

Perencanaan Pondasi Abutment Jembatan dan Perkuatan Timbunan Tanah Untuk Oprit Jembatan di Jalan Tol Solo-Yogyakarta-NYIA Kulon Progo Seksi 1 Paket 1.1 STA 0+550 s/d STA 1+150

Rewin Alif Bagus Wicaksono, Suwarno, dan Yudhi Lastiasih
 Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: soewarno@ce.its.ac.id

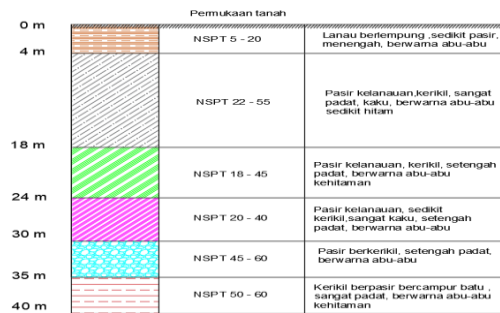
Abstrak—Solusi untuk mengurangi penggunaan energi fosil, yaitu dengan pemanfaatan Energi Baru Terbarukan, salah satunya adalah Gasifikasi Biomassa. Dari proses Gasifikasi akan menghasilkan *synthetic gas*, dan akan digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil pada mesin diesel *dual-fuel*. Penelitian ini menggunakan dua analisa, yaitu analisa energi dan analisa eksergi, untuk mengetahui unjuk kerja dari *gasifier*. Penelitian ini bersifat simulasi dan eksperimen. Untuk metode simulasi menggunakan *software Aspen Plus V10*, sedangkan pada eksperimen reaktor yang digunakan untuk proses gasifikasi adalah reaktor tipe *downdraft*. Terdapat 3 variasi *T inlet* zona oksidasi yaitu 30°C, 50°C, dan 75°C, sedangkan untuk 5 variasi ER yaitu 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; sehingga menghasilkan nilai AFR aktual tertentu. Hasil dari penelitian ini didapatkan nilai LHV tertinggi untuk hasil simulasi, yaitu pada ER 0,2 dengan *T inlet* 30°C sebesar 5052,65 kJ/kg, dan tertinggi untuk hasil eksperimen sebesar 3736,67 kJ/kg. Hasil *cold gas efficiency* tertinggi untuk hasil simulasi pada ER 0,35 dengan *T inlet* 30°C yaitu sebesar 36,47%, dan hasil eksperimen yaitu pada ER 0,35 dengan *T inlet* 30°C didapatkan 53,84%. Sedangkan nilai efisiensi eksergi tertinggi untuk hasil simulasi yaitu pada ER 0,2 dan *T inlet* 30°C, didapatkan nilai 34,06%, dan untuk hasil eksperimen yaitu 25,45% pada ER 0,2 dengan *T inlet* 30°C.

Kata Kunci—Biomassa, Eksergi, Gasifikasi, Gas Sintetik, Tongkol Jagung.

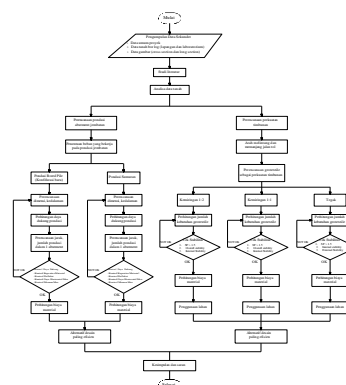
I. PENDAHULUAN

JALAN Tol Trans Jawa merupakan Proyek Startegis Nasional (PSN) menghubungkan kota-kota di pulau Jawa sepanjang ±1000 km dan membentang dari ujung barat hingga ujung timur Pulau Jawa. Salah satu bagian dari Jalan Tol Trans Jawa yaitu Tol Solo-Yogyakarta-NYIA Kulon Progo. Tujuan pembangunan jalan tol tersebut yaitu meningkatkan aksesibilitas dan konektivitas antar daerah, penunjang pertumbuhan ekonomi masyarakat dan penunjang akses ke Bandara New International Yogyakarta Airport (NYIA) yang berada di Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Jalan tol tersebut memiliki panjang 96,57 km, dan terdiri menjadi 3 Seksi dan masing-masing seksi terdiri dari 2 paket pengerjaan. Pembangunan jalan tol pada tahun 2020 baru dilaksanakan di Seksi 1 Paket 1.1 dan pada perencanaan ini difokuskan tepatnya pada STA 0+550 s/d STA 1+150. Pada lokasi tersebut terdapat konstruksi jembatan Ngasem, timbunan, *underpass* dan *box culvert*.

