

ALTERNATIF DESAIN PERKERASAN JALAN DAN PERKUATAN LERENG LONGSOR

Asrul Saputra^{1*}, Edy Purwanto², Miftahul Fauziah³

¹Mahasiswa, Program Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

¹Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sorong

²Dosen, Program Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

³Dosen, Program Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Korespondensi: asrulsaputra.as7@gmail.com

ABSTRACT

Due to the occurrence of landslides on a section of the road, the slope stability, vehicle loads, and flexible pavement were evaluated. This study used the Geo5 program, Kenpave program, Bina Marga 2017, Fellenius method, and Wedge method. The results showed that the three alternative flexible pavement designs were AC-WC 4 cm, AC-BC 5 cm, AC Base 6 cm, and LFA Class A 40 cm, with a load repetition value of 2,363,985 ESAL until deformation damage occurred at a service life of 20 years. For the soil nailing slope reinforcement design, the safety factor value was $2,29 \geq 1.30$ for the Wedge method calculation, and the safety factor value was $1,57 \geq 1.30$ for the results of the Geo5 program.

Keyword : *Flexible pavement, service life, slope reinforcement*

1. PENDAHULUAN

Pada satu bagian ruas jalan di Papua Barat secara geografis terletak pada pegunungan yang berpotensi longsor, dengan sudut kemiringan 37° lereng masuk dalam kategori sangat curam. Kondisi tersebut tidak menguntungkan karena dapat mempermudah masa tanah untuk bergerak. Dengan demikian diperlukan infrastruktur 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, dengan asumsi bahwa lereng eksisting (tanpa perkuatan) belum aman. Untuk mengatasi hal tersebut maka instansi X (2020) membuat perencanaan khusus daerah rawan longsor. Kegiatan ini difokuskan pada perkuatan lereng dan pelebaran jalan. Metode perkuatan lereng yang digunakan instansi X adalah dengan menggunakan beronjong berangkur dan geotekstil komposit.

Menurut [1] 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, [2] 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 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* [3] dan *Kenpave* [4] digunakan untuk memudahkan dalam proses analisis evaluasi lereng dan struktur perkerasan. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk memberikan desain alternatif struktur perkerasan lentur sampai umur layanan hingga terjadi kerusakan dan mendesain perkuatan lereng dengan *soil nailing*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Untuk mengontrol deformasi permanen berdasarkan regangan plastis yang sebanding dengan regangan elastis dalam bahan perkerasan perlu adanya penggunaan regangan tekan vertikal. Pembatasan regangan elastis akan terjadi pada tanah dasar dapat terkontrol sehingga besarnya deformasi permanen pada permukaan perkerasan akan ikut terkendali [5].

2.1. Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017

Menurut [6], pada Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 tidak ada faktor ekivalen beban pada jenis kendaraan ringan dengan berat ≤ 5 ton, sehingga beban kumulatif lalu lintas standar ekivalen pada jalan hanya dipengaruhi oleh jenis kendaraan berat berdasarkan tabel VDF. Dalam manual perkerasan jalan 2017 juga tidak menggunakan rumus dalam menentukan tebal tiap lapis perkerasannya, tetapi menggunakan Tabel Bagan Desain dimana penentuan tebal perkerasan berdasarkan beban sumbu desain selama umur rencana dan perencanaan pemilihan jenis perkerasannya. Berikut ini beberapa persamaan yang digunakan pada Manual Desain Perkerasan Jalan 2017.

- Menghitung LHRT

$$LHRT = LHR_0(1 + i)^n \quad (1)$$

- Menghitung faktor pengali pertumbuhan lalu lintas

$$R = \frac{(1+0,01i)^{UR}-1}{0,01i} \quad (2)$$

- Menghitung nilai ESA

$$ESA = \sum_{\text{jenis kendaraan}} LHRT \times VDF \quad (3)$$

- Menghitung nilai CESA

$$CESA = ESA \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (4)$$

2.2. Mekanistik Empirik Program Kenpave

Menurut [4] dalam [7] menyebutkan metode ini didasarkan pada mekanika bahan yang berhubungan dengan data yang diperlukan seperti beban roda, respon perkerasan seperti tegangan dan regangan. Nilai respon digunakan untuk memprediksi tekanan tes laboratorium dan kinerja lapangan. Sangat perlu dilakukan pengamatan pada kinerja perkerasan karena teori saja belum terbukti cukup untuk desain perkerasan secara realistis. Berikut ini persamaan yang digunakan untuk menghitung respon tegangan regangan terhadap jenis kerusakan dan **Gambar 1** untuk tampilan awal program *Kenpave*.

