m akan menjadi penyebab berkurangnya faktor keamanan sebesar 16% dan 30% dari perhitungan manual dan Geoslope. Sudut kemiringan nail yang ditambahkan sebesar ( $i$ )=10° menjadi penyebab turunnya faktor keamanan sebesar +14% untuk perhitungan manual dan sebesar +16% untuk program Geoslope. Perbandingan nilai faktor aman analisis stabilitas terhadap kelongsoran lereng perhitungan manual menggunakan metode Baji dan menggunakan program geoslope yaitu sebesar 50%.

Hanif & Setiawan (2017) melakukan penelitian tentang analisis stabilitas lereng yang diberikan perkuatan *soil nailing* dengan variasi kemiringan lereng, panjang *nail*, dan bentuk lereng. Metode yang digunakan yaitu metode *Fellenius* untuk menganalisis lereng tanpa perkuatan dan lereng dengan perkuatan. Terdapat 16 kombinasi variasi dengan kemiringan dan bentuk lereng 60° dan 90° (tanpa trap), 60° dan 90° (satu trap), panjang *nail* tanpa perkuatan, 8 m, 10 m, dan 12m. Hasil penelitiannya didapat bahwa perubahan sudut kemiringan lereng dari 60° menjadi 90° dapat menurunkan SF sebesar 52,6%. Pertambahan panjang nail dari 8 m menjadi 10 m meningkatkan SF rata-rata sekitar 14,8% sedangkan dari 10 m menjadi 12 m meningkat sebesar 11,3%. Pertambahan panjang nail dari 8 m menjadi 12 m meningkatkan SF rata-rata sekitar 27,9%. Perubahan bentuk lereng dari tanpa trap menjadi satu trap dengan bench selebar 4 m pada setengah tinggi lereng dapat meningkatkan SF sekitar 23,2%. Perubahan bentuk lereng ini juga dapat memperlebar bidang longsor kritis di bawah lereng dan menurunkan stabilitas internal tulangan.

Riogilang (2014) pada penelitiannya menganalisis stabilitas lereng longsor akibat dari pengaruh banjir bandang, yang berdampak pada layanan penghubung kawasan berkembang dan pusat kegiatan wilayah antara Kota Manado dan Kota Tomohon, Sta. 7+250. Oleh karena itu dilakukan perkuatan dengan menggunakan *soil nailing*. Metode yang digunakan yaitu dengan mengumpulkan data tanah langsung dari lokasi penelitian dengan potongan lereng. Kemudian berdasarkan data tersebut

dimasukkan ke dalam program *Plaxis 2D* yang dianalisis berdasarkan *Finite Element Method*. Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa kemiringan secara keseluruhan telah berkurang sehingga diperlukan perkuatan lereng. Pada lereng-lereng yang telah menggunakan perkuatan dengan teknik *soil nailing*, penurunan muka tanah telah berkurang dan arah penurunan telah berubah sehingga longsoran terjadi secara menyamping (bergerak). Setelah dilakukan perkuatan lereng bawah, terlihat bahwa tidak ada penurunan, namun dengan asumsi ada kondisi genangan air di daerah tersebut, penurunan tanah tidak dapat dihindarkan.



**Tabel 2.1** Rekapitulasi Penelitian Terdahulu

Penelitian	Tentang Perkerasan Lentur			
	(Setiawan dkk., 2016)	(Dinata dkk., 2017)	(Rahmawati dkk., 2018)	(Maryam & Putra, 2020)
<b>Daerah</b>	Yogyakarta	Yogyakarta	Kabupaten Kebumen	Surabaya
<b>Topik</b>	Merancang tebal struktur perkerasan lentur dan nilai kemampuan jalan dalam mengalami retak leleh dan retak alur pada Ruas Jalan Maospati-Sukomoro.	Mengevaluasi perbandingan tebal struktur perkerasan lentur menggunakan dua metode pada Ruas Jalan Karangmojo-Semin Sta. 0+000 – 4+050.	Dalam rangka peningkatan dan pengembangan kualitas jalan, maka peneliti ingin mendapatkan dan membandingkan nilai tebal perkerasan dan menganalisis kerusakan jalan lentur.	Merencanakan tebal struktur perkerasan lentur menggunakan 5 metode dan membandingkannya.
<b>Metode</b>	Metode empiris yang digunakan yaitu Bina Marga 1987 dan AASHTO 1993, sedangkan untuk metode mekanistik menggunakan program <i>Kenpave</i>	Metode Analisa Komponen dari Bina Marga 1987 dan Metode AASHTO 1993 dengan analisis tegangan regangan menggunakan program <i>Kenpave</i> .	Metode Analisa Komponen 1987, Metode <i>Austroads</i> 2004 dan Metode <i>Asphalt Institute</i> 1999, kemudian menganalisis kerusakan jalan lentur menggunakan program <i>Kenpave</i> .	Metode Bina Marga 1987, 2002, 2011, 2013, dan 2017.
<b>Hasil</b>	Metode Bina Marga 1987 kurang mampu memenuhi repetisi beban kendaraan dengan tebal perkerasan 5 cm untuk lapis permukaan, 20 cm untuk LPA, serta 28 cm pada LPB. Metode AASHTO 1993 mampu memenuhi repetisi beban kendaraan dengan tebal perkerasan 16 cm untuk lapis permukaan, 10 cm untuk LPA, serta 15 cm pada LPB.	Metode AASHTO 1993 dengan tebal perkerasan 15 cm untuk lapis permukaan, 10 cm untuk LPA, serta 20 cm pada LPB. Metode Bina Marga 1987 dengan tebal perkerasan 10 cm untuk lapis permukaan, 20 cm untuk LPA, serta 20 cm pada LPB. Yang mampu memenuhi repetisi beban hanyalah Metode AASHTO 1993.	Metode Analisa Komponen dengan tebal perkerasan 7,5 cm untuk lapis permukaan, 10 cm untuk LPA, serta 15 cm pada LPB. Metode <i>Austroads</i> dengan tebal perkerasan 7,5 cm untuk lapis permukaan, 13 cm untuk LPA, serta 50 cm pada LPB. Metode <i>Asphalt Institute</i> dengan tebal perkerasan 5 cm untuk lapis permukaan, 10 cm untuk LPA, serta 15 cm pada LPB. Yang mampu memenuhi repetisi beban hanyalah Metode <i>Austroads</i> .	Metode Bina Marga 2002 akan lebih efektif apabila CTB sulit untuk diimplementasikan atau sumber daya tidak memadai, maka solusinya adalah dengan menggunakan lapis permukaan AC WC setebal 15 cm dan AC BC setebal 20 cm, untuk lapis pondasi atas kelas A setebal 15 cm dengan CBR 95%, dan lapis pondasi bawah setebal kelas B setebal 20 cm dengan CBR 80%.

Sumber: Setiawan dkk., (2016), Dinata dkk., (2017), Rahmawati dkk., (2018), Maryam & Putra (2020)

Lanjutan **Tabel 2.1.** Rekapitulasi Penelitian Terdahulu

Penelitian	Tentang Perkuatan Lereng <i>Soil Nailing</i>			
	(Ummu dkk., 2020)	(Kumalasari, 2012)	(Hanif & Setiawan, 2017)	(Riogilang, 2014)
<b>Daerah</b>	Pasuruan	Surakarta	Malang	Manado
<b>Topik</b>	Analisis stabilitas lereng akibat beban bangunan perumahan dengan menggunakan perkuatan <i>soil nailing</i> untuk meningkatkan nilai SF yang hanya sebesar 0,341 < 1,5 (lereng sebelum perkuatan).	Analisis stabilitas lereng bersifat teoritis yang akan diberikan perkuatan <i>soil nailing</i> dengan variasi kemiringan lereng, kemiringan <i>nail</i> , dan jarak antar <i>nail</i> .	Analisis stabilitas lereng yang diberikan perkuatan <i>soil nailing</i> dengan variasi kemiringan lereng, panjang <i>nail</i> , dan bentuk lereng.	Analisis stabilitas lereng longsor akibat dari pengaruh banjir bandang yang berdampak pada layanan penghubung kawasan berkembang dan pusat kegiatan wilayah antara Kota Manado dan Kota Tomohon, Sta. 7+250. Oleh karena itu dilakukan perkuatan dengan menggunakan <i>soil nailing</i> .
<b>Metode</b>	Metode yang digunakan yaitu metode <i>Fellenius</i> untuk menganalisis lereng sebelum perkuatan. Pemasangan <i>soil nail</i> dengan panjang 10 m, jarak vertikal horizontal 1 m, dan kemiringan <i>nail</i> 20°, dengan metode Baji ( <i>Wedge</i> ) untuk menganalisis lereng dengan perkuatan <i>soil nail</i> , dan dengan bantuan program <i>Geoslope</i> untuk menjadi pembanding dalam analisis lereng dengan perkuatan.	Metode yang digunakan yaitu metode <i>Bishop</i> untuk menganalisis lereng tanpa perkuatan. Variasi kemiringan lereng 45°, 60°, dan 90°. Pemasangan <i>nail</i> dengan variasi sudut 10°, 20°, dan 30°, dengan jarak antar <i>nail</i> 1m, 1,5m, dan 2m. Menggunakan metode Baji ( <i>Wedge</i> ) untuk menganalisis lereng dengan perkuatan <i>soil nail</i> , dan dengan bantuan program <i>Geoslope</i> untuk menjadi pembanding dalam analisis lereng dengan perkuatan.	Metode yang digunakan yaitu metode <i>Fellenius</i> untuk menganalisis lereng tanpa perkuatan dan lereng dengan perkuatan. Terdapat 16 kombinasi variasi dengan kemiringan dan bentuk lereng 60° dan 90° (tanpa trap), 60° dan 90° (satu trap), panjang <i>nail</i> tanpa perkuatan, 8 m, 10 m, dan 12m.	Metode yang digunakan yaitu dengan mengumpulkan data tanah langsung dari lokasi penelitian dengan potongan lereng. Kemudian berdasarkan data tersebut dimasukkan ke dalam program <i>Plaxis 2D</i> yang dianalisis berdasarkan <i>Finite Element Method</i> .
<b>Hasil</b>	Hasil analisis metode Baji SF 1,617 > 1,5 (keruntuhan global),	Hasil analisis diperoleh bahwa semakin curam lereng, maka nilai	Perubahan sudut kemiringan lereng dari 60° menjadi 90° dapat	Kemiringan secara keseluruhan telah berkurang sehingga diperlukan

Sumber: Ummu dkk., (2020), Kumalasari (2012), Hanif & Setiawan (2017), Riogilang (2014)

Lanjutan **Tabel 2.1.** Rekapitulasi Penelitian Terdahulu

Penelitian	Tentang Perkuatan Lereng			
	(Ummu dkk., 2020)	(Kumalasari, 2012)	(Hanif & Setiawan, 2017)	(Riogilang, 2014)
Daerah	Pasuruan	Surakarta	Malang	Jawa Timur
Hasil	SF $2,916 > 1,5$ (gaya geser), dan $\sigma_{ijin} (max) 17686,979 \text{ kN/m}^2 < (Q_{ijin}) 129712,94 \text{ kN/m}^2$ untuk daya dukung dengan tambahan pelat bawah lebar 1 m. Semakin kecil sudut pemasangan <i>nail</i> maka semakin besar SF stabilitas internal, gaya geser, dan putus cabut tulangan. Terdapat perbedaan antara metode Baji (manual) dengan program <i>Geoslope</i> , disebabkan metode Baji menggunakan bidang gelincir planar dan analisis program <i>Geoslope</i> menggunakan bidang gelincir lingkaran.	Faktor keamanan akan berkurang. Kemiringan lereng dari $45^\circ$ ke $60^\circ$ dan dari $60^\circ$ ke $90^\circ$ yang menjadi penyebab turunnya nilai faktor keamanan sebesar 7% dan 47% pada perhitungan manual, 6% dan 46% dengan menggunakan program <i>Geoslope</i> . Jarak antar nail yang ditambahkan sebesar $(\Delta H) = 0,5\text{m}$ akan menjadi penyebab berkurangnya faktor keamanan sebesar 16% dan 30% dari perhitungan manual dan <i>Geoslope</i> . Sudut kemiringan nail yang ditambahkan sebesar $(i)=10^\circ$ menjadi penyebab turunnya faktor keamanan sebesar +14% untuk perhitungan manual dan sebesar +16% untuk program <i>Geoslope</i> . Perbandingan nilai faktor aman analisis stabilitas terhadap kelongsoran lereng perhitungan manual menggunakan metode Baji dan menggunakan program <i>geoslope</i> yaitu sebesar 50%.	menurunkan nilai SF sebesar 52,6%. Pertambahan panjang nail dari 8 m menjadi 10 m meningkatkan SF rata-rata sekitar 14,8% sedangkan dari 10 m menjadi 12 m meningkat sebesar 11,3%. Pertambahan panjang nail dari 8 m menjadi 12 m meningkatkan SF rata-rata sekitar 27,9%. Perubahan bentuk lereng dari tanpa trap menjadi satu trap dengan bench selebar 4 m pada setengah tinggi lereng dapat meningkatkan SF sekitar 23,2%. Perubahan bentuk lereng ini juga dapat memperlebar bidang longsor kritis di bawah lereng dan menurunkan stabilitas internal tulangan.	perkuatan lereng. Pada lereng-lereng yang telah menggunakan perkuatan dengan teknik soil nailing, penurunan muka tanah telah berkurang dan arah penurunan telah berubah sehingga longsoran terjadi secara menyamping (bergerak). Setelah dilakukan perkuatan lereng bawah, terlihat bahwa tidak ada penurunan, namun dengan asumsi ada kondisi genangan air di daerah tersebut, penurunan tanah tidak dapat dihindarkan.

Sumber: Ummu dkk., (2020), Kumalasari (2012), Hanif & Setiawan (2017), Riogilang (2014)



Penelitian ini bukanlah hal yang baru dilakukan karena telah banyak penelitian sejenis yang menjadi bahan rujukan. Terdapat persamaan dan perbedaan pada penelitian ini dan penelitian sejenis lainnya. Persamaannya adalah banyak penelitian yang menggunakan metode Bina Marga 2017 & *software Kenpave* untuk perencanaan perkerasan lentur, demikian juga dalam penggunaan *soil nailing* & mencari nilai faktor aman menggunakan *software* untuk lereng. Perbedaannya adalah terdapat pada waktu dan lokasi penelitian.

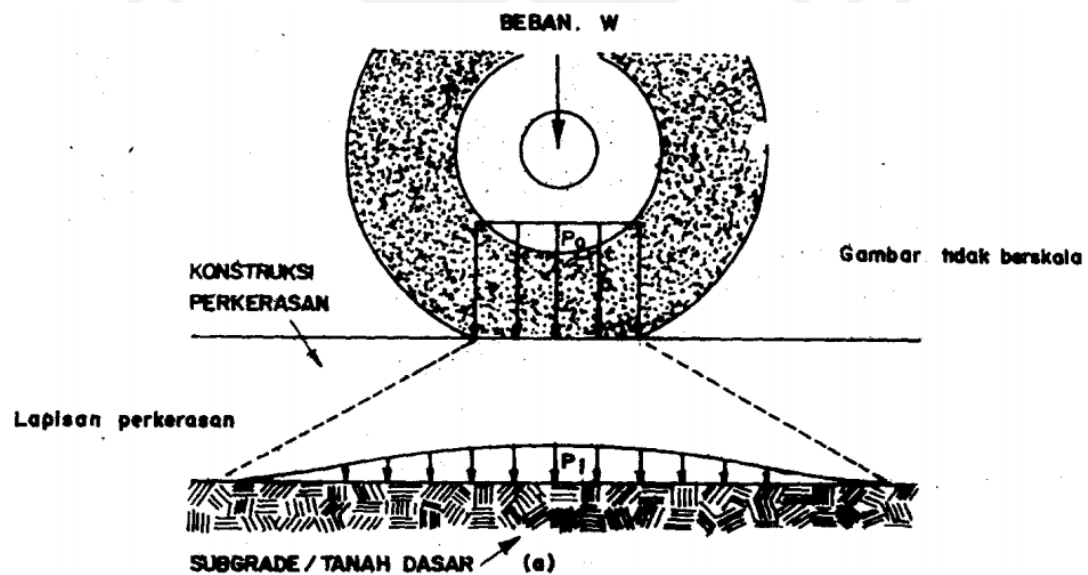


## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Perkerasan Lentur

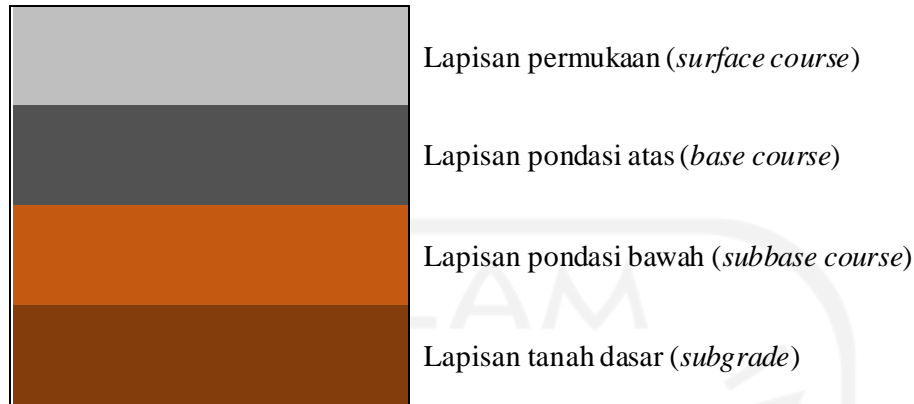
Pengembangan aspal adaptif terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan di atas tanah yang dipadatkan. Kemampuan lapisan ini untuk mendapatkan beban lalu lintas dan memberikannya kepada lapisan di bawahnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini,



**Gambar 3.1** Penyebaran Beban Roda Melalui Lapisan Perkerasan Jalan

(Sumber: Sukirman, 1999)

Pada Gambar 3.1 terlihat bahwa beban kendaraan dilimpahkan keperkerasan jalan melalui bidang kontak roda berupa beban terbagi rata  $P_0$ . Beban tersebut diterima oleh lapisan permukaan dan disebarkan ketanah dasar menjadi  $P_1$ , yang lebih kecil dari daya dukung tanah dasar. Untuk konstruksi lapisan perkerasan pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2** Susunan Lapis Konstruksi Perkerasan Lentur

Beban lalu lintas yang bekerja di atas konstruksi perkerasan dapat dibedakan atas:

1. muatan kendaraan berupa gaya vertikal,
2. gaya rem kendaraan berupa gaya horizontal, dan
3. pukulan roda kendaraan berupa getaran-getaran.

Sifat penyebaran gaya maka muatan yang diterima oleh masing-masing lapisan berbeda dan semakin ke bawah semakin kecil. Lapisan permukaan harus mampu menerima seluruh jenis gaya yang bekerja, lapis pondasi atas menerima gaya vertikal dan getaran, sedangkan tanah dasar dianggap hanya menerima gaya vertikal saja. Oleh karena itu terdapat perbedaan syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh masing-masing lapisan.

*Flexibel pavement* atau perkerasan lentur adalah jenis struktur perkerasan dari material aspal yang berfungsi untuk bahan ikat dengan kelenturan adalah sifat yang dimiliki oleh aspal, hal tersebut membuat aspal mampu kembali pada keadaan semula setelah diberikan pembebanan. Struktur perkerasan lentur akan mendistribusikan beban lalu lintas bertahap disetiap lapisan sampai ke tanah dasar (Sukirman, 1999).

Menurut Aminsyah (2010) dalam Setiawan dkk., (2016) secara umum lapisan dari struktur perkerasan terdiri dari lapis permukaan dan lapis pondasi. Agregat merupakan bagian dari struktur perkerasan lentur dengan bahan pengikatnya berupa

aspal, adapun penggunaan bahan tambah tidak menjadi suatu keharusan. Penentuan suhu dalam pencampuran bentuk aspal tergantung pada jenis dari aspal yang akan digunakan.

### **3.1.1 Lapisan Permukaan**

Untuk perkerasan lentur, lapisan permukaan berupa campuran agregat dengan aspal sebagai bahan pengikat seperti yang disyaratkan dengan kadar tertentu agar memperoleh kekuatan dengan nilai tertentu. Umumnya lapisan perkerasan beraspal berada tepat langsung di atas lapis pondasi dengan campuran agregat aspal tertentu sesuai spesifikasinya.

Lapis permukaan harus memenuhi syarat kenyamanan pelayanan. Untuk itu lapis permukaan harus berfungsi sebagai konstruksi perkerasan yang menyediakan tingkat kerataan seragam, agar perkerasan terhindar dari resapan air di permukaan, menyediakan lapis permukaan yang kesat, dan menahan keausan akibat gaya gesek dari roda kendaraan.

Dalam penelitian material yang digunakan untuk lapis permukaan adalah Aspal Semen (*Asphalt Cement, AC*). Aspal semen pada temperatur ruang, yaitu sekitar 20°-30°C berbentuk padat dan untuk membuat aspal cair, maka dipanaskan. Dalam masalah perkerasan jalan, semen aspal ini merupakan material perkerasan semi-padat yang digunakan untuk membuat aspal panas (*hot mix*), untuk perawatan permukaan perkerasan, lapisan penutup (*seal coat*) dan pengisi retakan (*crack filling*).

### **3.1.2 Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)**

Lapis pondasi atas (*base course*) adalah lapis yang tepat berada dibawah lapisan permukaan, khususnya perkerasan beraspal. Bagian utama dari perkerasan lentur berada pada konstruksi lapis pondasi ini. Batu pecah, pasir alam dan kerikil pecah, batu pecah hasil pembakaran dari tanur (slog), merupakan kombinasi dari material lapis pondasi ini. Untuk meningkatkan kinerja dari lapis pondasi beberapa bahan penguat atau bahan tambahan seperti semen, kapur, aspal dapat digunakan. Persyaratan mutu

untuk material lapis pondasi atas, khususnya tegangan, plastisitas dan gradasi harus lebih tinggi dari persyaratan untuk *subbase*, menurut SNI 1732-1989-f dan Pt-01-2002-B, macam – macam bahan alam yang mempunyai  $CBR > 50\%$  dan indeks plastisitas  $(PI) \leq 4$  dapat digunakan untuk lapis pondasi.

Material lapisan pondasi harus menyediakan karakteristik drainase dan stabilitas yang baik. Tebal lapis pondasi bergantung pada sifat-sifat lapisan dibawahnya. Material lapis pondasi umumnya dihamparkan sampai di bawah bahu jalan dan kerb. Lapis pondasi tidak hanya melayani beban lalu lintas, namun juga harus memberikan lapis drainase yang lancar jika lapis permukaan kemasukan air dari permukaan. Bagian lapis pondasi yang berada di bawah bahu jalan, untuk memberikan aliran drainase kontinyu, sering dibuatkan saluran drainase bawah permukaan yang arahnya sejajar dengan sumbu jalan.

Berikut ini beberapa fungsi dari lapis pondasi, antara lain.

1. Bagian perkerasan yang menahan beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya.
2. Lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah dan perletakan terhadap lapis permukaan.

### **3.1.3 Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase Course*)**

Lapis pondasi bawah adalah lapis antara tanah dasar dengan lapis pondasi atas (*base course*), yang terdiri dari agregat berbutir dengan tanpa tambahan bahan pengikat (perkuatan). Namun, sifat material *subbase* masih berada di bawah lapisan konstruksi atas, terutama dalam hal tekanan, fleksibilitas, dan komposisi gradasi. Hal yang perlu diperhatikan adalah bahwa, kualitas *subbase* harus lebih bagus dari tanah dasar, atau mempunyai nilai  $CBR \geq 20\%$  dan  $PI \leq 10\%$ .

Adapun beberapa fungsi *subbase* adalah sebagai berikut.

1. Menjaga butiran halus dari tanah dasar agar tidak masuk ke lapis pondasi, jadi untuk ini gradasi *subbase* harus berjenis padat (konstan).

2. Mengurangi dampak kerusakan akibat kembang susut dari tanah dasar.
3. Mencegah berkumpulnya air di dalam atau di bawah struktur lapis perkerasan, dengan tujuan agar *subbase* berfungsi sebagai drainase. Diharuskan butiran lolos saringan nomor 8 (kecil).
4. Memberikan lantai kerja untuk pemanfaatan peralatan dalam pelaksanaan konstruksi perkerasan.

#### **3.1.4 Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*)**

Perkerasan jalan sebagai lapisan pelindung tanah-dasar, mendistribusikan beban roda kendaraan ke tanah dasar tersebut. Tanpa dukungan yang cukup dari tanah dasar, perkerasan jalan akan mudah mengalami kerusakan. Kelangsungan jangka panjang dari dukungan tanah dasar pada perkerasan harus terjaga dari perubahan iklim, dan kondisi lalu lintas. Tanah dasar yang mengalami tegangan berlebihan akan mengakibatkan deformasi permanen yang berlebihan pula, sehingga permukaan perkerasan di atasnya menjadi bergelombang dan dapat menyebabkan kegagalan struktur perkerasan.

Tanah dasar adalah tanah asli atau tanah timbunan biasa sebagai pelapis paling bawah dari susunan lapis perkerasan. Pada umumnya tanah dasar memiliki *CBR* 2% - 6% saja, pada tanah dasar yang selalu terendam air ( $CBR < 2\%$ ), antara lain tanah rawa, tanah gambut, harus diperbaiki terlebih dahulu, umumnya dengan pengupasan atau penambahan dengan bahan sintetis, misalnya semen atau kapur sesuai dengan porsi yang disyaratkan, cerucuk (*dolken*) atau bahkan dengan aspal jenis tertentu. Inovasi masa kini lebih berhasil dan efektif dengan memanfaatkan geosintetik, kolom – kolom pasir, dan berbagai kemajuan yang mampu meningkatkan nilai daya dukung dari tanah tersebut.

## 3.2 Beban Lalu Lintas

### 3.2.1 Prosedur Desain

Faktor penting dalam mendesain perkerasan adalah beban lalu lintas, besarnya jumlah pengulangan beban lalu lintas tidak lepas dari pertimbangan estimasi konfigurasi dan besarnya beban kendaraan. Terdapat 3 (tiga) metode dalam mempertimbangkan volume dan beban lalu lintas yaitu : *fixed traffic*, *fixed vehicles*, dan *variable traffic and vehicle*.

Analisis dengan metode *fixed traffic*, ketebalan perkerasan ditentukan dengan beban roda tunggal sedangkan jumlah pengulangan beban tidak dipertimbangkan dalam analisis ini. Umumnya metode ini digunakan pada perkerasan lapangan terbang (*airport*) atau perkerasan yang bebannya sangat besar ketika dibebani dengan frekuensi yang rendah.

Metode *fixed vehicle* digunakan untuk menghitung ketebalan struktur perkerasan. Dengan menggunakan pengulangan beban kendaraan/sumbu standar, sebesar 18 kip (80-KN) *single-axle load*. Jika ada beban kendaraan/sumbu yang < 18 kip (80-KN) atau terdiri dari tandem/ tridem maka harus dianggap 18 kip *single axle load* dengan menggunakan *Equivalent Axle Load Factor* (EALF).

Penggunaan metode *variable traffic and vehicles* hanya mempertimbangkan volume lalu lintas dan beban kendaraan/gandar, sehingga tidak ada persyaratan untuk komponen yang identik untuk setiap beban roda. Beban roda/gandar dapat dipartisi menjadi beberapa kumpulan dan tegangan-regangan lendutan dapat dianalisis secara independen. Prosedur ini sangat sesuai untuk desain metode analitis dimana reaksi dari suatu struktur perkerasan akibat dari berbagai beban dapat dihitung secara manual/komputer.

Basis dari prosedur desain perkerasan lentur dengan campuran beraspal yang digunakan adalah karakteristik mekanik material dan analisis struktur perkerasan secara mekanistik. Metode ini menghubungkan masukan berupa beban roda, struktur

perkerasan dan sifat mekanik material, dengan keluaran berupa respon perkerasan terhadap beban roda seperti tegangan, regangan dan lendutan.

Lalu lintas dan pembebanan tergantung dari beberapa faktor antara lain : beban gandar (*axle load*), jumlah repetisi beban (*the number of load repetitions*), kontak area ban (*tire-contact areas*), dan kecepatan kendaraan (*vehicle speed*).

1. Beban gandar (*axle load*)

Perhitungan yang digunakan pada beban gandar ialah berupa beban tekanan sumbu roda kendaraan yang dianggap sebagai beban hidup. Oleh sebab itu, berat sendiri atau beban mati dari struktur perkerasan diabaikan

2. Jumlah repetisi beban (*the number of load repetitions*)

Satuan standar yang digunakan dalam menentukan kapasitas besaran jumlah repetisi beban sumbu roda lalu lintas ialah *Equivalent Axle Load* (EAL) atau *Equivalent Single Axle Load* (ESAL). Nilai ESAL tersebut bernilai 1 berupa single axle load dengan daya rusak pada struktur perkerasan sebesar 8,16 ton atau 18 kips, atau 18.000 lbs.

Dalam surat edaran tentang Panduan Batas Maksimum Perhitungan JBI (Jumlah Berat yang diizinkan) dan JBKI (Jumlah Berat Kombinasi yang diizinkan), yang mengatur untuk mobil barang, kendaraan khusus, kendaraan penarik berikot kereta tempelan /kereta gandeng. Dikeluarkan oleh Direktorat Jendral Perhubungan Darat, Departemen Perhubungan pada tanggal 7 Mei 2008 dengan Nomor: SE/02/AJ.108/DRJD 2008.

Klasifikasi jalan berdasarkan beban ganda maksimum (*maximum axle load*) yang diizinkan lewat adalah seperti yang termuat dalam Peraturan Pemerintah tentang lalu lintas nasional (PPLLN) No. 5 Tahun 1964. Kelas jembatan disesuaikan dengan kelas jalan, dan dalam pelaksanaannya kelas jembatan ditetapkan setingkat lebih tinggi dari pada kelas jalannya. Hubungan antara kelas jalan dengan beban gandar maksimum yang diijinkan lewat dapat dilihat pada Tabel 3.1.



**Tabel 3.1** Hubungan Antara Fungsi dan Kelas Jalan dengan Beban Gandar

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Ukuran Kendaraan Bermotor (m)	Muatan Sumbu Terberat (ton)
Kelas I	Jalan Arteri Jalan Kolektor	Lebar $\leq 2,5$ Panjang $\leq 18$ Tinggi $\leq 4,2$	10
Kelas II	Jalan Arteri Jalan Kolektor Jalan Lokal Jalan Lingkungan	Lebar $\leq 2,5$ Panjang $\leq 12$ Tinggi $\leq 4,2$	8
Kelas III	Jalan Arteri Jalan Kolektor Jalan Lokal Jalan Lingkungan	Lebar $\leq 2,1$ Panjang $\leq 9$ Tinggi $\leq 3,5$	8
Kelas Khusus	Jalan Arteri	Lebar $\leq 2,5$ Panjang $\leq 18$ Tinggi $\leq 4,2$	>10



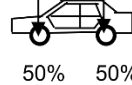
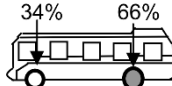
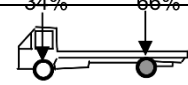
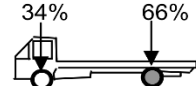
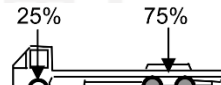
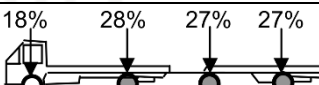
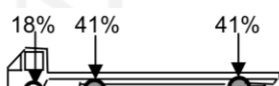
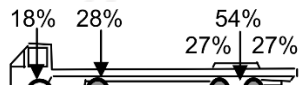
Sumber: UULLAJ No. 22 (2009)

Dalam Manual Perkerasan Jalan No.01/MN/BM/83 menggunakan alat Benkelmen, telah menetapkan konfigurasi beban sumbu serta angka ekivalen pada saat berat kosong dan berat muatan maksimum dari berbagai jenis kendaraan. Dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Selain melakukan pengamatan langsung di lapangan, data dari pabrik kendaraan juga dapat digunakan sebagai konfigurasi sumbu. Jika data kendaraan secara spesifik tidak diperoleh, maka dapat menggunakan nilai tipikal konfigurasi sumbu kendaraan pada MEPDG (2012).

- Lebar rata-rata sumbu jarak kedua tepi sumbu kendaraan, tipikalnya sebesar 8,5ft;
- Spasi roda ganda, jarak antara pusat roda pada roda ganda unruk truk sebesar 12 inchi;
- Spasi antar sumbu, jarak antar sumbu pada satu set sumbu tandem sebesar 51,6 inchi dan pada satu set sumbu tridem dan quad sebesar 49,2 inchi.

**Tabel 3.2** Konfigurasi Beban Sumbu Kendaraan

Konfigurasi Sumbu & Tipe	Berat Kosong (ton)	Beban Muatan Maksimum (ton)	Berat Total Maksimum (ton)	UE 18 KSAL Kosong	UE 18 KSAL Maksimum	 Roda Tunggal Pada Ujung Sumbu  Roda Ganda Pada Ujung Sumbu
1,1 HP	1,5	0,5	2,0	0,0001	0,0005	 50% 50%
1,2 BUS	3	6	9	0,0037	0,3006	 34% 66%
1,2L TRUK	2,3	6	8,3	0,0013	0,2174	 34% 66%
1,2H TRUK	4,2	14	18,2	0,0143	5,0264	 34% 66%
1,22 TRUK	5	20	25	0,0044	2,7146	 25% 75%
1,2+2,2 TRAILER	6,4	25	31,4	0,0085	3,9083	 18% 28% 27% 27%
1,2-2 TRAILER	6,2	20	26,2	0,0192	6,1179	 18% 41% 41%
1,2-2,2 TRAILER	10	32	42	0,0327	10,1830	 18% 28% 54% 27% 27%

Sumber: Bina Marga (1983)

### 3. Kontak area ban (*tire-contact areas*)

Dalam menggunakan metode mekanistik diperlukan luasan area kontak ban, yang mana luasan tersebut diasumsikan sebagai beban sumbu terbagi merata pada struktur perkerasan jalan. Luasan area kontak roda bergantung pada tekanan

kontak. Dalam rencana struktur perkerasan, tekanan kontak dianggap setara dengan tekanan ban. Beban sumbu yang berat biasanya diterapkan dengan penggunaan gandar atau tridem. Seperti pada Persamaan 3.1 berikut ini.

$$A_c = \frac{q}{a} \quad (3.1)$$

keterangan :

- $A_c$  = kontak area (*the area of contact*)
- $q$  = beban maksimum 1 roda (*load*), dan
- $a$  = tekanan ban (*tire pressure*)

Jika beban roda berupa tendem (*nilai tire*) maka area lingkaran menjadi hasil konversi dari area kontak roda, sehingga analisis radius dijadikan sebagai rumus yang dapat dipakai. Berikut ini Persamaan 3.2.

$$a = \sqrt{\frac{0,8521Pd}{q\pi} + \frac{Sd}{\pi} \left(\frac{Pd}{0,5227}\right)^{1/2}} \quad (3.2)$$

keterangan :

- $a$  = radius kontak roda,
- $q$  = tekanan kontak roda,
- $Pd$  = beban untuk satu roda, dan
- $Sd$  = jarak antara 2 roda.

### 3.2.2 Lalu Lintas Harian (LHR)

Metode yang biasa digunakan dalam mendesain struktur perkerasan lentur ialah dengan beban sumbu kendaraan yang dibagi menjadi beberapa kelompok. Pengumpulan kendaraan yang dipertimbangkan dalam penataan adalah sesuai dengan

hasil studi volume lalu lintas.. Jumlah pengulangan beban dihitung dengan mempertimbangkan Lalu Lintas Harian Rata-Rata Tahunan (LHRT) pada ruas jalan yang akan direncanakan.

LHRT adalah jumlah lalu lintas kendaraan rata-rata yang melewati satu jalur jalan selama 24 jam dan diperoleh dari data selama satu tahun penuh. LHRT dinyatakan dalam smp/hari/2 arah atau kendaraan/hari/2 arah untuk jalan 2 lajur 2 arah, atau smp/hari/1 arah atau kendaraan/hari/1 arah untuk jalan berjalur banyak dengan median. Berikut Persamaan 3.3.

$$\text{LHRT} = \frac{\text{jumlah lalu lintas dalam 1 tahun}}{365} \quad (3.3)$$

Untuk dapat melakukan LHRT, informasi jumlah kendaraan harus dapat diakses secara konsisten selama 1 tahun penuh. Dengan mempertimbangkan biaya yang diperlukan dan kontras serta ketepatan yang dicapai dan tidak semua tempat di Indonesia memiliki informasi volume lalu lintas selama 1 tahun, untuk kondisi ini satuan Lalu Lintas Hari Rata-rata (LHR) juga dapat digunakan. LHR adalah hasil bagi jumlah kendaraan yang diperoleh selama pengamatan dengan lamanya pengamatan berikut ini Persamaan 3.4.

$$\text{LHR} = \frac{\text{jumlah lalu lintas dalam 1 hari}}{\text{lamanya pengamatan}} \quad (3.4)$$

### 3.3 Manual Desain Perkerasan Jalan (Bina Marga 2017)

Rencana jalan di Indonesia telah berkembang dalam jangka panjang. Berawal dari Metode Analisa Komponen tahun 1987, kemudian dibentuk menjadi desain perkerasan Inetur Pt T-01-2002-B yang dianut dari metode AASHTO dalam eksplorasinya tahun 1958-1960 di Ottawa, Illionis menggunakan kendaraan dengan sumbu tunggal roda ganda dengan muatan sumbu terberat 8,16 ton/18.000 pon. Dalam rangka meningkatkan dan menciptakan pelaksanaan jalan untuk pelaksanaan pekerjaan

pembangunan struktur perkerasan jalan guna menjamin kualitas perkerasan jalan, Pemerintah Indonesia melalui Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga mengeluarkan draf manual desain perkerasan jalan pada tahun 2013 yang kemudian dilakukan revisi pada tahun 2017 menjadi Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/Db/2017.

Menurut Maryam & Putra (2020), pada Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 tidak ada faktor ekivalen beban pada jenis kendaraan ringan dengan berat  $\leq 5$  ton, sehingga total beban lalu lintas standar yang sebanding hanya dipengaruhi oleh jenis kendaraan berat berdasarkan tabel *VDF*. Dalam manual perkerasan jalan 2017 juga tidak menggunakan rumus dalam menentukan ketebalan setiap lapisan perkerasan, tetapi menggunakan Tabel Bagan Desain dimana jaminan ketebalan perkerasan tergantung pada beban sumbu desain selama umur rencana dan membuat pengaturan untuk pilihan jenis perkerasannya.

Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017 meliputi perubahan struktur penyajian untuk bekerja dengan pemahaman klien dan peningkatan pada substansi manual. Pembaruan ini siap untuk mengatasi kesulitan dan keterbatasan dalam kinerja sumber daya jalan di Indonesia. Manual ini berisi pengaturan khusus untuk pelaksanaan pekerjaan desain perkerasan jalan yang berlaku di lingkungan Direktorat Jenderat Bina Marga, terdiri dari 2 bagian, yaitu struktur perkerasan baru dan rehabilitasi perkerasan. Adapun beberapa parameter yang dijadikan sebagai pertimbangan perhitungannya yaitu sebagai berikut.

#### 1. Umur Rencana

Menurut Kementrian Pekerjaan Umum, umur rencana suatu jalan raya adalah jumlah waktu dalam tahun yang dihitung sejak jalan tersebut dibuka sampai saat diperlukan perbaikan berat atau dianggap perlu untuk diberi lapis permukaan yang baru. Umur perkerasan jalan ditetapkan pada umumnya berdasarkan jumlah kumulatif lintas kendaraan standar (*CESA, Cumulative Equivalent Standard Axle*). Dalam Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017 umur rencana digunakan untuk menentukan jenis perkerasan

dengan mempertimbangkan elemen perkerasan berdasarkan analisis *discounted whole of life cost* terendah. Ketentuan umur rencana dengan mempertimbangkan elemen perkerasan yang disajikan di dalam Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017 dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

**Tabel 3.3** Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)

<b>Jenis perkerasan</b>	<b>Elemen perkerasan</b>	<b>Umur Rencan (tahun)</b>
Perkerasan lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir	20
	Fondasi jalan	40
	Semua perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang ( <i>overlay</i> ), seperti: jalan perkotaan, underpass, jembatan, terowongan	
	<i>Cement Treated Based (CTB)</i>	
Perkerasan kaku	Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen, dan fondasi jalan	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	Min 10

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

## 2. Lalu lintas

Lalu lintas sangat penting dalam persiapan perancangan jalan, karena batas dan perkembangan konstruksi perkerasan yang akan disusun bergantung pada bagian lalu lintas yang akan memanfaatkan jalan pada segmen jalan yang dievaluasi secara manual, semi manual (dengan bantuan kamera video), ataupun (otomatis menggunakan tube maupun loop). Pemeriksaan lalu lintas pada ruas jalan yang direncanakan juga harus fokus pada faktor pengalihan arus lalu lintas berdasarkan penyelidikan jaringan dengan mempertimbangkan perluasan

perluasan batas jalan yang ada atau pengembangan jalan baru dalam jaringan, dan dampaknya terhadap volume lalu lintas dan membebani organisasi. jalan-jalan yang direncanakan.

a. Volume lalu lintas

Volume lalu lintas diperlukan untuk menentukan jumlah dan jalur pada suatu jalan dalam penentuan karakteristik geometrik, sedangkan jenis kendaraan akan menentukan kelas beban atau MST (Muatan Sumbu Terberat) yang berpengaruh pada perencanaan konstruksi struktur perkerasan. Volume lalu lintas didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang melewati satu titik pengamatan selama satu satuan waktu (hari, jam, atau menit). Volume lalu lintas dapat berupa volume lalu lintas 30 Harian Rata – Rata (LHR) yaitu volume lalu lintas yang didapat dari nilai rata – rata Tahunan (LHRT). Lalu lintas Harian Rata – Rata Tahunan (LHRT) yaitu volume lalu lintas harian yang diperoleh dari nilai rata – rata jumlah kendaraan selama setahun penuh. Pada Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017 analisis volume lalu lintas harus didasarkan pada survey faktual yakni dengan melakukan survey lalu lintas aktual, dengan durasi minimal 7 x 24 jam, dengan berpedoman pada Manual Pd T-19-2004-B dan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI).

b. Pertumbuhan lalu lintas

Volume lalu-lintas pada jalan raya utama, umumnya akan bertambah secara eksponensial dari tahun ke tahun. Karena itu, diperlukan untuk mengestimasi volume lalu-lintas sesuai dengan umur rencana. Perhitungan lalu lintas dengan metode eksponensial dihitung berdasarkan Persamaan 3.5 sebagai berikut.

$$\text{LHRT} = \text{LHR}_o(1 + i)^n \quad (3.5)$$

keterangan,

LHRT = LHR akhir umur rencana,

LHR<sub>o</sub> = LHR awal umur rencana,

n = umur rencana (tahun), dan

i = angka pertumbuhan.

c. Faktor pertumbuhan lalu lintas

Kebijakan dalam penentuan faktor pertumbuhan lalu lintas harus didasarkan pada data-data pertumbuhan historis atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang valid. Bila data histori pertumbuhan lalu lintas tidak lengkap atau tidak tersedia Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017 menyediakan tabel faktor pertumbuhan lalu lintas minimum (untuk tahun 2015 hingga 2035) pada Tabel 3.4 berikut.