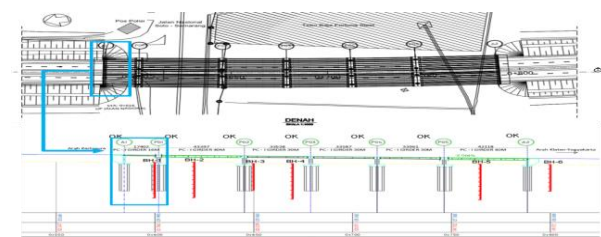
Perencanaan konstruksi tersebut didasarkan pada data tanah hasil tes bor log dan SPT (*Standard Penetration Test*) di 6 lokasi. Kemudian dapat diketahui bahwa di kedalaman 0 - 4 m terdapat tanah lanau berlempung bercampur kerikil dan pasir berwarna abu-abu NSPT 5 – 20 dan pada kedalaman 4–



Gambar 1. Lapisan Tanah di STA 0+550 s/d STA 1+150.



Gambar 2. Diagram Alir Perencanaan.



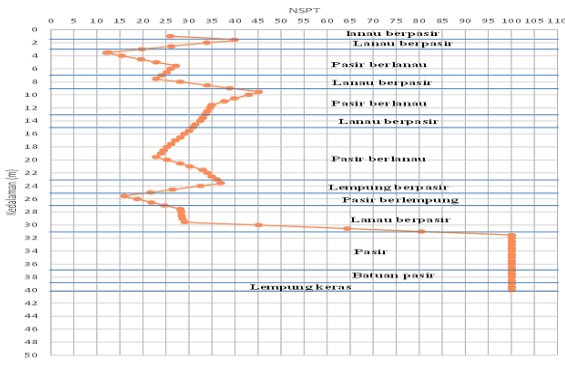
Gambar 3. Lokasi Titik BH-01.

40 didominasi pasir kelanauan hingga pasir berkerikil dengan NSPT 22 – 60. Muka air tanah terletak pada kedalaman 2,4 m dari muka tanah asli. Adanya kondisi tanah yang sangat baik pada Gambar 1. Maka dapat dilakukan efisiensi terhadap perencanaan yang ada diantaranya pada pondasi abutment jembatan Ngasem dan kemiringan lereng dari timbunan pada oprit jembatan beserta kebutuhan perkuatannya. Selain itu, perencanaan alternatif harus tetap kuat, stabil, dan lebih efisien dari perencanaan yang ada.

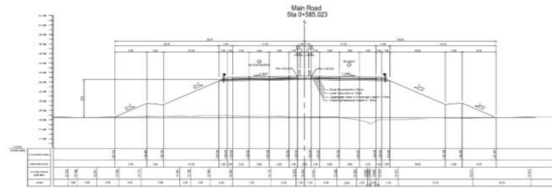
II. METODOLOGI

A. Diagram Alir

Dalam jurnal ini digunakan diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 2.



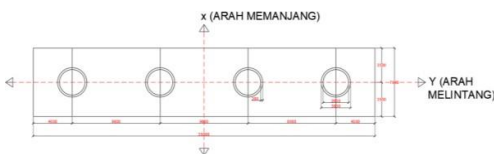
Gambar 4. Grafik NSPT pada BH-01.



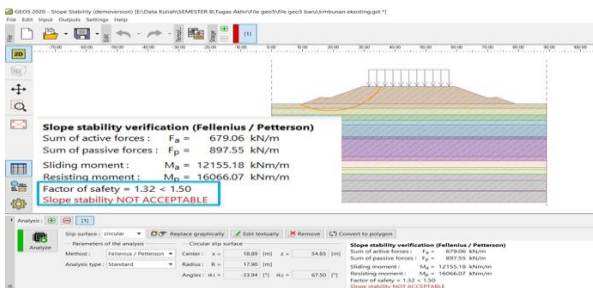
Gambar 5. Potongan Melintang Timbunan Oprit di STA 585.



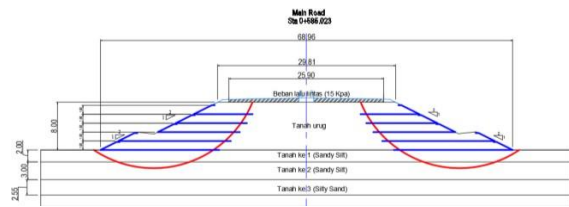
Gambar 6. Konfigurasi Pondasi Bored Pile D80.