- *Fatigue*

$$N_f = 0,0796 (\epsilon_t)^{-3,921} |E|^{-0,854} \quad (5)$$

- *Rutting*

$$N_r = 1,365 \times 10^{-9} (\epsilon_c)^{-4,477} \quad (6)$$

- *Defotmation*

$$N_r = 1,365 \times 10^{-9} (\epsilon_c)^{-4,477} \quad (7)$$



Gambar 1. Tampilan Awal Program *Kenpave*

2.3. Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring disebut analisis stabilitas lereng. Analisis ini sering digunakan dalam perancangan-perancangan bangunan seperti jalan kereta api, bandara, bendungan, urugan tanah, saluran, dan lain-lain. Umumnya, analisis stabilitas lereng dilakukan untuk mengecek keamanan dari lereng alam, lereng galian, dan lereng urugan tanah [8]. Berikut ini persamaan untuk kestabilan lereng.

- *Fellenius*

$$SF = \frac{\sum C_i L_i + (W_i \cos \alpha_i - u_i \alpha_i) \tan \phi}{\sum W_i \sin \alpha_i} \quad (8)$$

- *Baji (Wedge) untuk soil nailing*

$$SF = \frac{c.L_f + (W+Q) \cos \alpha \tan \phi + (\sum T_i \sin(\alpha+i) - \sum V_i \cos(\alpha+i)) \tan \phi}{(W+Q) \sin \alpha - \sum T_i \cos(\alpha+i) - \sum V_i \sin(\alpha+i)} \quad (9)$$

2.3.1. Pengaruh Gempa

Percepatan puncak di permukaan tanah dapat mengakibatkan gaya-gaya inersia signifikan pada lereng atau timbunan dan gaya tersebut dapat mengakibatkan ketidakstabilan atau deformasi permanen [9]. 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 [10]. Berikut ini persamaan yang digunakan.

- *Gaya seismic*

$$F_h = K_h \cdot W_i \quad (10)$$

- Koefisien percepatan horizontal

$$K_h = 0,5 \cdot S \cdot \frac{PGA}{g} \quad (11)$$

2.4. 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

[3]. Tampilan awal dari program *Geo5* disajikan pada **Gambar 2** berikut.



Gambar 2. Tampilan Awal Program *Geo5*

3. METODE PENELITIAN

3.1. Tahapan Penelitian

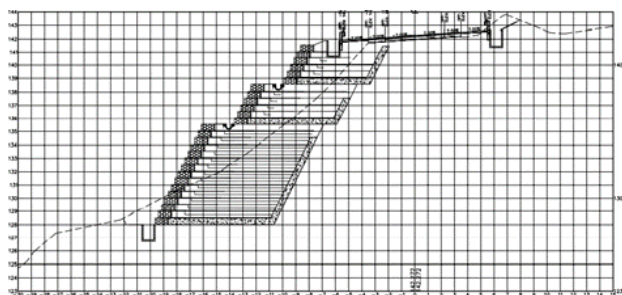
Untuk dapat menyelesaikan tujuan dari penelitian maka perlu disiapkan metode yang tepat, berikut ini urutannya.

1. Menghitung nilai *CESA5* (BM 2017)
2. Menentukan struktur perkerasan lentur (BM 2017)
3. Membandingkan struktur perkerasan lentur
4. Menggunakan program *Kenpave* (lisensi edukasi)
5. Menghitung jenis kerusakan dan umur pelayanan
6. Menghitung stabilitas lereng tanpa perkuatan (eksisting) metode *Fellenius*
7. Menggunakan program *Geo5* (versi demo)
8. Menghitung stabilitas lereng perkuatan *soil nailing* metode Baji

3.2. Data Penelitian

Agar urutan tahapan di atas dapat dikerjakan maka diperlukan data-data berikut.