**Tabel 3.4** Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i) (%)

	<b>Jawa</b>	<b>Sumatera</b>	<b>Kalimantan</b>	<b>Rata-rata Indonesia</b>
Arteri dan perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektor rural	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan desa	1,00	1,00	1,00	1,00

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.6 sebagai berikut.

$$R = \frac{(1+0,01i)^{UR}-1}{0,01i} \quad (3.6)$$

keterangan,

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas,

i = tingkat pertumbuhan tahunan (%), dan

UR = umur rencana (tahun).

3. Faktor lajur



Lajur rencana adalah salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan yang menampung lalu lintas kendaraan niaga (truk dan bus) paling besar. Beban lalu lintas pada lajur rencana dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar (ESA) dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL). Untuk jalan dua arah faktor distribusi arah (DD) umumnya diambil 0,50 kecuali pada lokasi-lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi pada suatu arah tertentu. Faktor distribusi jalan ditunjukkan pada Tabel 3.5 sebagai berikut.

**Tabel 3.5** Faktor Distribusi Lajur (DL)

<b>Jumlah lajur setiap arah</b>	<b>Kendaraan niaga pada lajur desain (% terhadap populasi kendaraan niaga)</b>
1	100
2	80
3	60
4	50

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

4. Perkiraan faktor ekivalen beban (*vehicle damage factor*)

Dalam desain perkerasan, beban lalu lintas dikonversi ke beban standar *ESA* dengan menggunakan Faktor Ekivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*). Pemeriksaan struktur perkerasan dilakukan berdasarkan jumlah total *ESA* di lajur rencana sepanjang umur rencana. Untuk mendapatkan hasil yang akurat maka diperlukan survei beban gandar secara mandiri. Jika survei beban gandar tidak mungkin dilakukan oleh perencana dan data survei beban gandar sebelumnya tidak tersedia, maka nilai *VDF* pada Tabel 3.6 dan Tabel 3.7 dapat digunakan untuk menghitung *ESA*.

**Tabel 3.6 Nilai VDF Standar**

Jenis kendaraan	Sumatera				Jawa				Kalimantan				Sulawesi				Bali, Nusa Tenggara, Maluku, dan papua			
	Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal	
	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5
5B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
6A	0,55	0,50	0,55	0,50	0,55	0,50	0,55	0,50	0,55	0,50	0,55	0,50	0,55	0,50	0,55	0,50	0,55	0,50	0,55	0,50
6B	4,5	7,4	3,4	4,6	5,3	9,2	4,0	5,1	4,8	8,5	3,4	4,7	4,9	9,0	2,9	4,0	3,0	4,0	2,5	3,0
7A1	10,1	18,4	5,4	7,4	8,2	14,4	4,7	6,4	9,9	18,3	4,1	5,3	7,2	11,4	4,9	6,7	-	-	-	-
7A2	10,5	20,0	4,3	5,6	10,2	19,0	4,3	5,6	9,6	17,7	4,2	5,4	9,4	19,1	3,8	4,8	4,9	9,0	3,9	6,0
7B1	-	-	-	-	11,8	18,2	9,4	13,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7B2	-	-	-	-	13,7	21,8	12,6	17,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7C1	15,9	29,5	7,0	9,6	11,0	19,8	7,4	9,7	11,7	20,4	7,0	10,2	13,2	25,5	6,5	8,8	14,0	11,9	10,2	8,0
7C2A	19,8	39,0	6,1	8,1	17,7	33,0	7,6	10,2	8,2	14,7	4,0	5,2	20,2	42,2	6,6	8,5	-	-	-	-
7C2B	20,7	42,8	6,1	8,0	13,4	24,2	6,5	8,5	-	-	-	-	17,0	28,8	9,3	13,5	-	-	-	-
7C3	24,5	51,7	6,4	8,0	18,1	34,4	6,1	7,7	13,5	22,9	9,8	15,0	28,7	59,6	6,9	8,8	-	-	-	-

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

**Tabel 3.7** Nilai *VDF* Masing – Masing Jenis Kendaraan Niaga

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi Sumbu	Muatan – muatan yang diangkut	Kelompok sumbu	Distribusi Tipikal		Faktor ekivalen beban ( <i>VDF</i> ) ( <i>ESAL</i> /kendaraan)	
Klasifikasi lama	Alternatif					Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	<i>VDF</i> pangkat 4	<i>VDF</i> pangkat 5
1	1	Sepeda motor	1.1		2	30,4	-	-	-
2,3,4	2,3,4	Sedan/angkot/pickup/station wagon	1.1		2	51,7	74,3	-	-
5a	5a	Bus kecil	1.2		2	3,5	5,00	0,3	0,2
5b	5b	Bus besar	1.2		2	0,1	0,2	1,0	1,0
6a.1	6.1	Truk 2 sumbu - cargo ringan	1.1		Muatan umum	2	4,6	6,60	0,3
6a.2	6.2	Truk 2 sumbu – ringan	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2	0,8			0,8
6b1.1	7.1	Truk 2 sumbu - cargo sedang	1.2	Muatan umum	2	-	-	0,7	0,7
6b1.2	7.2	Truk 2 sumbu - sedang	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2			1,6	1,7
6b2.1	8.1	Truk 2 sumbu – berat	1.2	Muatan umum	2	3,8	5,50	0,9	0,8
6b2.2	8.2	Truk 2 sumbu – berat	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2			7,3	11,2

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

Lanjutan **Tabel 3.7** Nilai *VDF* Masing – Masing Jenis Kendaraan Niaga

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi Sumbu	Muatan – muatan yang diangkut	Kelompok sumbu	Distribusi Tipikal		Faktor ekivalen beban ( <i>VDF</i> ) ( <i>ESAL</i> /kendaraan)	
Klasifikasi lama	Alternatif					Semua kendaraan bermotor	Semua kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	<i>VDF</i> pangkat 4	<i>VDF</i> pangkat 5
7a1	9.1	Truk 3 sumbu – ringan	1.22	Muatan umum	3	3,9	5,60	7,6	11,2
7a2	9.2	Truk 3 sumbu – sedang	1.22	Tanah, pasir, besi, semen	3			28,1	64,4
7a3	9.3	Truk 3 sumbu – berat	1.1.2		3	0,1	0,10	28,9	62,2
7b	10	Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	1.2-2.2		4	0,5	0,70	36,9	90,4
7c1	11	Truk 4 sumbu – trailer	1.2-2.2		4	0,3	0,50	13,6	24,0
7c2.1	12	Truk 5 sumbu – trailer	1.2-2.2		5	0,7	1,00	19,0	33,2
7c2.2	13	Truk 5 sumbu – trailer	1.2-2.22		5			30,3	69,7
7c3	14	Truk 6 sumbu – trailer	1.22-2.22		6	0,3	0,50	41,6	93,7

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

Catatan : Data didasarkan pada survei beban lalu lintas Arteri Pulau Jawa – 2011.

## 5. Beban lalu lintas

Beban lalu lintas adalah beban kendaraan yang dipindahkan ke perkerasan jalan melalui kontak antara ban dan permukaan atas jalan secara kuat dan berulang-ulang selama umur pelayanan jalan. Beban kendaraan dipindahkan melalui roda kendaraan yang terjadi berulang-ulang selama masa pakai jalan karena repetisi kendaraan yang melintasi jalan. Pemahaman tentang beban kendaraan yang merupakan beban khusus pada perkerasan sangat mempengaruhi akibat dari pembuatan pengaturan untuk pengembangan struktur perkerasan dan kekuatan konstruksi selama jangka waktu pelayanan.

### a. Beban sumbu standar

Beban sumbu 100 kN diijinkan di beberapa ruas yaitu ruas jalan kelas I. Namun nilai *CESA* selalu ditentukan berdasarkan beban sumbu standard 80 kN.

### b. Pengendalian beban sumbu

Untuk keperluan desain, tingkat pembebanan saat ini (aktual) diasumsikan berlangsung sampai tahun 2020. Setelah tahun 2020, diasumsikan beban berlebih terkendali dengan beban sumbu nominal 120 kN.

### c. Beban sumbu standar kumulatif

Beban sumbu standar kumulatif atau *Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESAL)* merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana yang dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.7 dan Persamaan 3.8 sebagai berikut.

$$ESA = \sum_{\text{jenis kendaraan}} LHRT \times VDF \quad (3.7)$$

$$CESA = ESA \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (3.8)$$

keterangan :

- ESA* = lalu lintas harian rata – rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan perhari),
- LHR* = lalu lintas harian rata – rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan),
- VDF* = faktor ekivalen beban (*vehicle damage factor*) tiap jenis kendaraan niaga,
- DD* = faktor distribusi arah,
- DL* = faktor distribusi jalur,
- CESAL* = kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana, dan
- R* = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif.

6. Pemilihan struktur perkerasan

Pemilihan jenis struktur perkerasan bervariasi sesuai estimasi lalu lintas, umur rencana, dan kondisi pondasi jalan. Pemilihan jenis perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3.8 sebagai berikut.

**Tabel 3.8** Pemilihan Jenis Perkerasan

Struktur Perkerasan	Bagan desain	<i>ESA</i> (juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0 – 0,5	0,1 – 4	>4 – 10	>10 – 30	>30 - 200
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat (di atas tanah $CBR \geq 2,5\%$ )	4	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (daerah pedesaan dan perkotaan)	4A	-	1,2	-	-	-

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

Lanjutan **Tabel 3.8** Pemilihan Jenis Perkerasan

Struktur Perkerasan	Bagan desain	ESA (juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0 – 0,5	0,1 – 4	>4 – 10	>10 – 30	>30 - 200
AC-WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC tebal $\geq 100$ mm dengan lapis pondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B	-	-	1,2	2	2
AC atau HRS tipis diatas lapis fondasi berbutir	3A	-	1,2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan LPA kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapis Fondasi <i>Soil Cement</i>	6	1	1	-	-	-
Perkerasan tanpa penutup (Japat, jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

7. Desain tebal perkerasan

Perhitungan tebal perkerasan untuk perkerasan lentur dihitung berdasarkan nilai *CESAL* umur rencana, kemudian untuk tebal struktur perkerasan ditentukan berdasarkan Tabel 3.9 dan Tabel 3.10 adalah rujuk bagan desain untuk perkerasan lentur aspal dengan lapis fondasi berbutir.

**Tabel 3.9** Bagan Desain - 3A Desain Perkerasan Lentur dengan HRS<sup>1</sup>

<b>Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10 ESA )</b>	<b>FF1 &lt; 0.5</b>	<b>0.5 ≤ FF2 ≤ 4.0</b>
<b>Jenis permukaan</b>	<b>HRS atau penetrasi makadam</b>	<b>HRS</b>
Struktur perkerasan	Tebal Lapisan (mm)	
HRS WC	50	30
HRS Base		35
LFA kelas A	150	250
LFA kelas A atau LFA kelas B atau kerikil alam atau lapis distabilisasi dengan <i>CBR</i> > 10%	150	125

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)



**Tabel 3.10** Bagan Desain - 3B Perkerasan Lentur – Aspal dengan Lapis Fondasi Berbutir

STRUKTUR PERKERASAN									
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
Solusi yang dipilih					Lihat Catatan 2				
Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana ( $10^6$ ESA5)	< 2	$\geq 2 - 4$	> 4 - 7	> 7 - 10	> 10 - 20	> 20 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	>100 - 200
KETEBALAN LAPIS PERKERASAN									
AC-WC	40	40	40	40	40	40	40	40	40
AC-BC	60	60	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	0	70	80	105	145	160	180	210	245
LPA Kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300	300

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2017)

### 3.4 Metode Mekanistik – Empirik

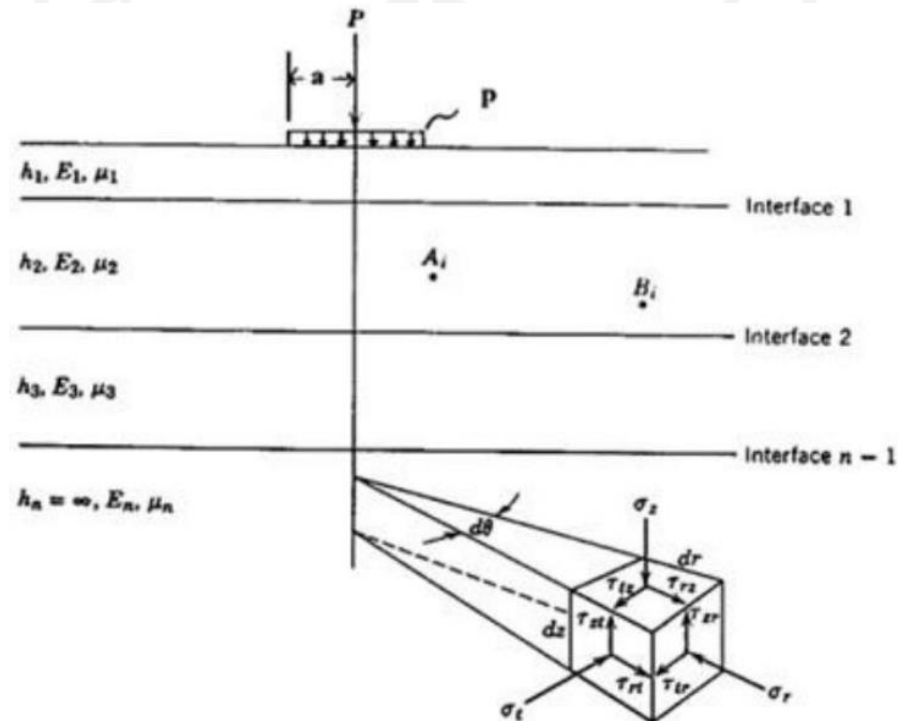
Metode mekanistik dan empiris yang dikombinasikan merupakan kemajuan dalam prinsip pada perencanaan perkerasan jalan. Metode ini menurut Huang (2004) dalam Yulianto (2019) Respon tegangan dan regangan dari perkerasan jalan dapat diperoleh berdasarkan mekanika bahan yang berhubungan dengan data beban roda. Nilai respon digunakan untuk memprediksi tekanan tes laboratorium dan kinerja lapangan. Pengamatan perlu dilakukan karena teori belum terbukti cukup untuk mendapatkan hasil yang realistis.

Teori perancangan mekanistik empirik adalah metode perancangan tebal perkerasan berdasarkan penentuan umur perkerasan akibat tegangan dan/atau regangan yang timbul berulang-ulang pada bahan perkerasan, sampai terjadi kerusakan yang telah ditetapkan sebelumnya sebagai batas tingkat kerusakan yang dapat diterima pada perkerasan. Model penentuan umur tersebut berdasarkan korelasi hasil penelitian laboratorium. Akan tetapi karena jenis pembebanan yang sesungguhnya maka model penentuan umur perkerasan itu perlu diverifikasi dengan data empiris, sehingga didapatkan suatu faktor kalibrasi dari model tersebut (Tjan dkk., 1990).

Menurut Yodder dan Witzak (1975) dalam Yulianto (2019) sistem multilapis elastis (*Multilayer Elastic System*) merupakan salah satu penyelesaian secara analisis pada metode mekanistik. Respon yang terjadi akibat dari beban roda kendaraan yang melintas di atas suatu struktur lapisan perkerasan adalah tegangan, regangan, dan lendutan. Ada beberapa asumsi yang digunakan dalam *multi-layered elastic system* dalam menghitung respon struktur seperti yang disebutkan di atas, antar lain sebagai berikut.

1. Pada struktur perkerasan, setiap lapisan memiliki ketebalan tertentu, kecuali tanah dasar yang tebalnya dianggap tak terhingga. Sedangkan, lebar setiap lapisan perkerasan juga dianggap tak terbatas.
2. Sifat-sifat bahan dari setiap lapisan perkerasan adalah isotropik, yakni sifat bahan di setiap titik tertentu dalam setiap arah.
3. Sifat-sifat bahan dari setiap lapisan perkerasan dianggap homogen.

4. Lapisan linear elastis, linear maksudnya hubungan antara regangan dan tegangan dianggap linear, dan elastis maksudnya apabila tegangan yang diberikan kemudian dihilangkan, regangan dapat kembali ke bentuknya semula.
5. Sifat-sifat bahan diwakili oleh dua parameter struktural, yaitu modulus *resilient* ( $E$  atau MR) dan konstanta *Poisson* ( $\mu$ ).
6. Friksi antara lapisan perkerasan baik atau tidak terjadi slip.
7. Beban roda kendaraan dianggap memberikan gaya vertikal yang seragam terhadap perkerasan dengan bidang bentuk lingkaran. Berikut ini Gambar 3.3.



**Gambar 3.3** *Multi Layered Elastic System*

(Sumber: Yoder dan Witczak, 1975)

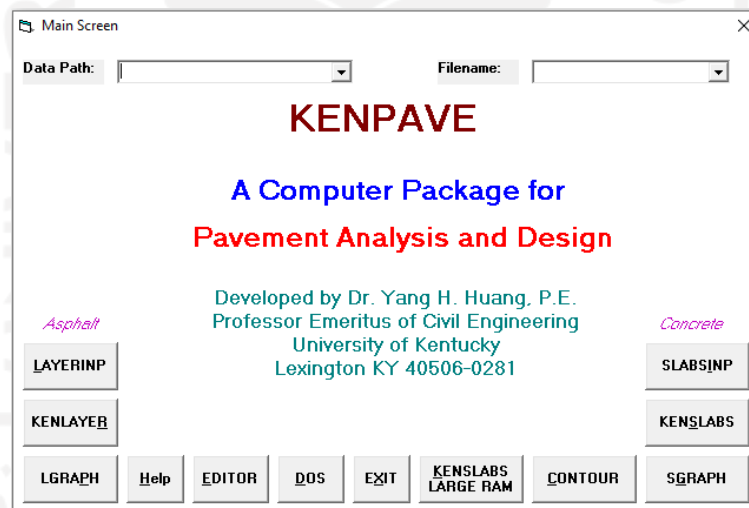
### 3.4.1 Karakteristik Material

Karakteristik material perkerasan lentur terbagi tiga yaitu *layer viskoelastis*, *layer non linear elastis*, dan *layer linear elastis*. Penjelasan *layer I elastis* yaitu pemodelan *layer* secara *linear elastis* dapat menghitung tegangan, regangan, dan

defleksi di struktur perkerasan yang permukaannya telah dibebani. *Layer linear* elastis dianggap bahwa setiap *layer* struktur perkerasan homogen, isotropis, dan elastis secara *linear*.

### 3.4.2 Program *Kenpave*

Program yang dikembangkan oleh Yang H Huang, P.E. *Professor Emeritus* dari *Civil Engineering University of Kentucky*, merupakan *software* yang menganalisis tebal perkerasan jalan dari tanah dasar, lapis pondasi hingga lapis permukaan jalan. Untuk *input* data pada program *Kenpave* membutuhkan data karakteristik dan material dari suatu perkerasan jalan, seperti modulus elastisitas, *poisson ratio*, beban roda, tekanan ban dan koordinat dimana tegangan dan regangan yang dibutuhkan (Dinata dkk., 2017). Tampilan awal program *Kenpave* di tunjukan pada Gambar 3.4 berikut.



**Gambar 3.4** Tampilan Awal Program *Kenpave*  
(Sumber : *Kenpave*, diakses Tahun 2021)

*Software* ini terbagi dua jenis dalam empat program yaitu, jenis pertama perkerasan lentur yang dapat dianalisis pada bagian *Layerinp* dan *Kenlayer* berdasarkan teori sistem lapis banyak, dan jenis kedua perkerasan kaku yang dapat dianalisis pada bagian *Slabinp* dan *Ken slab* berdasarkan metode elemen hingga.

Program Kenpave bagian Kenlayer melakukan analisis dengan menghitung sistem lapis banyak (multi layers) pada perkerasan lentur, metode tersebut akan digunakan dalam penelitian ini, Program ini bisa digunakan untuk menghitung regangan, tegangan, serta lendutan permukaan perkerasan akibat beban tertentu.

Diperlukan data *input* untuk tegangan dan regangan pada lapis struktur perkerasan jalan terhadap beban dengan model lapisan elastis ini. Parameter-parameter yang digunakan sebagai berikut.

1. Parameter setiap lapisan

Parameter lapisan yang dimaksud antara lain adalah sebagai berikut.

- a. Modulus elastisitas
  - b. *Poisson's ratio*
2. Ketebalan setiap lapisan
  3. Kondisi beban

### 3.4.3 Pemodelan Lapis Perkerasan Jalan

1. Parameter setiap lapisan

Parameter lapisan yang dimaksud antara lain adalah sebagai berikut.

- a. Modulus elastis

Modulus elastisitas atau disebut juga Modulus *Young* dengan notasi E adalah hasil perbandingan antara nilai tegangan dan nilai regangan yang terjadi pada suatu benda. Berikut ini Persamaan 3.9 untuk menentukan nilai modulus elastisitas.

$$E = \frac{\tau}{\varepsilon} \quad (3.9)$$

keterangan :

E = modulud elastisitas (kPa atau Psi),

$\tau$  = tegangan (kPa), dan

$\varepsilon$  = regangan.

Suatu bahan mempunyai batas regangan dan tegangan modulus elastisitasnya. Batas elastisitasnya suatu bahan sama dengan kekuatan bahan tersebut menanggung tegangan atau regangan, melainkan suatu ukuran dari seberapa baik suatu bahan kembali ke ukuran dan bentuk aslinya. Untuk nilai modulus elastisitas beberapa jenis bahan perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3.11 berikut.

**Tabel 3.11** Nilai Modulus Elastisitas Berdasarkan Jenis Bahan Perkerasan

Material	Modulus Elastisitas	
	Psi	Kpa
<i>Cement Treated Granular Base</i>	$1 \times 10^6 - 2 \times 10^6$	$7 \times 10^6 - 2 \times 10^6$
Campuran agregat semen	$5 \times 10^5 - 1 \times 10^6$	$35 \times 10^5 - 7 \times 10^6$
<i>Asphalt Treated Base</i>	$7 \times 10^4 - 45 \times 10^4$	$49 \times 10^4 - 3 \times 10^6$
<i>Aspal beton</i>	$2 \times 10^4 - 2 \times 10^6$	$14 \times 10^4 - 14 \times 10^6$
Campuran distabilisasi bitumen	$4 \times 10^4 - 3 \times 10^5$	$28 \times 10^4 - 21 \times 10^5$
Campuran distabilisasi kapur	$2 \times 10^4 - 7 \times 10^4$	$14 \times 10^4 - 49 \times 10^4$
Material berbutir tidak terikat	$15 \times 10^3 - 45 \times 10^3$	$105 \times 10^3 - 315 \times 10^3$
Berbutir halus/Material tanah dasar	$3 \times 10^3 - 4 \times 10^4$	$21 \times 10^3 - 28 \times 10^4$

Sumber : Huang (2004)

b. *Poisson's ratio*

*Poisson's ratio* atau perbandingan antara nilai lateral strain (regangan horizontal) dan axial strain (regangan vertikal) akibat dari adanya beban sumbu sejajar. Nilai *Poisson rasion* disajikan pada Tabel 3.12 sebagai berikut.

**Tabel 3.12** Nilai *Poisson's Ratio*

<b>Material</b>	<b>Nilai <math>\nu</math></b>	<b><math>\nu</math> tipikal</b>
<i>Hot mix asphalt</i>	0,30 – 0,40	0,35
<i>Portland cement concrete</i>	0,15 – 0,20	0,15
<i>Untreated granular material</i>	0,30 – 0,40	0,35
<i>Cement-treated fine-granular material</i>	0,10 – 0,20	0,15
<i>Cement-treated fine-grained material</i>	0,15 – 0,35	0,25
<i>Lime-stabilized material</i>	0,10 – 0,25	0,20
<i>Lime-flyash material</i>	0,10 – 0,15	0,15
<i>Loose sand/silty sand</i>	0,20 – 0,40	0,30
<i>Dense sand</i>	0,30 – 0,45	0,35
<i>Fine-grained soil</i>	0,30 – 0,50	0,40
<i>Saturated soft clay</i>	0,40 – 0,40	0,45

Sumber : Huang (2004)

2. Ketebalan setiap lapisan perkerasan

Dalam teori elastis lapis banyak diperlukan ketebalan setiap lapis perkerasan sebagai *input* dalam penyelesaian menggunakan program. Ketebalan setiap lapis dalam satuan mm atau inci.

3. Kondisi beban

Data ini terdiri dari data beban roda,  $P$  (kN/Lbs), tekanan ban,  $1$  (kPa/Psi), dan khusus untuk sumbu roda belakang, jarak antara roda ganda,  $d$  (mm/inci). Nilai  $q$  dan  $d$  pada dasarnya dapat ditentukan sesuai dengan data spesifikasi teknis kendaraan yang digunakan. Jenis muatan yang diangkut sebuah kendaraan dapat mempengaruhi nilai  $P$ , sehingga akan diperoleh perbedaan antara besaran sumbu roda depan dan sumbu roda belakang. Analisis struktural perkerasan yang akan dilakukan pada langkah selanjutnya juga memerlukan jari-jari bidang kontak, a

(mm/inci) antara roda bus dan permukaan perkerasan yang dianggap berbentuk lingkaran. Radius kontak dapat dihitung dengan Persamaan 3.10 sebagai berikut.

$$a = \sqrt{\frac{p}{\pi \times q}} \quad (3.10)$$

keterangan,

- a = Jari-jari bidang kontak (mm),
- P = beban kendaraan (kN/lbs), dan
- q = tekanan beban (kPa/Psi).

Nilai yang dihasilkan pada pemodelan lapis perkerasan dengan sistem lapis banyak adalah sebagai berikut.

a. Tegangan

Berupaintensitas internal di dalam struktur perkerasan pada berbagai titik dengan satuan (N/mm<sup>2</sup>, Psi, atau Pa).

b. Regangan

Sebagai rasio perubahan bentuk dari bentuk asli (mm/mm atau inch/inch), karena regangan di dalam perkerasan nilainya sangat kecil maka dinyatakan dalam microstrain (10<sup>-6</sup>).

c. Defleksi atau lendutan

Adalah perubahan linier dalam suatu bentuk dinyatakan dalam satuan panjang (mm atau inch).

Menghitung tegangan, regangan, dan lendutan di berbagai titik pada struktur perkerasan akan lebih mudah dengan menggunakan program *Kenpave*. Namun, ada beberapa titik atau lokasi penting yang biasa digunakan dalam analisis perkerasan yang disajikan pada Tabel 3.13 sebagai berikut.



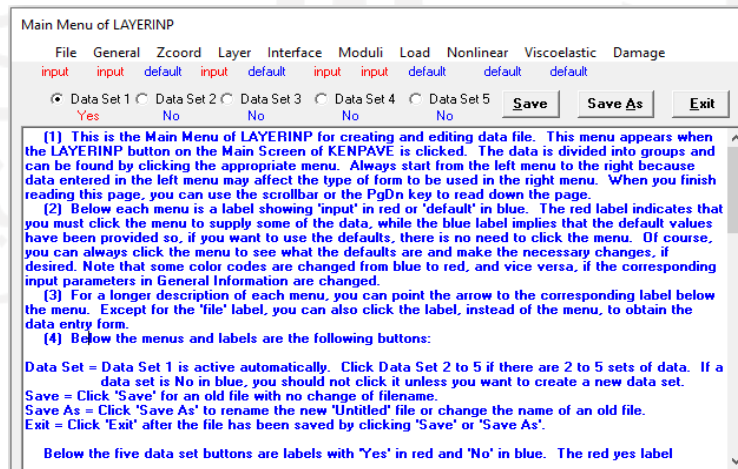
**Tabel 3.13** Analisis Struktur Perkerasan

Lokasi	Respon	Analisis Struktur Perkerasan
Lapisan permukaan perkerasan	Defleksi	Digunakan dalam desain lapis tambah
Bagian bawah lapis perkerasan	Regangan tarik <i>horizontal</i>	Digunakan untuk memprediksi retak <i>fatigue</i> dan <i>rutting</i> pada lapis permukaan
Bagian atas tanah dasar atau bawah lapis pondasi bawah	Regangan tekan vertikal	Digunakan untuk memprediksi kegagalan <i>deformation</i> yang terjadi

Sumber : Fadhlán (2013)

### 3.4.4 Program *Kenlayer*

Jenis perkerasan lentur yang bisa digunakan dalam program *Kenlayer* adalah jenis yang tanpa sambungan dan lapisan kaku. Teori sistem lapis banyak dijadikan dasar teori dalam program *Kenlayer*. Tiga perilaku yang bisa dijalankan pada program ini untuk struktur perkerasan lentur ialah seperti, viskoelastis, linier, dan non linier. Selain itu terdapat empat jenis sumbu roda yang bisa diaplikasikan diantaranya seperti sumbu triple, tandem, tunggal roda ganda, dan tunggal roda tunggal. (Gambar 3.5).

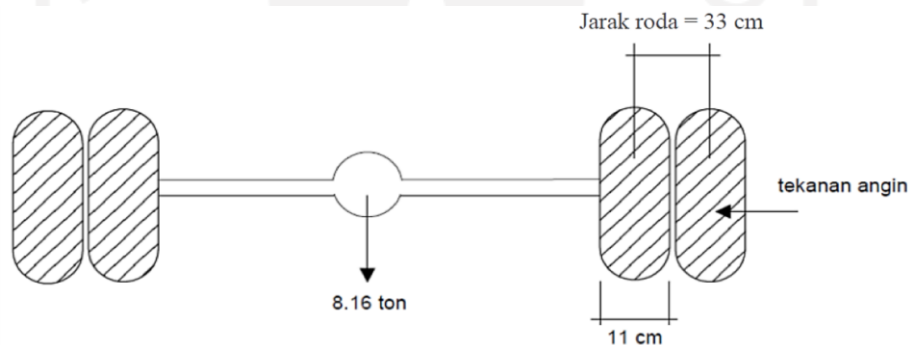


**Gambar 3.5** Tampilan Layar *Layerinp*

(Sumber : *Screen picture Kenpave*, diakses Tahun 2022)

Data yang akan dimasukkan pada program *Kenlayer* adalah data struktur perkerasan yang berkaitan dengan perencanaan tebal perkerasan metode mekanistik teori sistem lapis banyak. Data tersebut antara lain modulus elastisitas, *Poisson's ratio*, tebal lapis perkerasan, dan kondisi medan. Modulus elastisitas dari lapisan permukaan sampai tanah dasar diperlukan adalah dari modulus elastisitas yang telah ditentukan dalam perencanaan metode Bina Marga. Nilai *Poisson's ratio* ditentukan berdasarkan Tabel 3.12.

Data kondisi terdiri dari data beban roda  $P$  (kN/lbs), data tekanan ban  $q$  (kPa/psi), data jarak antara roda ganda  $d$  (cm/inci), dan data jari-jari bidang kontak  $a$  (cm/inci) yang dapat dilihat pada Gambar 3.6 sebagai berikut.



**Gambar 3.6** Sumbu Standar Ekuivalen di Indonesia  
(Sumber : Sukirman, 1999)

Pada penelitian ini digunakan data kondisi beban berdasarkan data yang digunakan di Indonesia menurut Sukirman (1993) sebagai berikut.

1. Beban kendaraan sumbu standar 18.000 pon (8,16 ton)
2. Tekanan roda satu ban 0,55 Mpa = 5,5 kg/cm<sup>2</sup>
3. Jari-jari bidang kontak 110 mm atau 11 cm, dan
4. Jarak antara masing-masing roda ganda = 33 cm.

Setelah *input* data selesai, maka dilakukan *running* program *Kenlayer*. *Output* dari program ini berupa *vertical displacement*, *vertical stress*, *major principal stress*, *minor principal stress*, *intermediate principal stress*, *vertical strain*, *major principal*

*strain*, *minor principal strain*, dan *horizontal principal strain*. Pada penelitian ini yang akan dianalisis adalah jenis kerusakan *fatigue*, *rutting*, dan *deformation*, oleh sebab itu digunakan nilai *vertical strain* dan *horizontal principal* berdasarkan *output* program.

### 3.4.5 Pemodelan Kerusakan

Proses kinerja tebal perkerasan jalan dalam menahan beban lalu-lintas haruslah baik, apabila tidak mampu maka perlu adanya penanggulangan lebih lanjut agar perkerasan tidak rusak selama umur rencana (Dinata dkk., 2017). Menurut Behiry (2012) dalam Rahmawati dkk., (2018) kerusakan yang dapat terjadi akibat dari pengaruh modulus elastis lapis permukaan aspal adalah *fatigue cracking* dan *rutting*. Sedangkan tebal fondasi berpengaruh terhadap *rutting* tidak berpengaruh terhadap variasi tebal pondasi, namun tidak berpengaruh terhadap *fatigue cracking*.

Retak lelah (*fatigue cracking*) dan alur (*rutting*) adalah jenis kerusakan yang akan menjadi pembahasan dalam penelitian ini. Akibat cuaca dan beban kendaraan menjadi penyebab kerusakan perkerasan. Jenis kerusakan retak *fatigue* dilihat berdasarkan nilai regangan horizontal pada lapis permukaan aspal bagian bawah akibat beban pada permukaan perkerasan dan jenis kerusakan *rutting* dilihat berdasarkan nilai regangan tekan di bagian atas lapis tanah dasar atau lapis pondasi bawah.

Berikut ini adalah Persamaan dari kerusakan tersebut berdasarkan *Asphalt Institute*.

#### 1. *Fatigue Cracking*

*Fatigue cracking* (retak lelah) adalah kerusakan yang terjadi karena material yang lelah (*fatigue*) akibat proses pengulangan beban secara terus menerus sampai terjadi retakan (*cracking*). Ketika bentuk retakan mulai berkembang, maka semakin tinggi persentase struktur perkerasan lentur akan tertutup oleh retakan dalam kondisi tegangan ultimate belum terlampaui. Beban berulang yang dimaksud ialah beban As pada kendaraan dengan besaran nilai yang beragam jenisnya. Untuk itu Persamaan 3.11 dapat digunakan untuk menghitung

pengulangan beban yang terjadi pada kerusakan *fatigue cracking* berdasarkan regangan tarik di bawah lapis permukaan.

$$N_f = 0,0796 (\varepsilon_t)^{-3,921} |E|^{-0,854} \quad (3.11)$$

keterangan :

- $N_f$  = jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol *fatigue cracking*,  
 $\varepsilon_t$  = *tensile strain* di lokasi tinjauan yang dihitung berdasarkan respon model struktur regangan tarik pada bagian bawah lapis permukaan, dan  
 $|E^*|$  = modulus elastisitas pada lapis permukaan atau lapis *HMA*.

## 2. *Rutting*

*Rutting* (alur) adalah kerusakan pada bagian lapis permukaan akibat deformasi plastis yang terakumulasi dari setiap bagian struktur perkerasan, mulai dari lapisan aspal, lapisan pondasi, dan lapisan tanah dasar. Kriteria alur merupakan kriteria kedua yang digunakan dalam Metoda Analitis-Mekanistik, untuk menyatakan keruntuhan struktur perkerasan akibat beban berulang. Perlu ada pembatasan untuk nilai alur maksimum, tujuannya agar pengendara tetap aman saat kecepatan tinggi ketika melewati lokasi *rutting* tersebut.

Untuk mengukur deformasi plastis akibat pembebanan berulang pada campuran beraspal, beberapa jenis alat dari laboratorium dapat digunakan. Sedangkan "*total rutting*" perlu dihitung untuk semua struktur perkerasan, mulai dari lapis permukaan, lapis pondasi sampai lapis tanah dasar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 65% dari "*total rutting*" diakibatkan oleh penurunan (*settlement*) yang terjadi pada tanah dasar, sehingga *critical value* kedua dalam Metode Analitis-Mekanistik adalah "*compression strain*" yang terjadi pada titik teratas dari lapis tanah dasar. Retak Lelah tidak lebih sulit untuk diprediksi,

begitupun deformasi permanen dapat diketahui setiap lapisan dari struktur. Ukuran-ukuran kegagalan yang ada dimaksudkan untuk alur bahwa dapat ditunjukkan kebanyakan pada struktur perkerasan yang lemah. Ini adalah umumnya dinyatakan dalam kaitannya dengan menggunakan istilah regangan vertikal ( $\epsilon_c$ ) yang berada di atas dari lapisan tanah dasar (Fadhlan, 2013).

Berikut ini persamaan untuk mengetahui jumlah repitisi beban berdasarkan regangan tekan di bawah lapis pondasi bawah dengan Persamaan 3.12.

$$N_r = 1,365 \times 10^{-9} (\epsilon_c)^{-4,477} \quad (3.12)$$

keterangan :

$N_r$  = jumlah nilai beban repitisi yang diijinkan untuk mengontrol *rutting*,

$\epsilon_c$  = regangan tekan vertikal di atas lapisan tanah dasar,

$f_5$  = koefisien kriteria deformasi permanen, dan

$f_4$  = koefisien kriteria deformasi permanen.

### 3. *Permanent Deformation*

Persamaan *permanent deformation* perkerasan lentur untuk mengetahui jumlah repitisi beban digunakan Persamaan 3.13 sebagai berikut.

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (\epsilon_c)^{-4,477} \quad (3.13)$$

keterangan :

$N_d$  = nilai beban repitisi untuk mengontrol *rutting*,

$E_c$  = regangan tekan vertikal di atas lapisan dasar,

$f_5$  = Koefisien kriteria deformasi permanen, dan

$f_4$  = Koefisien kriteria deformasi permanen.

### 3.5 Fenomena Longsoran (*Land Slide*)

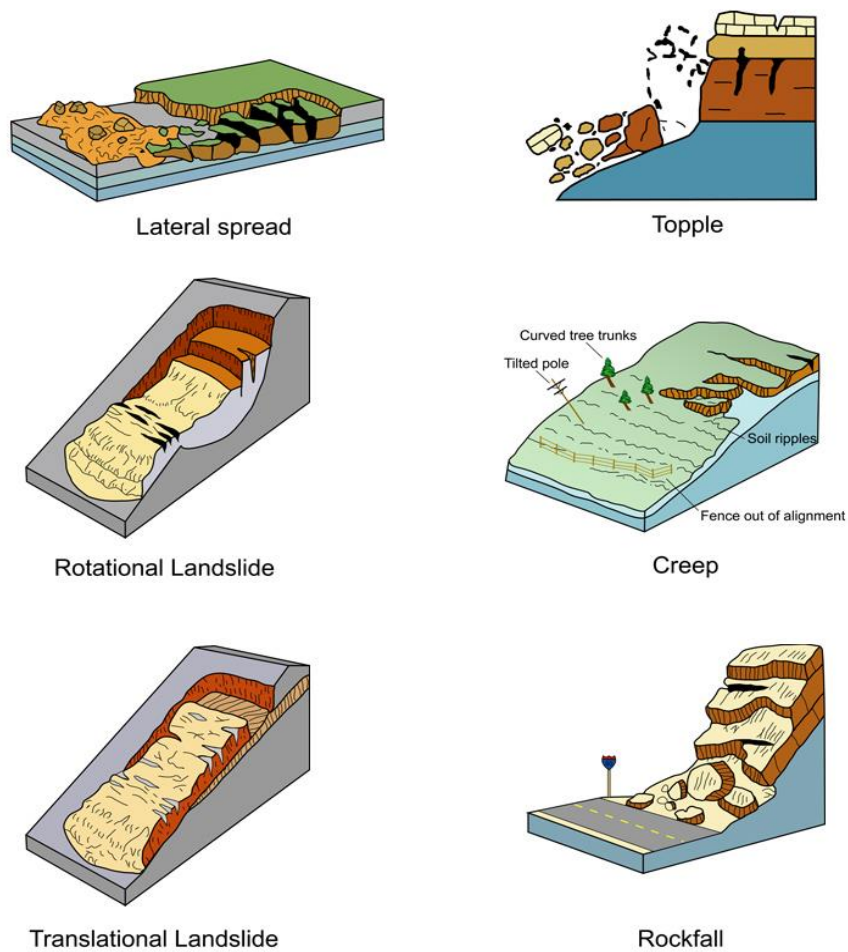
Tanah pelapukan yang sering dijumpai di Indonesia adalah hasil letusan gunung api. Tanah ini memiliki komposisi Sebagian besar lempung dengan sedikit pasir dan

bersifat subur. Tanah pelapukan yang berada di atas batuan kedap air pada perbukitan atau pegunungan dengan kemiringan sedang hingga terjal yang berpotensi mengakibatkan tanah longsor pada musim hujan dengan curah hujan berkuantitas tinggi. Jika perbukitan tersebut tidak ada tanaman keras berakar keras kuat dan dalam, kawasan tersebut rawan bencana tanah longsor. Tanah ini diakibatkan oleh air tanah yang mendorong masa tanah dan/atau batuan sehingga terjadi longsor.

