

ANALISIS GEOTEKNIK TERHADAP KERUSAKAN DAN PENINGKATAN JALAN KOLONEL IMAM SUPARTO KECAMATAN TEMBALANG STA. 4+700

Okky Surya Sakti Saputra, Winner Bino Septino Sinaga
Indrastono D A, Rudi yuniarto^{*)}

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239,
Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Jalan Kolonel Imam Suparto memiliki peranan yang cukup penting dalam pertumbuhan ekonomi Kecamatan Tembalang. Belakangan ini ruas jalan Kolonel Imam Suparto mengalami kelongsoran yang cukup memprihatinkan. Penurunan ruas jalan akibat terjadinya kelongsoran, sangat berbahaya bagi keselamatan pengendara yang melewati jalur ini.

Setelah dilakukan analisis kestabilan lereng dengan menggunakan metode Fellenius, didapatkan SF atau angka keamanan lereng 0,891. Sedangkan dengan menggunakan software PLAXIS 8.2, didapatkan nilai SF sebesar 1,37. Kedua angka ini mengindikasikan bahwa kestabilan lereng di daerah ini dalam keadaan kritis atau sangat beresiko terhadap bencana longsor. Oleh karena itu diperlukan penanganan yang tepat untuk menekan resiko kelongsoran dengan meningkatkan angka keamanan lereng.

Alternatif-alternatif yang digunakan sebagai solusi dari permasalahan ini adalah dengan menggunakan Dinding Penahan Tanah (DPT) tipe cantilever wall dan Bronjong. Penggunaan DPT atau Bronjong cukup baik dalam menangani kelongsoran yang terjadi. Dimana SF setelah dilakukan perbaikan dengan menggunakan DPT tipe cantilever wall adalah sebesar 1,93 dan 1,77 untuk perbaikan dengan menggunakan Bronjong.

Penggunaan DPT tipe cantilever wall adalah solusi perbaikan yang paling baik diantara kedua alternatif yang digunakan. Hal ini disebabkan karena angka keamanan lereng atau SF yang dihasilkan lebih tinggi daripada perbaikan dengan menggunakan Bronjong.

Kata kunci: kelongsoran, angka keamanan, metode fellenius, plaxis, dinding penahan tanah tipe cantilever wall, bronjong,

ABSTRACT

Kolonel Imam Suparto street has an important role for the economic growth in Subdistric of Tembalang. Recently, this road has catastrophic landslide. It is quite alarming. Degradation of this road as an impact of landslide is very danger for the safety of driver who pass through this way.

After slope stability analysis using Fellenius method is performed, it is shown that the SF or safety factor of the slope is 0,891. By using PLAXIS 8.2 , it is shown that the SF is 1,37. Both of

this point indicated that the slope stability is in a critical condition or very risk for landslide. So, a precise solution is needed to push the landslide risk by increased the safety factor of that slope. The alternatives that used for this case by using Retaining Wall (DPT) type Cantilever Wall and Bronjong

DPT or Bronjong is quite good for solving the landslide. It is founded that after reparation by using DPT type cantilever wall the safety factor is 1,93 and 1,77 by using Bronjong.

DPT type cantilever wall is decided as the best solution between both alternatives. It is because the safety factor of DPT is higher than Bronjong.

Key word: landslide, safety factor, fellenius method, plaxis, retaining wall type cantilver wall, bronjong.

PENDAHULUAN

Jalan Imam Suparto berada di daerah perbukitan yang terletak di Kelurahan Meteseh Kecamatan Tembalang Kota Semarang Propinsi Jawa Tengah. Ruas jalan ini menghubungkan antara Kelurahan Bulusan dengan Kelurahan Meteseh. Daerah Tembalang menurut Peta Geologi Lembar Magelang–Semarang (RE Thaden, Peta Geologi Lembar Magelang–Semarang) termasuk dalam zona Kerentanan Gerakan Tanah Sangat Rendah. Daerah ini mempunyai tingkat kerentanan sangat rendah untuk terjadi gerakan tanah. Pada zona ini sangat jarang atau tidak pernah terjadi gerakan tanah, baik gerakan tanah lama maupun gerakan tanah baru, terkecuali pada daerah tidak luas di sekitar tebing sungai.