1. Potongan melintang lereng eksisting dengan perkuatan oleh instansi X.



Gambar 3. Cross Section Lereng Eksisting

2. Struktur perkerasan lentur eksisting

AC-WC	4 cm
AC-BC	6 cm
LFA Kelas A	20 cm
Subgrade 7%	

Gambar 4. Struktur Perkerasan Lentur Eksisting

3. LHR

Tabel 1. LHR Ruas Jalan Nasional

Kendaraan		LHR
Jenis	Golongan	Tahun 2019
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. X X (2019) [11]

4. Variabel Perhitungan *CESA5*

Dalam penelitian ini diperoleh umur rencana sebesar 20 tahun (UR), pertumbuhan lalu lintas sebesar 4,74 % (i), faktor distribusi arah sebesar 0,5, dan faktor distribusi lajur sebesar 0,8 (DL) [12].

5. Input program *Kenpace*

Tabel 2. Input Data Material Program *Kenpave*

Jenis lapisan	Modulus Elastis (kPa)	Poisson ratio (μ)
AC WC	1.100.000	
AC BC	1.200.000	
AC Base	1.600.000	0,4
HRS WC	800.000	
HRS Base	900.000	
LFA Klas A	150.000	0,35
LFA Klas B	125.000	
Tanah dasar	70.000	0,45

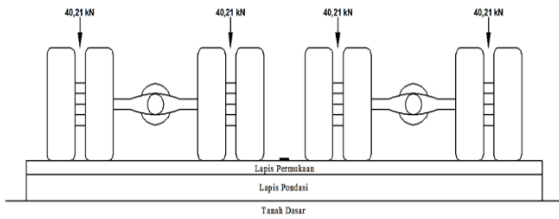
Sumber: Bina Marga (2017) [12]

6. Beban atas lereng

Beban perkerasan diperoleh dari hasil perhitungan berat jenis material yang digunakan dan dimensi dari masing-masing lapisan perkerasan

Beban kendaraan 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. Penentuan beban sumbu as untuk tipe kendaraan tersebut diambil yang terbesar yaitu 41%, sehingga

beban untuk masing-masing roda kendaraan sebesar 40,21 kN [13]. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat ilustrasi pada **Gambar 3** berikut.



Gambar 3. Rencana Pembebanan Roda Kendaraan pada Lereng

Adapun total beban diperoleh 124,02 kN/m² untuk analisis lereng eksisting, sedangkan untuk analisis lereng dengan perkuatan diperoleh 44,89 kN/m².

7. Soil investigation

Tabel 3. Parameter Tanah

Jenis Sampel	Jenis Pemeriksaan	Hasil	Satuan
UDS	Berat isi (γ)	17,68	kN/m ³
	Berat isi kering (γ_d)	13,34	kN/m ³
	Porositas (n)	0,50	-
	Kohesi (Cu)	66,04	kN/m ²
	Kohesi (C)	42,69	kN/m ²
-	Sudut geser (ϕ)	11,07	°
-	NSPT	28-60	-

Sumber: Instansi X (2020)

8. Faktor amplifikasi gempa

Tabel 4. Spektrum Respon Desain

Faktor Amplifikasi	Aplikasi	Interpolasi
PGA	0,1580	1,4840
S _s	0,3572	1,5142
S ₁	0,2107	1,9786

Sumber: SNI-8460 (2017) [9], rsa.ciptakarya.pu.go.id/ (2021) [14]

9. Material Soil Nailing

Data material soil nail yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan standar ASTM A615 dalam [15] adalah baja ulir diameter 32 mm, dengan fy 414 MPa dan kapasitas beban aksial 339 kN