Dalam mendefinisikan longsor terdapat kesamaan antara pengertian longsor (*landslide*) dengan gerakan tanah (*mass movement*). Gerakan tanah ialah perpindahan massa tanah/batu pada arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan semula. Gerakan tanah mencakup gerak rayapan dan aliran maupun longsor. Menurut definisi ini longsor adalah bagian gerakan tanah. Jika menurut definisi ini perpindahan massa tanah/batu pada arah tegak adalah termasuk gerakan tanah, maka gerakan vertikal yang mengakibatkan *bulging* (lendutan) akibat keruntuhan fondasi dapat dimasukkan pula dalam jenis gerakan tanah. Gerakan tanah dan longsor dapat diklasifikasikan berdasarkan mekanisme dan kecepatan pergerakan. Berdasarkan jenis gerakannya, lereng dikelompokkan menjadi runtuh (*falls*), pengelupasan (*topples*), aliran tanah (*earth flow/debris flow*), dan longsor (*slides*) (Puspita, 2017).

Pengertian tanah longsor adalah perpindahan material atau masa pembentuk lereng berupa batuan, bahan rombakan, tanah, dan/atau material campuran bergerak ke bawah atau keluar lereng. Proses terjadinya tanah longsor dapat dijelaskan sebagai berikut. Air tanah yang meresap ke dalam tanah akan menambah bobot tanah dan menimbulkan tekanan. Jika air tersebut menembus sampai tanah kedap air (atau batuan lain yang tidak menembus air) yang berperan sebagai bidang gelincir, tanah menjadi licin dan pelapukan di atasnya akan bergerak dengan mudah mengikuti lereng dan keluar dari lereng Hunger dkk., (2014) dalam Paulus & Basuki (2020).

Secara umum ada enam (6) jenis tanah longsor (*landslide*), yakni pada Gambar 3.7 berikut.



**Gambar 3.7** Pola Longsoran  
 (Sumber: idahogeology.org, diakses 2021)

1. *Lateral spread* (longsoran menyebar lateral)
2. *Rotation landslide* (longsoran rotasi)
3. *Translational landslide* (longsoran translasi)
4. *Topple (landslide)*
5. *Creep* (merayap)
6. *Rockfall* (runtuhan batu).

Kemiringan lereng memiliki hubungan secara langsung dengan gejala longsor (*sliding*). Kemiringan lereng umumnya dinyatakan dengan 1 Vertikal : Lereng Horizontal seperti pada Tabel 3.14. Pengukuran fisik ini memudahkan untuk membangun dan untuk tujuan analisis kestabilan lereng.

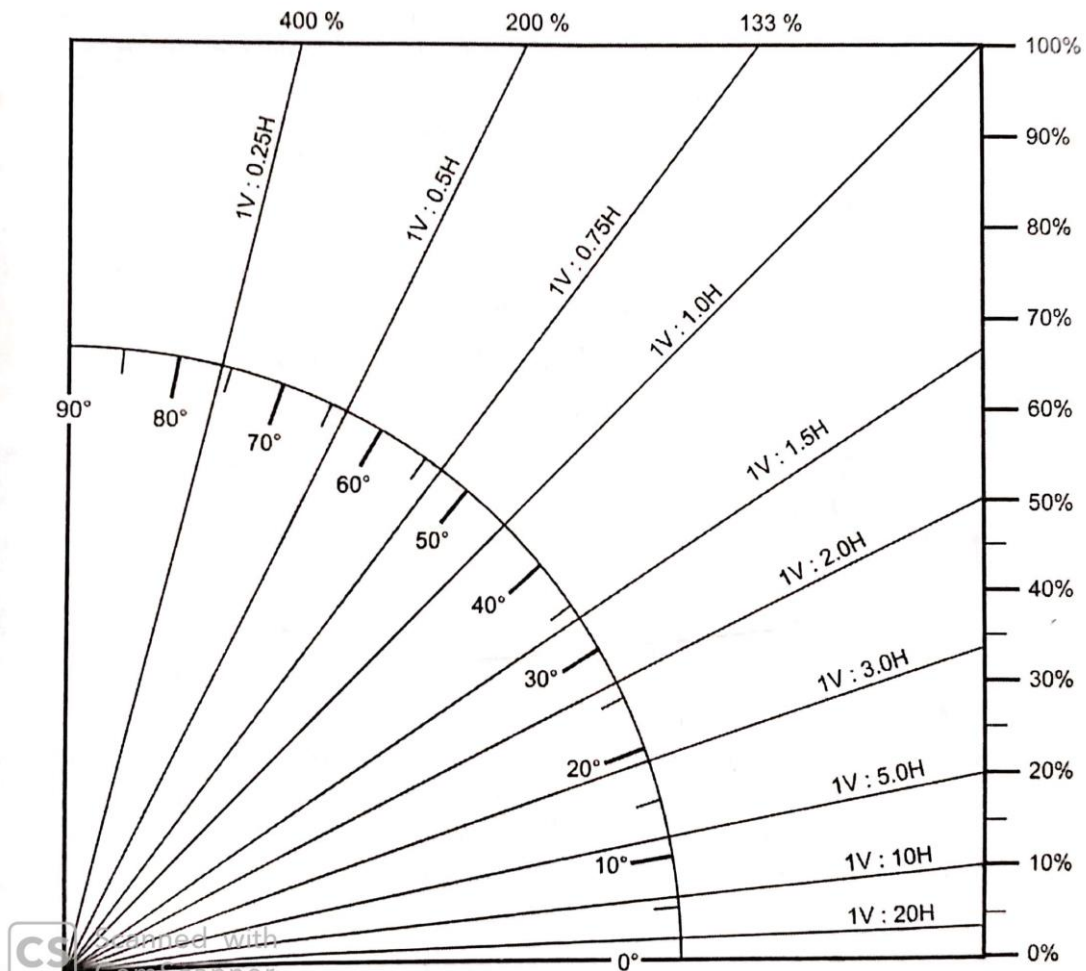
**Tabel 3.14** *Slope Measurements*

Deskripsi	Derajat	Radian	Garis Singgung	Peresentase (%)	1 Vertikal: Horizontal	Pertimbangan Desain	
Datar	0	0,000	0,000	0	$\infty$	Desain lereng dengan drainase	
Sedang	5	0,087	0,087	9	11,4		
	10	0,174	0,176	18	5,7		
Curam	11.3	0,197	0,200	20	5,0		
	15	0,262	0,268	27	3,7		
	18.4	0,322	0,333	33	3,00		
	20	0,349	0,364	36	2,75		
	25	0,436	0,466	47	2,14		
Sangat curam	26.6	0,464	0,500	50	2,00		
	30	0,524	0,577	58	1,73		
	33.7	0,588	0,667	67	1,50		
	35	0,611	0,700	70	1,43		
	40	0,698	0,839	84	1,19		
Lereng curam ekstrem	45	0,785	1,000	100	1,00		Desain perkuatan kalau lereng tanah
	50	0,873	1,192	119	0,84		
	55	0,960	1,428	143	0,70		
	60	1,047	1,732	173	0,58		
	63	1,107	2,000	200	0,50		
	65	1,134	2,145	214	0,47		
Subvertikal	70	1,22	2,75	275	0,36	Dengan desain dinding bila lereng <i>soil</i>	
	75	1,31	3,73	373	0,27		
	76	1,33	4,0	400	0,25		
	80	1,40	5,7	567	0,18		
	85	1,48	11,4	1143	0,09		
Vertikal	90	1,57	$\infty$	$\infty$	0,00		

Sumber: Paulus & Basuki (2020)



Degradasi lereng dapat dibagi menjadi gerakan masa dan erosi permukaan serta definisi kemiringan dinyatakan dalam sudut dengan perbandingan kemiringan lereng terhadap vertikal seperti ditunjukkan pada Gambar 3.8 berikut.



**Gambar 3.8** Definisi Kemiringan  
(Sumber: Paulus & Basuki, 2020)

### 3.6 Stabilitas Lereng

#### 3.6.1 Pendahuluan

Akibat gaya gravitasi akan memudahkan massa tanah bergerak ke bawah pada permukaan yang miring atau tidak horizontal. Besarnya gaya gravitasi mengakibatkan

terjadinya penurunan tahanan geser di sepanjang bidang longsor tanah, sehingga perlawanan yang dikerahkan oleh tanah terlampaui dan terjadi longsor. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring ini, disebut analisis stabilitas lereng. Dalam mendesain bangunan-bangunan seperti urugan tanah, saluran, bendungan, rel kereta api, bandara, dan lain-lain, biasanya digunakan analisis ini. Analisis ini sering dilakukan untuk mengetahui keamanan dari lereng urugan tanah, lereng galian, dan lereng alam (Hardiyatmo, 2014).

Efek skala mikro yang menyebabkan pergerakan lereng diilustrasikan seperti pada Tabel 3.15. Keruntuhan lereng terjadi karena penurunan tegangan tanah atau peningkatan *stress*. Lereng dipengaruhi oleh beban, tegangan, geometri, dan kondisi air. Beban mungkin bersifat permanen, seperti beratnya sendiri atau sementara (dinamis dari ledakan).

**Tabel 3.15** Penyebab Keruntuhan Lereng

<b>Penurunan tegangan tanah</b>	<b>Peningkatan tegangan geser</b>
Tekanan pori meningkat (mengurangi <i>stress</i> efektif). Perubahan ketinggian air (seringkali karena perubahan penggunaan lahan). Pembuangan air yang tidak terkontrol dari saluran. Tanah dengan permeabilitas tinggi memiliki perubahan cepat – termasuk tanah berbutir kasar, lempung dengan rekatan, celah, dan lensa.	Beban di bagian atas lereng. Penempatan dengan pengisian dan konstruksi bangunan di atas fondasi dangkal dekat puncak lereng.
Retakan. Ketengan di tanah di permukaan tanah. Berlaku hanya di tanah dengan tegangan tarik. Tegangan menjadi nol di zona retak.	Tekanan air dalam retakan di bagian atas lereng. Menghasilkan tekanan hidrostatik. Jika air dalam retakan sebagai hasil rembesan dengan masa periode lama, dengan peningkatan tekanan pori.

Lanjutan **Tabel 3.14** Penyebab Keruntuhan Lereng

<b>Penurunan tegangan tanah</b>	<b>Peningkatan tegangan geser</b>
<p><i>Swelling</i>. Berlaku untuk lempung sangat plastik dan <i>over consolidation</i>. Umumnya prosesnya lambat (10 hingga 20 tahun). Tekanan <i>confined</i> (pengekangan) yang rendah dan akses air dalam jangka waktu lama menyebabkan terjadinya <i>swelling</i>.</p>	<p>Menambah berat tanah. Perubahan kadar air karena perubahan dalam permukaan air, infiltrasi atau rembesan. Menambah berat pohon yang tumbuh dan beban angin pada pohon-pohon tersebut. Vegetasi awalnya memiliki efek menstabilkan (efek kohesi akar).</p>
<p>Pengembangan <i>slickensides</i>. Berlaku terutama untuk lempung yang sangat plastik. Dapat berkembang akibat hasil dari pergerakan tektonik.</p>	<p>Pergerakan gaya lateral di ujung lereng. Bisa jadi buatan manusia atau karena terjadi erosi di dasar lereng.</p>
<p>Dekomposisi dengan mengisi batuan lempung. Serpihan lempung dan batu lempung mungkin tampak seperti batu yang keras pada awalnya, tetapi ketika terkena air dapat memukau dan menurunkan tegangannya (seperti jenis <i>clayshales</i>).</p>	<p>Perubahan tingkat kemiringan. Kemiringan lereng baik buatan manusia (terutama) atau melalui proses alami.</p>
<p>Merayap di bawah beban berkelanjutan. Berlaku untuk lempung sangat plastik. Mungkn disebabkan oleh beban siklik seperti variasi proses-proses beku-cair atau basah-kering.</p>	<p>Penurunan ketinggian air berdekatan dengan kemiringan. Air memberikan efek menstabilkan. Efek <i>drawdown</i> cepat terjadi dengan sangat cepat.</p>
<p>Pelarutan. Perubahan komposisi kimia. Pelarutan garam dari lempung laut berkontribusi cepat terhadap lempung, yang memiliki tegangan yang dapat diabaikan ketika kondisi terganggu.</p>	<p>Pembebanan dinamis. Biasanya terkait dengan tegangan gempa atau akibat getaran peledakan. Hasil akselerasi horizontal atau vertikal. Dapat menghasilkan pengurangan tegangan tanah.</p>
<p><i>Strain softening</i>. Berlaku untuk tanah rapuh. Pelapukan. Berlaku untuk tanah yang tidak rata. Beban siklik. Berlaku untuk tanah yang lepas. Pasir yang lepas bisa terjadi likuifaksi.</p>	

Sumber: Duncan & Wright (2005)

### 3.6.2 Teori Analisis Stabilitas Lereng

Konsep Limit Plastic Equilibrium (kesetimbangan batas) dijadikan sebagai dasar dalam praktek analisis stabilitas lereng, dengan tujuan agar dapat memperoleh bidang longsor potensial sehingga nilai faktor aman dapat ditentukan. (Pradhana, 2018). Dalam analisis stabilitas lereng, beberapa anggapan dibuat sebagai berikut:

1. lereng dianggap sebagai bidang 2 dimensi dengan kelongsoran terjadi di sepanjang bidang longsor,
2. longsor massa tanah dianggap benda massif,
3. diasumsikan kuat geser tanah bersifat isotropis, dengan kata lain tahanan geser tanah di sepanjang bidang longsor tidak berpengaruh pada orientasi permukaan longornya, dan
4. hasil nilai rata-rata dari tegangan geser tanah dan kuat geser tanah di sepanjang bidang longsor kritis menjadi faktor utama. Jadi, kuat geser tanah mungkin terlampaui di titik-titik tertentu pada bidang longornya, padahal faktor aman hasil hitungan lebih besar 1.

Faktor aman didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan sebagaimana dapat dilihat pada Persamaan 3.14.

$$SF = \frac{\tau}{\tau_d} \quad (3.14)$$

keterangan,

SF = faktor aman,

$\tau$  = tahanan geser maksimum, dan

$\tau_d$  = tahanan geser yang timbul akibat gaya berat tanah yang akan longsor.

Menurut *Mohr-Coulumb*, tahanan geser maksimum ( $\tau$ ) yang dapat dikerahkan oleh tanah di sepanjang bidang longornya, dinyatakan dalam Persamaan 3.15.

$$\tau = c + \sigma \cdot \text{tg}\phi \quad (3.15)$$

keterangan :

$c$  = kohesi,

$\sigma$  = tegangan normal, dan

$\phi$  = sudut gesek dalam tanah.

Nilai-nilai  $c$  dan  $\phi$  adalah parameter kuat geser tanah di sepanjang bidang longsor. Dengan cara yang sama, dapat dituliskan Persamaan 3.16 tegangan geser yang terjadi ( $\tau_d$ ) akibat beban tanah dan beban-beban lain pada bidang longsornya.

$$\tau_d = c_d + \sigma \cdot \text{tg } \phi_d \quad (3.16)$$

keterangan,

$c_d$  = kohesi yang terjadi, dan

$\phi_d$  = sudut gesek dalam yang terjadi.

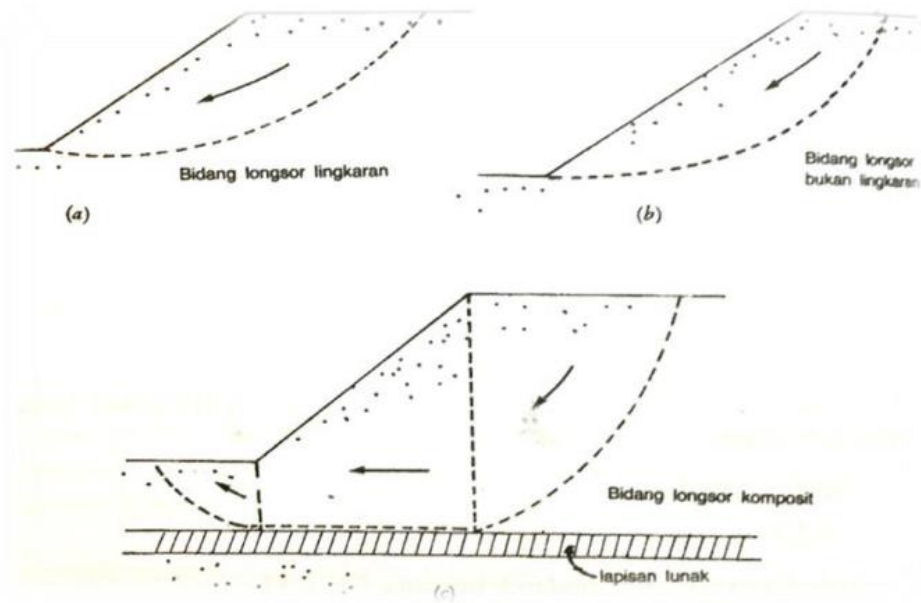
Substitusi Persamaan 3.15 dan Persamaan 3.16 diperoleh faktor aman pada Persamaan 3.17 sebagai berikut.

$$SF = \frac{c + \sigma \cdot \text{tg } \phi}{c_d + \sigma \cdot \text{tg } \phi_d} \quad (3.17)$$

### 3.6.3 Analisis Stabilitas Lereng dengan Bidang Longsor Berbentuk Lingkaran

Bentuk bidang longsor yang berupa lengkungan dan homogen kebanyakan mengalami peristiwa longsoran. Dengan bertambahnya kadar air tanah pada tanah kohesif akan meningkatkan kemungkinan terjadinya keruntuhan pada lereng. Akibat dari kuat geser tanah yang lemah, maka tanah akan bergerak ke bawah ke arah bidang longsornya sehingga terjadi fenomena yang dinamakan longsor.

Lengkung bidang longsor dapat berbentuk bidang lingkaran, spiral logaritmik ataupun kombinasi dari keduanya. Kadang-kadang, dijumpai pula suatu bidang longsor ini diperlihatkan dalam Gambar 3.9.



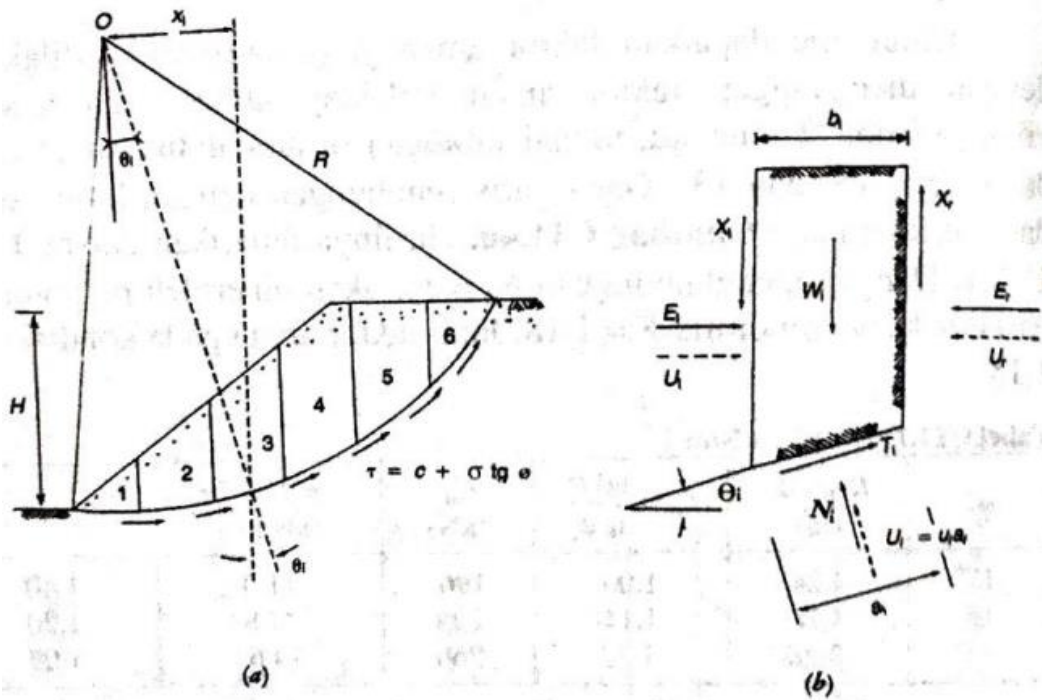
**Gambar 3.9** Bentuk-Bentuk Bidang Longsor pada Lereng

(Sumber: Hardiyatmo, 2014)

Untuk mempermudah hitungan maka pada metode ini dibentuklah lingkaran pada longsor lereng, dengan cara matematik lereng akan dianalisis stabilitasnya, dan selain itu juga kondisi tersebut lebih mendekati keadaan sesungguhnya. Lokasi longsor kritis dan sifat-sifat dari tanah akan memberikan pengaruh terhadap hasil perhitungan analisis ketsabilan lereng dengan metode ini. Sifat-sifat tanah ditentukan berdasarkan benda uji asli (undisturbed), sedangkan untuk material tanah yang bercampur pasir dan kerikil, benda uji sangat sulit diperoleh.

### 3.6.4 Analisis Stabilitas Lereng *Fellenius Sliced Method*

Metode irisan (*method of slice*) adalah cara untuk menganalisis stabilitas apabila tanah tidak homogen dan aliran rembesan terjadi didalam tanah tidak menentu. Berat tanah pada suatu titik dalam lingkaran bidang longsor dianggap sebagai gaya normal yang bekerja. Metode ini akan membagi satu bidang longsor yang berbentuk lingkaran menjadi beberapa irisan-irisan. Dapat dilihat pada Gambar 3.10.



**Gambar 3.10** Gaya-Gaya yang Bekerja pada Irisan

(Sumber: Hardiyatmo, 2014)

Berdasarkan Gambar 3.10 disajikan satu irisan tanah dengan masing-masing gaya yang bekerja. Setiap gaya terdiri dari gaya geser ( $E_r$  dan  $E_1$ ) dan gaya normal efektif ( $X_r$  dan  $X_1$ ) di sepanjang sisi irisannya, dan juga resultan gaya geser efektif ( $T_i$ ) dan resultan gaya normal efektif ( $N_i$ ) yang bekerja disepanjang dasar irisan. Tekanan air pori ( $U_i$  dan  $U_r$ ) bekerja di kedua sisi irisan, dan tekanan air pori ( $U_i$ ) bekerja pada dasarnya. Tekanan air pori dianggap telah diketahui sebelumnya.

Pada analisis stabilitas lereng metode Fellenius diasumsikan gaya-gaya yang berada pada setiap irisan bekerja di sisi kanan dan kiri, dengan resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Dengan anggapan ini, keseimbangan arah vertikal dan gaya-gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori terdapat pada Persamaan 3.17 dan 3.18.

$$N_i + U_i = W_i \cos \alpha_i \quad (3.17)$$

Atau

$$\begin{aligned} N_i &= W_i \cos \alpha_i - U_i \\ &= W_i \cos \alpha_i - u_i \alpha_i \end{aligned} \quad (3.18)$$

Faktor aman didefinisikan pada Persamaan 3.19.

$$\begin{aligned} SF &= \frac{\text{Jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{Jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor}} \\ &= \frac{\sum Mr}{\sum Md} \end{aligned} \quad (3.19)$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah  $R \sin \Theta$  dilihat pada Persamaan 3.20.

$$\sum M_d = R \sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \Theta_i$$

keterangan :

- R = jari-jari lingkaran bidang longsor (m),
- n = jumlah irisan
- $W_i$  = berat massa tanah irisan ke-i (kN), dan
- $\alpha_i$  = sudut yang didefinisikan ( $^\circ$ ).

Dengan cara yang sama, momen yang menahan tanah akan longsor dilihat pada Persamaan 3.20.

$$\sum Mr = R \sum_{i=1}^{i=n} (c\alpha_i + N_i \operatorname{tg}\phi) \quad (3.20)$$

Sehingga Persamaan untuk faktor aman dapat dilihat pada Persamaan 3.21.

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (c\alpha_i + N_i \operatorname{tg}\phi)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \alpha_i} \quad (3.21)$$



Bila terdapat air pada lereng, tekanan air pori pada bidang longsor tidak menambah momen akibat tanah yang akan longsor ( $M_d$ ), karena resultan gaya akibat tekanan air pori lewat titik pusat lingkaran. Substitusi Persamaan 3.18 ke Persamaan 3.21, diperoleh Persamaan 3.22.

$$SF = \frac{\sum C \cdot L_i + (W_i \cos \alpha_i - u_i \alpha_i) \operatorname{tg} \phi}{\sum W_i \sin \alpha_i} \quad (3.22)$$

keterangan :

- SF = faktor aman,
- c = kohesi ( $\text{kN/m}^2$ ),
- $\phi$  = sudut gesek ( $^\circ$ ),
- $L_i$  = panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-I (m),
- $W_i$  = berat massa tanah irisan ke-I (kN),
- $u_i$  = tekanan air pori pada irisan ke-I ( $\text{kN/m}^2$ ), dan
- $\alpha_i$  = sudut yang didefinisikan ( $^\circ$ ).

Jika terdapat gaya-gaya selain berat tanahnya sendiri, seperti beban bangunan diatas lereng, maka momen akibat beban ini diperhitungkan sebagai  $M_d$ .

Nilai faktor aman dari metode Fellenius lebih teliti karena menghasilkan angka yang kecil dari hasil perhitungannya. Tekanan air pori yang tinggi, pemilihan sudut pusat lingkaran kelongsoran, dan faktor aman akan berdampak pada hasil perhitungan.. Meskipun analisis dilakukan saat kondisi tegangan total hasil perhitungan tetap hanya dipengaruhi oleh faktor keamanan dan jari-jari longsor.. Dalam praktek langsung di lapangan, metode ini sering digunakan karena hasil yang diperoleh masih tergolong aman dengan tingkat kesalahan yang kecil dan ketelitian yang baik.

Untuk mengetahui seberapa intensnya suatu keruntuhan pada lereng maka (Bowles, 1989) dalam bukunya Sifat-Sifat Fisik & Geoteknis Tanah membagi menjadi 3 kelompok seperti pada Tabel 3.16 berikut.

**Tabel 3.16** Hubungan Nilai Faktor Keamanan Lereng dan Intensitas Longsor

Nilai Faktor Keamanan (SF)	Kejadian/Intensitas Longsor
SF kurang dari 1,07	Longsor terjadi biasa/sering (Lereng labil)
SF antara 1,07 sampai 1,25	Longsor pernah terjadi (Kritis)
SF diatas 1,25	Longsor jarang terjadi

Sumber: Bowles (1989)

### 3.7 Analisis Stabilitas Lereng Pengaruh Gempa

#### 3.7.1 Persyaratan Gempa Untuk Lereng (SNI 8460-2017)

Lereng akan terkena dampak dari gaya-gaya inersia yang diakibatkan oleh percepatan puncak di permukaan tanah, akibatnya akan terjadi deformasi permanen dan menurunnya faktor keamanan stabilitas lereng. Ada dua pendekatan untuk menganalisis kestabilan lereng akibat gaya seismik, diantaranya sebagai berikut.

1. *Limit equilibrium methods* (kesetimbangan batas), metode ini menggunakan pemodelan pseudostatik berdasarkan representasi dari gaya seismik yang terjadi. Faktor keamanan minimum dipersyaratkan sebesar  $SF > 1$  dengan nilai koefisien seismik berupa percepatan puncak di permukaan (PGA).  $K_h$  (koefisien seismik horizontal) adalah sebesar 0,5 dari percepatan puncak horizontal berdasarkan faktor amplifikasi dan kelas situsnya.
2. Analisis berbasis perpindahan (*displacement-based*) dengan konsep blok keruntuhan *Newmark (Newmark sliding block)* atau metode pemodelan numerik.

Pengaruh beban gempa diperhitungkan jika lereng galian atau timbunan direncanakan dibangun di dekat area pemukiman atau dibangun dengan kriteria kepentingan strategis yaitu dengan kondisi tidak boleh mengalami keruntuhan atau terputusnya lajur transportasi setelah terjadi gempa rencana. Gempa rencana untuk lereng galian dan timbunan ditetapkan dengan kemungkinan terlewatinya besarnya selama umur rencana 50 tahun adalah 2% atau setara dengan periode ulang 500 tahun dengan mengacu pada peta gempa yang terdapat pada surat edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 12/SE/M/2010.

Faktor keamanan minimum yang disyaratkan untuk analisis menggunakan model *pseudostatik* adalah lebih besar dari 1,1 ( $SF > 1,1$ ) dengan menggunakan koefisien seismik yang didapatkan dari percepatan puncak di permukaan (PGA) dengan penentuan kelas situs Tabel 3.17 dan faktor amplifikasi Tabel 3.18.

**Tabel 3.17** Klasifikasi Situs

Klasifikasi Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}_{SPT}$ atau $\bar{N}_{SPTch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1.500	N/A	N/A
SB (batuan dasar)	750 sampai 1.500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks Plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air, $(w) \geq 40\%$ , dan 3. Kuat geser niralir, $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan penyelidikan geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan, $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas tinggi (ketebalan, $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas, $PI > 75$ ) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

Sumber: AASHTO, (2012)

Keterangan:

$N_{SPT}$  = nilai rata rata tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata

$N_{SPTch}$  = nilai rata rata tahanan penetrasi standar untuk lapisan tanah non kohesif

$v_s$  = nilai rata rata kecepatan gelombang geser (m/detik)

$s_u$  = nilai rata rata kuat geser niralir lapisan (kPa)

N/A = tidak dapat dipakai.

**Tabel 3.18** Besarnya Nilai Faktor Amplifikasi (AASHTO, 2012)

Untuk <i>PGA</i> dan Periode 0,2 detik ( $F_{pga}$ dan $F_a$ )					
Kelas situs	$PGA \leq 0,1$ $S_s \leq 0,25$	$PGA = 0,2$ $S_s = 0,5$	$PGA = 0,3$ $S_s = 0,75$	$PGA = 0,4$ $S_s = 1,0$	$PGA \leq 0,5$ $S_s \leq 1,25$
Batuan keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah Lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS
Untuk periode 1 detik ( $F_v$ )					
Kelas situs	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 \leq 0,2$	$S_1 \leq 0,3$	$S_1 \leq 0,4$	$S_1 \leq 0,5$
Batuan keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah sedang (SD)	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Tanah Lunak (SE)	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
Tanah khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Sumber: SNI-8460, (2017)

Keterangan:

**PGA** adalah percepatan puncak batuan dasar (SB) mengacu pada peta gempa dengan periode ulang rencana sesuai persyaratan infrastruktur yang digunakan

**S<sub>s</sub>** adalah percepatan spektral respons horizontal di batuan dasar (SB) pada periode 0,2 detik dengan periode ulang rencana sesuai persyaratan infrastruktur yang digunakan

**S<sub>1</sub>** adalah percepatan spektral respons horizontal di batuan dasar (SB) pada periode 1,0 detik dengan periode ulang rencana sesuai persyaratan infrastruktur yang digunakan

**SF** adalah lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons spesifik-situs.

Selain mengacu pada Tabel 3.16 dari Bowles, SNI 8460-2017 juga mensyaratkan nilai faktor keamanan untuk stabilitas lereng khususnya pada saat kondisi gempa (Tabel 3.19).

**Tabel 3.19** Nilai Faktor Keamanan Lereng pada Kondisi Gempa

<b>Faktor Keamanan (SF)</b>	<b>Analisis</b>
SF > 1,1	Model Pseudostatik
SF > 1,1	Stabilitas Global
SF > 1,5	<i>Nail</i> Terhadap Cabut
SF > 1,3	Kapasita Tarik <i>Nail</i>
SF > 1,0	Kesetimbangan Batas

Sumber: SNI-8460, (2017)

Keterangan:

Beradasrkan Tabel 3.19 maka dapat diambil nilai tengah sebesar 1,3 ( $SF \geq 1,30 =$  Aman) untuk menyeragamkan semua hasil dari analisis terhadap lereng yang ditinjau.

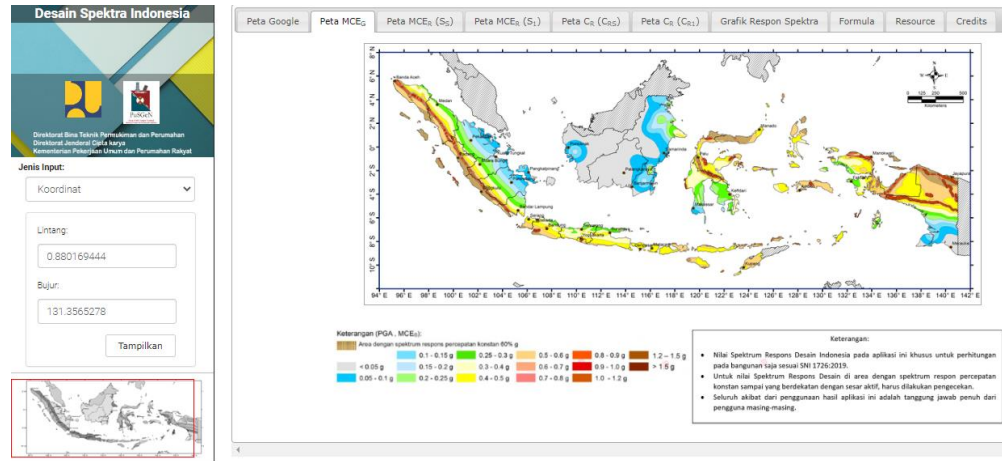
### 3.7.2 Aplikasi Spektrum Respons Desain Indonesia 2021

Aplikasi Respon Spektra Indonesia 2021 merujuk pada Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 dan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, untuk mempermudah perhitungan beban gempa. Untuk bisa memperoleh kurva desain dari berbagai jenis tanah (klas situs), pengguna cukup meng-input data lokasi berupa koordinat lintang-bujur atau nama lokasi daerah kajian, maka secara otomatis aplikasi ini akan memberikan hasil yang dibutuhkan.

Berikut ini berapa hal perlu untuk dipertimbangkan dalam perhitungan beban gempa tersebut antara lain:

1. Nilai Spektrum Respons Desain Indonesia pada aplikasi ini khusus untuk perhitungan pada bangunan saja sesuai SNI 1726:2019,
2. Pemakai agar melakukan pengecekan sendiri apakah sudah sesuai dengan peta, faktor amplifikasi sesuai klas situs dan metoda pembuatan respon spektral yang ada dalam SNI 1726:2019,
3. Untuk nilai Spektrum Respons Desain di area dengan spektrum Respons percepatan konstan sampai yang berdekatan dengan sesar aktif, pemakai harus melakukan pengecekan sendiri, dan

4. Seluruh akibat dari penggunaan hasil aplikasi ini adalah tanggung jawab penuh dari pengguna masing-masing. Berikut ini Gambar 3.11.



**Gambar 3.11** Tampilan Awal Aplikasi Desain Spektra Indonesia 2021

(Sumber: [www.rsa.ciptakarya.pu.go.id/](http://www.rsa.ciptakarya.pu.go.id/))

### 3.7.3 Metode Analisis Gempa Untuk Lereng (EN 1998-5-2004)

Untuk dapat menghitung efek gempa pada kestabilan lereng diperlukan salah 1 dari 2 (dua) variabel yaitu koefisien percepatan horizontal ( $K_h$ ) atau vertikal ( $K_v$ ). Pada umumnya dalam analisis stabilitas lereng koefisien percepatan horizontal  $K_h$  tidak digunakan atau diasumsikan dengan nilai 0. Untuk itu agar diperoleh keadaan lereng saat terjadi gempa perlu dimasukkan nilai  $K_h$  dalam proses analisis. Nilai ini mewakili antara rasio percepatan horizontal dan gravitasi. Besarnya nilai  $K_h$  akan menghasilkan nilai faktor keamanan SF semakin menurun.

Pendekatan metode kesetimbangan batas batas (*limit equilibrium methods*) dalam model pseudostatik perlu mempertimbangkan koefisien percepatan horizontal  $K_h$ . Nilai  $K_h$  dianalisis dengan diasumsikan sebagai gaya horizontal tambahan. Gaya tersebut bekerja dipusat gravitasi masing-masing dari berat irisan tanah dengan besaran  $F_h$  seperti pada Persamaan 3.23 berikut.

$$F_h = K_h \cdot W_i \quad (3.23)$$

keterangan :

$F_h$  = gaya *seismic*,

$K_h$  = koefisien percepatan horizontal, dan

$W_i$  = berat irisan tanah.

Dimana nilai  $K_h$  yang bekerja pada masing-masing berat irisan tanah dapat diperoleh dengan Persamaan 3.24 berikut. Berikut juga disajikan Gambar 3.12.

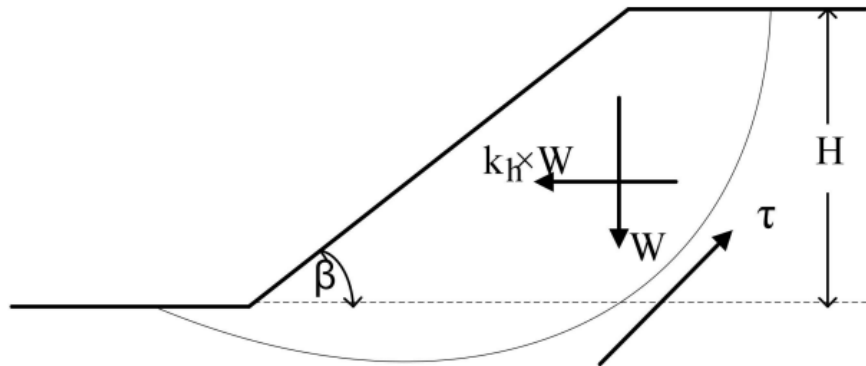
$$K_h = 0,5 \cdot S \cdot \frac{PGA}{g} \quad (3.24)$$

keterangan :

$S$  = mengacu pada Tabel 3.18,

$PGA$  = mengacu pada Tabel 3.18, dan

$g$  = konstanta gravitasi = 9,81



**Gambar 3.12** Model Analisis Stabilitas Lereng Pengaruh Gempa  
(Sumber: Asteris dkk., 2022)

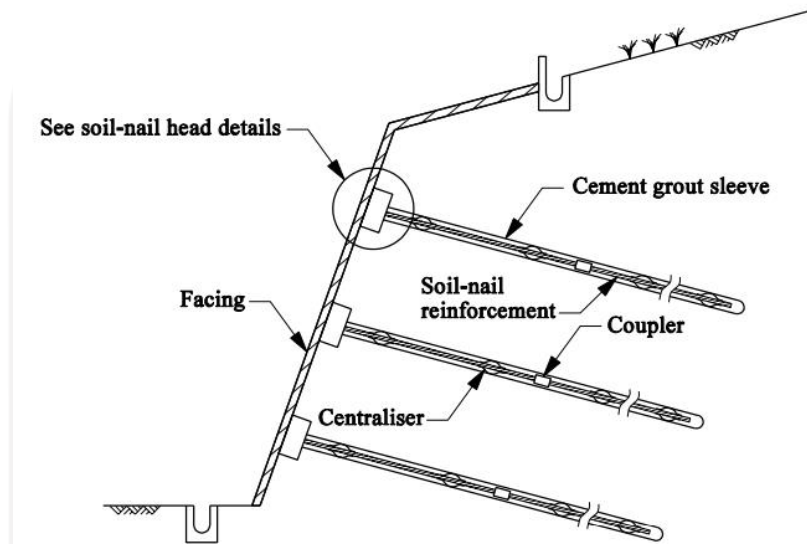
Sehingga Persamaan 3.22 dapat disubstitusi menjadi Persamaan 3.25 sebagai berikut.

$$SF = \frac{\sum C.L_i + (W_i \cos \alpha_i - u_i \alpha_i) \operatorname{tg} \phi}{\sum W_i \sin \alpha_i + \sum F_h \cos \theta_i} \quad (3.25)$$

### 3.8 Soil Nailing

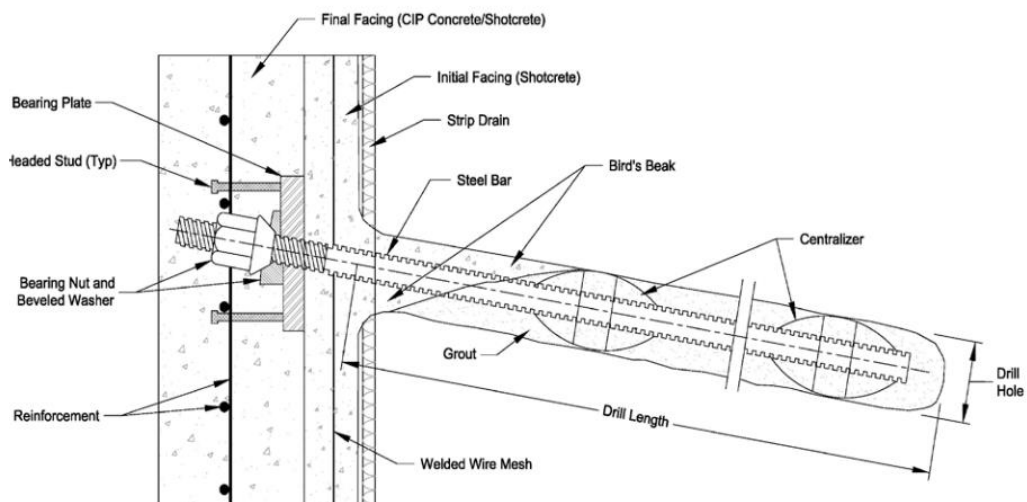
#### 3.8.1 Perancangan Dan Elemen Dasar

Secara umum elemen-elemen yang dibutuhkan dalam perkuatan dengan *soil nailing* adalah sebagai berikut (Gambar 3.13 dan Gambar 3.14).