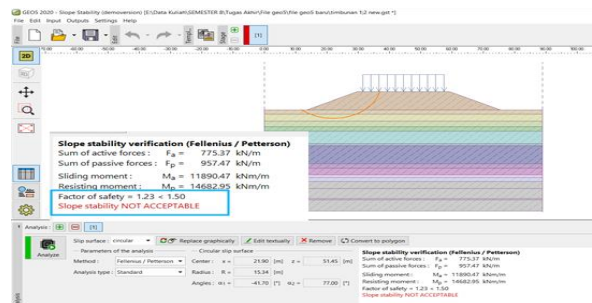
Gambar 7. Konfigurasi Pondasi Sumuran D300.



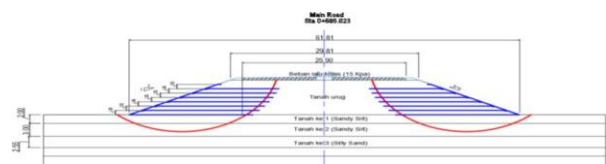
Gambar 8. Hasil Analisa Kestabilan Lereng Timbunan Kondisi Eksisting.



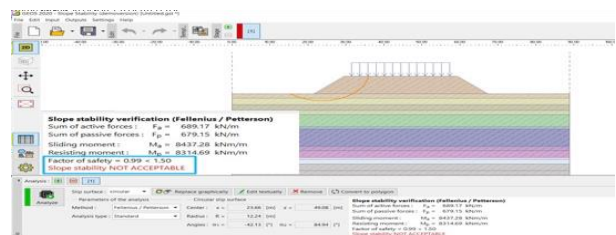
Gambar 9. Ilustrasi Pemasangan Geotextile pada Lereng Timbunan Kondisi Eksisting.



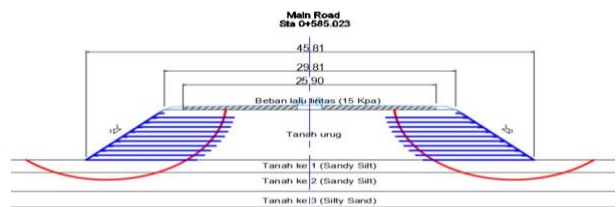
Gambar 10. Hasil Analisa Kestabilan Lereng Timbunan Variasi 1:2.



Gambar 11. Ilustrasi Pemasangan Geotextile pada Lereng Timbunan Variasi 1:2.



Gambar 12. Hasil Analisa Kestabilan Lereng Timbunan Variasi 1:1.



Gambar 13. Ilustrasi Pemasangan Geotextile pada Lereng Timbunan Variasi 1:1.

III. PETUNJUK TAMBAHAN

A. Analisa Data Tanah

Pada lokasi perencanaan khususnya pada abutment sisi utara menggunakan data tanah bor log dan SPT terdekat yaitu data BH-01 yang memiliki kedalaman hingga 40 m seperti pada Gambar 3. Disajikan grafik NSPT setiap kedalaman pada Gambar 4. Selanjutnya, berdasarkan nilai NSPT tersebut dapat dilakukan korelasi data tanah untuk mendapatkan nilai parameter tanah sebagai dasar perencanaan menggunakan tabel korelasi pada [1–4]. Hasil korelasi pada Tabel 1.

B. Data Struktur Jembatan

Berikut data umum struktur jembatan yaitu:

1. Nama jembatan : Jembatan Ngasem
2. Lokasi jembatan : Jalan Tol Solo-Yogyakarta NYIA Kulon Progo Seksi 1Paket 1.1 STA 0+616

3. Jenis jembatan : Jembatan Girder
4. Komponen Jembatan : 2 abutment dan 5 pilar
5. Bentang jembatan : ± 200 m
6. Jumlah segmen : 6 segmen
7. Jumlah jalur : 2 jalur
8. Jumlah lajur : 4 lajur
9. Lebar total jembatan : 34 m
10. Tinggi oprit timbunan : 8 m (sisi utara)

C. Data Spesifikasi Timbunan

Geometri timbunan dapat dilihat pada Gambar 5. Material timbunan yang digunakan pada jalan tol didapat dari quarry terdekat lokasi proyek dengan data sifat fisik tanah timbunan sebagai berikut:

1. $C = 0$
2. $\gamma_{sat} = 18 \text{ kN/m}^3$
3. $\phi = 30^\circ$

Tabel 1.
Hasil Korelasi Data Tanah BH-01

Depth (m)	N-SPT	Jenis Tanah	Warna	Konsistensi	γ_{sat} (g/cm ³)	Cu (kPa)	C' (kPa)	ϕ
1.55	6.5	Lanau berpasir	Coklat	Medium	1.56	24.33	16.22	18.11
3.55	12		Coklat	Stiff	1.69	28.00	18.67	19.33
5.55	27	Pasir berlanau	Coklat	Medium dense	1.75	-	-	32.50
7.55	23				1.65	-	-	31.20
9.55	45	Lanau berpasir	Hitam	Very Stiff	2.00	100.00	66.67	26.67
11.55	35	Pasir berlanau	Abu-abu kehitaman	Dense	1.94	-	-	35.11
13.55	33				1.89	-	-	34.46
15.55	30	Lanau berpasir	Abu-abu	Very Stiff	2.00	100.00	66.67	26.67
17.55	26				1.73	-	-	32.17
19.55	23	Pasir berlanau	Abu-abu	Medium dense	1.65	-	-	31.20
21.55	33			dense	1.89	-	-	34.46
23.55	37				1.99	-	-	35.76
25.55	16	Lempungberpasir	Coklat	Very Stiff	1.78	64.00	42.67	31.33
27.55	28	Pasir berlempung	Coklat	Medium dense	1.77	-	-	32.83
29.55	29	Lanau berpasir	Coklat	Very Stiff	2.00	100.00	66.67	26.67
31.55	100		Abu-abu	Hard	2.00	100.00	66.67	26.67
33.55	100		Abu-abu		2.30	-	-	40.00
35.55	100	Pasir	Coklat	Very Dense	2.30	-	-	40.00
37.55	100		Coklat		2.30	-	-	40.00
39.55	100	Batuan pasir	Coklat		2.30	-	-	40.00
40	87	Lempung	Coklat terang	Hard	2.30	100.00	66.67	26.67

Tabel 2.
Rekapitulasi Pembebanan pada Abutment Sisi Utara

Beban	Kode	Gaya			Momen (M)	
		Vertikal (P) P (kN)	Horizontal (H) Arah X (kN)	Arah Y (kN)	Arah X (kN m)	Arah Y (kN m)
Beban Aksi Tetap						
Beban Mati	MS	50220,49			-6954,18	
Beban Tekanan Tanah	TA		0		-109060,62	
Beban Lalu Lintas						
Beban Lajur D	TD	2736,72			1368,36	
Beban Gaya Rem	TB		500.000		6309,50	
Beban Aksi Lingkungan						
Beban Temperatur	ET		26,40		250,88	
Beban Angin Struktur	EWs			12,78		129,71
Beban Angin Kendaraan	EWi			11,68		147,39
Beban Gempa	EQ		21762,21	11732,71	109167,85	58855,90
Beban Tekanan Tanah Dinamis	EQ		7246,17		68495,01	

IV. HASIL DAN KESIMPULAN

A. Pembebanan Abutment Jembatan

Pembebanan dilakukan pada segmen 1 jembatan karena dekat dengan abutment sisi utara dengan panjang balok girder yaitu 16 m dan lebar jembatan 34 m. Hasil pembebanan pada abutment jembatan pada Tabel 2. Selanjutnya, hasil kombinasi pembebanan sesuai peraturan SNI 1725-2016 [4] pada Tabel 3. Kombinasi yang paling besar yaitu pada kombinasi 6, sehingga kombinasi itu yang dijadikan sebagai acuan untuk perencanaan berikutnya.

B. Stabilitas Abutment

Hasil analisa kontrol stabilitas abutment terdiri dari tiga yaitu kontrol guling, kontrol geser dan kontrol daya dukung. Sedangkan faktor keamanan yang disyaratkan SNI 8460:2017 [5] adalah sebagai berikut:

1. Faktor keamanan terhadap guling minimum 2
2. Faktor keamanan terhadap geser lateral minimum 1,5
3. Faktor keamanan terhadap daya dukung minimum 3

1) Kontrol Guling

Rekapitulasi kontrol guling abutment arah X pada Tabel 4 dan arah Y pada Tabel 5.

2) Kontrol Geser

Rekapitulasi kontrol geser abutment arah X pada Tabel 6 dan arah Y pada Tabel 7.