4. HASIL DAN 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.

4.1. Struktur Perkerasan Lentur Eksisting dan

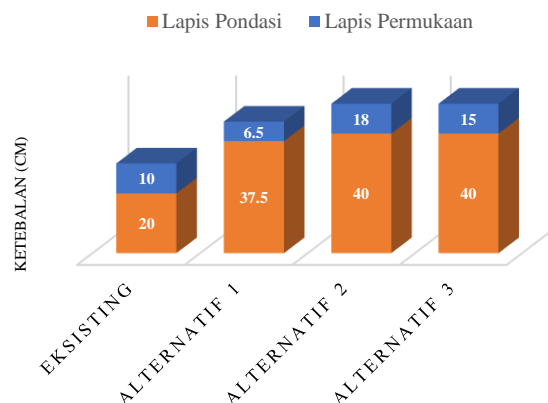
Alternatif Metode Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2017

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 berdasarkan bagan desain perkerasan lentur aspal dengan lapis pondasi berbutir. Dari hasil tersebut maka dapat dibedakan tiap jenis lapisan dan ketebalannya yang disajikan pada **Tabel 5** berikut.

Tabel 5. Struktur Lapis Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur	Ketebaln (mm)	Solusi (10 ⁶ ESA5)
Eksisting	AC-WC	40
	AC-BC	60
	LFA Kelas A	200
Alternatif 1	HRS WC	30
	HRS Base	35
	LFA Kelas A	250
	LFA Kelas B	125
Alternatif 2	AC-WC	40
	AC-BC	60
	AC Base	80
	LFA Kelas A	400
Alternatif 3	AC-WC	40
	AC-BC	50
	AC Base	60
	LFA Kelas A	400

Berdasarkan **Tabel 5** diperoleh perkerasan lentur eksisting 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 3**.



Gambar 3. Perbandingan Tebal Lapis Permukaan dan Tebal Lapis Pondasi

4.2. Pengaruh Respon Tegangan Regangan Terhadap Umur Pelayanan

Hasil dari setiap struktur lapis perkerasan lentur tersebut kemudian dianalisis nilai tegangan regangan yang terjadi pada bagian bawah lapis permukaan dan bagian bawah lapis pondasi. Nilai yang digunakan diperoleh dari *output* program *Kenpave* pada **Tabel 6** berikut.

Tabel 6. *Output* Program *Kenpave*

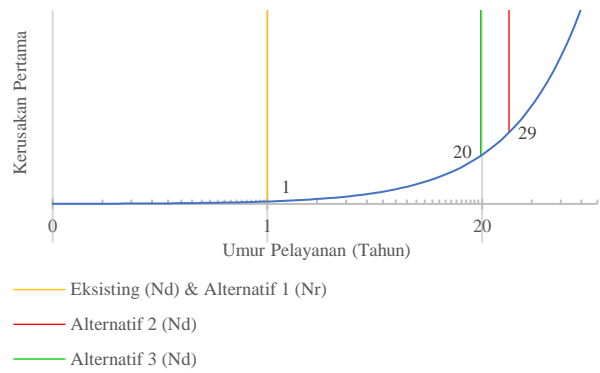
Perkerasan Lentur	Beban Maksimum		
	Vertical Strain (ϵ_c)	Horizontal Strain (ϵ_t)	Vertical Strain (ϵ_c)
Eksisting	0,0006350	0,0004883	0,0008907
Alternatif 1	0,0008802	0,0005757	0,0006726
Alternatif 2	0,0003066	0,0002576	0,0003409
Alternatif 3	0,0003743	0,0003051	0,0003947

Bagian bawah lapis permukaan merupakan titik tinjau untuk 2 jenis kerusakan yaitu *fatigue* 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 ini. Berikut ini disajikan dalam **Tabel 7**.

Tabel 7. Analisis Beban Lalu Lintas

Perkerasan Lentur	ESAL	Umur Pelayanan (Tahun)	Jenis Kerusakan
Eksisting	61.828	1	Deformation
	281.264	4	Rutting
	4.931.189	30	Fatigue
Alternatif 1	65.199	1	Rutting
	217.403	3	Deformation
	2.585.609	21	Fatigue
Alternatif 2	4.555.768	29	Deformation
	7.324.013	37	Rutting
	60.530.404	79	Fatigue
Alternatif 3	2.363.985	20	Deformation
	2.997.971	23	Rutting
	31.174.133	65	Fatigue