**Gambar 3.13** Potongan Melintang Lereng Dengan Perkuatan *Soil Nailing*

(Sumber: *Geotechnical Engineering Office, Hong Kong, 97 p, 2008*)



**Gambar 3.14** Detail Potongan Melintang Lereng Dengan Perkuatan *Soil Nailing*

(Sumber: *Porterfield et al. 1994*)



1. Batang Baja (*Nail Bars*)

Besarnya nilai kuat tarik yang dianjurkan oleh *Federal Highway Administration* (FHWA) adalah sebesar 420 MPa – 520 MPa dengan diameter bervariasi yaitu 19 mm, 22 mm, 25 mm, 29 mm, 32 mm, 36 mm, dan 43 mm, tergantung kebutuhan (Lazarte dkk., 2003).

Menurut standar ASTM A615 baja yang umum digunakan pada *soil nailing* adalah baja ulir dengan daya dukung tarik 420 MPa (60 ksi atau Grade 60) atau 520 MPa (75ksi atau *Grade 75*). Ukuran diameternya yang tersedia adalah 19, 22, 25, 29, 32, 36, dan 43 mm, serta ukuran panjang mencapai 18 m (Tabel 3.20).

**Tabel 3.20** Properti Baja Ulir [ASTM A615,  $F_y = 420$  dan  $525$  MPa (60 dan 75 ksi)]

Diameter		Luas Penampang		Berat Jenis		Kuat Leleh		Kapasitas Beban Aksial	
Ingris	mm	Inch <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	lbs/ft	kg/m	ksi	MPa	kips	kN
#6	19	0.44	284	0.86	21.8	60	414	26.4	118
						75	517	33.0	118
#7	22	0.66	387	0.99	25.1	60	414	36.0	160
						75	517	45.0	200
#8	25	0.79	510	1.12	28.4	60	414	26.4	118
						75	517	33.0	118
#9	29	1.00	645	1.26	32.0	60	414	36.0	160
						75	517	45.0	200
#10	32	1.27	819	1.43	36.3	60	414	76.2	339
						75	517	95.3	424
#11	36	1.56	1006	1.61	40.9	60	414	93.6	417
						75	517	117.0	520

Sumber: FHWA-SA-96-069R, (1998)

Berdasarkan ASTM ditentukan yang umum dipakai pada dinding soil nailing ialah baja ulir dengan kuat leleh 420 MPa. Untuk penelitian ini, digunakan baja ulir diameter 32 mm, kuat leleh 412 MPa, dan kapasitas beban aksial 339 kN.

2. *Nail Head*

*Nail head* biasanya keluar menonjol dari muka dinding (*wall facing*) yang merupakan bagian dari tulangan baja.

3. *Hex Nut, Washer, dan Bearing Plate*

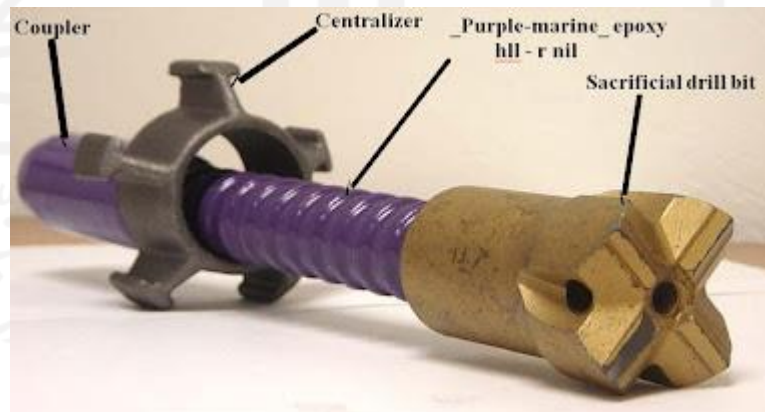
Mur persegi enam (*hex nut*) dan cincing logam/karet (*washer*) diharuskan mempunyai nilai kuat leleh sama dengan baja yang digunakan. Pelat penahan (*bearing plate*) berbentuk persegi dengan luasan 400-2.500 cm<sup>2</sup>, tebal 1,9 cm, dan kuat leleh 250 MPa (ASTM A36).

4. *Grout* (Cor Beton)

Tipe semen yang biasa digunakan untuk cor beton ialah tipe I, II, dan III, dengan bahan semen pasir air yang telah diadukan. Semen tipe I (normal) paling banyak digunakan untuk kondisi yang tidak memerlukan syarat khusus. Tipe II digunakan apabila tingkat oksidasi pada tanah cukup tinggi sehingga memerlukan panas hidrasi rendah dan sulfat yang lebih baik untuk mencegah korosi. Sedangkan untuk tipe III digunakan pada saat menginginkan waktu pelaksanaan yang cepat.

5. *Centralizers* (Penengah)

*Centralizers* terbuat dari bahan sintetik yang umum ditemukan ialah jenis PVC. Alat ini dipasang pada tulangan baja dengan jarak mulai dari 0,5 – 2,5 m di sepanjang Batangan baja tersebut. Tujuannya agar dapat terhindar dari oksidasi dalam tanah yang akan menyebabkan karat dengan cara memastikan ketebalan selimut beton sudah sesuai (Gambar 3.15)



**Gambar 3.15** *Centralizers* (Penengah)

(Sumber: Navid, 2009)

6. *Reinforcement Connector* (*Coupler*) Atau Penghubung

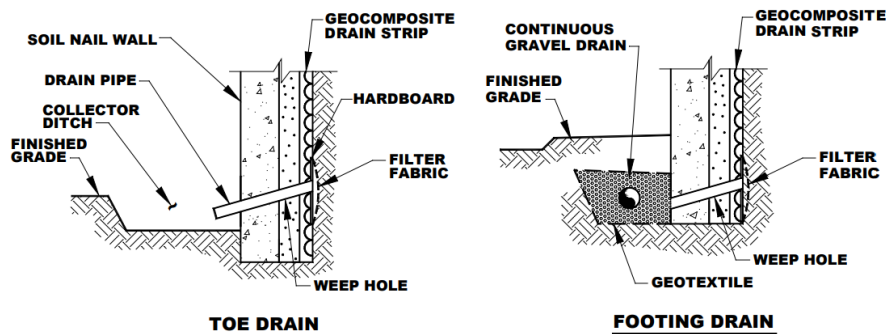
Penghubung ini berfungsi untuk menyambung setiap potongan baja yang memiliki panjang lebih dari yang dibutuhkan.

7. *Wall Facing* (muka/tampilan dinding)

Ada dua tahap dalam pelaksanaan muka dinding. Tahap pertama, pembuatan temporary facing (muka sementara) dari shotcrete (beton semprot), bertujuan untuk menghubungkan batang baja dari lubang bor ke muka dinding, dan mencegah dari erosi pada permukaan galian lereng. Tahap ke dua, pembuatan permanent facing (muka permanen) dari panel beton pracetak dengan beton semprot, tujuannya sama dengan tahap pertama, akan tetapi pada tahap ini pencegahan dari erosi bisa lebih baik dan salah satu yang penting ialah menambah nilai estetika.

8. *Drainage System* (sistem drainase)

Geokomposit biasa digunakan dengan cara dipasang vertikal di depan permukaan galian atau dibelakang dari muka dinding sementara, hal itu dilakukan agar dapat menurunkan tekanan air pada lereng. Perlu dibuatkan weep hole (saluran pembuangan) pada kaki lereng, agar air yang terkumpul pada geokomposit dapat dialirkan. (Gambar 3.16).

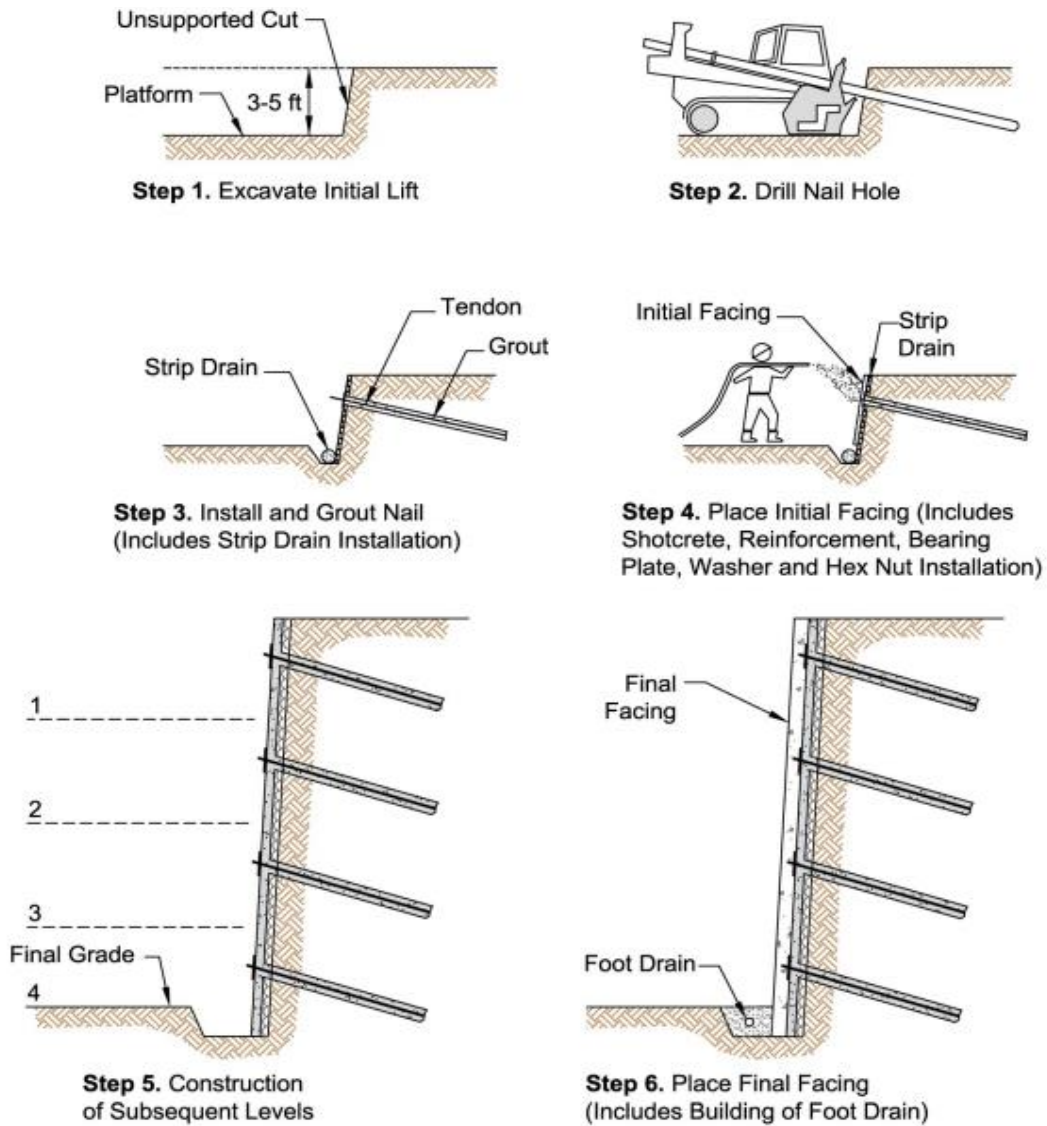


**Gambar 3.16** Sistem Drainase pada Dinding *Soil*

(Sumber: "*Soil Nail Walls Reference Manual*", Report FHWA-NHI-14-007)

### 3.8.2 Tahapan Konstruksi

Proses pekerjaan dalam pelaksanaan konstruksi dinding *soil nailing* bisa digambarkan dengan skematis seperti yang disajikan pada Gambar 3.17.



**Gambar 3.17** Tahapan Konstruksi Dinding *Soil Nailing* Secara Umum

(Sumber: "*Soil Nail Walls Reference Manual*", Report FHWA-NHI-14-007)

Keterangan:

Tahap 1. Galian Tanah

Galian tanah dilakukan secara bertahap dengan kedalaman galian tertentu (umumnya 1-2 m / 3 and 6 ft), hingga mencapai kedalaman galian rencana. Kedalaman galian tiap tahap harus disesuaikan dengan kemampuan tanah, sehingga muka galian dapat berdiri tanpa perkuatan, dalam periode waktu yang singkat (umumnya 24-48 jam).

Tahap 2. Pengeboran lubang *nail*

Agar dapat menghemat biaya dan lebih cepat dalam pelaksanaannya, maka metode ini biasanya dilakukan dengan cara pemboran tanpa selubung (casing). Pemboran drill casing digunakan pada kasus tanah yang memiliki nilai kestabilan rendah agar reruntuhan tanah tidak menutupi lubang bor. (Gamabar 3.18).



**Gambar 3.18** Pemboran Lubang *Nail*

(Sumber: "*Soil Nail Walls Reference Manual*", Report FHWA-NHI-14-007)

### Tahap 3. Pemasangan *Nail Bar* dan *Grouting*

Setelah centralizers terpasang pada batang baja selanjutnya ditancapkan ke dalam lubang bor untuk kemudian dicor beton. Umumnya hasil yang baik bisa diperoleh dengan cara menuangkan adukan beton ke dalam lubang bor. Daya Ikat yang lebih tinggi (*jet grouting*) diperlukan pada kasus dengan kondisi tanah yang memiliki kuat geser rendah. Beton yang padat dihasilkan dari tekanan pada *jet grouting* sehingga diameter lubang bor akan lebih padat dan akan lebih baik dalam menahan gaya cabut tulangan. Selain itu perlu juga untuk mencegah aliran air pada lereng. Oleh sebab itu seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pengendalian air dengan cara konvensional masih perlu dilakukan, seperti dengan menambahkan geokomposit yang dipasang secara vertikal agar air tanah tidak mudah masuk dan membuat tekanan air semakin tinggi pada lereng. (Gambar 3.19).



**Gambar 3.19** *Grouting* dengan Menggunakan Pipa Tremi  
(Sumber: FHWA0-IF-03-017, 2003)

Tahap 4. Pembuatan Muka Sementara (*Temporary Wall Facing*)

Muka sementara dari sebuah dinding *soil nailing* umumnya terbuat dari *shotcrete*, dengan ketebalan antara 75 sampai 100 mm. Lapisan *shotcrete* akan menjadi perkuatan sementara, dan melindungi permukaan galian dari erosi, serta sebagai pengisi rongga-rongga yang terbentuk akibat keretakan tanah. Berikut ini Gambar 3.20.



**Gambar 3.20** Tampilan Muka Sementara (*Temporary Facing*)

(Sumber: "*Soil Nail Walls Reference Manual*", Report FHWA-NHI-14-007)

Tahap 5. Pembangunan Tingkat Selanjutnya (*Construction of Subsequent Levels*)

Pengulangan langkah dari tahap 1 hingga 4, pada tiap – tiap level selanjutnya. Disetiap level penggalian gulungan dibuka hingga sampailah ke penggalian paling bawah. Digalian paling bawah kemudian geokomposit diikat pada *collecting toe drain*.

Tahap 6. Pembuatan Muka Permanen (*Permanent Wall Facing*)

Teknik yang biasanya digunakan dalam perakitan tampilan yang tahan lama adalah shotcrete dan semen pracetak. Terlepas dari dua strategi ini, masih ada banyak teknik yang mungkin, dan sedang dibuat. Produksi penampilan yang sangat tahan lama dari shotcrete setara dengan membuat wajah tidak kekal. Ketebalan muka shotcrete yang sangat tahan lama sebagian besar berjalan di suatu tempat di kisaran 150 dan 300 mm, tidak termasuk ketebalan dinding tidak permanen. Proyeksi dilakukan secara berlapis dengan ketebalan setiap lapisan antara 50 sampai 100 mm (Gambar 3.21).



**Gambar 3.21** Tampilan Muka Permanen (*Permanent Wall Facing*)  
(Sumber: "Soil Nail Walls Reference Manual", Report FHWA-NHI-14-007)

### 3.8.3 Kelebihan dan Kekurangan

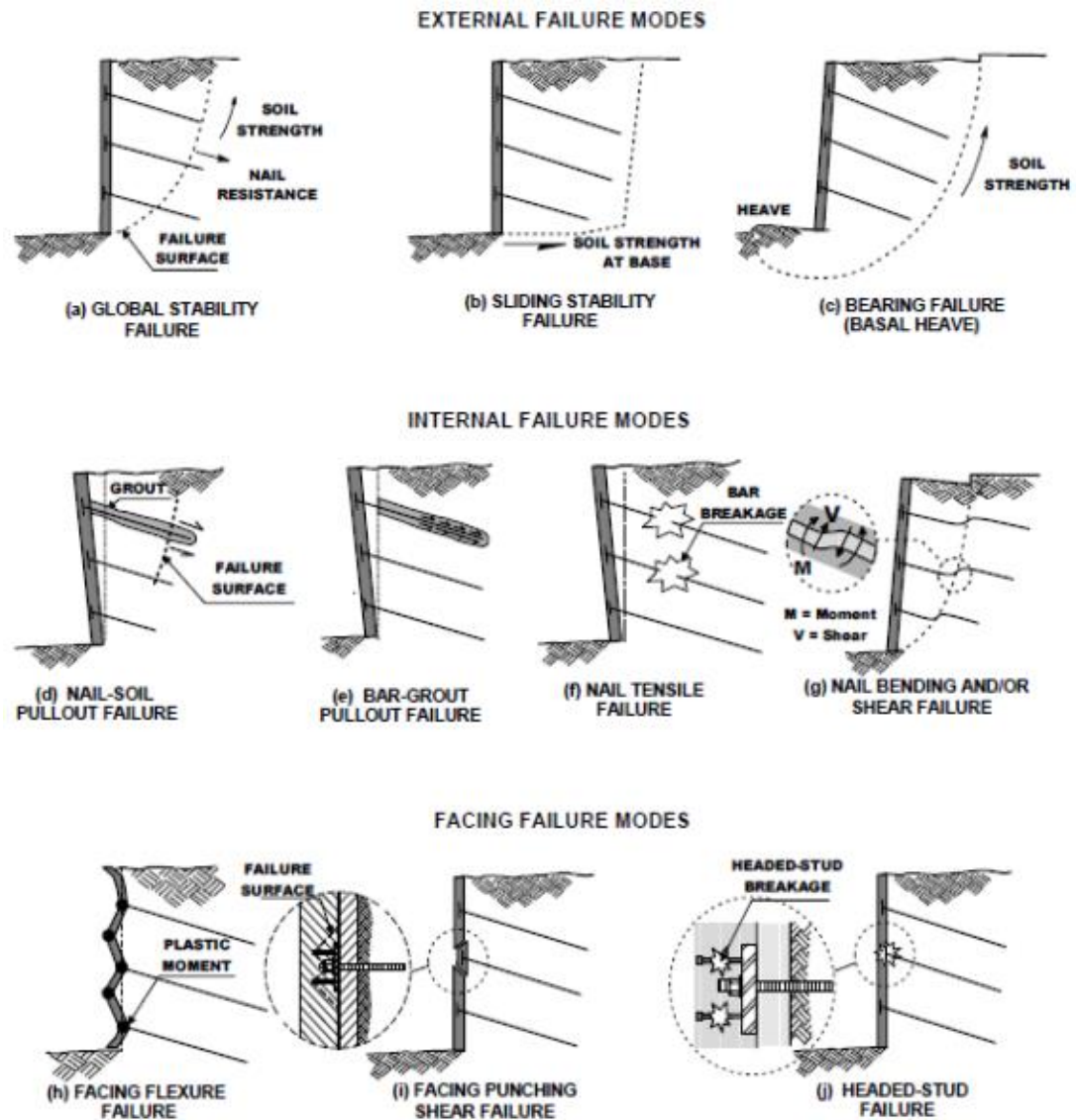
Dengan tujuan untuk stabilitas lereng penggunaan dinding *soil nailing* terdapat beberapa manfaat jika disamakan dengan perkuatan lereng dengan strategi yang berbeda, tetapi ada juga kekurangan dalam pperkuatan *soil nailing*..



1. Kelebihan dari dinding *Soil Nailing* adalah sebagai berikut.
  - a. Dapat menghemat biaya karena volume baja untuk *nail bars* dalam *soil nailing* lebih sedikit dibandingkan dengan *ground anchors*, karena pada umumnya batang baja dalam *soil nailing* lebih terbatas. Bahan yang dibutuhkan juga relatif lebih sedikit, waktu penanganan lebih cepat dan dapat menggunakan sedikit gigi bor dibandingkan dengan *ground anchors*.
  - b. Dengan lokasi pekerjaan yang tidak luas metode tetap bisa digunakan, metode ini sangat cocok untuk digunakan selama waktu pelaksanaan pada lokasi tertentu.
  - c. Penurunan pada dinding *soil nailing* lebih fleksibel dikarenakan dinding *soil nailing* tidak lebih tebal dari dinding gravitasi yang lebih mengutamakan berat sendiri.
  - d. Bisa untuk struktur sementara maupun permanen
  - e. Bisa disesuaikan untuk menangani kontur permukaan yang miring dan tumpuan, bentuk struktur, ketebalan, dan aspek tumpuan dapat diubah sesuai dengan kondisi lapangan dan kualitas tanah diketahui pada setiap tingkat kedalaman selama sistem penggalian.
  - f. Tahan terhadap gempa.
  - g. Metode ini bebas dari getaran yang berlebih, rendah kebisingan, dan relatif kecil dalam penggunaan peralatan konstruksi, sehingga metode ini dianggap ramah lingkungan.
2. Kekurangan dari metode *Soil Nailing* adalah sebagai berikut:
  - a. Metode ini tidak dianjurkan untuk lokasi dengan muka air yang tinggi
  - b. Untuk struktur yang membutuhkan kontrol lebih dikarenakan tingginya deformasi, maka metode ini juga tidak cocok diterapkan. . Post tension nail dapat digunakan dengan biaya lebih untuk kasus seperti ini.
  - c. Dibutuhkan pelaksana/kontraktor yang ahli dalam mengaplikasikan metode ini, dikarenakan kesulitan yang dihadapi sedikit berbeda dari metode yang lain.

### 3.8.4 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil Nailing

Dinding perkuatan tanah harus aman dan stabil dari dampak kelongsoran akibat adanya gaya-gaya dari luar maupun dalam. Terdapat dua jenis analisis yang dilakukan dengan metode ini, yaitu *external stability* (stabilitas eksternal) dan *internal stability* (stabilitas internal) berikut Gambar 3.22.



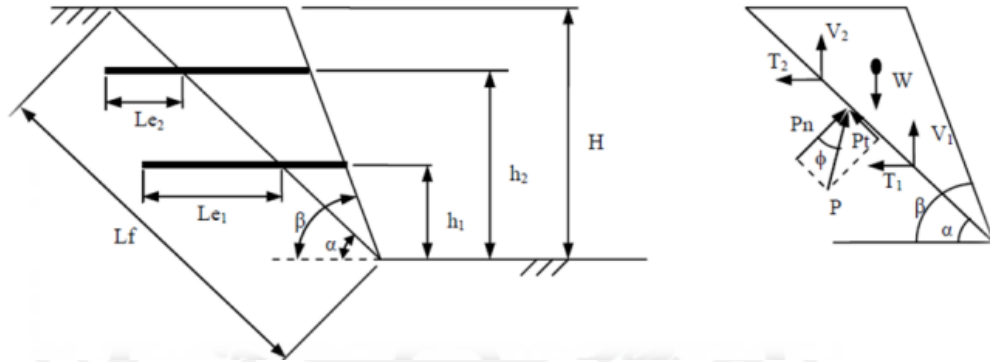
**Gambar 3.22** Analisis External Stability dan Internal Stability

(Sumber: FHWA0-IF-03-017, 2003)

#### 1. Analisis Stabilitas Eksternal

a. Faktor Keamanan Lereng Global (*Global Stability Failure*)

Perkuatan lereng harus aman terhadap keruntuhan, pada perhitungan manual, mengadopsi metode Baji (*Wedge*) dengan bidang longsor planar seperti Gambar 3.23 berikut.



**Gambar 3.23** Gaya yang Bekerja dalam Metode Baji (*Wedge Method*)

(Sumber: Kumalasari, 2012)

$$\sum T_i - P_n \sin \alpha + P_t \cos \alpha = 0 \quad (3.26)$$

$$W - P_n \cos \alpha - P_t \sin \alpha - \sum V_i = 0 \quad (3.27)$$

Dari Persamaan 3.26 dan 3.27 terdapat variabel P yang mana P adalah gaya yang harus dipertimbangkan keseimbangannya, akibat dari tanah yang berada pada permukaan bidang longsor. Berikut ini diperoleh Persamaan 3.28.

$$P_t = \frac{P_n}{SF} \quad (3.28)$$

Nilai kohesi pada tanah di sepanjang permukaan bidang longsor perlu diperhitungkan kuat gesernya, berikut Persamaan 3.29 untuk menghitung kuat geser.

$$S = \frac{c \cdot L_f}{SF} \quad (3.29)$$

Dari Persamaan 3.26, 3.27, 3.28, dan 3.29, nilai faktor keamanan dapat dihitung dengan Persamaan 3.30 berikut.

$$SF = \frac{c.L_f + (W+Q) \cos \alpha \cdot \tan \varphi + (\sum T_i \sin(\alpha+i) - \sum V_i \cos(\alpha+i)) \tan \varphi}{(W+Q) \sin \alpha - \sum T_i \cos(\alpha+i) - \sum V_i \sin(\alpha+i)} \quad (3.30)$$

Keterangan :

- SF = faktor aman,
- c = kohesi tanah (kN/m<sup>2</sup>),
- $\varphi$  = sudut gesek dalam tanah (°),
- $\alpha$  = sudut kemiringan bidang longsor terhadap garis horizontal,
- W = berat irisan tanah ke-n (kN/m),
- Q = beban mati di atas lereng (kN/m),
- L<sub>f</sub> = panjang bidang gelincir (m),
- L<sub>e</sub> = panjang *nail bar* di belakang bidang longsor (m),
- $\beta$  = kemiringan lereng (°),
- i = kemiringan *nail* (°),
- $\sum T_i$  = jumlah daya dukung terhadap gaya tarik (kN/m), dan
- $\sum V_i$  = jumlah daya dukung gaya geser (kN/m).

- Gaya Geser dan Tarik Ijin Global

Gaya geser dan tarik ijin dari bentangan *nail bar* perlu dihitung dengan baik agar faktor aman stabilitas lereng global bisa diperoleh dengan Persamaan 3.31 dan 3.32 berikut.

$$V = \frac{R_n}{2\sqrt{1+4\tan^2(90^\circ-\alpha)}} \quad (3.31)$$

$$T = 4V \tan(90^\circ - (\alpha + i)) \quad (3.32)$$

Keterangan:

- $V$  = gaya geser ijin *nail bar* (kN),  
 $T$  = gaya tarik ijin *nail bar* (kN), dan  
 $R_n$  = daya dukung tarik *nail bar* (kN)

Untuk menghitung gaya geser ijin dari tanah dapat dihitung dengan Persamaan 3.33 berikut.

$$V = P_{\max} \frac{D}{2} L_o \quad (3.33)$$

Keterangan:

- $V$  = gaya geser ijin pasif tanah (kN),  
 $D$  = diameter *nail bar* tanpa grouting (m),  
 $L_o = \sqrt[4]{\frac{4EI}{K_s D}}$  = panjang penyaluran (m),  
 $EI$  = kekakuan *nail bar*, tanpa *grouting* (Mpa),  
 $K_s$  = modulus reaksi lateral tanah (kN/m<sup>3</sup>) Tabel 3.21, dan  
 $P_{\max} = P_u/2$  = tegangan pasif yang dibatasi menjadi setengah dari tegangan pasif ultimit (kN).

$P_u$  dihitung dengan mengambil nilai terkecil dari Persamaan 3.34 dan 3.35 berikut.

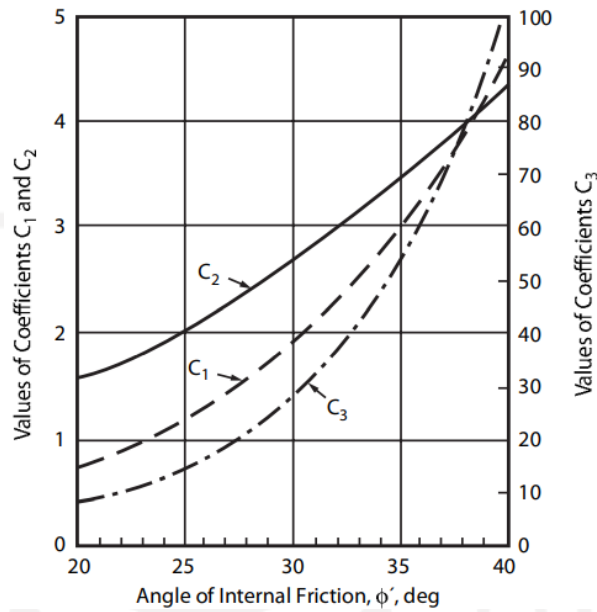
$$P_u = (C_1 z + C_2 D) \gamma' z \quad (3.34)$$

$$P_u = C_3 D \gamma' z \quad (3.35)$$

Keterangan:

- $\gamma'$  = berat isi tanah efektif (kN/m<sup>3</sup>), dan  
 $z$  =  $2/3H$ .

Untuk nilai koefisien  $C_1$ ,  $C_2$ , dan  $C_3$  ditentukan dari Gambar 3.24 berikut.



**Gambar 3.24** Grafik Korelasi untuk Tanah Pasir  
(Sumber: API, 2007)

**Tabel 3.21** Nilai Perkiraan Modulus Reaksi Lateral Tanah ( $K_s$ )

Jenis Tanah	$K_s, kN/m^3$
Pasir lepas	4800-16000
Pasir padat sedang	9600-80000
Pasir padat	64000-128000
Pasir padat berlempung	32000-80000
Pasir padat sedang berlanau	24000-48000
Tanah berlempung:	
$q_u \leq 200$ kPa	12000-24000
$200 < q_u \leq 400$ kPa	24000-48000
$q_u > 800$ kPa	> 48000

Sumber: Bowles, (1997)

Perlu ada pembatasan gaya tarik ijin dari nail bar setelah diperoleh nilai terkecil dari gaya geser ijin yang terjadi antara nail bar dan tanah, untuk itu digunakan Persamaan 3.36 berikut.

$$\frac{V_{\max}^2}{R_c^2} + \frac{T_{\max}^2}{R_n^2} = 1 \quad (3.36)$$

Keterangan:

$V_{\max}$  = gaya geser ijin global (kN),

$T_{\max}$  = gaya tarik ijin global (kN), dan

$R_c$  =  $R_n/2$  = daya dukung geser *nail bar* (kN).

- Gaya Tarik Ijin Dari Perkuatan *Soil Nailing*

Apabila gaya ijin global lebih besar daripada gaya tarik ijin dari masing-masing nail maka gaya ijin yang digunakan adalah gaya ijin global, berikut Persamaan 3.37.

$$T_i = \frac{\pi D L_e f_{\max}}{FoS} \quad (3.37)$$

Terdapat ikatan antara bentangan nail bar dan tanah yang disebut dengan daya dukung geser atau biasa ditulis dengan  $f_{\max}$ . Untuk mendapatkan hasil yang akurat bisa dilakukan pengujian langsung di lapangan. Berikut nilai  $f_{\max}$  pada beberapa jenis tanah pasir pada Tabel 3.22.

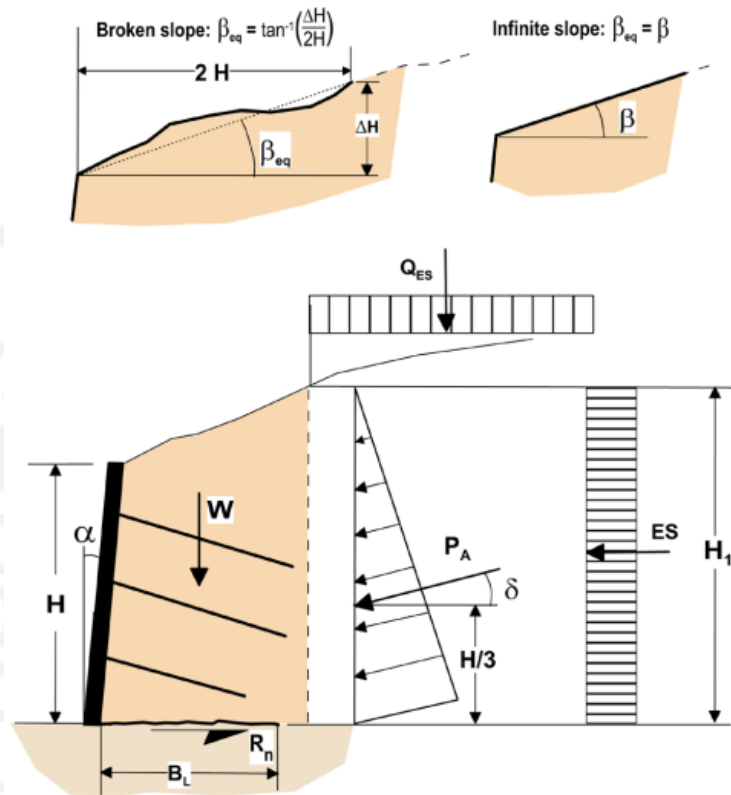
**Tabel 3.22** Daya Dukung Geser *Soil Nailing* Pada Tanah Pasir

<i>Soil Type</i>	<i>Unlimate Bond Strength (kN/m<sup>2</sup>)</i>
<i>Sand/gravel</i>	100-180
<i>Silty sand</i>	100-150
<i>Silty clayey sand</i>	60-140
<i>Silty fine sand</i>	55-90

Sumber: Ellias & Juran, (1991)

- Faktor Kemanan Untuk Penggeseran (*Sliding Stability Failure*)

Faktor aman terhadap penggeseran pada pada perkuatan lereng menggunakan *soil nailing* perlu diperhitungkan. Berikut Gambar 3.25.



**Gambar 3.25** Stabilitas Terhadap Penggeseran pada Perkuatan *Soil Nail*

(Sumber: FHWA-NHI-14-007, 2015)

Faktor aman terhadap penggulingan dapat dilihat pada Persamaan 3.38.

$$SF = \frac{cb B_L + (W + Q + PA \sin \delta) \tan \phi}{PA \cos \delta} \quad (3.38)$$

Tekanan aktif lateral dihitung menggunakan Persamaan 3.39 berikut.

$$Pa = \frac{c \cdot H_1^2}{2} K_a \quad (3.39)$$

$$K_a = \text{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (3.40)$$

Keterangan:

SF = faktor aman



- $c_b$  = kohesi tanah ( $\text{kN/m}^2$ ),  
 $B_L$  = lebar struktur (m),  
 $W$  = berat irisan tanah ( $\text{kN/m}$ ),  
 $Q$  = beban mati diatas lereng ( $\text{kN/m}$ ),  
 $\phi$  = sudut gesek dalam tanah ( $^\circ$ ),  
 $H$  = tinggi dinding tanah (m),  
 $\gamma$  = berat isi tanah ( $\text{kN/m}^3$ ), dan  
 $\delta$  =  $1/3\phi$ .

c. Faktor Keamanan Untuk Kegagalan Daya Dukung Tanah (*Bearing Failure*)

$$SF = \frac{c \cdot N_c + 0,5\gamma B_e N_\gamma}{H_{eq} \cdot \gamma} \quad (3.41)$$

Keterangan:

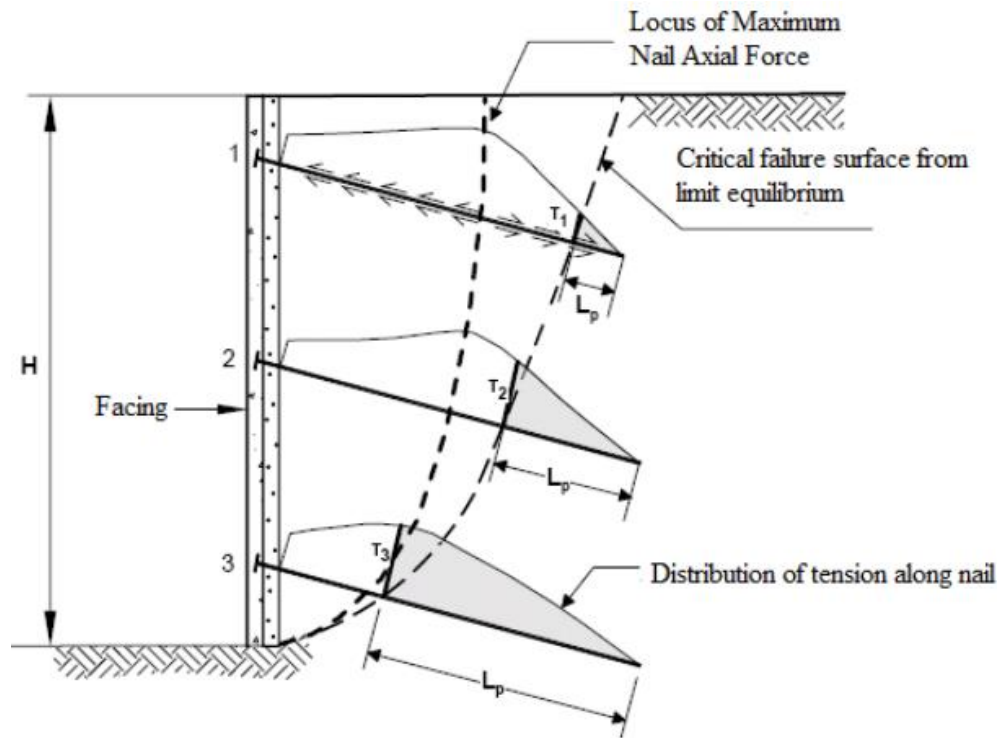
- $c$  = kohesi tanah pondasi ( $\text{kN/m}^2$ )  
 $\gamma$  = berat isi tanah ( $\text{kN/m}^3$ )  
 $q$  = tekanan overburden pada dasar pondasi ( $\text{kN/m}^2$ )  
 $N_c, N_\gamma$  = koefisien-koefisien kuat dukung yang merupakan fungsi dari sudut geser dalam tanah, yang dapat dalam Tabel 3.23.  
 $H_{eq}$  = tinggi dinding tanah (m)  
 $B_e$  = lebar *excavation* (m)

**Tabel 3.23** Faktor Kapasitas Dukung Terzhagi

$\phi$	Nc	Nq	N $\gamma$	$\phi$	Nc	Nq	N $\gamma$
0	5,70	1,00	0,00	26	27,09	14,21	9,84
1	6,00	1,10	0,01	27	29,24	15,90	11,60
2	6,30	1,22	0,04	28	31,61	17,81	13,70
3	6,62	1,35	0,06	29	34,24	19,98	16,18
4	6,97	1,49	0,10	30	37,16	22,46	19,13
5	7,34	1,64	0,14	31	40,41	25,28	22,65
6	7,73	1,81	0,20	32	44,04	28,52	26,87
7	8,15	2,00	0,27	33	48,09	32,23	31,94
8	8,60	2,21	0,35	34	52,64	36,50	38,04
9	9,09	2,44	0,44	35	57,75	41,44	45,41
10	9,61	2,69	0,56	36	63,53	47,16	54,36
11	10,16	2,98	0,69	37	70,01	53,80	65,27
12	10,76	3,29	0,85	38	77,50	61,55	78,61
13	11,41	3,63	1,04	39	85,97	70,61	95,03
14	12,11	4,02	1,26	40	95,66	81,27	115,31
15	12,86	4,45	1,52	41	106,81	93,85	140,51
16	13,68	4,92	1,82	42	119,67	108,75	171,99
17	14,60	5,45	2,18	43	134,58	126,50	211,56
18	15,12	6,04	2,59	44	151,95	147,74	261,60
19	16,56	6,70	3,07	45	172,28	173,28	325,34
20	17,69	7,44	3,64	46	196,22	204,19	407,11
21	18,92	8,26	4,31	47	224,55	241,80	512,84
22	20,27	9,19	5,09	48	258,28	287,85	650,67
23	21,75	10,23	6,00	49	298,71	344,63	831,99
24	23,36	11,40	7,08	50	347,50	415,14	1027,80
25	25,13	12,72	8,34				

## 2. Analisis Stabilitas Internal

a. Faktor aman (SF) terhadap putus tulangan (Gambar 3.26).