Alinyemen ruas Jalan Imam Suparto memang cukup curam, ini mengingat untuk pengeprasan bukit memerlukan biaya yang relatif mahal sedang tingkat keutamaan ruas Jalan Imam Suparto masih dirasa kurang begitu penting bagi Pemda setempat. Namun demikian ruas jalan ini mempersingkat jalan jika ke Tembalang dari arah Pedurungan.

Di lain pihak daerah perbukitan disekitar ruas Jalan Imam Suparto telah lama dijadikan tempat penambangan tanah urug. Penambangan tanah urug yang serampangan dapat berakibat pergerakan tanah.

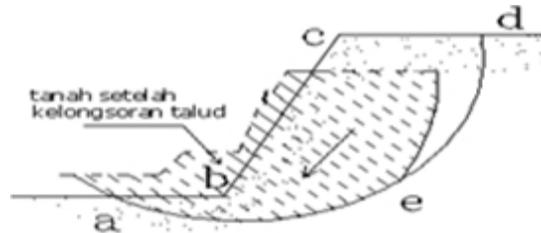
TINJAUAN PUSTAKA

Dalam konstruksi bangunan sipil masing-masing struktur bangunan saling mendukung sehingga dapat tercapai keseimbangan gaya. Jika salah satu struktur bangunan sudah tidak mampu mengimbangi gaya luar yang terjadi maka dapat menyebabkan kerusakan konstruksi bangunan secara keseluruhan. Di dunia konstruksi sering sekali dijumpai permasalahan pada tanah dasarnya. Dimana suatu konstruksi bangunan sipil selalu berdiri di atas tanah dasar yang akan menerima dan menahan beban dari keseluruhan struktur yang ada di atasnya. Tanah memiliki karakteristik dan sifat-sifat yang berbeda dari satu lokasi dengan lokasi lainnya. Sehingga dibutuhkan penanganan dan perlakuan yang khusus dalam menangani permasalahan yang mungkin terjadi dalam perencanaan konstruksi bangunan sipil.

STABILITAS LERENG

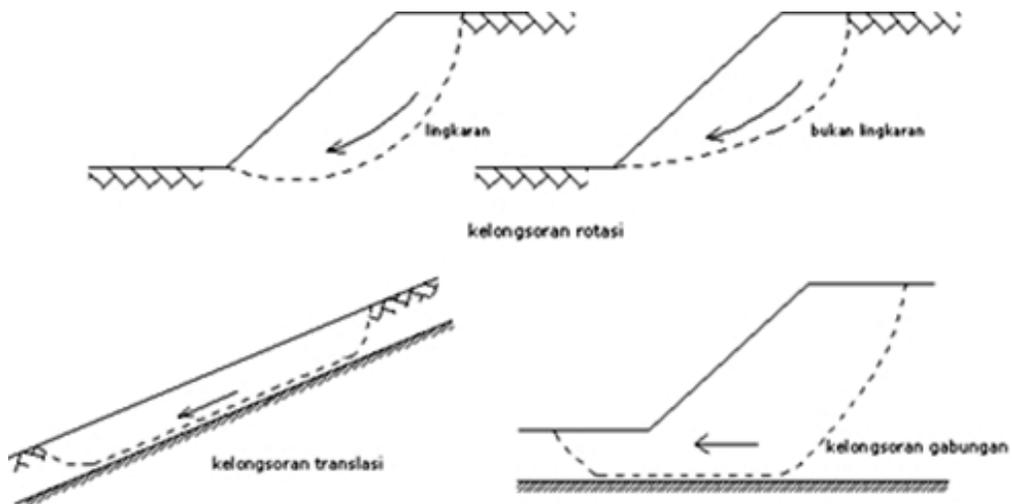
Permukaan tanah yang tidak datar, yaitu memiliki kemiringan tertentu terhadap bidang horisontal dapat menyebabkan komponen berat tanah yang sejajar dengan kemiringan bergerak