3) Kontrol Daya Dukung Tanah

Data perencanaan perhitungan:

1. Berat volume tanah (γ_{sat}) = 15.464 kN/m³
2. Kohesi tanah (c) = 24.07 kN/m²
3. Sudut geser tanah (ϕ) = 18.02⁰
4. Lebar pile cap (Bx) = 7 m
5. Panjang pile cap (By) = 35 m
6. Kedalaman pile cap dari tanah asli (Df) = 2.4 m
7. Faktor daya dukung:
 - a. Nc = 15.76
 - b. Nq = 6.244
 - c. N γ = 4

Tabel 3.
Hasil Rekapitulasi Pembebanan pada Semua Kondisi

Keadaan batas	Vertikal	Horizontal		Momen	
	P (kN)	arah X (kN)	arah Y (kN)	arah X(kN m)	arah Y(kN m)
Kuat I	55,146.59	926.40	0.00	-101,943.77	0.00
Kuat II	54,051.90	726.40	0.00	-105,014.91	0.00
Kuat III	50,220.49	26.40	17.89	-115,763.92	181.60
Kuat IV	50,220.49	26.40	0.00	-115,763.92	0.00
Kuat V	50,220.49	26.40	16.79	-115,763.92	199.27
Ekstrem I	51,589.35	29,284.78	11,732.71	65,737.87	58,855.90
Ekstrem II	51,588.85	276.40	0.00	-111,924.99	0.00
Daya Layan I	52,957.21	526.40	15.51	-108,086.06	186.30
Daya Layan II	53,778.23	676.40	0.00	-105,782.70	0.00
Daya Layan III	52,409.87	7,672.57	0.00	-109,621.63	0.00
Daya Layan IV	50,220.49	26.40	8.94	-115,763.92	90.80
Fatik	2,052.54	401.40	0.00	6,009.27	0.00

Tabel 4.
SF dari Stabilitas Guling Arah Memanjang Jembatan (X)

KombinasiBeban	P stratas (kN)	P strbawah (kN)	Mmsx (kNm)	Mx (KNm)	MPx (KNm)	SF	Keterangan
Kombinasi 1	4068.76	46151.73	-8988.56	101943.77	164748.77	1.62	GULING
Kombinasi 2	4068.76	46151.73	-8988.56	105014.91	164748.77	1.57	GULING
Kombinasi 3	4068.76	46151.73	-8988.56	115763.92	164748.77	1.42	GULING
Kombinasi 4	4068.76	46151.73	-8988.56	115763.92	164748.77	1.42	GULING
Kombinasi 5	4068.76	46151.73	-8988.56	115763.92	164748.77	1.42	GULING
Kombinasi 6	4068.76	46151.73	-8988.56	65737.87	164748.77	2.51	AMAN
Kombinasi 7	4068.76	46151.73	-8988.56	111924.99	164748.77	1.47	GULING
Kombinasi 8	4068.76	46151.73	-8988.56	108086.06	164748.77	1.52	GULING
Kombinasi 9	4068.76	46151.73	-8988.56	105782.70	164748.77	1.56	GULING
Kombinasi 10	4068.76	46151.73	-8988.56	109621.63	164748.77	1.50	GULING
Kombinasi 11	4068.76	46151.73	-8988.56	115763.92	164748.77	1.42	GULING
Kombinasi 12	4068.76	46151.73	-8988.56	6009.27	164748.77	27.42	AMAN

Tabel 5.
SF dari Stabilitas Guling Arah Memanjang Jembatan (Y)

KombinasiBeban	P stratas (kN)	P strbawah (kN)	Mmsy (kNm)	My (KNm)	MPy (KNm)	SF	Keterangan
Kombinasi 1	4068.76	46151.73	0	0	878858.57	-	-
Kombinasi 2	4068.76	46151.73	0	0	878858.57	-	-
Kombinasi 3	4068.76	46151.73	0	181.595	878858.57	4839.65	AMAN
Kombinasi 4	4068.76	46151.73	0	0	878858.57	-	-
Kombinasi 5	4068.76	46151.73	0	199.27	878858.57	4410.29	AMAN
Kombinasi 6	4068.76	46151.73	0	58855.90	878858.57	14.93	AMAN
Kombinasi 7	4068.76	46151.73	0	0	878858.57	-	-
Kombinasi 8	4068.76	46151.73	0	186.303	878858.57	4717.36	AMAN
Kombinasi 9	4068.76	46151.73	0	0	878858.57	-	-
Kombinasi 10	4068.76	46151.73	0	0	878858.57	-	-
Kombinasi 11	4068.76	46151.73	0	90.79	878858.57	9679.30	AMAN
Kombinasi 12	4068.76	46151.73	0	0	878858.57	-	-