**Gambar 3.26** Keruntuhan Putus Tulangan

(Sumber: Prashant & Mukherjee, 2010)

Faktor aman (SF) terhadap putus tulangan pada Persamaan 3.42 dan 3.43 berikut.

$$Fr = \frac{\left(\frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot fy}{1000}\right)}{\sigma_h \cdot S_v \cdot S_h} \quad (3.42)$$

$$\sigma_h = K_a \cdot \gamma \cdot z \quad (3.43)$$

Keterangan:

$S_v$  = jarak tulangan arah vertikal (m),

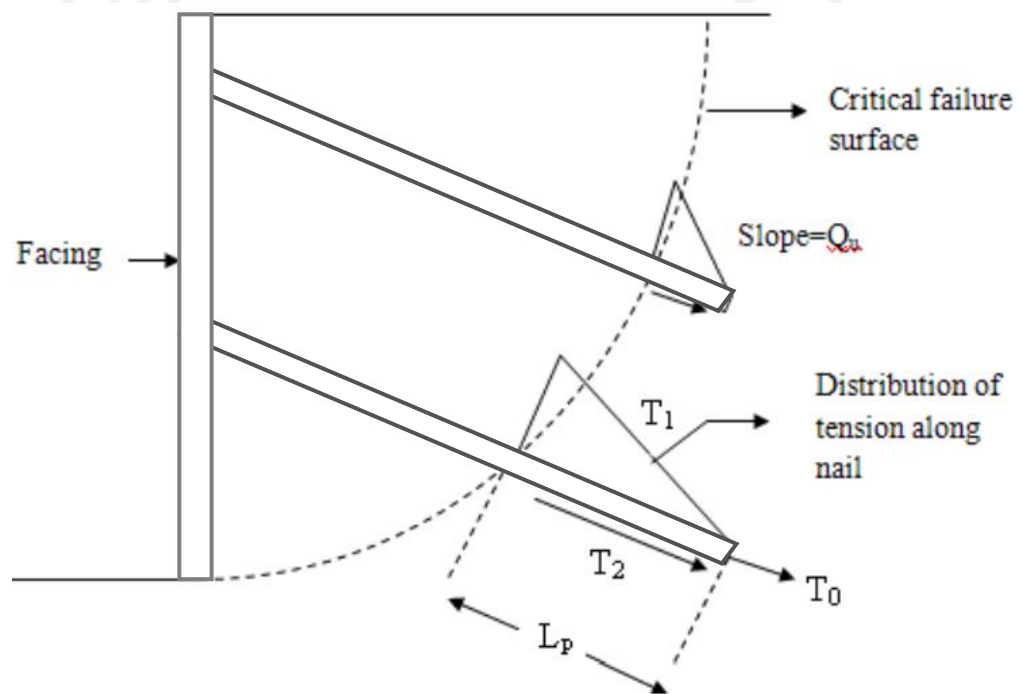
$S_h$  = jarak tulangan arah horisontal(m),

$F_y$  = daya dukung tarik baja (MPa),

$d$  = diameter tulangan (mm),

- $\sigma_h$  = tekanan horizontal tanah pada kedalaman yang ditinjau ( $\text{kN/m}^2$ ),
- $\gamma$  = berat isi tanah ( $\text{kN/m}^3$ ),
- $z$  = kedalaman tinjauan (m), dan
- $K_a$  = koefisien tekanan aktif (Persamaan 3.40).

b. Faktor keamanan cabut tulangan ( $F_p$ ), berikut Gambar 3.27.



**Gambar 3.27** Keruntuhan Cabut Tulangan

(Sumber: Prashant & Mukherjee, 2010)

Faktor aman (SF) terhadap cabut tulangan pada Persamaan 3.41 berikut.

$$F_p = \frac{\pi \cdot q_u \cdot D_{dh} \cdot L_p}{\sigma_h \cdot S_v \cdot S_h} \quad (3.41)$$

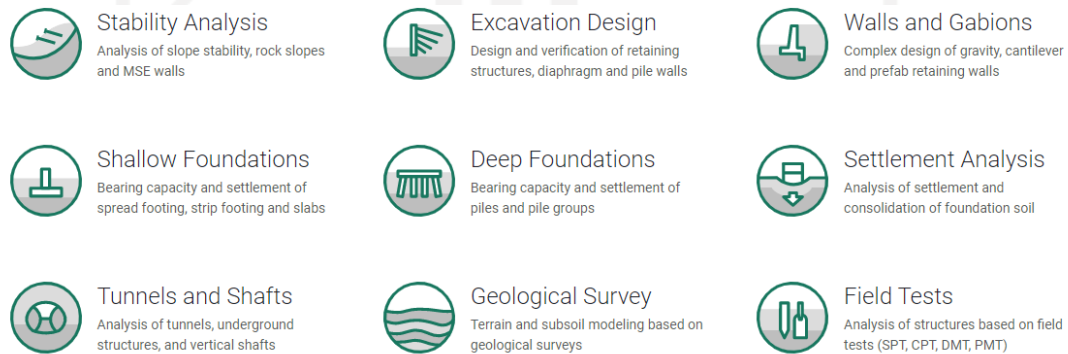
Keterangan:

- $S_v$  = jarak tulangan arah vertikal (m),
- $q_u$  = *ultimate bond strength* (kN/m<sup>2</sup>),
- $\sigma_h$  = tekanan horizontal tanah pada kedalaman yang ditinjau (kN/m<sup>2</sup>),
- $L_p$  = panjang tulangan yang berada di zona pasif (m),
- $\phi$  = sudut gesek internal tanah (°), dan
- $D_{dh}$  = diameter lubang bor (m).

### 3.9 Program Geo5

*Geo5* adalah perangkat lunak yang diproduksi oleh *Fine Software*, perangkat lunak ini memberikan solusi untuk hampir sebagian besar permasalahan geoteknik. *Geo5* mengambil bagian kontribusi besar dalam dunia teknik, sangat mungkin untuk memahami teori geoteknik melalui banyak program dengan beragam solusi. Dengan *software* ini akan mengurangi waktu pemodelan, analisis, dan desain.

*Geo5* memberikan 9 (Sembilan) jenis solusi dengan masing-masing persoalannya. Setiap solusi akan memberikan pilihan pemodelan, analisis, dan desain. Dalam penelitian ini yang akan digunakan adalah *Stability Analysis* (Analisis Stabilitas) untuk lereng seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.28 berikut.



**Gambar 3.28** *Geo5 Solution*

(Sumber: finesoftware.eu, 2021)

*Geo5* berisi beberapa program untuk analisis lereng tanah dan batuan, bendungan, ataupun tanggul yang baru dibangun, dan pemeriksaan stabilitas global

dinding penahan tanah. Berikut Gambar 3.29 adalah tampilan program yang tersedia dalam *Stability Analysis*.

 Slope Stability
 Rock Stability
 MSE Wall
 Nailed Slope
 FEM
 FEM – Water Flow
 Anti-Slide Pile
 Redi-Rock Wall

**Gambar 3.29** *Program for Stability Analysis*

(Sumber: finesoftware.eu, 2021)

Program *Slope Stability* (Stabilitas Lereng) digunakan untuk melakukan analisis stabilitas lereng (timbunan, potongan tanah, struktur penahan ankur, dinding MSE, perkuatan, dll). Dengan asumsi permukaan slip adalah melingkar maka metode yang menjadi rujukan adalah Bishop, Fellenius/Petterson, Janbu, Morgenstern-Price atau Spencer. Sedangkan untuk polygonal menggunakan metode Sarma, Janbu, Morgenstern-Price atau Spencer (finesoftware.eu, 2021). Berikut ini adalah tampilan menu awal program *Slope Stability* dalam *Geo5 2022* pada Gambar 3.30 berikut.



**Gambar 3.30** Tampilan Awal Program *GEO5*

(Sumber : *GEO5*, diakses Tahun 2022)

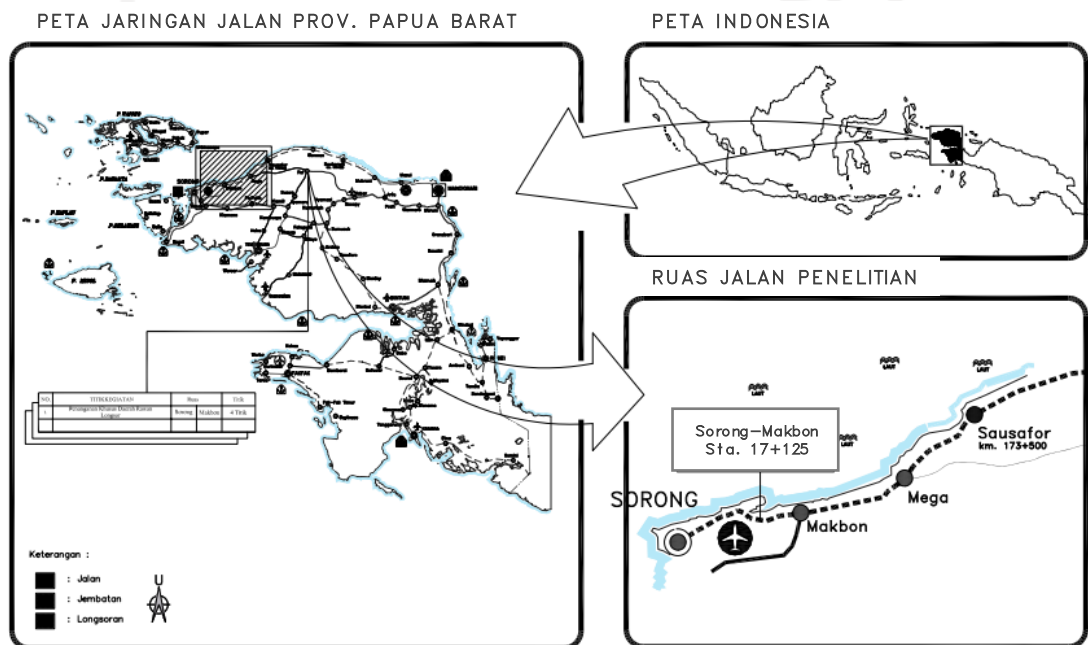
*Geo5* merupakan salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk bidang geoteknik dan lingkungan sebagai penerapan prinsip ilmu bumi untuk memecahkan masalah lingkungan yang berhubungan dengan tanah. *Geo5* dapat memberikan hasil perhitungan dan analisis dengan mudah dan cepat pada kasus kompleks yang berhubungan dengan geoteknik (Zain, 2019). Dalam menganalisis data *Geo5* menggunakan metode *finite element (FEM)* atau metode elemen hingga. Di dalamnya terdapat paket program individu yang dapat digunakan dalam menyelesaikan masalah geoteknik berupa; desain penggalian, analisis stabilitas, desain dinding penahan tanah, desain pondasi, analisis penurunan pada tanah, pemodelan tanah dalam bentuk digital, serta analisis *FEM* (Salih & Ahmed, 2014).

## BAB IV

### METODE PENELITIAN

#### 4.1 Lokasi Penelitian

Lokasi objek penelitian yang akan dianalisis yaitu Ruas Jalan Sorong-Makbon Sta. 17+125 – 17+408 dan pada bagian lereng tinjauan terletak pada Sta. 17+310, Kabupaten Sorong, Provinsi Papua Barat.



**Gambar 4.1** Peta Lokasi

(Sumber: SATKER P2JN Papua Barat, 2020)

#### 4.2 Tahap Pengumpulan Data

##### 4.2.1 Data Sekunder

Data-data sekunder yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari Balai Pelaksana Jalan Nasional Papua Barat, Satker Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional (P2JN) Provinsi Papua Barat dan Dinas Perhubungan Kabupaten Sorong diantaranya sebagai berikut.



1. Data Topografi

Data topografi yang akan digunakan adalah Potongan Melintang (*Cross Section*) jalan dan lereng

2. Data Jalan

Data jalan berupa struktur perkerasan jalan dan material yang digunakan CBR nya, dan LHR

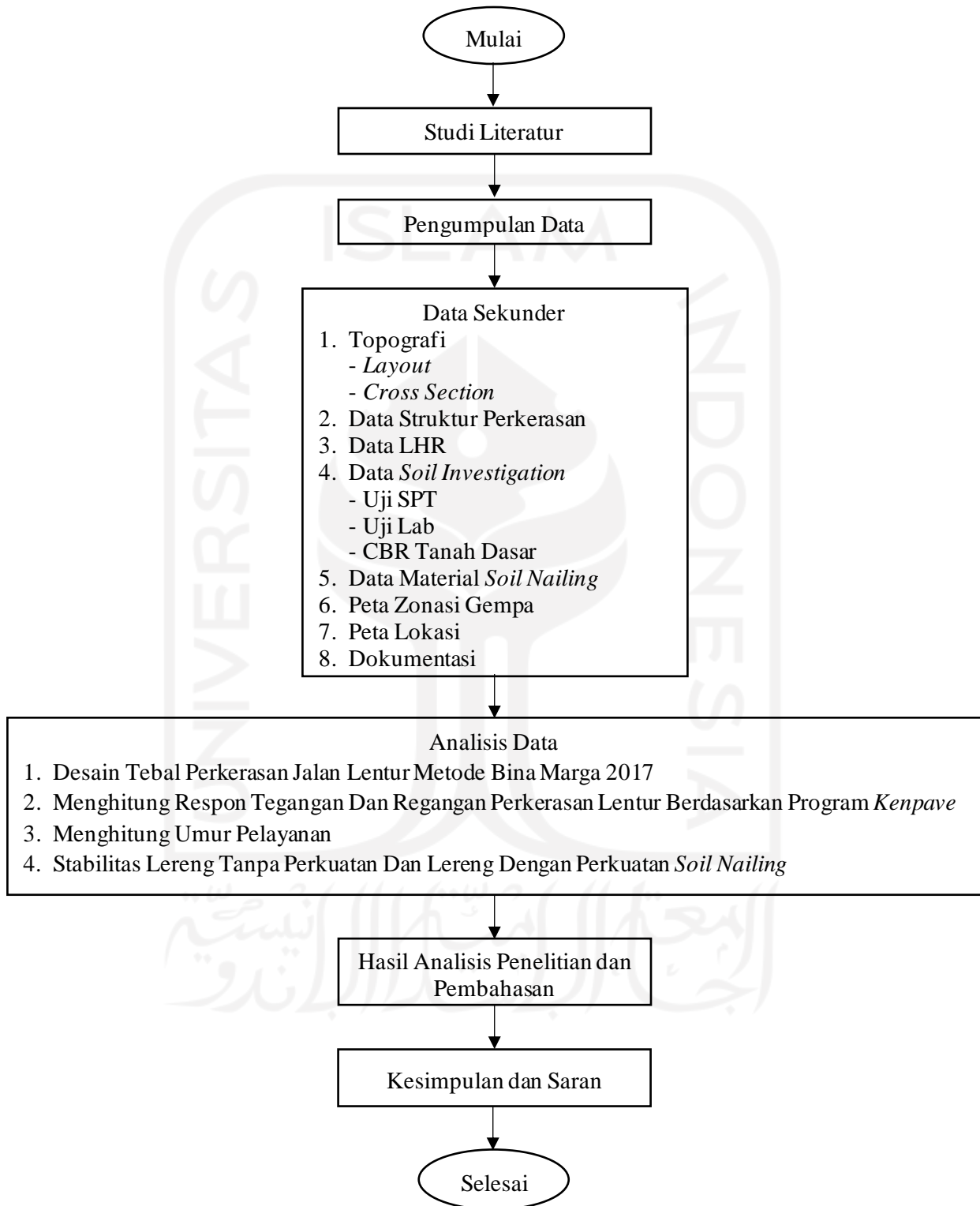
3. Data Tanah

Data tanah yang ada merupakan hasil dari dari penyelidikan tanah SPT sebanyak 2 titik

#### **4.3 Tahap Analisis Data**

Dalam penelitian ini mneggunakan urutan pelaksanaan seperti bagan alir penelitian pada Gambar 4.2 urutan pelaksanaan adalah sebagai berikut.





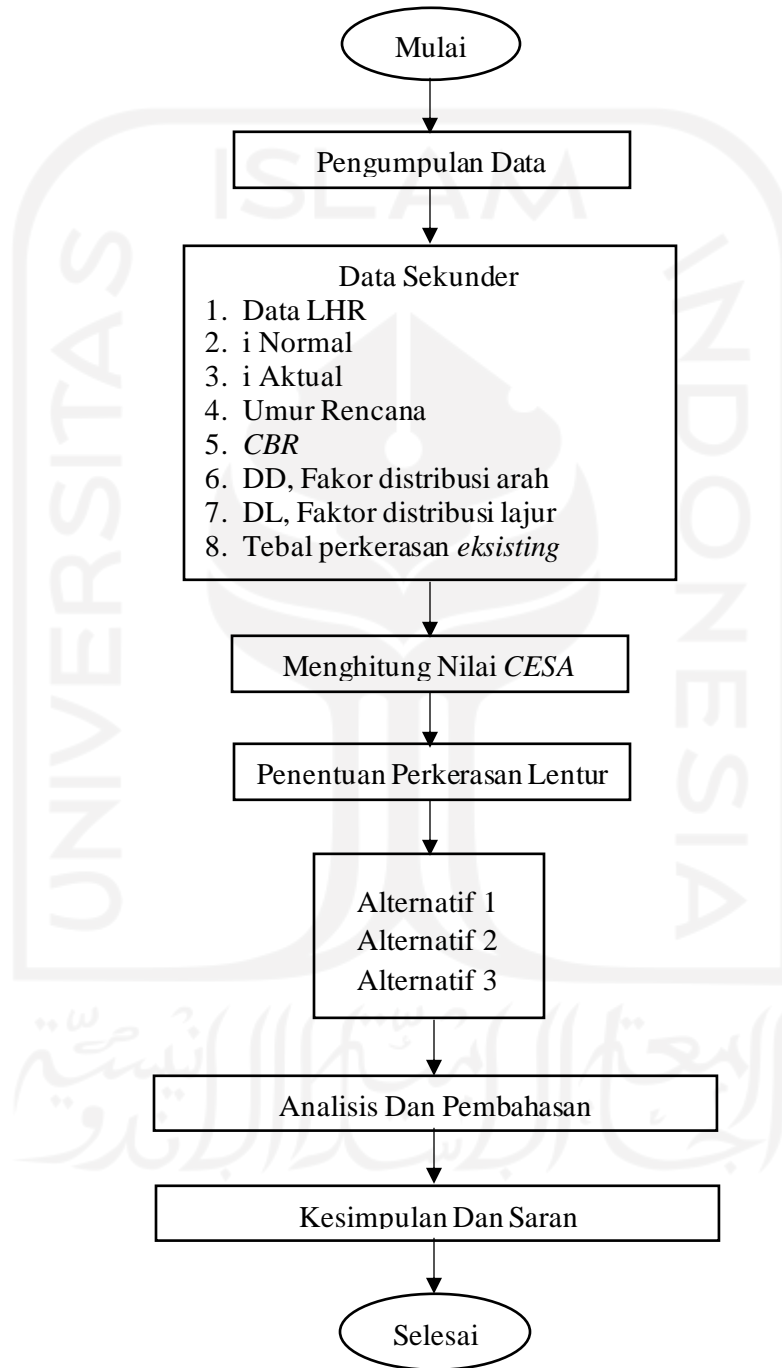
**Gambar 4.2** Bagan Alir Penelitian

Dari bagan alir di atas dapat dijelaskan setiap urutan tahapan dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Perumusan masalah
2. Pengambilan data sekunder seperti yang telah dijelaskan sebelumnya
3. Analisis desain tebal perkerasan jalan dengan menggunakan metode Bina Marga 2017
4. Evaluasi desain dengan berdasarkan tegangan dan regangan yang terjadi pada perkerasan jalan dengan menggunakan program *Kenpave*
5. Berdasarkan *Kenpave* akan diperoleh nilai tebal perkerasan dan nilai repitisi beban kendaraan.
6. Analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan dan lereng dengan perkuatan *soil nailing*
7. Pembahasan hasil penelitian
8. Penarikan kesimpulan dan saran
9. Selesai

#### 4.5 Metode Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017

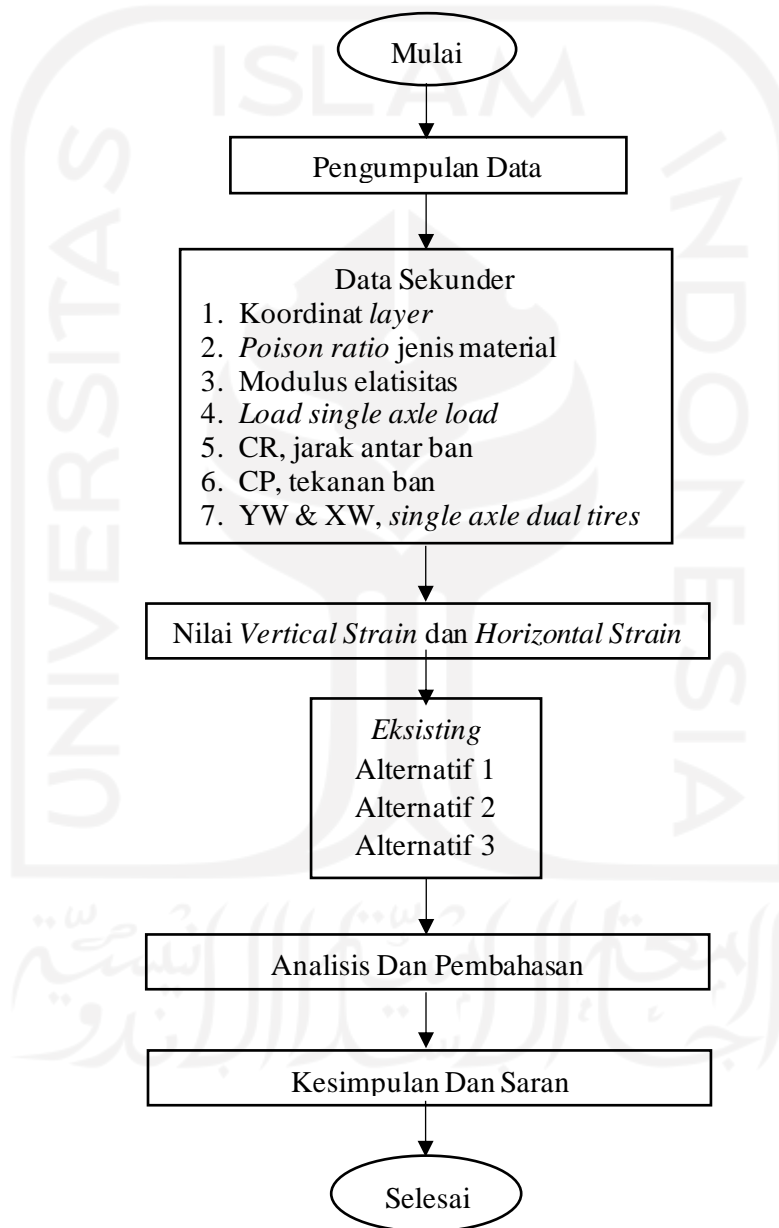
Berikut ini Gambar 4.3 bagan alir untuk mendesain tebal perkerasan lentur.



**Gambar 4.3** Bagan Alir Metode Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017

#### 4.6 Menghitung Tegangan dan Regangan Perkerasan Lentur Berdasarkan Program *Kenpave*

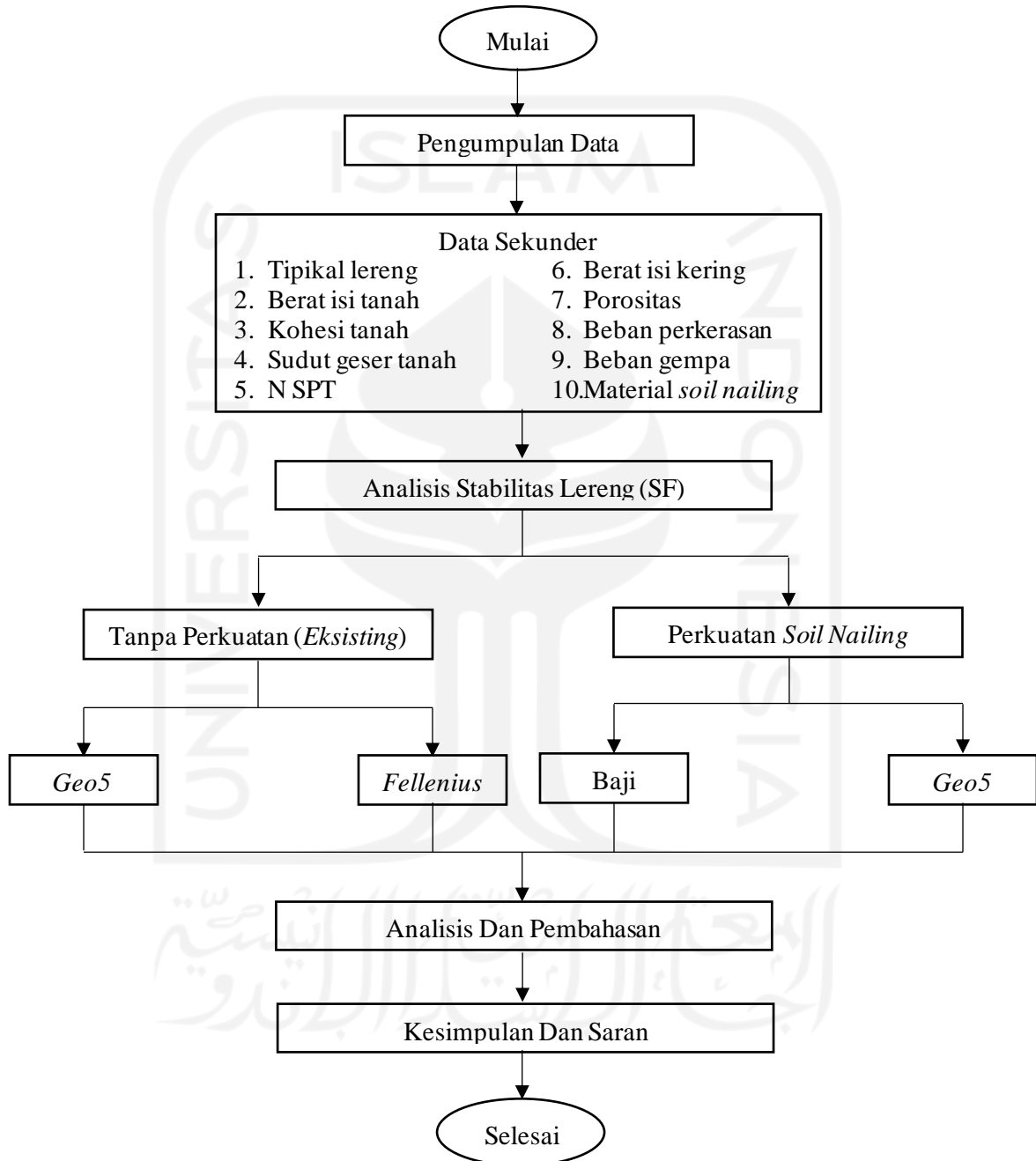
Berikut ini 4.4 bagan alir untuk menghitung tegangan dan regangan perkerasan lentur.



**Gambar 4.4** Bagan Alir Metode Mekanistik Empirik Program *Kenpave*

#### 4.7 Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Dan Lereng Perkuatan *Soil Nailing*

Berikut Gambar 4.5 bagan alir untuk menganalisis stabilitas lereng.



**Gambar 4.5** Bagan Alir Stabilitas Lereng

## BAB V

### Analisis dan Pembahasan

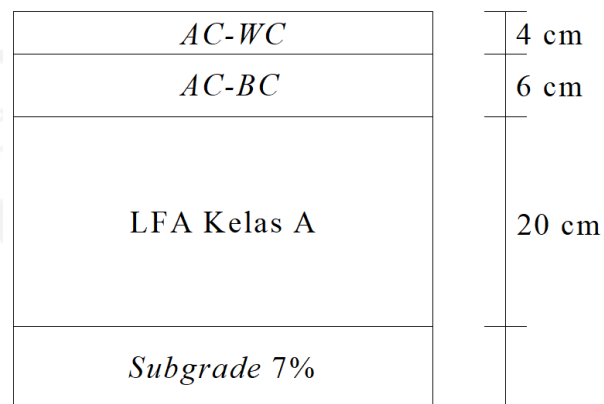
#### 5.1 Desain Struktur Perkerasan Lentur Berdasarkan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan BM 2017

##### 5.1.1 Kondisi Lapangan Struktur Perkerasan Ruas Jalan Sorong – Makbon Sta. 17+125 – 17+408

Kondisi lapangan struktur perkerasan jalan pada lokasi penelitian mulai dibangun sejak tahun 2020 untuk nantinya mulai dibuka pada tahun 2022. Berikut ini informasi umum tentang ruas jalan pada lokasi tersebut.

1. Status jalan : Jalan Arteri
2. Tipe perkerasan : Perkerasan lentur
3. Panjang jalan : 283 m
4. Lebar badan jalan *eksisting* : 4,5 m (2 lajur 2 arah)
5. Lebar badan jalan rencana : 7 m (2 lajur 2 arah)

Adapun gambaran struktur perkerasan ruas jalan Sorong – Makbon Sta.17+125 – 17+408 seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.1 berikut.



**Gambar 5.1** Struktur Lapis Perkerasan Ruas Jalan Sorong – Makbon

### 5.1.2 Perhitungan Kumulatif Beban Sumbu Standar (CESA)

Untuk menentukan tebal perkerasan lentur menggunakan metode Bina Marga 2017, terlebih dahulu dihitung kumulatif beban sumbu standar (CESA). Selain itu data lalu lintas harian yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Dinas Perhubungan Kabupaten Sorong yang disurvei pada tahun 2019. Data volume lalu lintas haria ruas Jalan Nasional Kabupaten Sorong dapat dilihat pada Tabel 5.1.

1. Umur rencana (UR) : 20 tahun (Tabel 3.3)
2. Pertumbuhan lalu lintas (i) : 4,75 % (Tabel 3.4)
3. Faktor distribusi arah (DD) : 0,5 (subbab 3.3 poin 3)
4. Faktor distribusi lajur (DL) : 0,8 (Tabel 3.5)
5. CBR tanah dasar : 7%

**Tabel 5.1** Data Lalu Lintas Harian Ruas Jalan Nasional Kabupaten Sorong

Kendaraan		LHR Tahun 2019
Jenis	Golongan	
Sepeda motor	1	669
Mobil angkutan umum, <i>pick up</i> , dll	2,3,4	640
Bus kecil	5a	595
Truk 2 as (6 roda)	6b1.2	35
Trailer	7c1	6

Sumber: DISHUB Kab.Sorong, (2019)

Berdasarkan data LHR pada Tabel 5.1 maka dapat dihitung perkiraan kumulatif beban lalu lintas *ESA4* & *ESA5* untuk umur rencana 20 tahun, dengan menggunakan Persamaan 3.5, Persamaan 3.6, Persamaan 3.7, Persamaan 3.8, Tabel 3.6, dan Tabel 3.7. Adapun tahapan perhitungannya sebagai berikut.

1. Menghitung LHRT

$$LHRT = LHR_o(1 + i)^n$$



Dimana nilai  $n$  sebesar 3 diperoleh berdasarkan selisih dari data LHR tahun 2019 ke tahun 2022 (tahun dibuka). Berikut ini contoh perhitungan menggunakan golongan kendaraan 1 (sepeda motor).

$$\begin{aligned} \text{LHRT} &= 669(1 + 0,0475)^3 \\ &= 769 \end{aligned}$$

2. Menghitung faktor pengali pertumbuhan lalu lintas

Dimana nilai UR sebesar 20 tahun dengan asumsi beban telah terkendali (normal), karena jalan akan mulai dibuka pada tahun 2022 atau telah melewati tahun 2020 untuk kondisi beban faktual.

$$\begin{aligned} R &= \frac{(1 + 0,01i)^{\text{UR}} - 1}{0,01i} \\ &= \frac{(1 + 0,01 \times 4,75)^{20} - 1}{0,01 \times 4,75} \\ &= 32,21 \end{aligned}$$

3. Menghitung nilai *ESA*

$$ESA = \sum_{\text{jenis kendaraan}} \text{LHRT} \times VDF$$

Berikut ini contoh perhitungan menggunakan golongan kendaraan 5a (bus kecil).

$$\begin{aligned} \text{ESA5} &= \sum 684 \times 0,3 \\ &= 205.164 \end{aligned}$$

4. Menghitung nilai *CESA*

$$CESA = ESA \times 365 \times DD \times DL \times R$$

Berikut ini contoh perhitungan menggunakan golongan kendaraan 5a (bus kecil).

$$\begin{aligned} \text{CESA} &= 205.164 \times 365 \times 0,5 \times 0,8 \times 32,21 \\ &= 1.607.807 \end{aligned}$$

Berikut ini rangkuman perhitungan untuk semua jenis golongan kendaraan perkiraan kumulatif beban lalu lintas *ESA4* & *ESA5* yang disajikan pada Tabel 5.2.

**Tabel 5.2** Perkiraan Kumulatif Beban Lalu Lintas *ESA4* & *ESA5*

Golongan Kendaraan	LHR (2 arah) 2019	LHR 2022	VDF4 normal	VDF5 normal	<i>ESA4</i> ('22-'42)	<i>ESA5</i> ('22-'42)
1	669	769	-	-	-	-
2,3,4	640	736	-	-	-	-
5a	595	684	0,3	0,5	964.684	1.607.807
6b1.2	35	40	2,5	3	472.884	567.461
7c1	6	7	11,9	8,8	210.771	259.411
<b><i>CESA</i></b>					<b>1.648.339</b>	<b>2.434.678</b>

Berdasarkan hasil perhitungan dari Tabel 5.2 diperoleh nilai perhitungan *CESA5* sebesar 2.434.678 atau 2,4 juta *ESAL*. Berikut ini Tabel 5.3 untuk hasil bagan desain perkerasan lentur alternatif.

**Tabel 5.3** Bagan Desain Perkerasan Lentur Alternatif

Perkerasan Lentur	Rujukan	Solusi ( $10^6$ <i>ESA5</i> )	Ketebalan (mm)	
Alternatif 1	Tabel 3.9	$0,5 \leq FF2 \leq 4,0$	<i>HRS WC</i>	30
			<i>HRS Base</i>	35
			LFA Kelas A	250
			LFA Kelas B	125
Alternatif 2	Tabel 3.10	$FFF2 \geq 2 - 4$	<i>AC-WC</i>	40
			<i>AC-BC</i>	60
			<i>AC Base</i>	80
			LFA Kelas A	400

## 5.2 Evaluasi Tegangan dan Regangan berdasarkan Program *Kenpave*

Setelah diperoleh tebal perkerasan jalan lentur *eksisting* dan hasil desain menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017, selanjutnya dapat dianalisis kondisi perkerasan jalan tersebut dengan menggunakan program *Kenpave*. Tabel 5.4 merupakan data yang dibutuhkan untuk *input* pada program *Kenpave* berupa Modulus elastis, *Poisson ratio*, dan tebal perkerasan.

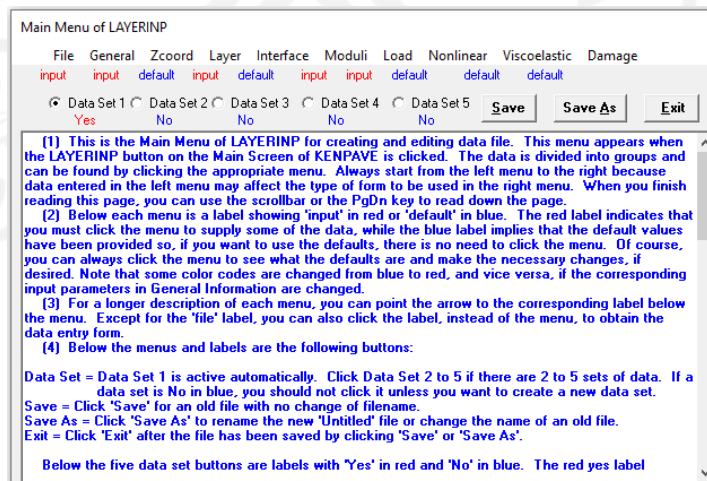
**Tabel 5.4 Data Input Program Kenpave**

	Perkerasan		Dirjen Bina Marga 2017	
	Jenis lapisan	Tebal (cm)	Modulus elastis (kPa)	Poisson ratio ( $\mu$ )
Eksisting	AC WC	4	1.100.000	0,4
	AC BC	6	1.200.000	0,4
	LFA Klas A	20	150.000	0,35
	Tanah dasar	$\infty$	70.000	0,45
Alternatif 1	HRS WC	3	800.000	0,4
	HRS Base	3,5	900.000	0,4
	LFA Klas A	25	150.000	0,35
	LFA Klas B	12,5	125.000	0,35
	Tanah dasar	$\infty$	70.000	0,45
Alternatif 2	AC WC	4	1.100.000	0,4
	AC BC	6	1.200.000	0,4
	AC Base	8	1.600.000	0,4
	LFA Klas A	40	150.000	0,35
	Tanah dasar	$\infty$	70.000	0,45

Tahapan untuk evaluasi perkerasan jalan dengan program *Kenpave – Kenlayer* untuk perhitungan tegangan dan regangan perkerasan lentur adalah sebagai berikut.

1. *Layerinp*

Untuk memulai *input* data, klik pada bagian menu *Layerinp* seperti pada Gambar 5.3 berikut.



**Gambar 5.2** Tampilan Menu *Layerinp*

Kemudian klik pada menu *file* lalu pilih *new* untuk memulai *input* data baru.

## 2. *General*

Pada menu *general* nilai-nilai yang di *input* dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

**Tabel 5.5** Data Input *General*

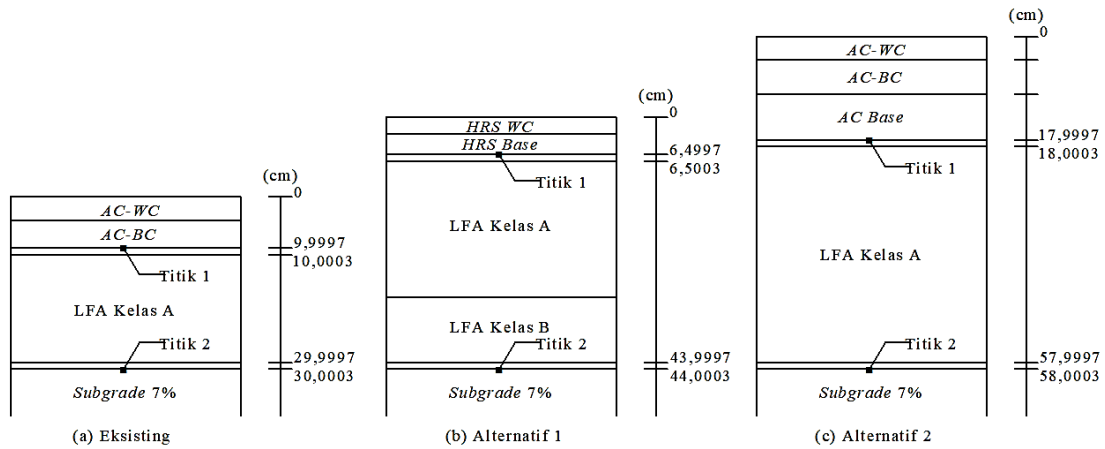
Istilah	Nilai			Keterangan
	<i>Eksisting</i>	Alternatif 1	Alternatif 2	
<i>Title</i>				Diisi sesuai dengan kelompok beban yang dimasukkan
<i>MATL</i>	1	1	1	Pada analisis lapis perkerasan adalah linier
<i>NDAMA</i>	0	0	0	Tidak ada analisis kerusakan
<i>NPY</i>	1	1	1	Mengikuti <i>Kenpave</i>
<i>NLG</i>	1	1	1	Mengikuti <i>Kenpave</i>
<i>DEL</i>	0.0003	0.0003	0.0003	Standar akurasi
<i>NL</i>	4	5	5	Jumlah lapisan perkerasan
<i>NZ</i>	5	5	5	Jumlah titik tinjauan kerusakan
<i>ICL</i>	80	80	80	Mengikuti <i>Kenpave</i>
<i>NSDT</i>	9	9	9	Untuk <i>vertical displasment</i> , nilai tegangan dan regangan
<i>NBOND</i>	1	1	1	Semua lapisan saling mengikat
<i>NUNIT</i>	1	1	1	Satuan yang digunakan adalah SI ( <i>Standart International</i> )

## 3. *Zcoord*

Total titik pada menu *Zcoord* disesuaikan dengan total *NZ* di menu *general*. Letak titik kerusakan disajikan seperti Gambar 5.4 dan untuk *input Zcoord* dapat dilihat pada Tabel 5.6.

**Tabel 5.6** Data Input *Zcoord*

Istilah	Keterangan
Unit	Disesuaikan dengan total titik yang dianalisis
ZC	Z atau jarak dari vertikal adalah yang akan dianalisis pada program



**Gambar 5.3** Letak Titik Tinjauan Kerusakan

Dari Gambar 5.3 dapat dilihat titik 1 merupakan letak dari kerusakan *fatigue cracking* (retak lelah) dan *rutting* (alur). Titik 2 merupakan titik yang terletak di permukaan lapis *subgrade* yang merupakan letak analisis kerusakan *deformation*.

4. *Layer*

Parameter yang dimasukkan dalam menu *layer* adalah tebal perkerasan dan *Poisson's Ratio* dari masing-masing lapisan perkerasan seperti pada Tabel 5.4.

5. *Moduli*

Parameter yang dimasukkan pada menu *moduli* adalah Modulus Elastisitas masing-masing jenis perkerasan seperti pada Tabel 5.4.

6. *Load*

Dalam perhitungan metode mekanistik empirik dibutuhkan dimensi sumbu kendaraan, tekanan ban, dan jarak ban pada roda ganda. Pada analisis ini nilai beban sumbu roda diambil berdasarkan data yang digunakan di Indonesia menurut Sukirman (1993) sebagai berikut.