kearah bawah. Bila komponen berat tanah tersebut cukup besar kelongsoran tanah dapat terjadi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 yaitu tanah dalam zona a, b, c, d, e dapat tergelincir. Dengan kata lain, gaya dorong (*driving force*) melampaui gaya yang berlawanan dari kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor. (Braja M. Das, Mekanika Tanah 2)



Gambar 1 Kelongsoran Talud

Tipe keruntuhan lereng yang paling penting ditunjukkan pada Gambar 2. Dalam kelongsoran rotasi (*rotational slip*) bentuk permukaan runtuh potongannya dapat berupa busur lingkaran atau kurva bukan lingkaran. Pada umumnya kelongsoran lingkaran berhubungan dengan kondisi tanah yang homogen dan longsor bukan lingkaran berhubungan dengan kondisi tidak homogen. Kelongsoran translasi (*translational slip*) dan kelongsoran gabungan (*compound slip*) terjadi bila bentuk permukaan runtuh dipengaruhi oleh adanya kekuatan geser yang berbeda pada lapisan tanah yang berbatasan. (R.F. Craig, Mekanika Tanah)



Gambar 2 Tipe-tipe keruntuhan lereng

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemboran untuk tanah asli dilakukan sebanyak 2 (dua) titik dengan kedalaman titik 3-4 meter. Hasil pemboran untuk tanah asli dan asumsi properties tanah yang akan digunakan dalam perhitungan dan analisis dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Properties tanah untuk input analisis

Jenis Pengujian Parameter	Unit	Bore Hole 1 1,75 – 2,00 m	Bore Hole 2 3,10 – 3,50 m
INDEX PROPERTIES			
Wet Density (γ_m)	(gr/cm ³)	1,82	1,65
Dry Density(γ_d)	(gr/cm ³)	1,44	1,24
DIRECT SHEAR			
Sudut Geser dalam (ϕ)	($^{\circ}$)	23,28	11,,51
Kohesi (c)	(kg/cm ²)	0,3216	0,1502
ATTERBERG LIMIT			
LL	(%)	54,5	77,00
PL	(%)	23,52	29,48
IP	(%)	30,98	47,52
Soil Classification		CH	CH
GRAIN SIZE ANALYSIS			
Lolos Saringan no.200	(%)	75,95	98,64
Butiran < 0,002 mm	(%)	40,65	67,11

Dalam perhitungan analisis kestabilan lereng secara manual, digunakan metode Fellenius. Bentuk pemodelan lereng yang akan dianalisis kestabilannya dibuat terlebih dahulu, kemudian ditentukan titik-titik pusat longsor percobaan dengan trial dan error dan data tanah sesuai dengan Tabel 1. Perhitungan ini dimulai dengan bantuan sudut-sudut petunjuk. Setelah menghitung SF lereng ruas jalan Kolonel Imam Suparto dengan pusat kelongsoran (O) yang berbeda-beda didapatkan nilai SF (Safety Factor) yang dapat dilihat pada Tabel 2.