Adapun perhitungan daya dukung tanah (Qult) mengacu pada [2], [6] yaitu:

$$Q_{ult} = (C \times N_c) + (q \times N_q) + (0,5 \times \gamma \times B \times N_\gamma)$$

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{3}$$

$$= (24,067 \times 15,76) + ((15,464 \times 2,4) \times 6,244) + (0,5 \times 15,464 \times 7 \times 4) = 827,476 \text{ kN/m}^2$$

$$= 275,82 \text{ kN/m}^2$$

Tabel 6.
SF dari Stabilitas Guling Arah Memanjang Jembatan (X)

Kombinasi Beban	P (kN)	Tx (kN)	HP(kN)	SF	Keterangan
Kombinasi 1	55146.59	926.40	23838.19	25.73	AMAN
Kombinasi 2	54051.90	726.40	23482.04	32.33	AMAN
Kombinasi 3	50220.49	26.40	22235.50	842.25	AMAN
Kombinasi 4	50220.49	26.40	22235.50	842.25	AMAN
Kombinasi 5	50220.49	26.40	22235.50	842.25	AMAN
Kombinasi 6	51589.35	29284.78	22680.85	0.77	GESER
Kombinasi 7	51588.85	276.40	22680.69	82.06	AMAN
Kombinasi 8	52957.21	526.40	23125.88	43.93	AMAN
Kombinasi 9	53778.23	676.40	23393.00	34.58	AMAN
Kombinasi 10	52409.87	7672.57	22947.81	2.99	AMAN
Kombinasi 11	50220.49	26.40	22235.50	842.25	AMAN
Kombinasi 12	2052.54	401.40	6564.12	16.35	AMAN

Tabel 7.
SF dari Stabilitas Guling Arah Memanjang Jembatan (Y)

Kombinasi Beban	P (kN)	Ty (kN)	HP(kN)	SF	Keterangan
Kombinasi 1	55146.59	0.00	23838.19	-	-
Kombinasi 2	54051.90	0.00	23482.04	-	-
Kombinasi 3	50220.49	17.89	22235.50	1243.19	AMAN
Kombinasi 4	50220.49	0.00	22235.50	-	-
Kombinasi 5	50220.49	16.79	22235.50	1324.31	AMAN
Kombinasi 6	51589.35	11732.71	22680.85	1.93	AMAN
Kombinasi 7	51588.85	0.00	22680.69	-	-
Kombinasi 8	52957.21	15.51	23125.88	1490.77	AMAN
Kombinasi 9	53778.23	0.00	23393.00	-	-
Kombinasi 10	52409.87	0.00	22947.81	-	-
Kombinasi 11	50220.49	8.94	22235.50	2486.37	AMAN
Kombinasi 12	2052.54	0.00	6564.12	-	-

Tabel 8.
SF dari Stabilitas Daya Dukung Tanah

Kombinasi Beban	P (kN)	Mx (kNm)	My (KNm)	qmax (KN)	SF	Keterangan
Kombinasi 1	55146.59	101943.77	0	581.74	0.474	Tidak Aman
Kombinasi 2	54051.90	105014.91	0	588.02	0.469	Tidak Aman
Kombinasi 3	50220.49	115763.92	181.60	610.11	0.452	Tidak Aman
Kombinasi 4	50220.49	115763.92	0	609.99	0.452	Tidak Aman
Kombinasi 5	50220.49	115763.92	199.27	610.13	0.452	Tidak Aman
Kombinasi 6	51589.35	65737.87	58855.90	481.74	0.573	Tidak Aman
Kombinasi 7	51588.85	111924.99	0.00	602.14	0.458	Tidak Aman
Kombinasi 8	52957.21	108086.06	186.30	594.43	0.464	Tidak Aman
Kombinasi 9	53778.23	105782.70	0.00	589.59	0.468	Tidak Aman
Kombinasi 10	52409.87	109621.63	0.00	597.43	0.462	Tidak Aman
Kombinasi 11	50220.49	115763.92	90.80	610.05	0.452	Tidak Aman
Kombinasi 12	2052.54	6009.27	0.00	29.40	9.381	Aman