A. Beban kendaraan sumbu standar adalah 18.000 pon (8,16 ton)

B. Tekanan roda satu ban adalah 0,55 mPa = 5,5 kg/cm<sup>2</sup> (CP)

C. Jari-jari bidang kontak adalah 110 mm atau 11 cm (CR), dan

D. Jarak antar masing-masing sumbu roda ganda adalah 33cm (YW)

Adapun cara menentukan data *input* pada menu *load* adalah sebagai berikut.

- a. *Load* = 1 (*single axle load*) beban sumbu standar sebesar 8160 kg
- b. *CR* = 11 cm (berdasarkan nilai jarak antar ban)
- c. *CP* = 550 kPa (berdasarkan nilai tekanan ban)
- d. *YW* = 33 cm
- e. *XW* = 0 cm
- f. *NPT* = 3

Setelah di-*input* nilai *NPT* (*Tire Spacing*) secara otomatis akan diminta untuk memasukkan nilai koordinat tinjauan berdasarkan roda, berikut Tabel 5.7 nilai koordinat *XPT* dan *YPT*.

**Tabel 5.7** Koordinat *NPT*

<b>XPT (cm)</b>	<b>YPT (cm)</b>
0	0
0	10
0	16,5

Setelah data di-*input* kemudian disimpan lalu kembali ke menu utama program *Kenpave*. Selanjutnya pilih menu *Kenlayer* untuk menjalankan agar diperoleh nilai tegangan dan regangan. Pilih menu *Editor* pada tampilan awal program, buka nama *file* untuk melihat hasilnya dalam bentuk *file* (.txt).

*Output* dari analisis menggunakan *Kenlayer* berupa nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada perkerasan lentur jalan. Adapun hasil dari semua pengulangan beban pada setiap titik tinjau tebal lapisan perkerasan *eksisting* dan alternatif dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

**Tabel 5.8** Nilai *Vertical Strain* dan *Horizontal Strain*

	Pengulangan Beban	<i>Vertical Strain</i> ( $\epsilon_c$ )	<i>Horizontal Strain</i> ( $\epsilon_i$ )	<i>Vertical Strain</i> ( $\epsilon_c$ )
<b>Eksisting</b>	1	0,0006350	0,0004883	0,0008328
	2	0,0004175	0,0004696	0,0008885
	3	0,0002637	0,0004381	0,0008907
	<b>Maksimum</b>	<b>0,0006350</b>	<b>0,0004883</b>	<b>0,0008907</b>
		<b>9,9997</b>	<b>9,9997</b>	<b>30,0003</b>
<b>Alternatif 1</b>	1	0,0008802	0,0005757	0,0006062
	2	0,0004186	0,0005179	0,0006633
	3	0,0002658	0,0004279	0,0006726
	<b>Maksimum</b>	<b>0,0008802</b>	<b>0,0005757</b>	<b>0,0006726</b>
		<b>6,4997</b>	<b>6,4997</b>	<b>44,0003</b>
<b>Alternatif 2</b>	1	0,0003066	0,0002525	0,0003140
	2	0,0002632	0,0002576	0,0003367
	3	0,0002339	0,0002538	0,0003409
	<b>Maksimum</b>	<b>0,0003066</b>	<b>0,0002576</b>	<b>0,0003409</b>
		<b>17,9997</b>	<b>17,9997</b>	<b>58,0003</b>

Berdasarkan Tabel 5.8 di atas maka selanjutnya dapat dianalisis dengan menggunakan Persamaan 3.11, Persamaan 3.12, dan Persamaan 3.13 dalam menentukan jumlah repetisi beban. Hasil dari perhitungan tersebut adalah nilai repetisi beban *ESAL* untuk jenis kerusakan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *deformation*. Adapun tahapan perhitungannya sebagai berikut.

1. Menghitung jenis kerusakan *fatigue cracking*

$$N_f = 0,0796 (\epsilon_t)^{-3,921} |E|^{-0,854}$$

Berikut ini contoh perhitungan jenis kerusakan *fatigue cracking* pada perkerasan lentur *eksisting*.

$$\begin{aligned} N_f &= 0,0796 (0,0004883)^{-3,921} |1.200.000|^{-0,854} \\ &= 4.931.189 \end{aligned}$$

2. Menghitung jenis kerusakan *rutting*

$$N_r = 1,365 \times 10^{-9} (\epsilon_c)^{-4,477}$$

Berikut ini contoh perhitungan jenis kerusakan *fatigue cracking* pada perkerasan lentur alternatif 1.

$$\begin{aligned} N_r &= 1,365 \times 10^{-9} (0,0008802)^{-4,477} \\ &= 65.199 \end{aligned}$$

3. Menghitung jenis kerusakan *permanent deformation*

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (\epsilon_c)^{-4,477}$$

Berikut ini contoh perhitungan jenis kerusakan *fatigue cracking* pada perkerasan lentur alternatif 2.

$$\begin{aligned} N_d &= 1,365 \times 10^{-9} (0,0003409)^{-4,477} \\ &= 4.555.768 \end{aligned}$$

Rangkuman perhitungan untuk analisis tiga jenis kerusakan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut.

**Tabel 5.9** Analisis Jumlah Repetisi Beban *ESAL* yang mengakibatkan *Fatigue Cracking, Rutting, dan Deformation*

<b>Perkerasan Lentur</b>	<b><i>Fatigue Cracking</i> (Nf)</b>	<b><i>Rutting</i> (Nr)</b>	<b><i>Deformation</i> (Nd)</b>
<i>Eksisting</i>	4.931.189	281.264	61.828
Alternatif 1	2.585.609	65.199	217.403
Alternatif 2	60.530.404	7.324.013	4.555.768

Dari hasil analisis pada Tabel 5.9 diperoleh masing-masing nilai repetisi beban pada setiap jenis kerusakan dalam periode tertentu, dimana nilai yang diambil adalah dari jenis kerusakan yang pertama kali terjadi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

**Tabel 5.10** Analisis Beban Lalu Lintas terhadap Umur Pelayanan

<b>Perkerasan Lentur</b>	<b><i>ESAL</i></b>	<b>Umur Pelayanan</b>	<b>Jenis Kerusakan</b>	<b>Keterangan</b>
<i>Eksisting</i>	61.828	1 Tahun	<i>Deformation</i>	Tidak mampu
Alternatif 1	65.199	1 Tahun	<i>Rutting</i>	Tidak mampu
Alternatif 2	4.555.768	29 Tahun	<i>Deformation</i>	Terlampau

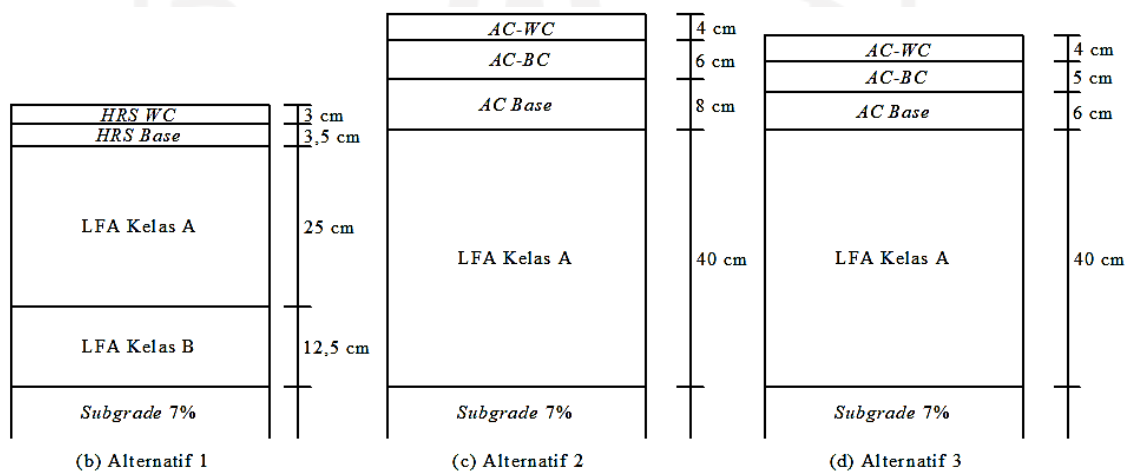


Dari hasil analisis data pada Tabel 5.10 dapat dilihat bahwa kondisi perkerasan lentur *eksisting* dan alternatif 1 tidak mampu untuk mencapai umur pelayanan rencana sampai 20 tahun ( $1 < 20$ ). Sedangkan untuk perkerasan lentur alternatif 2 justru melampaui umur pelayanan rencana dengan perolehan sebesar  $29 > 20$  tahun. Karena perkerasan lentur alternatif 2 memiliki nilai yang terlampaui jauh dari umur pelayanan rencana maka dibuatkan lagi perkerasan lentur alternatif 3. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi pemborosan pada tebal perkerasan yang digunakan. Dengan cara yang sama (subsubbab 5.1.2 dan subbab 5.2) maka diperoleh hasil analisis beban lalu lintas alternatif 3 yang disajikan pada Tabel 5.11 berikut.

**Tabel 5.11** Analisis Beban Lalu Lintas Alternatif 3 terhadap Umur Pelayanan

<i>ESAL</i>	Umur Pelayan	Jenis Kerusakan	Keterangan
2.363.985	20 Tahun	<i>Deformation</i>	Mampu

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 5.11 diperoleh nilai *ESAL* sebesar 2.363.985, dengan jenis kerusakan yang pertama kali terjadi adalah *permanent deformation* pada umur pelayanan 20 tahun atau sama dengan umur rencana. Berikut ini Gambar 5.4 untuk struktur lapis perkerasan lentur dari berbagai alternatif desain.



**Gambar 5.4** Struktur Lapis Perkerasan Lentur Alternatif Desain

### 5.3 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan (*Eksisting*)

Stabilitas lereng yang dianalisis pada penelitian menggunakan program *Geo5* dan hitungan konvensional meliputi, analisis stabilitas lereng *eksisting* dan analisis stabilitas lereng dengan perkuatan *soil nailing*. Dengan masing-masing menggunakan pembebanan yang sama yaitu beban berat struktur perkerasan jalan, beban kendaraan, dan beban gempa. Metode yang digunakan adalah *Fellenius Sliced Method* agar diperoleh hasil faktor keamanan stabilitas lereng yang cukup teliti dengan perolehan nilai yang rendah. Tekanan air pori yang besar, sudut jari-jari longsor, dan faktor keamanan dapat mempengaruhi hasil perhitungan, meskipun analisis dilakukan saat kondisi tegangan total hasil perhitungan tetap hanya dipengaruhi oleh faktor keamanan dan jari-jari longsor.

Untuk mendukung analisis stabilitas lereng *eksisting* dan setelah diberikan perkuatan maka perlu adanya data awal berupa, potongan melintang (*cross section*) lereng, beban perkerasan jalan, beban kendaraan, beban gempa, material tanah, dan material *soil nailing*. Berikut ini data-data yang diperlukan.

1. Potongan melintang (*cross section*) lereng

Data potongan melintang (*cross section*) lereng dengan tinggi 20 m dan sudut kemiringan  $37^\circ$ , data yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari Balai P2JN Papua Barat. Data *cross section* lereng dapat dilihat pada Lampiran 2.

2. Beban di atas lereng

- A. Beban perkerasan

Perkerasan jalan yang digunakan yaitu perkerasan jalan *eksisting* untuk lereng *eksisting* dan perkerasan jalan hasil desain alternatif untuk lereng dengan perkuatan. Adapun rincian struktur perkerasan jalan pada lereng *eksisting* yaitu:

- a. Tebal perkerasan *Ac Wc* = 4 cm
    - b. Tebal perkerasan *Ac Bc* = 6 cm
    - c. Tebal perkerasan LFA Klas A = 20 cm
    - d. Berat isi aspal ( $\gamma_{\text{aspal}}$ ) = 24 kN/m<sup>3</sup>
    - e. Berat isi LFA Klas A = 21 kN/m<sup>3</sup>

Berdasarkan data di atas maka dapat dilakukan perhitungan untuk beban perkerasan sebagai berikut.

f. Berat perkerasan  $A_c Wc = 0,04 \times 24 = 0,96 \text{ kN/m}^2$

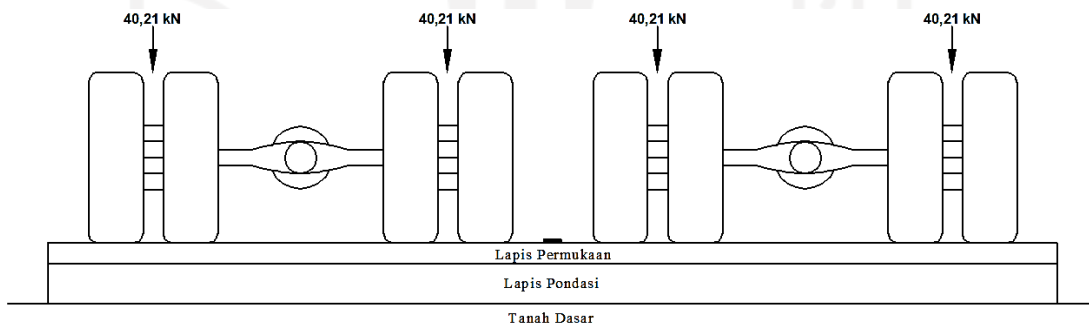
g. Berat perkerasan  $A_c Bc = 0,06 \times 24 = 1,44 \text{ kN/m}^2$

h. Berat perkerasan LFA Klas A =  $0,20 \times 21 = 4,20 \text{ kN/m}^2 +$

i. Berat total perkerasan ( $q_1$ ) =  $6,60 \text{ kN/m}^2$

**B. Beban kendaraan**

Pada perancangan ini diasumsikan pada saat dua buah kendaraan berpapasan dan sejajar. Beban as kendaraan yang digunakan pada penelitian ini yaitu jenis MST sumbu *triple* (3 as) sebesar 20 ton, seperti pada Tabel 3.2 dengan tipe konfigurasi sumbu kendaraan (1,2-2 Trailer). Penentuan beban sumbu as untuk tipe kendaraan tersebut diambil yang terbesar yaitu 41%, sehingga beban untuk masing-masing roda kendaraan sebesar 40,21 kN. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat ilustrasi pada Gambar 5.5 berikut.



**Gambar 5.5** Ilustrasi Rencana Pembebanan Roda Kendaraan Pada Lereng

a. Beban roda kendaraan ( $P$ ) =  $40,21 \times 4 = 160,83 \text{ kN}$

C. Total beban di atas lereng ( $q$ ) =  $q_1 + P = 167,43 \text{ kN/m}^2$

### 3. Data Tanah

Data tanah yang digunakan pada penelitian ini dianggap lereng dalam keadaan telah terbebani. Dengan demikian parameter tanah dapat diasumsikan mengalami tegangan total/efektif. Nilai parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.12.

**Tabel 5.12** Data Parameter Tanah

<b>Jenis Sampel</b>	<b>Jenis Pemeriksaan</b>	<b>Hasil</b>	<b>Satuan</b>
UDS	Berat isi ( $\gamma$ )	17,68	kN/m <sup>3</sup>
	Berat isi kering ( $\gamma_d$ )	13,34	kN/m <sup>3</sup>
	Porositas (n)	0,50	-
	Kohesi ( $C_u$ )	66,04	kN/m <sup>2</sup>
	Kohesi (C)	42,69	kN/m <sup>2</sup>
	Sudut geser ( $\phi$ )	11,07	°
-	N <sub>SPT</sub>	28-60	-

Sumber: SATKER P2JN Papua Barat (2020)

Untuk dapat memperoleh data beban gempa terlebih dahulu perlu diklasifikasikan situs tanah berdasarkan Tabel 3.16 dengan parameter N<sub>SPT</sub> dan Kohesi (C<sub>u</sub>). Hasilnya diperoleh pada lokasi penelitian Klasifikasi Situs SD (tanah sedang).

### 4. Beban Gempa

Data beban gempa yang digunakan pada penelitian ini bersumber dari Aplikasi Spektrum Respon Desain Indonesia 2021. Dengan memasukkan koordinat lokasi penelitian E 131° 21' 23.5" dan S 0° 52' 48.61" maka akan ditampilkan Spektrum Respon Desain Peta seperti pada Gambar 5.6. Dari Gambar 5.6 diperoleh Faktor Amplifikasi berupa PGA, S<sub>s</sub>, dan S<sub>1</sub> (Tabel 5.13) yang akan disesuaikan berdasarkan Tabel 3.17 dengan cara interpolasi linear.

Kelas	SD - Tanah Sedang	TD(detik)	Ts(detik)	Sds(g)	Sd1(g)
		0.17	0.86	0.36	0.31
Rentang T(s)	Value: 20				
PGA MCEr	0.1580 (g) bedrock				
S5 MCEr	0.3572 (g) bedrock				
S1 MCEr	0.2107 (g) bedrock				
TL	16 Detik				

**Gambar 5.6** Spektrum Respon Desain Lokasi Penelitian

(Sumber: [www.rsa.ciptakarya.pu.go.id/](http://www.rsa.ciptakarya.pu.go.id/))

**Tabel 5.13** Data Spektrum Respon Desain

Faktor Amplifikasi	Aplikasi	Interpolasi
PGA	0,1580	1,4840
S <sub>s</sub>	0,3572	1,5142
S <sub>1</sub>	0,2107	1,9786

Hasil interpolasi dari Tabel 5.13 digunakan untuk menghtiung gaya seismik  $F_h$ , dimana variabel  $K_h$  perlu diketahui terlebih dulu. Dengan menggunakan Persamaan 3.24 maka diperoleh perhitungan sebagai berikut.

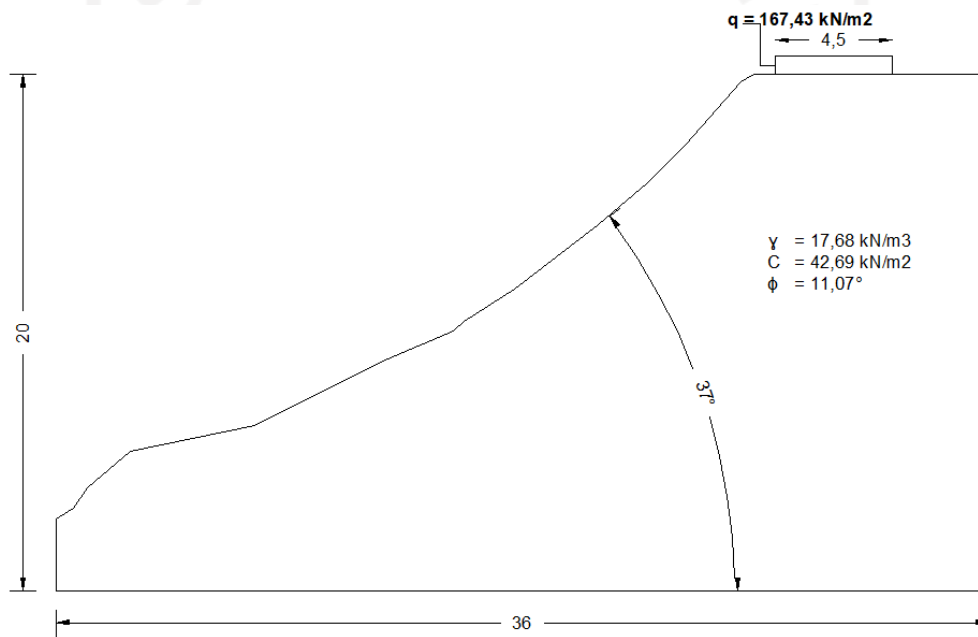
$$\begin{aligned}
 K_h &= 0,5 \cdot S \cdot \frac{PGA}{g} \\
 &= 0,5 \cdot 1,9786 \cdot \frac{1,4840}{9,81} \\
 &= 0,1497
 \end{aligned}$$

Variabel S yang digunakan adalah nilai puncak/tertinggi dari percepatan spektral respons horizontal. Karena nilai  $S_1$  lebih besar dari  $S_s$  maka digunakan  $S_1$  sebagai variabel S.

## 5. Data Material *Soil Nail*

Data material *soil nail* yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan standar ASTM (subsubbab 3.8.1) adalah baja ulir diameter 32 mm, dengan  $f_y$  414 MPa dan kapasitas beban aksial 339 kN.

Berikut ini adalah bentuk geometri potongan melintang lereng kondisi *eksisting* dalam satuan meter yang disajikan pada Gambar 5.7.



**Gambar 5.7** Sketsa Lereng *Eksisting*

### 5.3.1 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Dengan Program *Geo5*

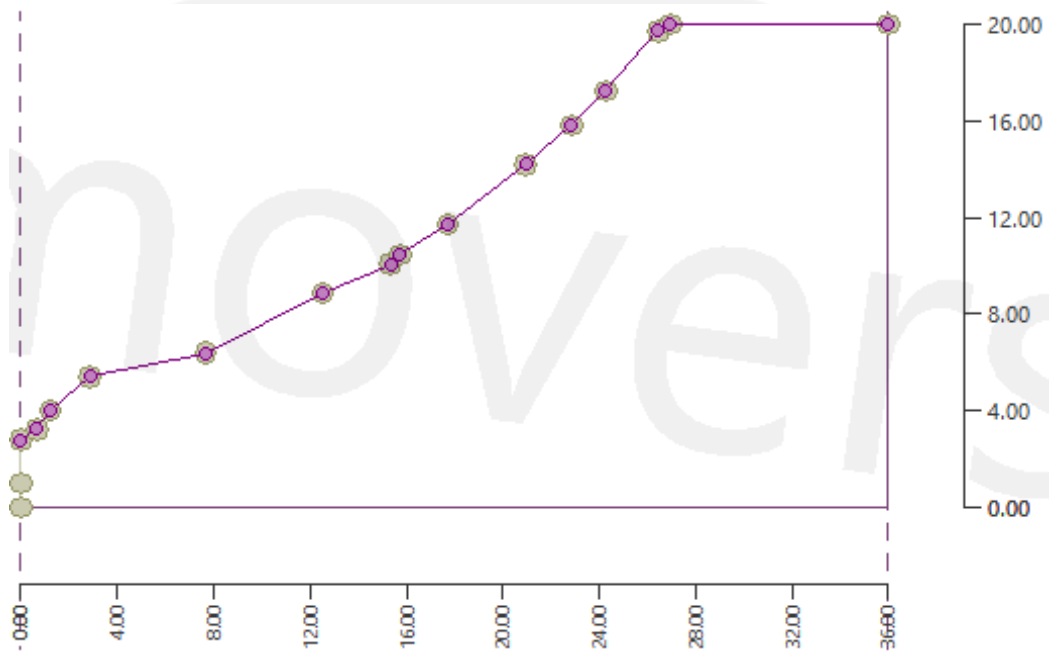
Tahapan dalam menganalisis lereng tanpa perkuatan dengan menggunakan program *Geo5* adalah sebagai berikut.

#### 1. *Project*

Tahapan pertama ialah dengan membuat judul lembar kerja dan penulisnya.

## 2. *Interface*

Pada bagian ini akan diimpor data gambar potongan melintang lereng dari *autocad* yang disimpan dalam format file “.dxf” untuk kemudian ditampilkan pada program. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



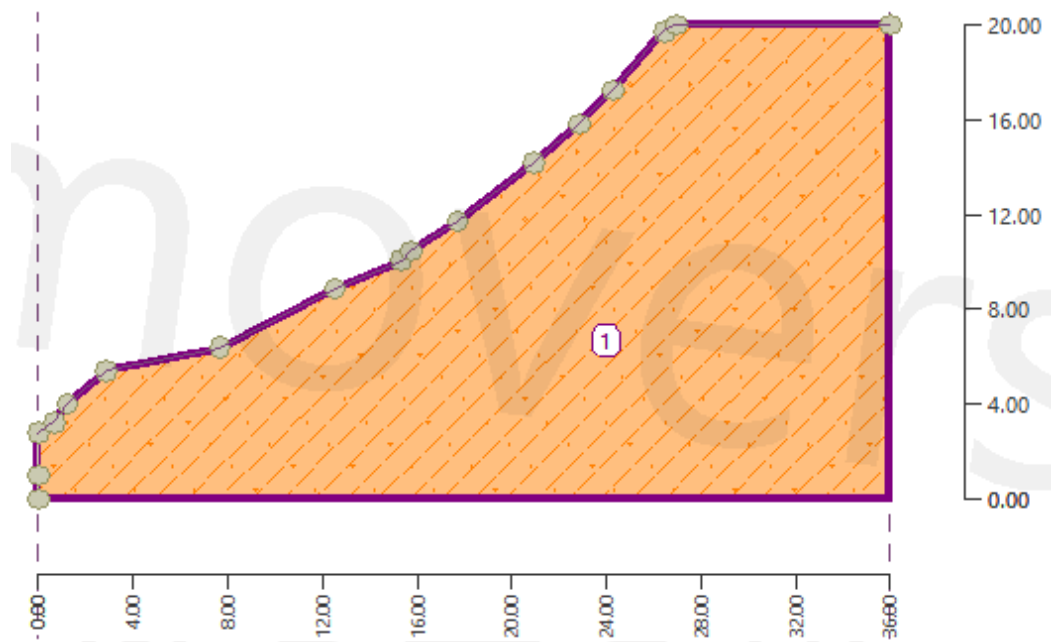
**Gambar 5.8** *Interface* Potongan Melintang Lereng

## 3. *Soil*

*Soil* adalah menu untuk memasukkan data parameter tanah, parameter tanah yang dimasukkan sesuai dengan Tabel 5.11.

## 4. *Assign*

Setelah mengisi data parameter tanah maka selanjutnya data tersebut harus ditetapkan pada *interface* potongan melintang lereng. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.

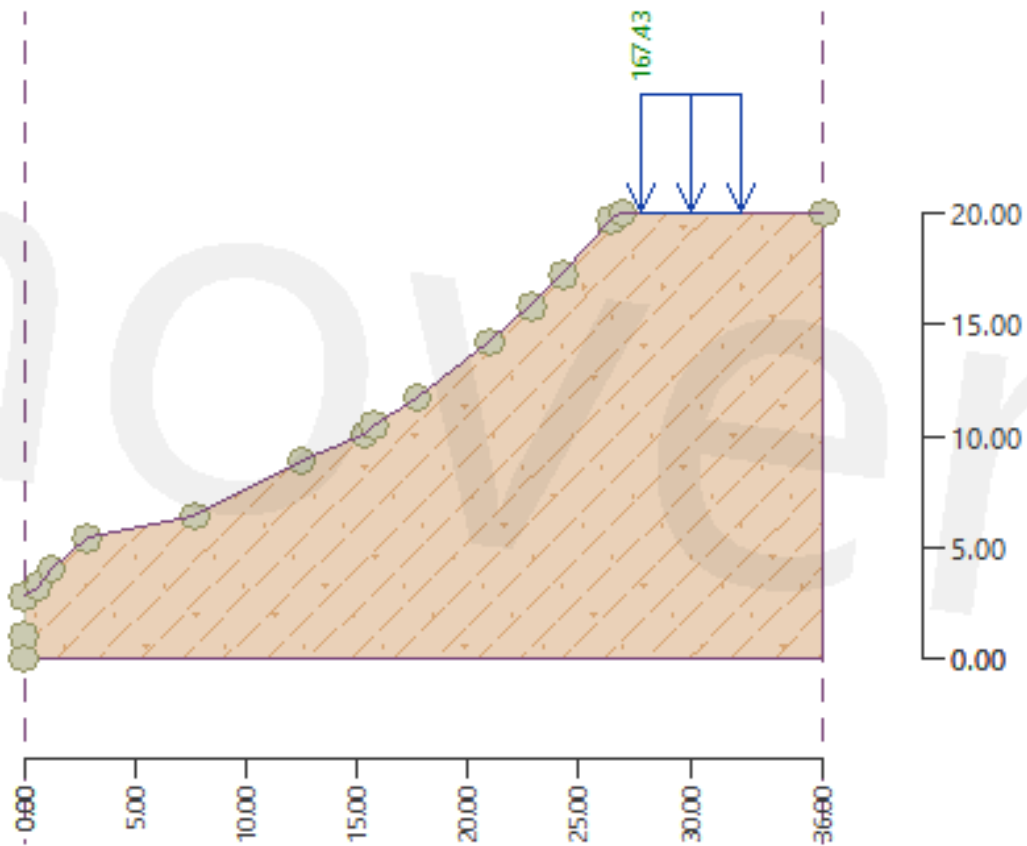


**Gambar 5.9** Assign (Penetapan Data Tanah)

5. *Surcharge*

Pada menu ini akan diberikan beban tambahan ( $q$ ) dengan nilai sebesar  $167,43 \text{ kN/m}^2$  (subbab 5.3, 2, C). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.10.

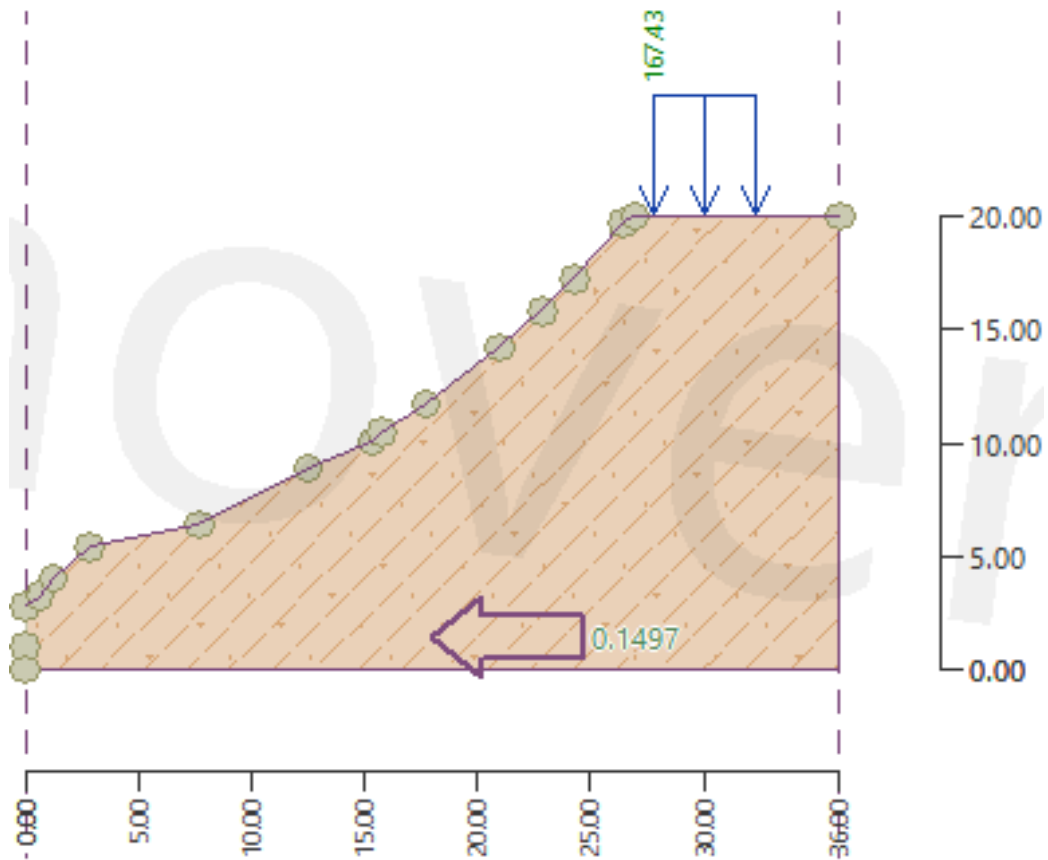




**Gambar 5.10** *Surcharge* (Penambahan Beban)

6. *Earthquake*

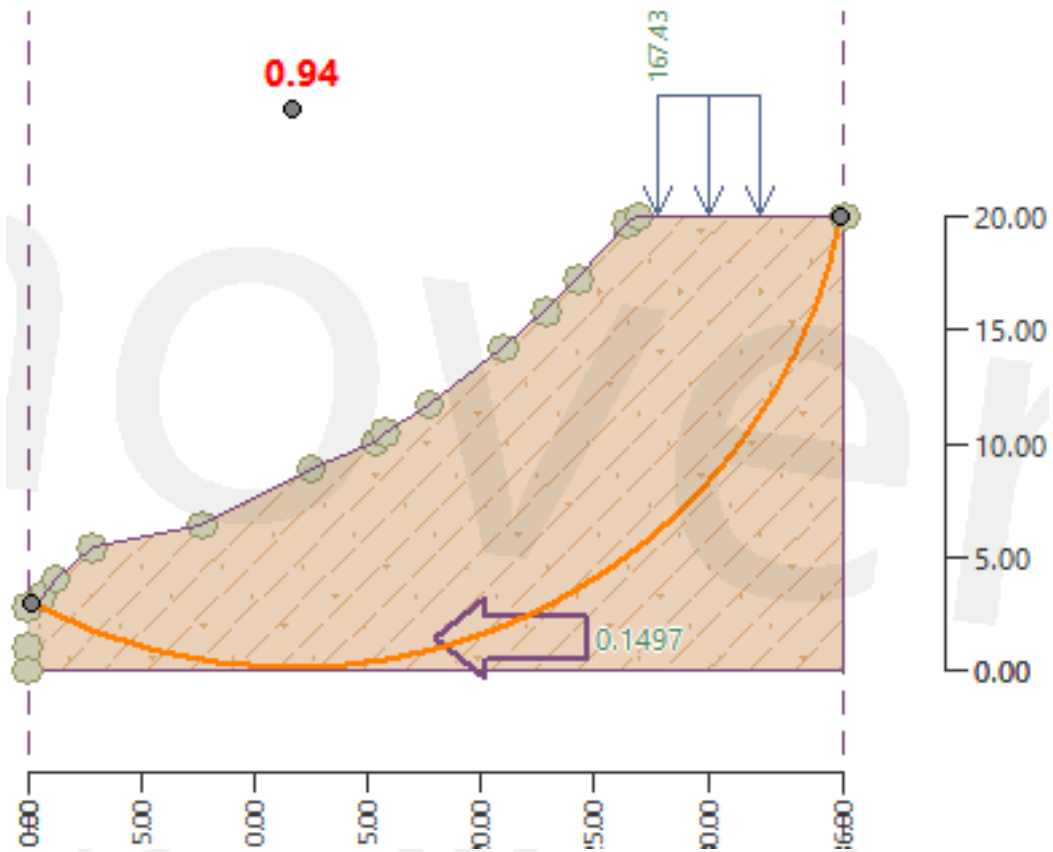
Setelah dimasukkan data beban tambahan selanjutnya pada menu ini akan dimasukkan variabel  $K_h$  dengan nilai koefisien sebesar 0,1497 (subbab 5.3, 4). Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.



**Gambar 5.11** *Earthquake* (Beban Gempa)

#### 7. *Analysis*

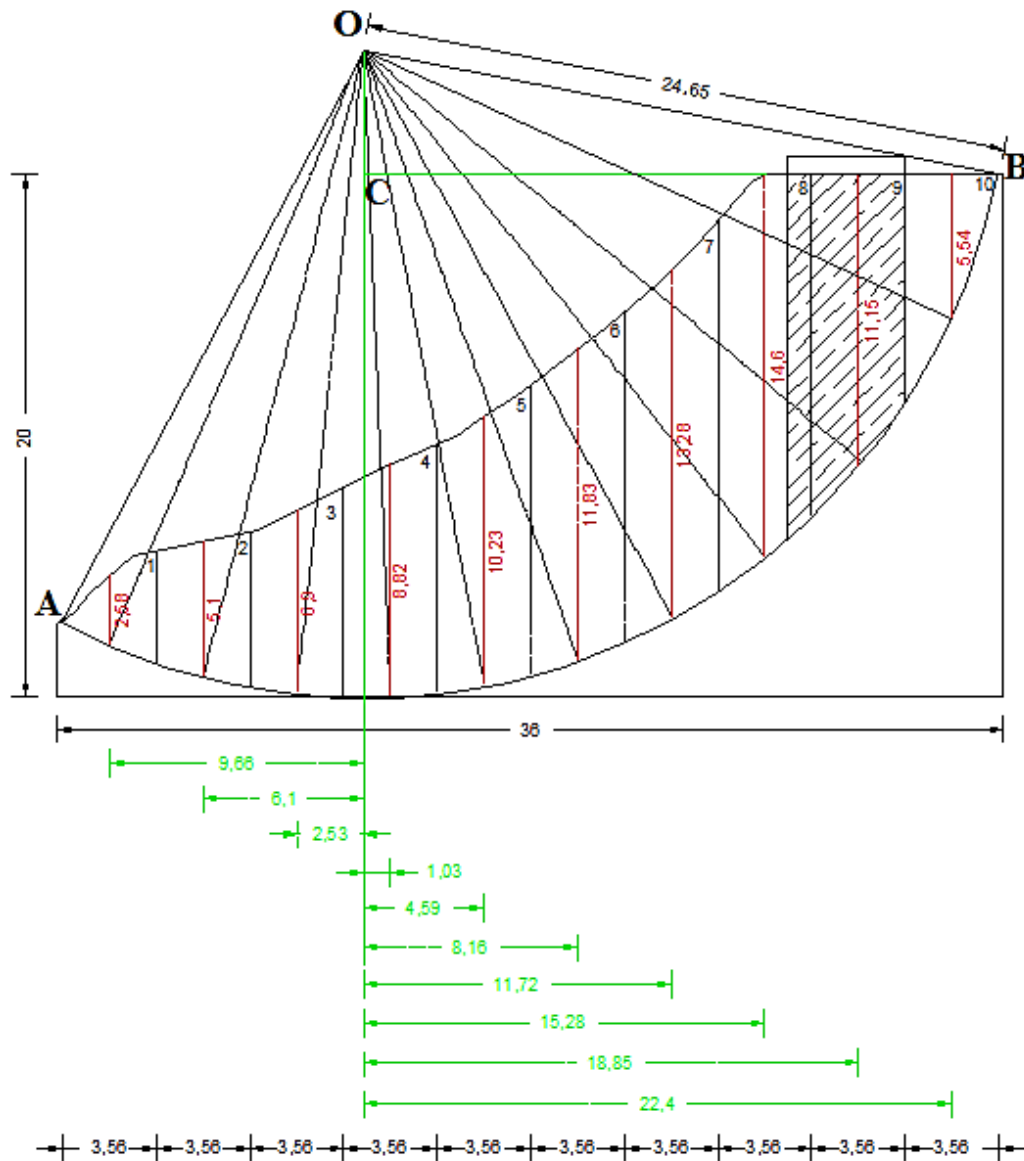
Pada bagian akhir setelah semua data dimasukkan maka selanjutnya data-data tersebut dapat dianalisis. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, dalam penelitian ini digunakan metode *Fellenius* dengan standar *safety factor* sebesar 1,3 (Keterangan Tabel 3.18). Dengan bantuan program untuk menentukan titik pusat kelongsoran maka diperoleh nilai faktor aman sebesar  $0,94 < 1,30$  atau lereng tidak aman. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.



**Gambar 5.12** Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan

### 5.3.2 Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan Perhitungan Manual

Analisis metode *Fellenius* diawali dengan melakukan analisis bidang kelongsoran menggunakan Program *Geo5*. Setelah diperoleh koordinat bidang longsor selanjutnya dapat dilakukan pembagian pias-pias pada program *Autocad* sehingga terbentuk pias dengan dimensi yang dapat digunakan sebagai dasar analisis. Pemodelan lereng tanpa perkuatan dengan pias pada Gambar 5.13 dibagi menjadi 10 pias. Pias nomor 8, 9, dan 10 menopang beban lapis perkerasan jalan. Pembagian pias dilakukan dengan menentukan titik O, membuat lingkaran memotong lereng dengan jari-jari yang jarak dimensinya jarak antara titik OA atau titik OB, dan menentukan lebar dari masing-masing pias ( $b$ ), tinggi  $\frac{1}{2}$  pias ( $h$ ), jarak  $\frac{1}{2}$  pias ke titik C ( $a$ ), luas irisan ( $A$ ), panjang irisan beban ( $L$ ), dan sudut irisan ( $\alpha$ ).



**Gambar 5.13** Pemodelan Lereng dengan Pias dan Dimensi (m)

Setelah diketahui semua variabel yang diperlukan maka selanjutnya dapat dilakukan perhitungan manual lereng tanpa perkuatan dengan metode *Fellenius*. Adapun tahapannya sebagai berikut.

1. Perhitungan Berat Irisan Tanah (W)

Berat irisan tanah yang tidak menerima beban dihitung dengan melakukan analisis luas tiap irisan menggunakan program *Autocad*. Luas irisan selanjutnya dikalikan dengan berat volume tanah. Irisan tanah yang tidak menerima beban adalah pias nomor 1 sampai pias nomor 7.

$$W_i = \gamma \times A_i$$

Contoh perhitungan berat irisan tanah tidak menerima beban menggunakan irisan tanah nomor 1 dapat dilihat sebagai berikut.

$$W_1 = 17,66 \times 8,63 = 152,41 \text{ kN}$$

#### 2. Perhitungan Berat Irisan Tanah Menerima Beban (W)

Analisis berat irisan tanah yang menerima beban sebesar 167,43 kN/m<sup>2</sup> dilakukan dengan mengetahui luas pias menggunakan program *Autocad* kemudian menghitung panjang pias yang menerima beban. Pada Gambar 5.13 dapat dilihat bahwa pias yang menerima beban adalah pias nomor 8, 9, dan pias nomor 10. Berikut perhitungannya.

$$W_i = (\gamma \times A_i) + (Q \times L)$$

Dimana Q adalah total beban di atas lereng dan L adalah panjang pias yang menerima beban. Contoh perhitungan berat irisan tanah yang menerima beban menggunakan irisan tanah nomor 10 dapat dilihat sebagai berikut.

$$W_{10} = (17,66 \times 18,48) + (167,43 \times 0,02) = 329,79 \text{ kN}$$

#### 3. Perhitungan Sudut Irisan Tanah ( $\alpha$ )

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{a}{R}\right)$$

Contoh perhitungan sudut irisan menggunakan irisan nomor 1 dapat dilihat sebagai berikut.