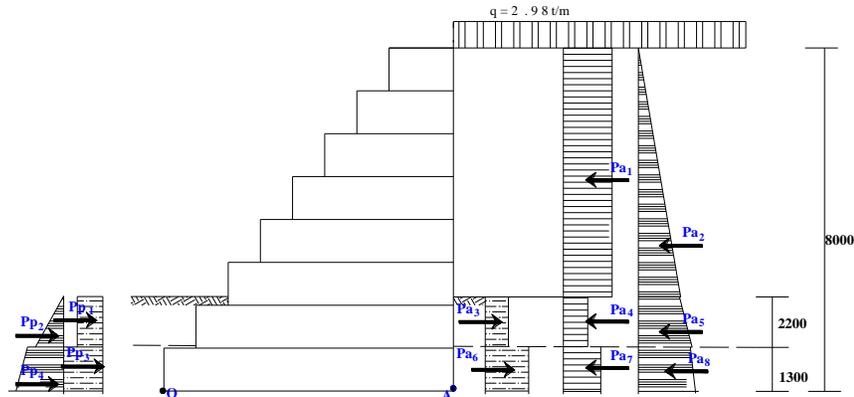
Tabel 2 Rangkuman Nilai SF dengan Variasi R yang Berbeda

Pusat kelongsoran	SF
O	0,937
O'	1,27
O''	0,891

Setelah melakukan analisis kestabilan lereng dan mendapat SF atau Faktor keamanan, maka berdasarkan faktor keamanan yang ada yaitu 0,891 (metode manual) dan 1,37 (Plaxis) maka diusulkan untuk melakukan penanganan kelongsoran menggunakan 2 alternatif yaitu:

1. Perkuatan Batu Bronjong
2. Dinding Penahan Tanah (DPT)

PERHITUNGAN BRONJONG



Gambar 3. Gaya-gaya pada perkuatan Bronjong

Perhitungan momen aktif akibat tekanan tanah dan momen pasif akibat berat sendiri struktur berdasarkan Gambar 3 yang nantinya akan digunakan untuk perhitungan stabilitas struktur perkuatan. dapat dilihat sebagai berikut

$$\sum Pa = 21,83 \text{ ton}, \sum Pp = 41 \text{ ton}, \sum P = 63,36 \text{ ton}, \sum Mp = 233,141 \text{ ton.m}$$

Kontrol Stabilitas

a. Stabilitas Terhadap Geser

$$SF = \frac{\sum p \cdot \tan \phi_4 + c_4 \cdot B}{\sum ph} > 2$$

$$= 2,03 > 2 \dots\dots\dots \text{Aman!}$$

b. Stabilitas Terhadap Guling

$$SF = \frac{\sum M. \text{Penahan}}{\sum M. \text{Guling}} > 2$$

$$= 36 > 2 \dots\dots\dots \text{Aman!}$$

c. Daya Dukung Tanah

untuk $\phi = 35^\circ$, menurut tabel dari Terzaghi (Lampiran C), didapat:

$$Nc = 57,8 \quad Nq = 41,4 \quad N\gamma = 42,4$$

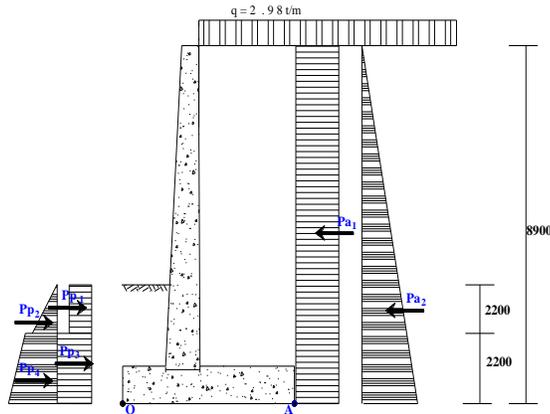
- $q_{safe} = \frac{c_4 \cdot Nc + \gamma_4 \cdot D \cdot Nq + \gamma_4 \cdot 0,5 \cdot B \cdot N\gamma}{fk}$
- $q_{safe} = \frac{1,02 \cdot 57,8 + 1,8 \cdot 3,5 \cdot 41,4 + 1,8 \cdot 0,5 \cdot 6,2 \cdot 42,4}{3} = 185,5 \text{ t/m}^2$
- $q_{max} = \frac{63,36}{6,2 \cdot 1} \left(1 + \frac{6,0,7}{6,2}\right) = 17,14 \text{ t/m}^2$

$$q_{max} < q_{safe} \dots\dots\dots \text{Aman!}$$

d. Safety Factor Menggunakan Plaxis

Pada tahap ini diketahui bahwa hasil Safety Factor yang didapat setelah menerapkan perkuatan Bronjong adalah sebesar 1,77.