Adapaun rumus tegangan yang terjadi pada dasar pile cap (q_{max}) yaitu:

$$q_{max} = \frac{P}{A} + \frac{Mx}{\frac{1}{6}Bx^2 \cdot By} + \frac{My}{\frac{1}{6}By^2 \cdot Bx}$$

Adapun rekapitulasi SF dari stabilitas daya dukung terhadap semua kombinasi beban disajikan pada Tabel 8.

$$SF = \frac{Q_{all}}{q_{max}}$$

Berdasarkan hasil kontrol stabilitas abutment terhadap kombinasi pembebanan 6, diperoleh:

1. Aman terhadap guling
2. Tidak aman terhadap geser
3. Tidak aman terhadap daya dukung tanah

Tabel 9.
Rekapitulasi Perencanaan Pondasi Abutment

Kode	D80	D300
Jenis Pondasi	Pondasi Bored Pile	Pondasi Sumuran
Konfigurasi	3x14	1x4
Jumlah (n)	42	4
Diameter (m)	0.8	3
Jarak antar pondasi (m)	2.5 s/d 2.75	9
Kedalaman dari muka tanah asli(m)	21	8
Panjang pondasi dari dasarabutment (m)	19	6
NSPT tanah dasar	30.3	28
Jenis tanah dasar	Silty Sand	Sandy Silt
Kombinasi Pembebanan	Kombinasi 6	Kombinasi 6
Pu (kN)	51589.35	51589.35
Hx (kN)	29284.78	29284.78
Hy (kN)	11732.71	11732.71
Mx (kN.m)	65737.87	65737.87
My (kN.m)	58855.90	58855.90
Pmax 1 pondasi (kN)	2320.50	15088.60
Daya dukung izin tunggal (kN)	2333.23	15394.05
Kontrol Pmax < Daya dukung izin	OK	OK
Kapasitas Material (kN)	2405.21	54946.37
Kontrol Pmax < KapasitasMaterial	OK	OK
Syarat Rasio Tulangan terhadap penampang (1% - 6%)	4.38%	2.86%
Kontrol Rasio Tulangan	OK	OK
SF Kapasitas Material > 1.5	1.96	4.26
Efisiensi tiang (Ce)	0.995	0.997
Daya dukung pondasi grup (kN)	97503.82	61411.08
Defleksi 1 pondasi (cm)	0.702	0.38
Defleksi Izin 1 pondasi (cm)	2.50	2.5
Kontrol Defleksi < Defleksi Izin	OK	OK
Gaya Horizontal Max 1 pondasi(ton)	75.11	788.69
Gaya Horizontal Izin 1 pondasi (ton)	95.61	1534.20
Kontrol Gaya Horizontal Max < Gaya Horizontal Izin	OK	OK
Momen pada 1 pondasi (kN.m)	1307.09	48712.44
Momen izin 1 pondasi (kN.m)	1897.68	65944.05
Kontrol Momen 1 pondasi <Momen izin 1 pondasi	OK	OK

Tabel 10.
Hasil Perhitungan Total Panjang Geotextile pada Lereng Timbunan Kondisi Eksisting

Geotextileke	Le(m)	Lr (m)	Sv(m)	Lo(m)	L total 1 sisi timbunan (m)	L total 2 sisi timbunan (m)
1	1.00	18.88	3.00	0.50	23.38	46.76
2	1.00	17.81	3.00	0.50	22.31	44.62
3	1.00	12.71	3.00	0.50	17.21	34.42
4	1.00	10.89	3.00	0.50	15.39	30.78
5	1.00	8.85	3.00	0.50	13.35	26.7
Panjang geotextile						183.28

Tabel 11.
Hasil Perhitungan Total Panjang Geotextile pada Lereng Timbunan Kondisi Eksisting

Geotextileke	Le(m)	Lr (m)	Sv(m)	Lo(m)	L total 1 sisi timbunan (m)	L total 2 sisi timbunan (m)
1	1.00	18.53	2.00	0.50	22.03	44.06
2	1.00	17.55	2.00	0.50	21.05	42.1
3	1.00	16.41	2.00	0.50	19.91	39.82
4	1.00	15.13	2.00	0.50	18.63	37.26
5	1.00	13.73	2.00	0.50	17.23	34.46
6	1.00	12.24	2.00	0.50	15.74	31.48
7	1.00	10.66	2.00	0.50	14.16	28.32
Panjang geotextile						257.50

Agar abutment tetap stabil dan aman, diperlukan pondasi di bawah abutment dengan alternatif pondasi *bored pile* atau pondasi sumuran.