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{-9,66}{24,65}\right) = -23,07^\circ$$

#### 4. Perhitungan Nilai N (Resultan Gaya Normal)

Nilai N diperoleh dengan mengalikan berat irisan tanah dengan  $\cos \alpha$ . Perhitungan nilai N dapat dilihat sebagai berikut.

$$N = W_i \times \cos \alpha$$

Contoh perhitungan nilai N menggunakan irisan nomor 1 dapat dilihat sebagai berikut.

$$N = 152,41 \times \cos -23,07 = 140,22 \text{ kN}$$

5. Perhitungan Nilai T (Resultan Gaya Geser)

$$T = W_i \times \sin \alpha$$

Contoh perhitungan nilai T menggunakan irisan nomor 1 dapat dilihat sebagai berikut.

$$T = 152,41 \times \sin -23,07 = -59,72 \text{ kN}$$

6. Perhitungan Nilai  $F_h$  (Resultan Gaya Seismik)

$$F_h = K_h \cdot W_i \cdot \cos \alpha$$

Contoh perhitungan nilai  $F_h$  menggunakan irisan nomor 1 dapat dilihat sebagai berikut.

$$F_h = 0,1497 \cdot 152,58 \cdot \cos -23,07 = 21,01 \text{ kN}$$

7. Perhitungan Nilai  $\sum L_i$

$$\sum L_i = \frac{\alpha \text{ A ke B}}{360} \cdot \pi \cdot R \cdot 2$$

$$\sum L_i = \frac{93 - 22}{360} \cdot \frac{22}{7} \cdot 24,65 \cdot 2 = 40,01 \text{ m}$$

8. Faktor Aman (SF)

Faktor aman menggunakan Metode Fellenius dapat dianalisis dengan merangkum terlebih dahulu perhitungan panjang pias, berat volume tanah, luas irisan, berat irisan tanah, sudut tiap irisan tanah, nilai N, nilai T, dan nilai  $F_h$ .

$$SF = \frac{\sum C \cdot L_i + (W_i \cos \alpha_i) \text{ tg} \phi}{\sum W_i \sin \alpha_i + \sum F_h \cos \alpha_i}$$

$$SF = \frac{\sum 42,69 \cdot 40,01 + (5102,85) \text{ tg} 11,07}{\sum 2390,88 + \sum 763,67} = 0,86$$

Rangkuman perhitungan Metode *Fellenius* dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut.

**Tabel 5.14** Rangkuman Perhitungan Metode Fellenius

Pias	Panjang Pias	Tinggi ½ Pias	Jarak ½ Pias Ke Titik C	Berat Volume Tanah	Luas Irisan	Panjang Irisan Beban	Berat Irisan Tanah	Sudut Tiap Irisan	N	T	Fh
	b	h	a	$\gamma$	A	L	W	$\alpha$	$W_i \cdot \cos \alpha$	$W_i \cdot \sin \alpha$	$KhW_i \cdot \cos \alpha$
	m	m	m	kN/m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	m	kN	°	kN	kN	kN
1	3,56	2,58	-9,66	17,68	8,63	-	152,58	-23,07	140,37	-59,79	21,01
2	3,56	5,10	-6,1	17,68	18,09	-	319,83	-14,33	309,88	-79,15	46,38
3	3,56	6,90	-2,53	17,68	24,54	-	433,87	-5,89	431,58	-44,53	64,59
4	3,56	8,82	1,03	17,68	31,23	-	552,15	2,39	551,66	23,07	82,56
5	3,56	10,23	4,59	17,68	36,33	-	642,31	10,73	631,08	119,60	94,44
6	3,56	11,83	8,16	17,68	42,07	-	743,80	19,33	701,86	246,22	105,04
7	3,56	13,28	11,72	17,68	47,36	-	837,32	28,39	736,63	398,11	110,24
8	3,56	14,6	15,28	17,68	36,02	0,92	790,87	38,31	620,59	490,24	92,88
9	3,56	11,15	18,85	17,68	39,42	3,56	1307,95	49,88	842,81	1000,20	126,13
10	3,56	5,54	22,4	17,68	18,48	0,02	326,73	65,33	136,38	296,90	20,41
Total									5102,85	2390,88	763,67
Faktor Aman (SF)									0,86		

Selisih antara hasil analisis menggunakan *Geo5* dengan perhitungan manual hanya sebesar 0,08. Faktor aman analisis perhitungan manual diperoleh sebesar  $0,86 < 1$  atau lereng tidak aman.

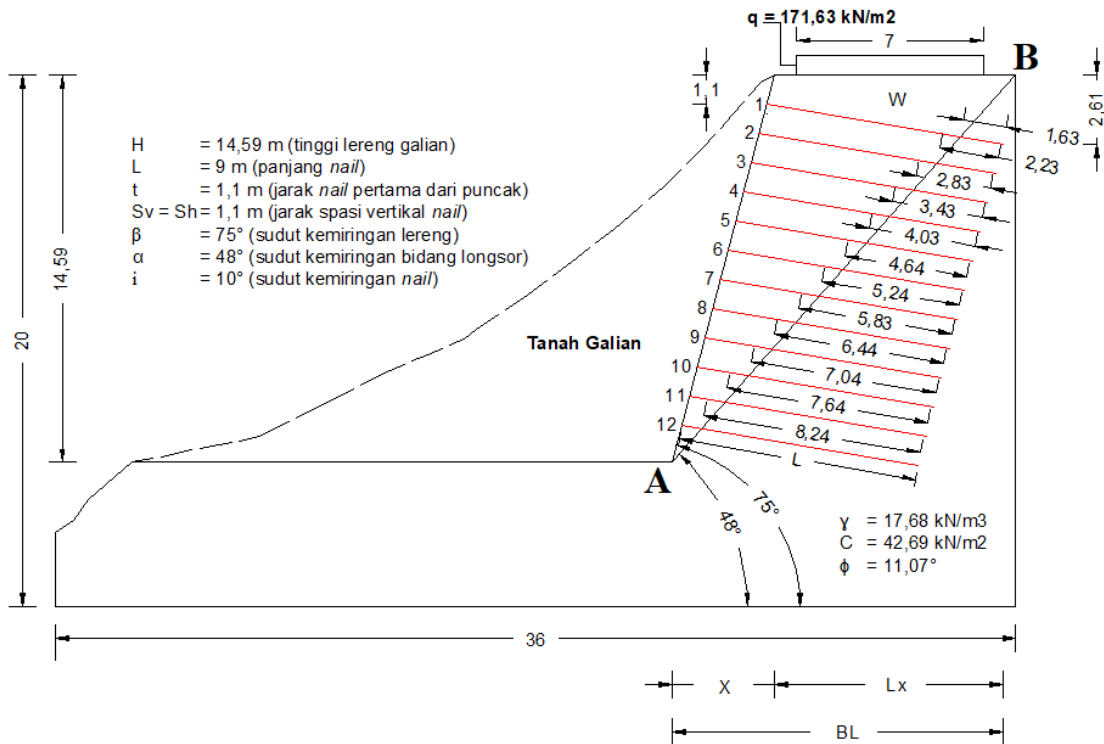
#### **5.4 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan *Soil Nailing***

Dalam menganalisis stabilitas lereng tanpa perkuatan terlebih dulu dilakukan analisis menggunakan *Geo5* agar diperoleh jari-jari bidang gelincir kritis, yang kemudian digunakan untuk perhitungan manual. Maka pada analisis stabilitas lereng dengan perkuatan, yang akan dianalisis terlebih dulu adalah dengan metode perhitungan manual, agar beberapa variabel yang diperoleh menjadi acuan untuk digunakan pada analisis dengan *Geo5*.

##### **5.4.1 Analisis Perkuatan Lereng Metode Baji**

Perancangan dinding *soil nailing* ditentukan secara *trial and error* dan dianalisis pada stabilitas keruntuhan global lereng. (SNI-8460, 2017) dalam persyaratan teknis *soil nailing* menerangkan bahwa *nail* baris pertama harus dipasang tidak lebih dalam dari 1,1 m di bawah puncak dinding untuk mengurangi potensi longsor pada bagian awal tahap galian. Selain itu (Paulus & Basuki, 2020) memberikan pertimbangan desain dan analisis perkuatan pada lereng dengan sudut kemiringan  $> 45^\circ$  (Tabel 3.14). Mengacu pada dua syarat tersebut maka lereng *eksisting* dengan sudut kemiringan  $37^\circ$  akan dimodifikasi atau digali sehingga mencapai sudut  $75^\circ$ . Penentuan sudut keruntuhan ( $\alpha$ ) dilakukan dengan cara menarik garis lurus dari titik A ke titik B, titik koordinat dari bidang longsor tersebut dijadikan acuan untuk menentukan bentuk bidang longsor yang akan terjadi pada analisis stabilitas lereng dengan perkuatan. Adapun penentuan panjang *nail*, jarak spasi vertikal *nail*, dan sudut kemiringan *nail* mengacu pada SNI-8460-2017. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.





**Gambar 5.14** Sketsa Lereng dengan Perkuatan

1. Analisis Keruntuhan Bidang Longsor

Kemiringan bidang longsor kritis dihitung dengan cara trial and error dan menghasilkan nilai sebesar  $\alpha = 48^\circ$ .

A. Menghitung berat tanah yang akan longsor

$$\begin{aligned}
 W &= (\gamma \times A) + (q \times L) \\
 &= (17,68 \times 65,94) + (171,63 \times 7) \\
 &= 2367,32 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Nilai  $q$  diperoleh seperti pada (sub 5.3, 2, C) dengan ketebalan perkerasan hasil desain alternatif. Kemudian masih dengan cara yang sama pada (sub 5.3.2, 6) untuk menentukan resultan gaya seismik maka dapat dihitung sebagai berikut.

$$F_h = 0,1497 \times 2367,32 \times \cos 48 = 237,06 \text{ kN}$$

Berikut ini cara untuk menentukan panjang garis bidang longsor.

$$\begin{aligned}
 L_f &= H / \sin \beta \\
 &= 14,59 / \sin 75 \\
 &= 15,10 \text{ m}
 \end{aligned}$$

B. Cek terhadap gaya tarik dan ijin geser

a. Daya dukung tarik tulangan

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_y \times A_s \text{ tulangan} \\
 &= 420 \times (0,25 \times \pi \times 32^2) \\
 &= 337,784042 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_c &= 0,5 \times R_n \\
 &= 0,5 \times 337,784042 \\
 &= 168,892021 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. Gaya geser ijin tulangan

$$\begin{aligned}
 V_n &= \frac{R_n}{\sqrt{1 + 4 \tan^2 (90 - (\alpha + i))}} \\
 &= \frac{337,784042}{\sqrt{1 + 4 \tan^2 (90 - (75 + 10))}} \\
 &= 241,749120 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c. Gaya tarik ijin tulangan

$$\begin{aligned}
 T &= 4 \times V_n \times \tan(90 - (\alpha + i)) \\
 &= 4 \times 241,749120 \times \tan(90 - (48 + 10)) \\
 &= 604,25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d. Gaya geser ijin dari tanah

$$\begin{aligned}
 P_u &= (c_1 \frac{2}{3} H + c_2 D) \gamma \frac{2}{3} H \\
 &= (0,8 \times \frac{2}{3} \times 14,59 + 1,6 \times 0,032) 17,68 \times \frac{2}{3} \times 14,59 \\
 &= 16,59 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_u &= c_3 D \gamma \frac{2}{3} H \\
 &= 9 \times 0,032 \times 17,68 \times \frac{2}{3} \times 14,59 \\
 &= 49,53 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dimana nilai  $c_1$ ,  $c_2$  dan  $c_3$  didapat dari grafik pada Gambar 3.24 dan dari perhitungan di atas diambil  $P_u$  terkecil yaitu 16,59 kN untuk perhitungan selanjutnya.

$$\begin{aligned} P_{\max} &= P_u/2 \\ &= 16,59/2 \\ &= 8,29 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_o &= \sqrt[4]{\frac{4EI}{K_s D}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{4 \times 2,00^8 \times 5,15^{-8}}{48000 \times 0,032}} \\ &= 0,61 \text{ m} \end{aligned}$$

Berikut ini parameter-parameter yang dibutuhkan dalam persamaan di atas.

$E$  = modulus elastisitas baja =  $2,00^8 \text{ kN/m}^2$  (SNI 2847-2019)

$I$  = momen inersia penampang *nail bar*

$$= \frac{\pi D^4}{64} = \frac{\pi 0,032^4}{64} = 5,15^{-8} \text{ m}^4$$

$D$  = diameter *nail bar* (tidak di-*grouting* atau *driven soil nailing*)

$$= 0,032 \text{ m (sub 5.3, 5)}$$

$K_s$  =  $48000 \text{ kN/m}^3$  (Tabel 3.20)

$$\begin{aligned} V_s &= P_{\max} \frac{D}{2} L_o \\ &= 8,29 \frac{0,032}{2} 0,61 \\ &= 0,081056 \text{ kN} < V_n = 241,749120 \text{ kN} \end{aligned}$$

Karena  $V_s < V_n$ , maka gaya geser ijin global ( $V_{\max}$ ) yang digunakan adalah sebesar 0,081056 kN. Adanya pembatasan gaya geser ijin, maka gaya tarik ijin dari nail bar harus dikoreksi menjadi:

$$\frac{V_{\max}^2}{R_c^2} + \frac{T_{\max}^2}{R_n^2} = 1$$

$$\frac{0,081056^2}{168,892021^2} + \frac{T_{\max}^2}{337,784042^2} = 1$$

$$T_{\max} = 337,784003 \text{ kN}$$

C. Menentukan panjang  $L_e$

Nilai  $L_e$  diperoleh dengan cara pengukuran langsung menggunakan program *Autocad*.  $L_e$  adalah panjang *nail* yang berada dibelakang garis bidang longsor dan jarak spasi vertikal untuk “*driven soil nailing*” berkisar antara 1 m – 1,2 m, diambil nilai rata-rata 1,1 m (Gambar 5.14). Berikut ini Tabel 5.15 untuk parameter *nail*.

**Tabel 5.15** Parameter *Nail*

No <i>Nail</i>	L <i>Nail</i> (m)	Hi (m)	Le (m)
1	9	13,49	1,63
2	9	12,39	2,23
3	9	11,29	2,83
4	9	10,19	3,43
5	9	9,09	4,03
6	9	7,99	4,64
7	9	6,89	5,24
8	9	5,79	5,83
9	9	4,69	6,44
10	9	3,59	7,04
11	9	2,49	7,64
12	9	1,29	8,24

Nilai SF pada perhitungan ini diperoleh dari hasil coba-coba dengan bantuan *Ms Excel*, agar hasil akhir dari perhitungan faktor keamanan keruntuhan global harus sama dengan atau mendekati nilai tersebut. Faktor keamanan dari hasil coba-coba diasumsikan  $SF = 1,9009$ .

Sebagai contoh diambil *nail* ke-1 untuk perhitungan berikut.

$$f_{\max} = 140 \text{ kN/m}^2 \text{ (lihat Tabel 3.21)}$$

$$T_1 = \frac{\pi D L_e f_{\max}}{SF}$$

$$= \frac{\pi \times 0,032 \times 1,63 \times 140}{1,9009}$$

$$= 12,068581 \text{ kN} < T_{\max} = 337,784003 \text{ kN (Aman)}$$

Rangkuman perhiungan keseluruhan *nail* (1-12) dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut.

**Tabel 5.16** Parameter *Nail*

No Nail	L Nail (m)	Hi (m)	Le (m)	T (kN)	V (kN)
1	9	13,49	1,63	12,068581	0,081056
2	9	12,39	2,23	16,511004	0,081056
3	9	11,29	2,83	20,953426	0,081056
4	9	10,19	3,43	25,395849	0,081056
5	9	9,09	4,03	29,838272	0,081056
6	9	7,99	4,64	34,354734	0,081056
7	9	6,89	5,24	38,797157	0,081056
8	9	5,79	5,83	43,165539	0,081056
9	9	4,69	6,44	47,682002	0,081056
10	9	3,59	7,04	52,124425	0,081056
11	9	2,49	7,64	56,566847	0,081056
12	9	1,29	8,24	61,009270	0,081056
Total				438,467107	0,972669

e. Gaya tarik ijin total dari *nail* (per unit panjang tegak lurus bidang)

$$\sum T_i = \frac{T_1 + T_2 + \dots + T_n}{Sh}$$

$$\sum T_i = \frac{438,467107}{1,1} = 398,606461 \text{ kN}$$

f. Gaya geser ijin total dari *nail* (per unit panjang tegak lurus bidang)

$$\sum V_i = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{Sh}$$

$$\sum V_i = \frac{0,972669}{1,1} = 0,884245 \text{ kN}$$

g. Menghitung faktor keamanan keruntuhan global

$$SF = \frac{c \cdot Lf + (W + Q \cos \alpha) \cdot \tan \phi + (\sum T_i \sin(\alpha + i) - \sum V_i \cos(\alpha + i)) \tan \phi}{Fh + (W + Q \sin \alpha) - \sum T_i \cos(\alpha + i) - \sum V_i \sin(\alpha + i)}$$

$$SF = \frac{42,69 \times 11,55 + (1165,91 + 1201,41 \cos 48) \cdot \tan 11,07 + (398,61 \sin(48 + 10) - 0,88 \cos(48 + 10)) \tan 11,07}{237,06 + (1165,91 + 1201,41 \sin 48) - 398,61 \cos(48 + 10) - 0,88 \sin(48 + 10)}$$

$$SF = 1,9009$$

Setelah dihitung secara berulang menggunakan *Ms Excel* sampai ditemukan hasil yang sama seperti hasil di atas. Diperoleh SF sebesar  $1,9009 > 1,30$  (Aman).

## 2. Analisis Stabilitas Lereng Terhadap Kegagalan Daya Dukung

### A. Menghitung koefisien tekanan tanah aktif

$$\begin{aligned} K_a &= \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \\ &= \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{11,07}{2} \right) \\ &= 0,6778 \end{aligned}$$

### B. Menentukan nilai faktor kapasitas dukung tanah (Terzaghi, 1943)

Berdasarkan Tabel 3.23, dengan nilai  $\varphi = 11,07^\circ$  maka diperoleh,

$$N_c = 10,16$$

$$N_\gamma = 0,69$$

### C. Faktor aman terhadap kegagalan daya dukung tanah

$$\begin{aligned} SF &= \frac{c \cdot N_c + 0,5 \cdot \gamma \cdot B_e \cdot N_\gamma}{H_{eq} \cdot \gamma} \\ &= \frac{42,69 \times 10,16 + 0,5 \times 17,68 \times 11,55 \times 0,69}{14,59 \times 17,68} \\ &= 1,95 \end{aligned}$$

Diperoleh faktor keamanan terhadap kegagalan daya dukung tanah sebesar 1,95 ( $SF > 1,30$ ), maka lereng aman terhadap bahaya kegagalan daya dukung tanah.

## 3. Analisis Stabilitas Internal Terhadap Putus Dan Cabut Tulangan

Pada analisis ini perlu diketahui nilai  $L_i$  (kedalaman ujung *nail* dari permukaan tanah). Diketahui  $L_i = 2,61$  m untuk *nail* pertama, adapun untuk  $L_i$  *nail* selanjutnya diperoleh dengan menambahkan dengan nilai  $S_v = 1,1$  m.

### A. Menghitung tegangan horizontal

Berikut ini contoh perhitungan untuk *nail* ke-1.

$$\sigma_h = K_a \cdot \gamma \cdot L_i$$

$$= 0,6778 \times 17,68 \times 2,62$$

$$= 31,401098 \text{ kN/m}^2$$

- B. Menghitung faktor keamanan terhadap putus tulangan *nail*  
Berikut ini contoh perhitungan untuk *nail* ke-1.

$$Fr = \frac{Rn}{\sigma_h \cdot Sv \cdot Sh}$$

$$= \frac{337,784042}{31,281247 \times 1,1 \times 1,1}$$

$$= 8,89 > 1,30 \text{ (Aman)}$$

- C. Menghitung faktor keamanan terhadap cabut tulangan *nail*  
Berikut ini contoh perhitungan untuk *nail* ke-1.

$$Fp = \frac{\pi \cdot qu \cdot Ddh \cdot Le}{\sigma_h \cdot Sv \cdot Sh}$$

$$= \frac{\pi \times 140 \times 0,1 \cdot 1,63}{31,281247 \times 1,1 \times 1,1}$$

$$= 2,08 > 1,30 \text{ (Aman)}$$

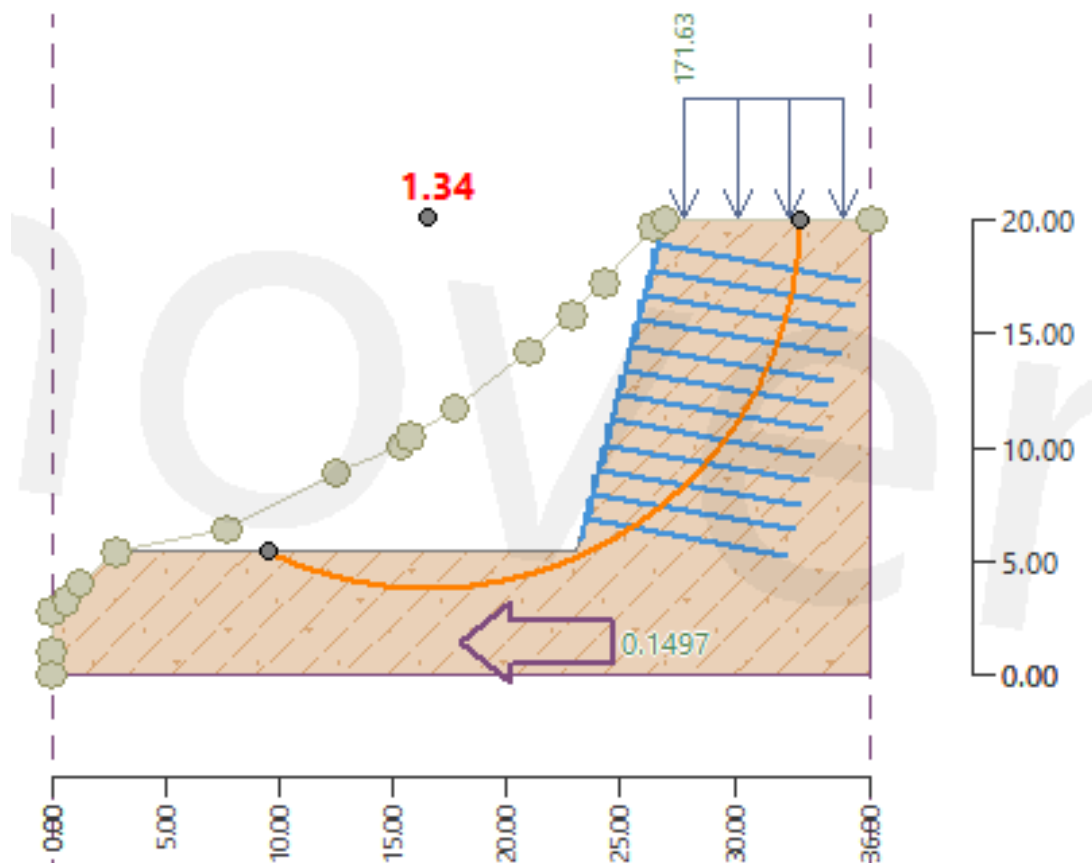
Berikut ini Tabel 5.16 rekapitulasi perhitungan stabilitas internal terhadap putus dan cabut tulangan.

**Tabel 5.17** Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Internal Putus dan Cabut Tulangan

<b>Li (m)</b>	<b><math>\sigma_h</math> (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Fr</b>	<b>&gt; SF = 1,30 &lt;</b>	<b>Fp</b>
2,61	31,281247	8,92	Aman	2,08
3,72	44,584765	6,28	Aman	2,01
4,82	57,768432	4,84	Aman	1,96
5,92	70,952099	3,94	Aman	1,94
7,02	84,135766	3,32	Aman	1,92
8,12	97,319433	2,87	Aman	1,91
9,22	110,50310	2,53	Aman	1,90
10,32	123,686767	2,26	Aman	1,89
11,42	136,870434	2,04	Aman	1,88
12,52	150,054102	1,86	Aman	1,88
13,62	163,237769	1,71	Aman	1,87
14,72	176,421436	1,58	Aman	1,48

#### 5.4.2 Analisis Perkuatan Lereng Program Geo5

Pada analisis menggunakan program *Geo5* data-data yang digunakan dalam *input* program diambil dari hasil perhitungan manual. Adapun hasilnya diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 1,34 ( $SF \geq 1,30$ ), maka lereng aman terhadap keruntuhan global. Berikut ini Gambar 5.15 hasil dari analisis menggunakan program *Geo5*.



**Gambar 5.15** Analisis Stabilitas Lereng Perkuatan *Soil Nailing*

#### 5.5 Pembahasan

Pembahasan secara umum berdasarkan hasil analisis pada lokasi penelitian dapat dikatakan bahwa, baik pekerasan lentur *eksisting* maupun lereng *eksisting* keduanya dalam keadaan belum layak digunakan. Oleh karena itu pemilihan desain alternatif dalam penelitian ini mencari solusi yang paling tepat agar keduanya dapat



dikatakan layak untuk digunakan. Untuk desain perkerasan lentur alternatif 1 dan alternatif 2 diperoleh hasil yang belum optimal sehingga dibuatlah alternatif 3 maka diperoleh hasil yang baik. Begitupun pada desain lereng perkuatan diperoleh hasil yang baik atau layak untuk digunakan. Berikut ini pembahasan detail dari hasil-hasil tersebut dan Tabel 5.20 untuk rekapitulasi hasil penelitian.

### 5.5.1 Struktur Perkerasan Lentur *Eksisting* dan Alternatif Menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan BM 2017

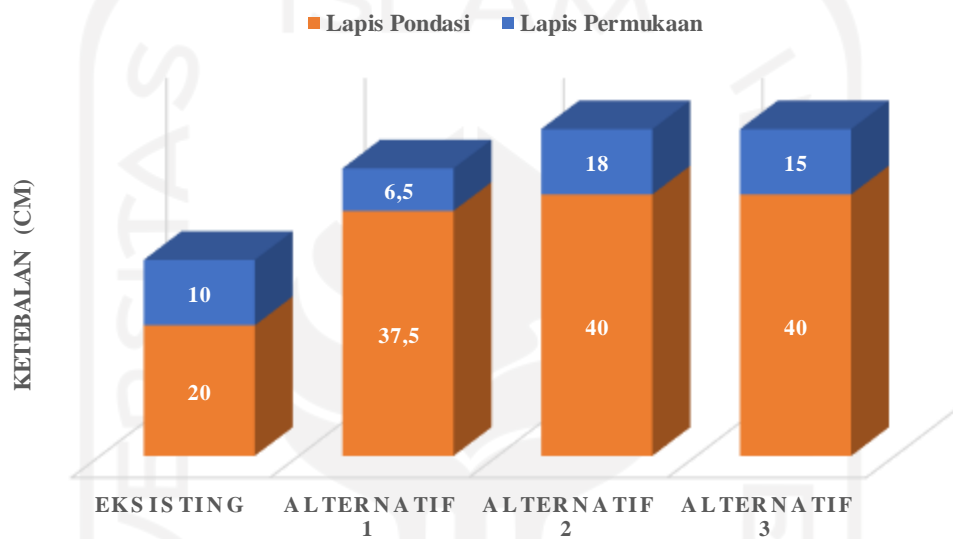
Berdasarkan hasil analisis desain struktur perkerasan jalan diperoleh nilai *CESA5* sebesar 2.434.678 atau 2,4 juta *ESAL*, untuk kemudian dijadikan acuan dalam menentukan jenis lapis perkerasan lentur. Dari hasil tersebut maka dapat dibedakan tiap jenis lapisan dan ketebalannya yang disajikan pada Tabel 5.18 berikut.

**Tabel 5.18** Rekapitulasi Struktur Lapis Perkerasan Lentur

Perkerasan Lentur	Ketebalan (mm)	Solusi ( $10^6$ <i>ESA5</i> )	Keterangan	
<i>Eksisting</i>	<i>AC-WC</i>	40	FFF1 < 2	Disesuaikan
	<i>AC-BC</i>	60		
	LFA Kelas A	200		
Alternatif 1	<i>HRS WC</i>	30	$0,5 \leq \text{FF2} \leq 4,0$	-
	<i>HRS Base</i>	35		
	LFA Kelas A	250		
	LFA Kelas B	125		
Alternatif 2	<i>AC-WC</i>	40	FFF2 $\geq$ 2 - 4	-
	<i>AC-BC</i>	60		
	<i>AC Base</i>	80		
	LFA Kelas A	400		
Alternatif 3	<i>AC-WC</i>	40	FFF2 $\geq$ 2 - 4	Disesuaikan
	<i>AC-BC</i>	50		
	<i>AC Base</i>	60		
	LFA Kelas A	400		

Dari hasil Tabel 5.18 diketahui bahwa perkerasan lentur *eksisting* hanya memiliki 3 jenis lapisan, dengan tebal lapis permukaan 10 cm dan lapis pondasi 20 cm. Perkerasan lentur alternatif 1 memiliki 4 jenis lapisan, dengan tebal lapis permukaan

6,5 cm dan lapis pondasi 37,5 cm. Perkerasan lentur alternatif 2 memiliki 4 jenis lapisan, dengan tebal lapis permukaan 18 cm dan lapis pondasi 40 cm. Untuk perkerasan lentur alternatif 3 juga memiliki 4 jenis lapisan, dengan tebal lapis permukaan 15 cm dan lapis pondasi 40 cm. Berikut ini disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.16.



**Gambar 5.16** Grafik Perbandingan Tebal Lapis Permukaan dan Lapis Pondasi pada setiap Perkerasan Lentur

### 5.5.2 Pengaruh Respon Tegangan Regangan Struktur Perkerasan Lentur *Eksisting* dan Alternatif Menggunakan Metode Mekanistik Empiris Dengan *Kenpave-Kenlayer* Terhadap Umur Pelayanan

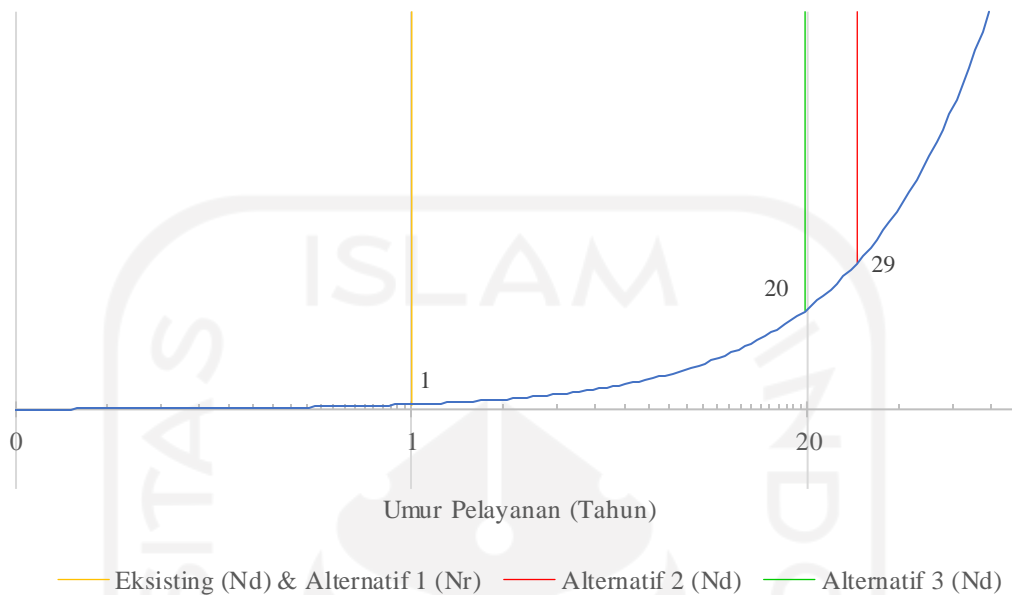
Pembahasan ini diperoleh dari hasil analisis menggunakan program *Kenpave-Kenlayer*. Hasil dari masing-masing struktur lapis perkerasan lentur tersebut kemudian dianalisis nilai tegangan regangan yang terjadi pada bagian bawah lapis permukaan dan bagian bawah lapis pondasi. Bagian bawah lapis permukaan merupakan titik tinjau untuk 2 jenis kerusakan yaitu *fatigue cracking* dan *rutting*, sedangkan bagian bawah lapis pondasi merupakan titik tinjauan untuk jenis kerusakan *deformation*. Setiap jenis

kerusakan memiliki masa umur pelayanan, umur pelayanan terkecil adalah yang menjadi acuan dalam analisis tersebut. Berikut ini disajikan dalam Tabel 5.19.

**Tabel 5.19** Rekapitulasi Analisis Beban Lalu Lintas yang mengakibatkan *Fatigue Cracking, Rutting, dan Deformation* terhadap Umur Pelayanan

<b>Perkerasan Lentur</b>	<b>ESAL</b>	<b>Umur Pelayanan (Tahun)</b>	<b>Jenis Kerusakan</b>	<b>Keterangan</b>
<i>Eksisting</i>	61.828	1	<i>Deformation</i>	Bertahan 1 tahun sampai terjadi <i>deformation</i> (Nd)
	281.264	4	<i>Rutting</i>	
	4.931.189	30	<i>Fatigue Cracking</i>	
Alternatif 1	65.199	1	<i>Rutting</i>	Bertahan 1 tahun sampai terjadi <i>rutting</i> (Nr)
	217.403	3	<i>Deformation</i>	
	2.585.609	21	<i>Fatigue Cracking</i>	
Alternatif 2	4.555.768	29	<i>Deformation</i>	Bertahan 29 tahun sampai terjadi <i>deformation</i> (Nd)
	7.324.013	37	<i>Rutting</i>	
	60.530.404	79	<i>Fatigue Cracking</i>	
Alternatif 3	2.363.985	20	<i>Deformation</i>	Bertahan 20 tahun sampai terjadi <i>deformation</i> (Nd)
	2.997.971	23	<i>Rutting</i>	
	31.174.133	65	<i>Fatigue Cracking</i>	

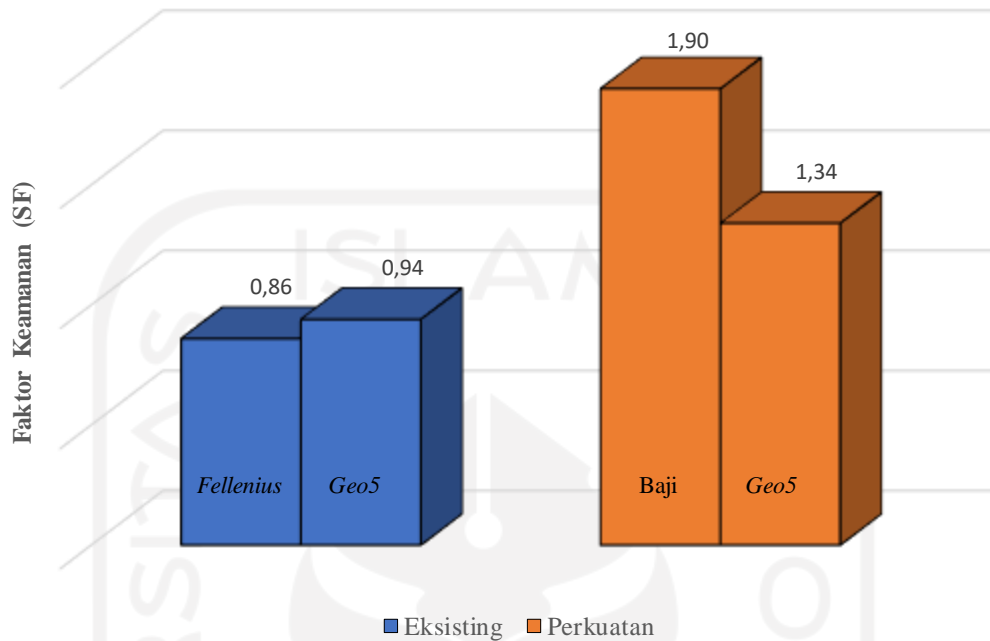
Dari keterangan Tabel 5.19 diperoleh nilai umur pelayanan yang akan pertama kali mengalami kerusakan. Nilai umur rencana sebesar 20 tahun dijadikan batasan terhadap umur pelayanan perkerasan lentur sampai terjadi kerusakan. Diketahui perkerasan lentur *eksisting* dan alternatif 1 memiliki nilai umur pelayanan hanya sebesar 1 tahun (< 20 tahun). Pada perkerasan lentur alternatif 2 nilai umur pelayanan sebesar 29 tahun (> 20 tahun) sehingga nilai umur pelayanan yang optimal adalah pada perkerasan lentur alternatif 3. Perkerasan lentur alternatif 3 memiliki nilai umur pelayanan sebesar 20 tahun atau sama dengan umur rencana. Hasil tersebut dianggap paling baik karena efisien dalam ketebalan struktur lapis perkerasan lentur. Untuk dapat melihat tren data dari keseluruhan umur pelayanan pada setiap perkerasan lentur, maka berikut ini Gambar 5.17 disajikan grafiknya.



**Gambar 5.17** Grafik Keseluruhan Umur Pelayanan pada setiap Perkerasan Lentur

### 5.5.3 Faktor Keamanan Stabilitas Lereng *Eksisting* Dan Perkuatan Saat Kondisi Gempa Menggunakan Metode Perhitungan Manual (*Fellenius & Baji*) Dan Program *Geo5*

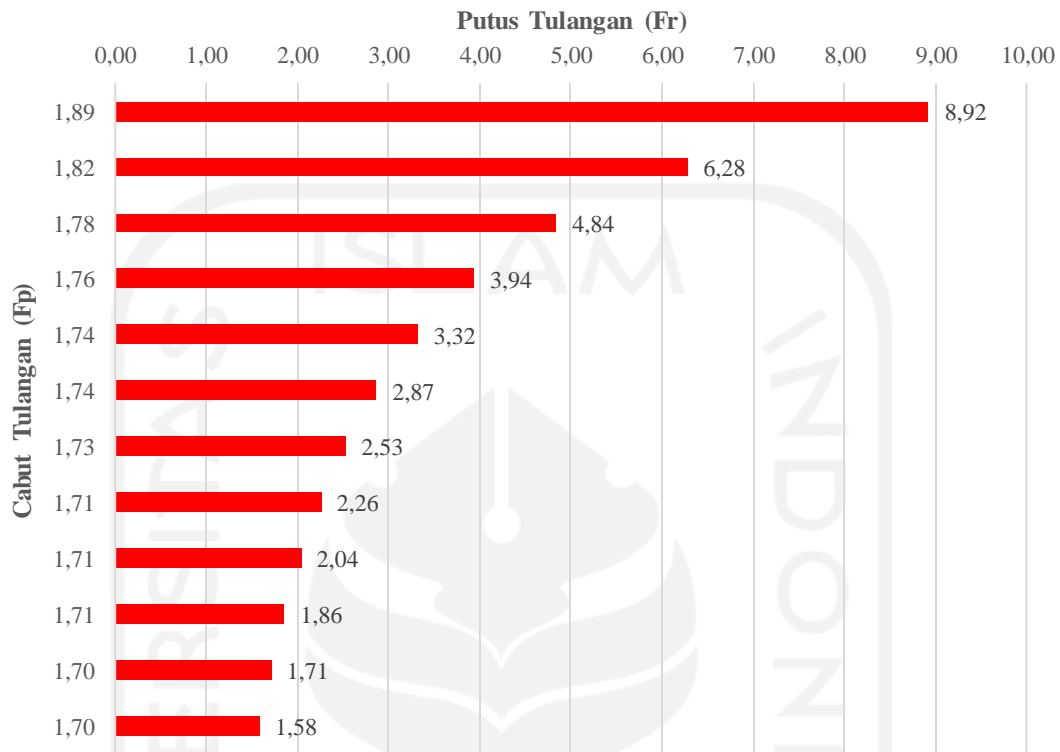
Pembahasan tentang faktor keamanan stabilitas lereng akan diutamakan pada perbandingan antara perhitungan manual dan program *Geo5*. Selain itu juga akan dibahas sedikit lebih detail pada perhitungan manual untuk lereng dengan perkuatan *soil nailing*. Berikut ini Gambar 5.18 merupakan grafik perbandingan dari faktor keamanan stabilitas lereng *eksisting* dan perkuatan.



**Gambar 5.18** Grafik Perbandingan Faktor Keamanan Kestabilan Lereng pada Keruntuhan Global

Berdasarkan Gambar 5.18 diperoleh nilai SF kestabilan lereng global dari lereng *eksisting* dan lereng perkuatan. Telah diketahui nilai SF kondisi gempa sebesar  $\geq 1,30$  (Keterangan Tabel 3.18). Dengan demikian lereng kondisi *eksisting* dianggap tidak aman dari bahaya keruntuhan global, baik yang dihitung secara manual ( $0,86 < 1,30$ ) maupun dengan bantuan program ( $0,94 < 1,30$ ). Justru sebaliknya ketika lereng diberikan perkuatan *soil nailing*, kestabilan lereng pada keruntuhan global meningkat atau dianggap aman dengan nilai SF sebesar  $1,90 \geq 1,30$  untuk hasil perhitungan manual dan  $1,34 \geq 1,30$  untuk hasil dengan bantuan program.

Perkuatan lereng dengan *soil nailing* juga memperoleh hasil nilai faktor keamanan stabilitas internal yaitu putus dan cabut tulangan. Dengan faktor penentu dari *nail* berupa jumlah *nail* sebanyak 12, panjang *nail* 9 m, jarak spasi vertikal antar *nail* 1,1 m, dan kemiringan *nail*  $10^\circ$ . Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut.