DINDING PENAHAN TANAH



Gambar 4. Gaya-gaya pada perkuatan Dinding Penahan Tanah

Perhitungan momen aktif akibat tekanan tanah dan momen pasif akibat berat sendiri struktur berdasarkan Gambar 4 yang nantinya akan digunakan untuk perhitungan stabilitas struktur perkuatan. dapat dilihat sebagai berikut:

$$\sum Pa = 30,32 \text{ ton}, \sum Pp = 61,57 \text{ ton}, \sum P = 85,08 \text{ ton}, \sum Mp = 265,80 \text{ ton.m}$$

Kontrol Stabilitas

a. Stabilitas Terhadap Geser

$$SF = \frac{\sum p \cdot \tan \theta_4 + c_4 \cdot B}{\sum ph} > 2$$

$$= 2,09 > 2 \dots\dots\dots \text{Aman!}$$

b. Stabilitas Terhadap Guling

$$SF = \frac{\sum M.Penahan}{\sum M.Guling} > 2$$

$$= 18,84 > 2 \dots\dots\dots \text{Aman!}$$

c. Daya Dukung Tanah

- $q_{safe} = \frac{c_4 \cdot Nc + \gamma_4 \cdot D \cdot Nq + \gamma_4 \cdot 0,5 \cdot B \cdot N\gamma}{fk}$
- $q_{safe} = \frac{1,02 \cdot 57,8 + 1,8 \cdot 4,4 \cdot 41,4 + 1,8 \cdot 0,5 \cdot 5,5 \cdot 42,4}{3} = 198,9 \text{ t/m}^2$
- $q_{max} = \frac{85,08}{5,5 \cdot 1} \left(1 + \frac{6,0 \cdot 21}{5,5} \right) = 19,01 \text{ t/m}^2$

$$q_{max} < q_{safe} \dots\dots\dots \text{Aman!}$$

d. Safety Factor Menggunakan Plaxis

Pada tahap ini diketahui bahwa hasil Safety Factor yang didapat setelah menerapkan perkuatan DPT tipe *cantilever wall* adalah sebesar 1,93

OVERLAY

Evaluasi perkerasan jalan lama menggunakan pedoman yang digunakan dalam merencanakan struktur perkerasan Jalan Imam Suparto berdasarkan pada *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisis Komponen*, Dirjen Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum, 1987. Dalam evaluasi kelongsoran pada Jalan Imam Suparto nilai

CBR yang digunakan adalah 2,55 % diperoleh dari nilai rata-rata CBR hasil laboratorium. Nilai yang akan digunakan untuk menentukan besarnya daya dukung tanah (DDT) dapat ditentukan dengan grafik korelasi antara CBR dan dengan rumus pendekatan sebagai berikut:

$$DDT = 4,3 \log CBR + 1,7$$

$$DDT = 4,3 \log 2,55 + 1,7 = 3,44$$

Faktor Regional (FR)

Faktor regional berguna untuk memperhatikan kondisi jalan yang berbeda antara jalan yang satu dengan jalan yang lainnya. Pengaruh perubahan musim, perbedaan temperature, kerusakan-kerusakan akibat lelahnya bahan, sifat material yang digunakan dapat juga mempengaruhi umur layanan. Data yang diperlukan untuk menentukan besarnya faktor regional adalah :