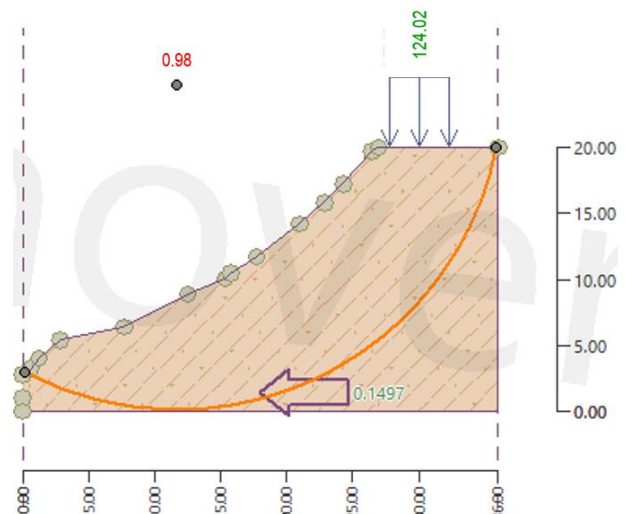
Diketahui umur rencana sebesar 20 tahun menjadi acuan terhadap umur pelayanan perkerasan lentur sampai terjadi kerusakan pertama kali. Dari **Tabel 7** diperoleh perkerasan lentur eksisting dan alternatif 1 memiliki nilai umur pelayanan hanya sebesar 1 tahun < 20 tahun. Pada perkerasan lentur alternatif 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 baik. Untuk dapat melihat tren data dari keseluruhan umur pelayanan pada setiap perkerasan lentur, maka berikut ini **Gambar 4** disajikan grafiknya.



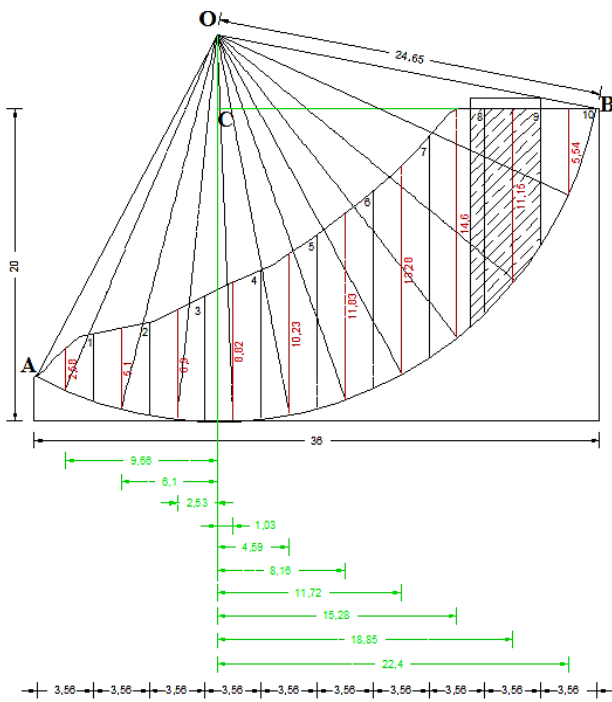
Gambar 4. Tren Umur Pelayanan Struktur Perkerasan Lentur

4.3. Faktor Keamanan Stabilitas Lereng Eksisting dan Perkuatan *Soil Nailing*

Dalam menganalisis faktor keamanan stabilitas lereng pada penelitian ini, diperlukan hasil dari analisis sebelumnya berupa beban struktur lapis perkerasan lentur. Setelah itu lereng eksisting dianalisis dengan metode *Fellenius* dan dilanjutkan dengan program *Geo5*. Untuk lebih jelasnya berikut ini **Gambar 5** dan **Gambar 6**.