**Gambar 5.19** Grafik Hubungan Faktor Keamanan Antara Putus dan Cabut Tulangan dari *Nail*

Dilihat dari Gambar 5.19, nilai faktor keamanan dari putus tulangan dan cabut tulangan mengalami penurunan nilai SF secara bersamaan. Hal tersebut dapat terjadi karena volume tanah penggerak ( $W$ ) yang berada di depan garis bidang longsor akan berkurang dari puncak sampai ke kaki lereng. Dengan berkurangnya nilai  $W$  justru akan memberikan tambahan panjang *nail* yang berada di belakang garis bidang longsor ( $Le$ ). Besarnya nilai  $Le$  akan meningkatkan kapasitas dukung dari *nail* sehingga nilai beban  $W$  yang kecil tidak mampu mengimbangi terhadap nilai dari  $Le$ . Namun secara keseluruhan nilai SF untuk putus tulangan dan cabut tulangan dianggap aman dengan nilai rata-rata sebesar  $Fr\ 3,51 > 1,30$  dan  $Fp\ 1,75 > 1,30$ .

**Tabel 5.20** Rekapitulasi Hasil Penelitian

Analisis	Perkerasan Lentur				Stabilitas Lereng	
	<i>Eksisting</i>	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	<i>Eksisting</i>	Perkuatan
<i>CESA5</i>	2.434.678				-	
Tebal Perkerasan	<i>AC-WC</i> 4 cm <i>AC-BC</i> 6 cm LFA Kelas A 20 cm	<i>HRS WC</i> 3 cm <i>HRS BC</i> 3,5 cm LFA Kelas A 25 cm LFA Kelas B 12,5 cm	<i>AC-WC</i> 4 cm <i>AC-BC</i> 6 cm <i>AC Base</i> 8 cm LFA Kelas A 40 cm	<i>AC-WC</i> 4 cm <i>AC-BC</i> 5 cm <i>AC Base</i> 6 cm LFA Kelas A 40 cm	-	-
Repetisi Beban <i>ESAL</i>	Nd 61.828 Nr 281.264 Nf 4.931.189	Nr 65.199 Nd 217.403 Nf 2.585.609	Nd 4.555.768 Nr 7.324.013 Nf 60.530.404	Nd 2.363.985 Nr 2.997.971 Nf 31.174.135	-	-
Umur Pelayanan	1 Tahun	1 Tahun	29 Tahun	20 Tahun	-	-
Faktor Aman Global	-	-	-	-	<i>Fellenius</i> SF 0,86 < 1 <i>Geo5</i> SF 0,94 < 1	Baji SF 1,90 ≥ 1,30 <i>Geo5</i> SF 1,34 ≥ 1,30

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada penelitian ini maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Struktur perkerasan lentur *eksisting* diketahui berupa *AC-WC* 4 cm, *AC-BC* 6 cm, dan LFA Kelas A 20 cm. Adapun usulan alternatif desain struktur perkerasan lentur diperoleh 3 jenis diantaranya sebagai berikut.
  - A. Alternatif 1 berupa *HRS WC* 3 cm, *HRS BC* 3,5 cm, LFA Kelas A 25 cm, dan LFA Kelas B 12,5 cm.
  - B. Alternatif 2 berupa *AC-WC* 4 cm, *AC-BC* 6 cm, *AC Base* 8 cm dan LFA Kelas A 40 cm.
  - C. Alternatif 3 berupa *AC-WC* 4 cm, *AC-BC* 5 cm, *AC Base* 6 cm dan LFA Kelas A 40 cm.
2. Hasil respon tegangan regangan dan umur pelayanan berdasarkan nilai repetisi beban kendaraan *ESAL* dari struktur perkerasan lentur *eksisting* dan berbagai alternatif desain diperoleh sebagai berikut.
  - A. Perkerasan lentur *Eksisting* diperoleh repetisi beban sebesar 61.828 *ESAL* sampai terjadi kerusakan *deformation* pada saat umur pelayanan 1 tahun
  - B. Perkerasan lentur Alternatif 1 diperoleh repetisi beban sebesar 65.199 *ESAL* sampai terjadi kerusakan *rutting* pada saat umur pelayanan 1 tahun.
  - C. Alternatif 2 diperoleh repetisi beban sebesar 4.555.768 *ESAL* sampai terjadi kerusakan *deformation* pada saat umur pelayanan 29 tahun.
  - D. Perkerasan lentur Alternatif 3 diperoleh repetisi beban sebesar 2.363.985 *ESAL* sampai terjadi kerusakan *deformation* pada saat umur pelayanan 20 tahun.
3. Stabilitas lereng tanpa perkuatan (*eksisting*) tidak aman dengan nilai faktor aman sebesar 0,86 ( $SF < 1$ ) untuk hasil perhitungan manual dan nilai faktor aman sebesar



0,94 ( $SF < 1$ ) untuk hasil program *Geo5*. Sedangkan, perkuatan lereng *soil nailing* dikatakan aman dengan nilai faktor aman sebesar 1,94 ( $SF \geq 1,30$ ) untuk perhitungan manual dan nilai faktor aman sebesar 1,34 ( $SF \geq 1,30$ ) untuk program *Geo5*.

## 6.2 Saran

Berdasarkan hasil evaluasi ini maka ada beberapa saran yang dapat disampaikan sebagai berikut.

1. Sebaiknya perencana mampu memiliki data survei lalu lintas pada ruas jalan yang akan dikerjakan dan jika memungkinkan dilakukan juga survei beban gandar.
2. Struktur perkerasan lentur eksisting perlu ditambah dengan lapis *AC Base* dan dipertebal pada lapis pondasi.
3. Program *Kenpave* dapat digunakan dalam proses perencanaan karena hasil pendekatan respon struktur perkerasan berdasarkan jenis material dan jumlah lintasan beban dapat disesuaikan dengan kondisi di lapangan.
4. Penggunaan *soil nailing* untuk perkuatan lereng dapat digunakan pada kasus ini karena sifatnya yang pasif sehingga deformasi yang terjadi akibat adanya beban kendaraan akan memobilisasi tahanan tanah sepanjang *nail*.

## DAFTAR PUSTAKA

- API. (2007). Recommended Practice for Planning , Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms — Working Stress Design. *Api Recommended Practice*, 24-WSD(December 2000), 242.  
<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Recommended+Practice+for+planning,+designing+and+constructing+fixed+Offshore+Platforms+-+Working+stress+design#0>
- Asteris, P. G., Rizal, F. I. M., Koopialipoor, M., Roussis, P. C., Ferentinou, M., Armaghani, D. J., & Gordan, B. (2022). Slope Stability Classification under Seismic Conditions Using Several Tree-Based Intelligent Techniques. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/app12031753>
- Badan Standarisasi Nasional. (2017). Sni 8460-2017. *Persyaratan perancangan geoteknik, 8460, 2017*.
- Bina Marga. (1983). *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston)*.
- Bina Marga. (2017). *MANUAL DESAIN PERKERASAN JALAN. No. 02/M/BM/2017*.
- Bowles, J. E. (1989). *Sifat-sifat Fisik & Geoteknis Tanah*. Erlangga. Daerah Khusus Ibukota Jakarta.
- Bowles, J. E. (1997). *Foundation Analysis and Design International Fifth Edition*.
- Chasanah, U. (2012). *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Geoslope*. 1–76.
- Dinata, D. I., Rahmawati, A., & Setiawan, M. D. (2017). Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Analisa Komponen Dari Bina Marga 1987 Dan Metode Aashto 1993 Menggunakan Program Kenpave (Studi Kasus: Jalan Karangmojo-Semin Sta 0+000 sampai Sta 4+050) . *Semesta Teknika*, 20(1), 8–19.  
<http://nptel.ac.in/courses>
- DISHUB Kab.Sorong. (2019). *Data Survei Jumlah Pergerakan Arus Lalu Lintas*.
- Duncan, J. M., & Wright, S. G. (2005). *Soil Strength and Slope Stability*. Wiley.
- EN 1998-5. (2004). *EUROPEAN STANDARD NORME EUROPEENNE*

- EUROPAISCHE NORM. 1*(2005).
- Fadhlan, K. (2013). *Evaluasi Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Bina Marga Pt T-01-2002-B dengan Menggunakan Program KENPAVE*.  
jurnal.usu.ac.id/index.php/jts
- FHWA-SA-96-069R. (1998). *MANUAL FOR DESIGN & CONSTRUCTION MONITORING OF SOIL* Revised October 1998. October.
- FHWA0-IF-03-017. (2003). *Geotechnical Engineering Circular No. 7 - Soil Nail Walls*. United States Department of Transportation Federal Highways Administration.
- finesoftware.eu. (2021). *GEO5 Geotechnical Software*. finesoftware.eu/geotechnical-software/
- Hanif, F., & Setiawan, B. (2017). Analisis Perkuatan Soil Nailing Sebagai Metode. *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 36, 484–490.
- Hardiyatmo, H. C. (2014). *Mekanika Tanah 2* (5 ed.). Gadjah Mada University Press. Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Huang H. Y. (2004). *Pavement Analysis and Design*. University of Kentucky, Prentice Hall. 1–64.
- Idahogeology.org. (n.d.). *Landslides*. IDAHO GEOLOGICAL SURVEY.  
<https://www.idahogeology.org/geologic-hazards/landslides>
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, P. (2021). *Aplikasi Spektrum Respons Desain Indonesia 2021*. [www.rsa.ciptakarya.pu.go.id/](http://www.rsa.ciptakarya.pu.go.id/)
- Kumalasari, V. (2012). ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN Analysis of Slope Stability With Soil nailing Reinforcement Using Computer Program. *Skripsi*.
- Lazarte, C. A., Elias, V., Espinoza, D., & Sabatini, P. J. (2003). Companion Site. In *Ion Exchange Membranes*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63319-4.00024-9>
- Maryam, M., & Putra, K. H. (2020). Analisis Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga (Studi Kasus: Jalan Luar Lingkar Timur Surabaya). *Jurnal Teknologi dan Manajemen*, 1(2), 125–134.

- <https://doi.org/10.31284/j.jtm.2020.v1i2.1113>
- Mole, J., Karray, M., Delisle, M., Locat, P., & Mompin, R. (2019). *Seismic stability of Eastern Canada slopes : a spectral approach*. 1–8.
- Navid. (2009). *HOLLOW-CORE SOIL NAILS STATE-OF-THE-PRACTICE*.  
<http://navidfotovati.blogspot.com/>
- Office, G. E. (2008). *GUIDETO SOIL NAIL DESIGN AND CONSTRUCTION GEOTECHNICAL ENGINEERING OFFICE Civil Engineering and Development Department The Government of the Hong Kong Special Administrative Region*.
- Paulus, K., & Basuki, H. (2020). *Applied Geotechnics For Engineers* (R. Giovanni (ed.); 2 ed.). ANDI.
- Pradhana, R. (2018). *Analisa Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil (Studi Kasus: Bantaran Sungai Code, Kecamatan Jetis, Daerah Istimewa Yogyakarta)*.
- Prashant, A., & Mukherjee, M. (2010). *Soil nailing for stabilization of steep slopes near railway tracks*. 215.  
<http://rdso.indianrailways.gov.in/works/uploads/File/soil.pdf>
- Puspita, N. (2017). Analisa Stabilitas Lereng Badan Jalan Terhadap Longsor Dengan Metode Finite Element (Fem) Pada Ruas Jalan Muara Enim – Lahat – Tebing Tinggi. *TEKNIKA: Jurnal Teknik*, 4(1), 1.  
<https://doi.org/10.35449/teknika.v4i1.55>
- Rahmawati, A., Setiawan, D., Pangestu, A. Y., & Aulia, R. A. (2018). Evaluasi Tebal dan Analisa Kerusakan Perkerasan Lentur Menggunakan Analisa Komponen, Austroads, Asphalt Institute dan Program Kenvape. *Media Teknik Sipil*, 16(2), 79–85. <http://ejournal.umm.ac.id/index.php/jmts/article/view/6428>
- Riogilang, H. (2014). Soil Nailing Dan Anchor Sebagai Solusi Aplikatif. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 4(2), 119–126.
- Salih, A. G., & Ahmed, H. A. (2014). The Effective Contribution of Software Applications in Various Disciplines of Civil Engineering. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 5(12), 976–6308.
- Setiawan, I. B., Rahmawati, A., & M, D. S. (2016). *Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur*

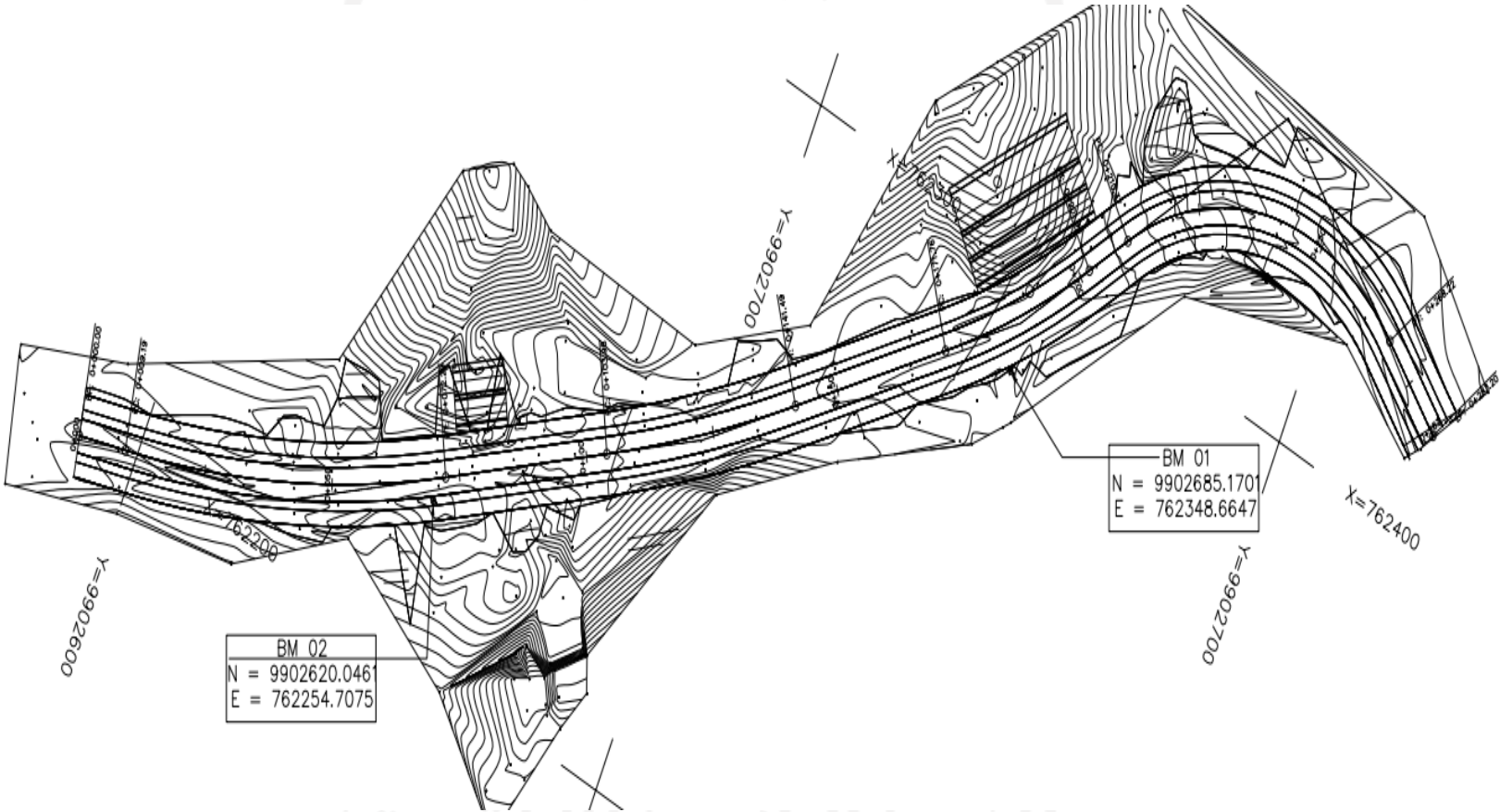
- Menggunakan Program Kenpave di Jalan Maospati – Sukomoro.*
- Sni 1726:2019. (2019). Sni 1726:2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, 8, 254.
- Sorong Disiapkan Jadi Kota Baru - Ekonomi Bisnis.com.* (n.d.). Diambil 8 Januari 2021, dari <https://ekonomi.bisnis.com/read/20180930/48/843847/sorong-disiapkan-jadi-kota-baru>
- Sukirman, S. (1999). *TI I/ ,1. Perkerasan Jalan Lentur*, 1–129.
- Tjan, A., Kangan, S., & Abstrak, I. (1990). *Dasar Perancangan Tebal Perkerasan Lentur.*
- Ummu, S., Eding, I. I., & Andrianus, S. A. (2020). *STUDI PERENCANAAN DINDING PENAHAN TANAH DENGAN SOIL NAILING PADA PEMBANGUNAN PERUMAHAN THE TAMAN DAYU.* 34–43.
- Victor, E., & Ilan, J. (1991). *Soil Nailing for Stabilization of Highway Slopes and Excavations.*
- Vini. (2020). *Sorong-Tambrauw, Wamen PUPR Tinjau Langsung Jalan Trans.* Balleo News. <https://kumparan.com/balleonews/wamen-pupr-tinjau-langsung-jalan-trans-sorong-tambrauw-1udhkhz8StZg/full>
- Yulianto, D. (2019). *Tugas akhir - ANALISIS NILAI SISA PERKERASAN LENTUR AKIBAT BEBAN BERLEBIH KENDARAAN (OVERLOADING) DENGAN METODE EMPIRIK DAN METODE MEKANISTIK-EMPIRIK DENGAN PROGRAM KENPAVE PADA RUAS JALAN PURWOREJO – JOGJA.*
- Zain, M. N. (2019). *Analisis Stabilitas Lereng Embung Dengan Menggunakan Kombinasi Dinding Penahan Kantilever dan Geotekstil dengan Bantuan Perangkat Lunak.*



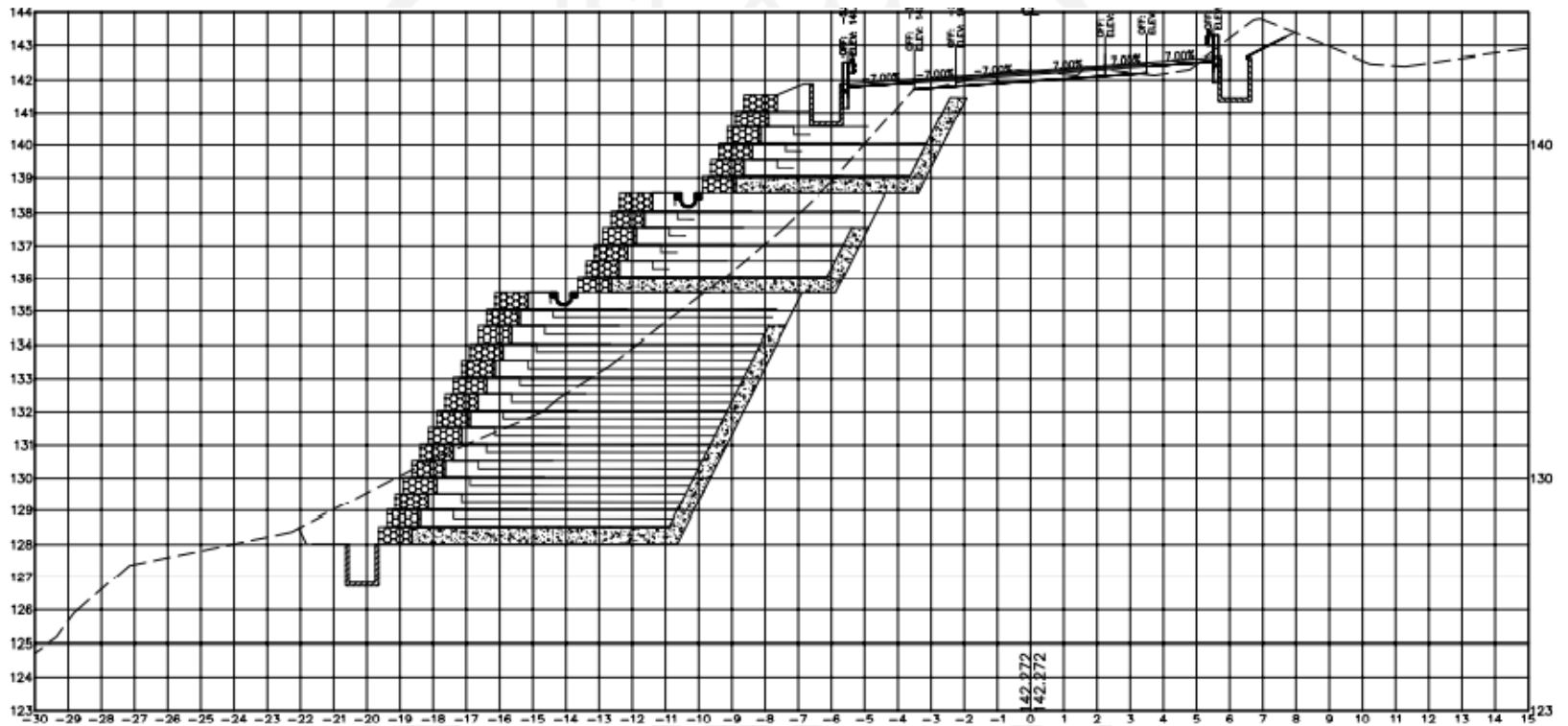
# LAMPIRAN



Lampiran 1. Layout Sta. 17+125 – 17+408

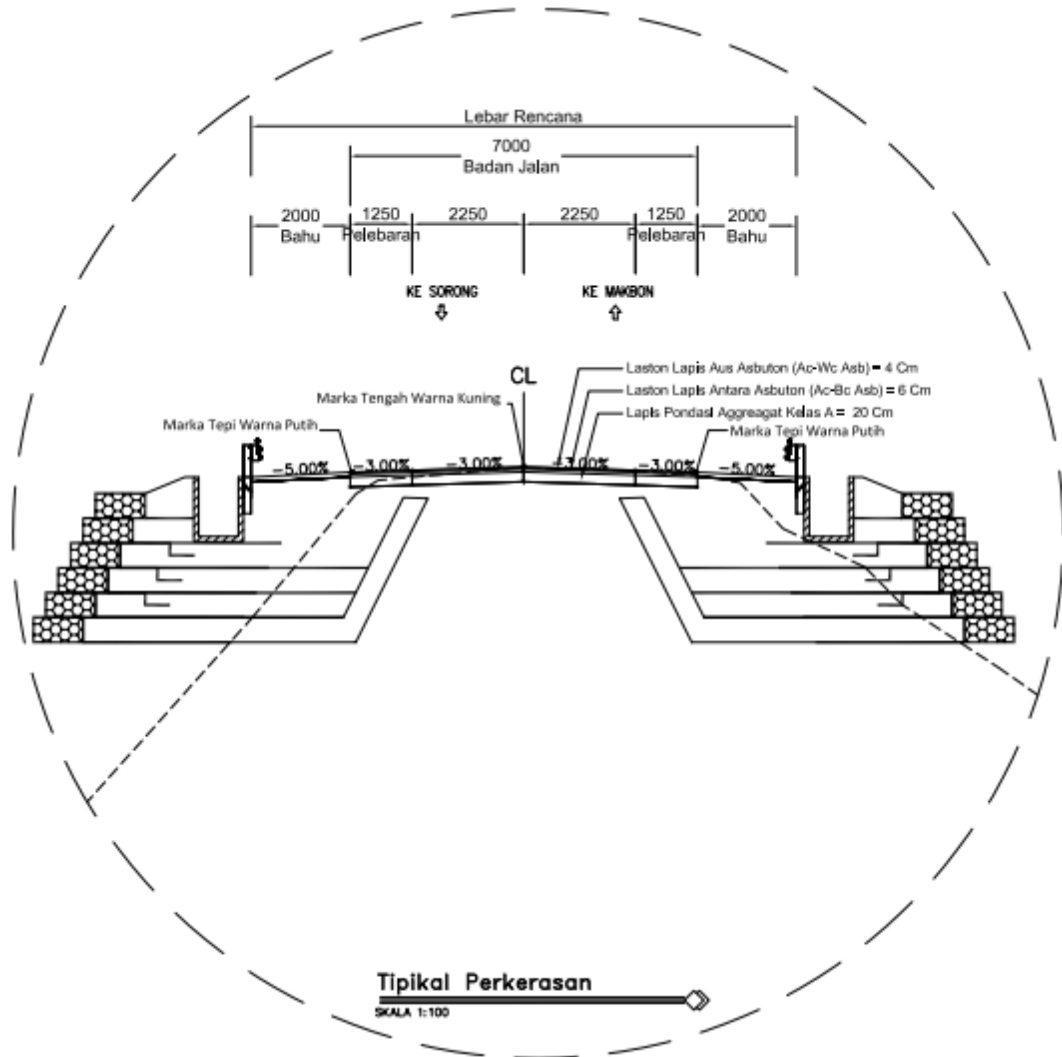


Lampiran 2. Cross Section Lereng Eksisting dengan Perkuatan oleh BPJN Papua Barat



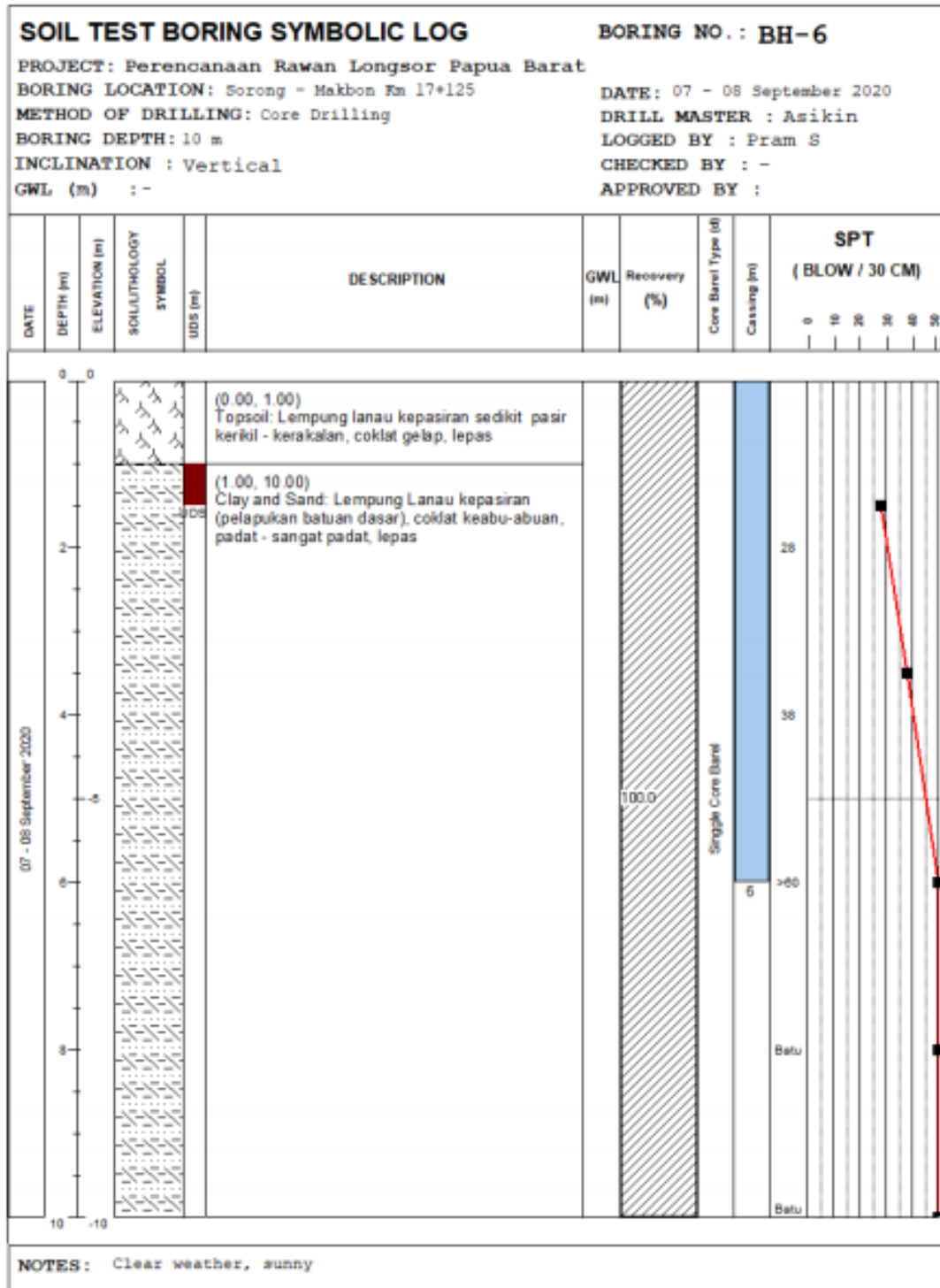


### Lampiran 3. Data Struktur Perkerasan Lentur Eksisting



الجامعة الإسلامية  
الاسلامية

### Lampiran 4. Data Investigasi Tanah



### SOIL TEST BORING SYMBOLIC LOG

**BORING NO. : BH-7**

**PROJECT:** Perencanaan Rawan Longsor Papua Barat

**BORING LOCATION:** Sorong - Makbon Km 17+125

**METHOD OF DRILLING:** Core Drilling

**BORING DEPTH:** 10 m

**INCLINATION :** Vertical

**GWL (m) :-**

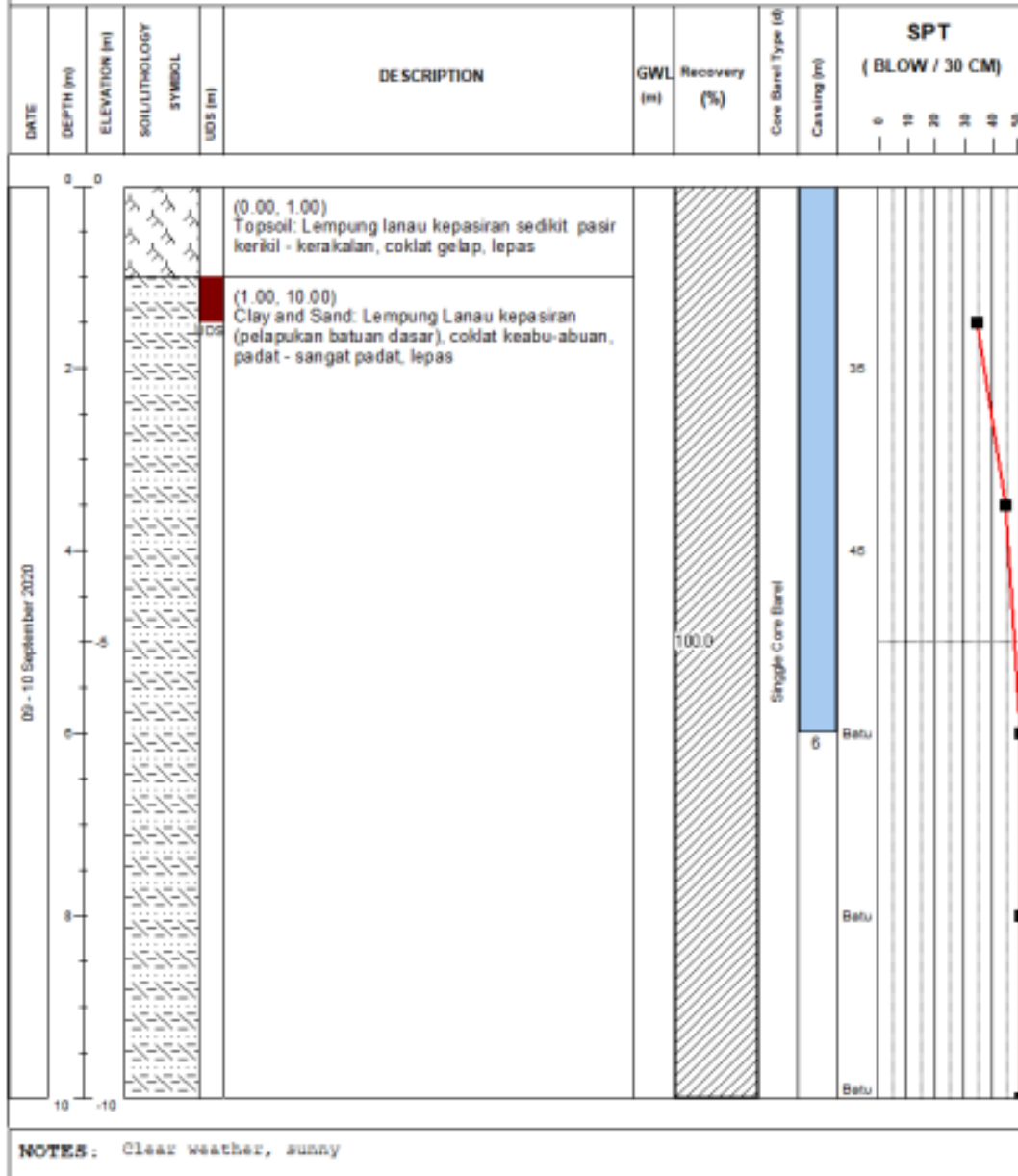
**DATE:** 09 - 10 September 2020

**DRILL MASTER :** Asikin

**LOGGED BY :** Pram S

**CHECKED BY :** -

**APPROVED BY :**





LABORATORIUM PENGUJIAN TANAH  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG

### SUMMARY OF LABORATORY TEST

<b>Proyek</b>		: Perencanaan khusus Daerah Lonsor Papua Barat																					
<b>Konsultan</b>		: PT. Virama Karya																					
<b>Lokasi</b>		: MAKBON Kab. Sorong Selatan																					
HOLE	DEPTH (m)	USCS	GS	Determination Unit weight of dry density & moisture content							Atterberg limits			Particle Size Distribution Analysis (ASTM D 422)				Consolidation		Unconfined compression test		Triaxial	
				W <sub>n</sub> %	γ <sub>w</sub> gr/cm <sup>3</sup>	γ <sub>d</sub> gr/cm <sup>3</sup>	void ratio e	Porosity n	sr	LL %	PL %	PI %	GRAVEL %	SAND %	SILT %	CLAY %	P <sub>y</sub> kg/cm <sup>2</sup>	C <sub>c</sub>	q <sub>u</sub> kg/cm <sup>2</sup>	Cohesion Su kg/cm <sup>2</sup>	UU		
																						C	φ
BH-04 (STA. 15+440)	1.00 - 1.50	CH	2.656	34.29	1.801	1.3406	1.003	0.50	81.80	46.27	25.22	21.05	0.00	11.29	36.85	51.86	0.624	0.643	1.3017	0.6509	0.4345	10° 62'	
BH-05 (STA. 15+440)	1.00 - 1.50	CH	2.696	33.09	1.819	1.3667	0.972	0.49	81.74	45.91	26.89	22.02	0.00	15.61	35.45	48.94	0.612	0.619	1.3186	0.6593	0.4315	10° 74'	
BH-06 (STA. 17+125)	1.00 - 1.50	CH	2.696	32.61	1.801	1.3582	0.986	0.50	89.16	45.37	24.65	20.72	0.00	13.22	36.06	48.70	0.608	0.604	1.3267	0.6644	0.4344	11° 08'	
BH-07 (STA. 17+125)	1.00 - 1.50	CH	2.697	32.46	1.805	1.3623	0.980	0.49	89.34	41.19	23.34	17.85	0.00	13.31	36.10	48.59	0.624	0.646	1.3048	0.6525	0.4363	11° 08'	
BH-08 (STA. 22+075)	1.00 - 1.50	CH	2.701	35.10	1.736	1.2668	1.099	0.52	86.27	45.36	23.42	21.96	0.00	11.76	33.10	55.12	0.621	0.647	1.3246	0.6623	0.4339	10° 50'	
BH-09 (STA. 22+485)	1.00 - 1.50	CH	2.698	31.50	1.810	1.3765	0.960	0.49	85.51	42.81	23.14	19.67	0.00	13.36	41.76	44.86	0.603	0.639	1.3055	0.6526	0.4344	10° 59'	

Catatan : Hasil Pengujian ini, hanya untuk sampel tanah yang dibawa di laboratorium



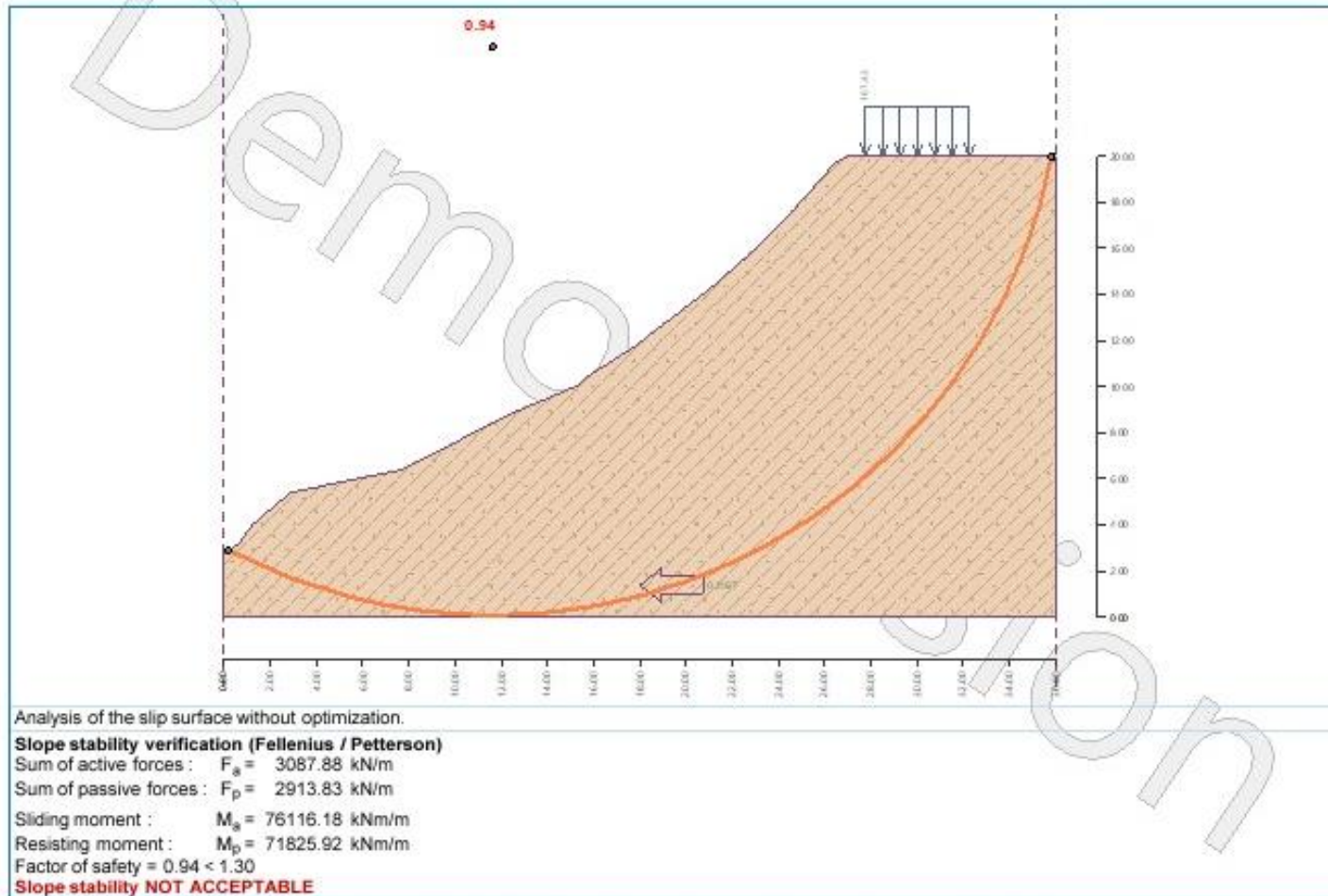
Lampiran 5. Output Program Kenpave Kenlayer

		<b>Pengulangan Beban</b>	<b>Vertical Strain (ε)</b>	<b>Horizontal Strain (ε)</b>	<b>Vertical Strain (ε)</b>
<b>Eksisting</b>		1	0,0006350	0,0004883	0,0008328
		2	0,0004175	0,0004696	0,0008885
		3	0,0002637	0,0004381	0,0008907
			<b>9,9997</b>	<b>9,9997</b>	<b>30,0003</b>
<b>Alternatif 1</b>	<b>Titik Tinjau Kerusakan (cm)</b>	1	0,0008802	0,0005757	0,0006062
		2	0,0004186	0,0005179	0,0006633
		3	0,0002658	0,0004279	0,0006726
			<b>6,4997</b>	<b>6,4997</b>	<b>44,0003</b>
<b>Alternatif 2</b>		1	0,0003066	0,0002525	0,0003140
		2	0,0002632	0,0002576	0,0003367
		3	0,0002339	0,0002538	0,0003409
			<b>17,9997</b>	<b>17,9997</b>	<b>58,0003</b>
<b>Alternatif 3</b>		1	0,0003743	0,0003050	0,0003608
		2	0,0002955	0,0003051	0,0003894
		3	0,0002442	0,0002965	0,0003947
			<b>14,9997</b>	<b>14,9997</b>	<b>55,0003</b>

الجامعة الإسلامية  
الاستدالات

## Lampiran 6. Output Program Geo5

### Lereng Eksisting



## Lereng Perkuatan Soil Nailing