- Kompilasi data curah hujan stasiun Pucang Gading maksimum sebesar 567 mm/th < 900 mm/th.
- Kelandaian maksimum sebesar 25 %.
- Prosentase kendaraan berat (kendaraan berat adalah kendaraan yang berat kosongnya > 1500 kg, dalam hal ini mikro truck, bus, truk 2 as.
- Prosentase kendaraan berat = 3,08 % + 1,54 % + 10,78 % = 15,4 %

Tabel 3 Faktor Regional

Curah Hujan	Kelandaian I (< 6 %)		Kelandaian II (6 % - 10 %)		Kelandaian III (> 10 %)	
	% Kendaraan Berat		% Kendaraan Berat		% Kendaraan Berat	
	≤ 30 %	> 30%	≤ 30 %	> 30%	≤ 30 %	> 30%
Iklm I < 900 mm/tahun	0,5	1,0 - 1,5	1,0	1,5 - 2,0	1,5	2,0 - 2,5
Iklm I > 900 mm/tahun	1,5	2,0 - 2,5	2,0	2,5 - 3,0	2,5	3,0 - 3,5

Berdasarkan Tabel 5.1 diatas, maka termasuk kedalam iklim I, kelandaian II dan prosentase kendaraan berat ≤ 30 %. Maka nilai FR (Faktor Regional) = 1,5.

Perhitungan Struktur Perkerasan Jalan

Berdasarkan prediksi Lalu lintas Jalan Imam Suparto, dengan umur rencana 10 tahun.

Data lalu lintas awal tahun rencana (2012)

Mobil Penumpang	= 4623 kendaraan/2 arah = 4623 x 1,0 = 4623 smp/2 arah
Pick Up	= 267 kendaraan/2 arah = 267 x 1,0 = 267 smp/2 arah
Mikro Truk	= 178 kendaraan/2 arah = 178 x 1,0 = 178 smp/2 arah
Bus	= 89 kendaraan/2 arah = 89 x 1,3 = 116 smp/2 arah
Truk 2 as	= 623 kendaraan/2 arah = 623 x 1,3 = 810 smp/2 arah

Perhitungan lalu lintas pada akhir tahun rencana (2022)

$$LHR_{(2022)} = LHR_{(2012)} \times (1+i)^n$$

Dimana : i = pertumbuhan lalu lintas (%)

n = periode waktu

$$i = 3,87 \%$$

Mobil Penumpang	= 6758 smp/2 arah
Pick Up	= 390 smp/2 arah
Mikro Truk	= 260 smp/2 arah
Bus	= 170 smp/2 arah
Truk 2 as	= 1184 smp/2 arah

Angka Ekuivalen (*E*) untuk masing-masing kendaraan :

Mobil Penumpang	$(1t + 1t) 0,0002 + 0,0002 = 0,0004$
Pick Up	$(1t + 1t) 0,0002 + 0,0002 = 0,0004$
Mikro Truk	$(3t + 5t) 0,0183 + 0,1410 = 0,1593$
Bus	$(3t + 5t) 0,0183 + 0,1410 = 0,1593$
Truk 2 as	$(5t + 8t) 0,1410 + 0,9238 = 1.0648$

Perhitungan Lintas Ekuivalen Permulaan (*LEP*)

$$LEP = \sum_{j=1}^n LHR_j \times C_j \times E$$

Dimana : LHR_j = LHR awal tahun rencana

E = Angka ekuivalen

C_j = Koefisien distribusi untuk 2 lajur 2 arah.