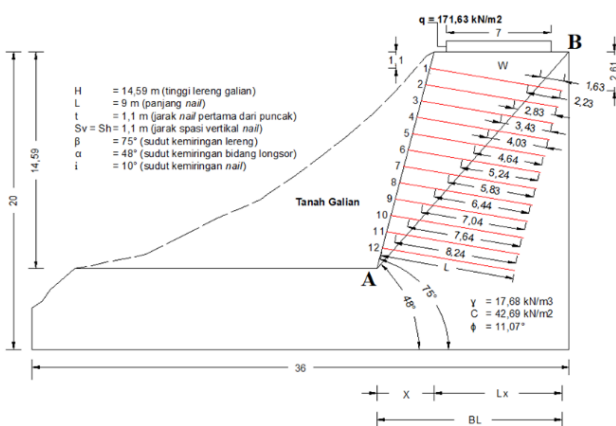


Gambar 5. Pemodelan Lereng Eksisting Analisis Program *Geo5*

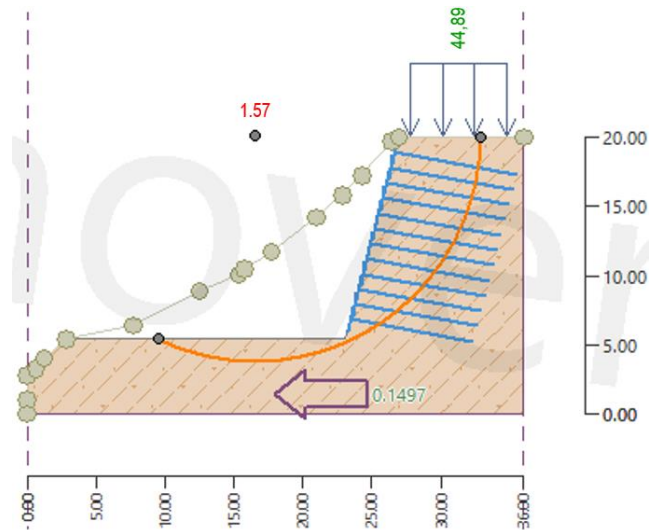


Gambar 6. Pemodelan Lereng Eksisting Analisis Metode *Fellenius*

Karena nilai faktor aman stabilitas lereng eksisting < 1 maka selanjutnya dilakukan analisis kestabilan lereng perkuatan *soil nailing* dengan program *Geo5* dan dilanjutkan dengan metode Baji. Analisis stabilitas lereng eksisting dimulai dengan program *Geo5* bertujuan agar diperoleh koordinat bidang longsor kritis, yang mana koordinat tersebut digunakan dalam analisis metode *Fellenius*. Sedangkan untuk analisis stabilitas lereng *soil nailing*, yang pertama dilakukan adalah dengan metode Baji. Hal ini dikarenakan dalam prosesnya dilakukan dengan cara coba-coba sampai memperoleh hasil yang baik berupa sudut kemiringan lereng galian, panjang *nail*, jarak spasi *nail*, dan sudut kemiringan *nail*. Analisis stabilitas lereng *soil nailing* dapat dilihat pada **Gambar 7** dan **Gambar 8** berikut.

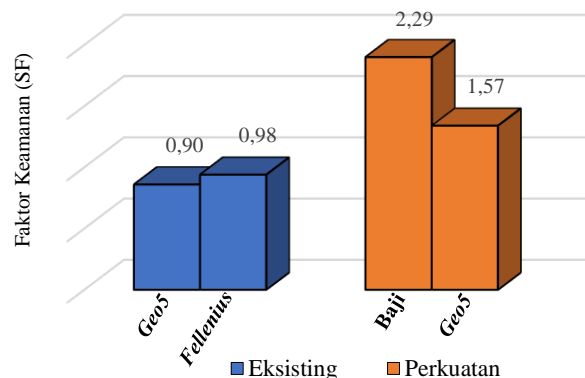


Gambar 7. Pemodelan Lereng *Soil Nailing* Analisis Metode Baji



Gambar 8. Pemodelan Lereng *Soil Nailing* Analisis Program *Geo5*

Setelah semua dianalisis maka berikut ini perbandingan faktor keamanan dari stabilitas lereng eksisting dan stabilitas lereng perkuatan *soil nailing*. Diperoleh nilai faktor keamanan stabilitas lereng eksisting dan lereng perkuatan *soil nailing*. Nilai faktor keamanan stabilitas lereng untuk kondisi gempa digunakan $\geq 1,30$ [9]. Dengan demikian lereng kondisi eksisting dianggap tidak aman dari bahaya kelongsoran, baik yang dihitung secara manual $0,90 < 1$ maupun dengan bantuan program $0,98 < 1$. Justru sebaliknya ketika lereng diberikan perkuatan *soil nailing*, kestabilan lereng meningkat atau dianggap aman dengan nilai faktor keamanan sebesar $2,29 \geq 1,30$ untuk hasil perhitungan manual dan $1,57 \geq 1,30$ untuk hasil dengan bantuan program *Geo5*. Berikut ini disajikan dalam bentuk grafik pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Perbandingan Faktor Keamanan Stabilitas Lereng