C_j ringan (< 5 ton) = 0,5

C_j berat (> 5 ton) = 0,5

Maka untuk perhitungan *LEP* didapat :

Mobil Penumpang	$(1t + 1t) = 4623 \times 0,5 \times 0,0004 = 0,9246$
Pick Up	$(1t + 1t) = 267 \times 0,5 \times 0,0004 = 0,0534$
Mikro Truk	$(3t + 5t) = 178 \times 0,5 \times 0,1593 = 14,178$
Bus	$(3t + 5t) = 116 \times 0,5 \times 0,1593 = 9,2394$
Truk 2 as	$(5t + 8t) = 810 \times 0,5 \times 1,0648 = \underline{431,244} +$ $= 455,6391$

Perhitungan Lintas Ekuivalen Akhir (*LEA*)

$$LEA = \sum_{j=1}^n LHR_j \times C_j \times E$$

Dimana : LHR_j = LHR akhir tahun rencana

E = Angka ekuivalen

C_j = Koefisien distribusi untuk 2 lajur 2 arah

C_j ringan (< 5 ton) = 0,5

C_j berat (> 5 ton) = 0,5

Maka untuk perhitungan *LEA* didapat :

Mobil Penumpang	$(1t + 1t) = 6758 \times 0,5 \times 0,0004 = 1,3516$
Pick Up	$(1t + 1t) = 390 \times 0,5 \times 0,0004 = 0,078$
Mikro Truk	$(3t + 5t) = 260 \times 0,5 \times 0,1593 = 20,709$
Bus	$(3t + 5t) = 170 \times 0,5 \times 0,1593 = 13,5405$
Truk 2 as	$(5t + 8t) = 1184 \times 0,5 \times 1,0648 = \underline{630,3616} +$ $= 666,0407$

Perhitungan Lintas Ekuivalen Tengah (*LET*)

$$LET = \frac{LEP + LEA}{2} = \frac{455,6391 + 666,0407}{2} = 560,8399$$

Perhitungan Lintas Ekuivalen Rencana (*LER*)

$$LER = LET \times FP$$

$$\text{Dimana : } FP = \text{Faktor Penyesuaian} = \frac{\text{umur}}{10} = \frac{10}{10} = 1$$

$$LER = 560,8399 \times 1 = 560,8399$$

Perhitungan Indeks Tebal Perkerasan (*ITP*)

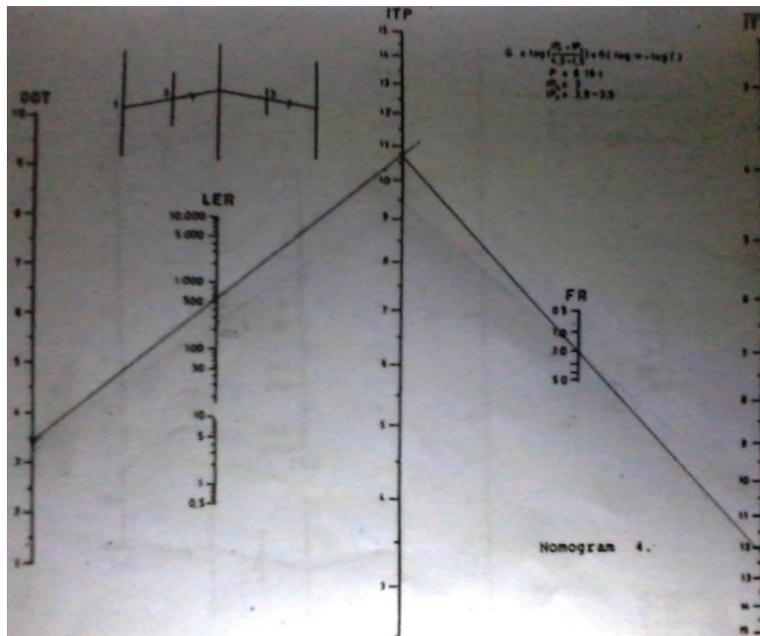
$$\text{CBR tanah dasar} = 2,55 \%$$

$$\text{DDT} = 3,44$$

$$\text{IPo} = 3,90 - 3,50 \text{ (indeks permukaan pada awal rencana)}$$

$$\text{IPt} = 2,00 \text{ (indeks permukaan pada awal umur rencana)}$$

Dari data-data diatas dapat digunakan nomogram 4 pada *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisis Komponen*, Dirjen Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum, 1987. Besarnya ITP rencana adalah 12,1 berdasarkan nomogram nomor 4 pada Gambar 5.