5. KESIMPULAN

Setelah dianalisis kondisi perkerasan eksisting belum mampu melayani sampai umur rencana 20

tahun, dengan perolehan nilai repetisi beban sebesar 61.828 *ESAL* sampai terjadi kerusakan *deformation* pada umur pelayanan 1 tahun. Adapun usulan alternatif desain struktur perkerasan lentur yang optimal adalah alternatif 3 berupa *AC-WC* 4 cm, *AC-BC* 5 cm, *AC Base* 6 cm dan LFA Kelas A 40 cm. Dengan perolehan nilai repetisi beban sebesar 2.363.985 *ESAL* sampai terjadi kerusakan *deformation* pada umur pelayanan 20 tahun.

Nilai faktor aman stabilitas lereng eksisting tidak aman dengan nilai faktor aman sebesar 0,90 ($SF < 1$) untuk hasil perhitungan manual dan nilai faktor aman sebesar 0,98 ($SF < 1$) untuk hasil program *Geo5*. Sedangkan, perkuatan lereng soil nailing dianggap aman dengan nilai faktor aman sebesar 2,29 ($SF \geq 1,30$) untuk perhitungan manual dan nilai faktor aman sebesar 1,57 ($SF \geq 1,30$) untuk program *Geo5*.

Hasil penelitian ini dapat menjadi rekomendasi sebagai acuan alternatif. Untuk menangani kasus-kasus sejenis, diperlukan improvisasi lagi dalam perancangannya

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] U. Chasanah, "Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Geoslope," hal. 1–76, 2012.
- [2] I. B. Setiawan, A. Rahmawati, dan D. S. M., "Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Program Kenpave di Jalan Maospati – Sukomoro," 2016.
- [3] finesoftware.eu, "GEO5 Geotechnical Software," finesoftware.eu/geotechnical-software/, 2021.
- [4] Huang H. Y., "Pavement Analysis and Design. University of Kentucky, Prentice Hall.," hal. 1–64, 2004.
- [5] D. I. Dinata, A. Rahmawati, dan M. D. Setiawan, "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 Tek.*, vol. 20, no. 1, hal. 8–19, 2017.
- [6] M. Maryam dan K. H. Putra, "Analisis Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga (Studi Kasus: Jalan Luar Lingkar Timur Surabaya)," *J. Teknol. dan Manaj.*, vol. 1, no. 2, hal. 125–134, doi: 10.31284/j.jtm.2020.v1i2.1113, 2020.
- [7] D. Yulianto, "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," 2019.
- [8] H. C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah* 2, 5 ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press. Daerah Istimewa Yogyakarta., 2014.
- [9] Badan Standarisasi Nasional, "Sni 8460-2017," *Persyaratan Peranc. Geotek.*, vol. 8460, hal. 2017, 2017.
- [10] EN 1998-5, "European Standard Norme Europeenne Europaische Norm," vol. 1, no. 2005, 2004.
- [11] DISHUB Kab. XX, "Data Survei Jumlah Pergerakan Arus Lalu Lintas," 2019.
- [12] Bina Marga, "MANUAL DESAIN PERKERASAN JALAN," no. No. 02/M/BM/2017, 2017.
- [13] Bina Marga, *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston)*, vol. No.13. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, 1983.
- [14] P. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, "Aplikasi Spektrum Respons Desain Indonesia, www.rsa.ciptakarya.pu.go.id/, 2021.
- [15] FHWA-SA-96-069R, "Manual For Design & Construction Monitoring Of Soil Revised October 1998," no. October, 1998.