Gambar 5. Nomogram 4 untuk menentukan ITP rencana

Selanjutnya membandingkan ITP rencana (12,1) dengan ITP eksisting. ITP eksisting dihitung berdasarkan pada data-data berikut :

- Kofisien kekuatan Relatif :
 $a_1 = 0,4$ (Laston MS 744)
 $a_2 = 0.14$ (Batu pecah kelas A)
 $a_3 = 0.12$ (Sirtu Kelas B)
- Tebal lapis perkerasan:
Lapis permukaan = 9 cm
Lapis pondasi atas = 15 cm
Lapis pondasi bawah = 30 cm

Sehingga didapatkan nilai ITP eksisting sebagai berikut :

$$ITP = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 + a_3 \times D_3$$

Dimana, a = koefisien kekuatan relative

D = tebal minimum lapis perkerasan

$$ITP = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 + a_3 \times D_3$$

$$= (0,4 \times 9) + (0,14 \times 15) + (0,12 \times 30) = 9,3$$

Berdasarkan evaluasi diatas maka dapat disimpulkan ITP eksisting kurang dari ITP rencana, sehingga perlu diadakan overlay untuk memperkuat perkerasan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi, maka diambil kesimpulan :

1. Nilai keamanan lereng setelah dilaksanakannya perbaikan adalah sebesar 1,93 dengan menggunakan DPT tipe *cantilever wall* dan sebesar 1,77 dengan menggunakan Bronjong.
2. Besar *displacement* setelah diadakan perbaikan sebesar 4,8 cm mengalami penurunan dari kondisi asli sebesar 5,79 cm.
3. Untuk menjaga kestabilan badan jalan pada lokasi tersebut perlu struktur yang dapat memotong bidang gelincir dan membuat dasar pondasi yang lebih stabil. Oleh karena itu direkomendasikan penggunaan *cantilever wall* sebagai penguat lereng. Adapun alasan pemilihan *cantilever wall* adalah:
 - a. Keamanan lereng lebih tinggi dengan menggunakan *cantilever wall* jika dibanding dengan menggunakan Bronjong.
 - b. Cukup kuat menahan tekanan tanah yang dapat mematahkan konstruksi yang dipasang untuk melawan gaya longsor.
 - c. Pengerjaannya lebih mudah.
4. Setelah menganalisis volume lalu lintas yang terjadi dengan umur rencana hingga tahun 2022, Jalan Imam Suparto dengan tebal perkerasan yang ada sekarang sudah tidak memenuhi syarat tebal perkerasan yang diperlukan. Berdasarkan analisis didapatkan ITP rencana sebesar 12,1 sedangkan ITP yang ada sebesar 9,3. Diperlukan pelapisan ulang (Overlay) pada perkerasan yang ada, dengan penambahan sebesar 11 cm.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bowles, Joseph E. 1997. *Analisis dan Desain Pondasi Jilid 1*. Jakarta : Erlangga,
2. Bowles, Joseph E. 1991. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknik Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Erlangga.
3. Bringkreve, R.B.J., dkk. 2007. *Delft University of Technology & Plaxis b.v.* Belanda.
4. Das, Braja M. 1991. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid 1*. Jakarta : Erlangga.
5. Departemen Pekerjaan Umum. 1987. “Buku Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan metode Analisis Komponen”. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
6. Ismiyati, dkk. 2004. *Buku Ajar Statistika dan Probabilitas*. Semarang.
7. Sosodarsono, Suyono (Ed). 2000. *Mekanika Tanah & Teknik Pondasi*. Jakarta: Padya Paramita.
8. Terzaghi, Karl dan Peck, Ralph. B. 1987. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
9. Wesley, Lawrence D. 2010. *Mekanika Tanah Untuk Endapan Tanah dan Residu*. Yogyakarta: Andi.