C. Perencanaan Pondasi Abutment

Perencanaan alternatif pondasi mengacu pada sumber [7-8] dan untuk perencanaan menggunakan diameter 80 cm

pada Gambar 6, untuk pondasi bored pile dan diameter 300 cm pada Gambar 7 untuk pondasi sumuran. Rekap hasil analisa perencanaan pondasi pada Tabel 9.

D. Perencanaan Perkuatan Timbunan Oprit

Perencanaan perkuatan timbunan oprit [6-8] dilakukan pada beberapa variasi lereng yaitu sebagai berikut:

Tabel 12.
Hasil Perhitungan Total Panjang Geotextile pada Lereng Timbunan Variasi 1:1

Geotextileke	Le(m)	Lr (m)	Sv(m)	Lo(m)	L total 1 sisi timbunan(m)	L total 2 sisi timbunan(m)
1	1.00	10.29	0.95	0.50	12.74	25.48
2	1.00	10.31	0.95	0.50	12.76	25.52
3	1.00	10.19	0.95	0.50	12.64	25.28
4	1.00	10	0.95	0.50	12.45	24.9
5	1.00	9.7	0.95	0.50	12.15	24.3
6	1.00	9.35	0.95	0.50	11.80	23.6
7	1.00	8.93	0.95	0.50	11.38	22.76
8	1.00	8.45	0.95	0.50	10.90	21.8
9	1.00	7.92	0.95	0.50	10.37	20.74
10	1.00	7.35	0.95	0.50	9.80	19.6
Panjang geotextile						233.98

Tabel 13.
Hasil Perhitungan Total Panjang Geotextile pada Lereng Timbunan Tegak

Z (m)	Le pakai (m)	Lr (m)	Sv (m)	Lo (m)	L total 1 sisi timbunan (m)	L total 2 sisi timbunan (m)
0.5	1	8.65	0.5	0.5	10.65	21.3
1	1	8.62	0.5	0.5	10.62	21.24
1.5	1	8.57	0.5	0.5	10.57	21.14
2	1	8.49	0.5	0.5	10.49	20.98
2.5	1	8.39	0.5	0.5	10.39	20.78
3	1	8.27	0.5	0.5	10.27	20.54
3.5	1	8.12	0.5	0.5	10.12	20.24
4	1	7.94	0.5	0.5	9.94	19.88
4.5	1	7.74	0.5	0.5	9.74	19.48
5	1	7.51	0.5	0.5	9.51	19.02
5.5	1	7.25	0.5	0.5	9.25	18.5
6	1	6.96	0.5	0.5	8.96	17.92
6.5	1	6.63	0.5	0.5	8.63	17.26
7	1	6.26	0.5	0.5	8.26	16.52
7.5	1	5.85	0.5	0.5	7.85	15.7
8	1	5.38	0.5	0.5	7.38	14.76
Panjang geotextile						305.26

Tabel 14.
Rekap Analisa Harga Geotextile dan Lahan yang Digunakan

Jenis Timbunan	Kebutuhan geotextile / 100 m / 100 m jalan (m2)	Kebutuhan lahan / 100 m jalan (m2)	Harga Geotextile/m2	Satuan Harga tanah/m2	Total Harga Geotextile	Total Harga Lahan	Total Harga
Kondisi Eksisting	18328	6896	Rp9,500.00	Rp3,000,000.00	Rp174,116,000.00	Rp20,688,000,000.00	Rp20,862,116,000.00
Variasi 1:2	25750	6181	Rp9,500.00	Rp3,000,000.00	Rp244,625,000.00	Rp18,543,000,000.00	Rp18,787,625,000.00
Variasi 1:1	23398	4581	Rp9,500.00	Rp3,000,000.00	Rp222,281,000.00	Rp13,743,000,000.00	Rp13,965,281,000.00
Kondisi Tegak	30526	2981	Rp36,500.00	Rp3,000,000.00	Rp1,114,199,000.00	Rp8,943,000,000.00	Rp10,057,199,000.00

1) Perencanaan pada Timbunan Eksisting

Berikut hasil analisa stabilitas dari timbunan eksisting menggunakan program bantu Geo5 pada Gambar 8 yaitu:

1. Nilai SF = 1.32 < 1.5
2. Momen resisting (MR) = 16066.07 kN.m
3. Titik pusat kelongsoran:
 - a. X = 18.89 m
 - b. Z = 54.85 m
 - c. R = 17.9 m

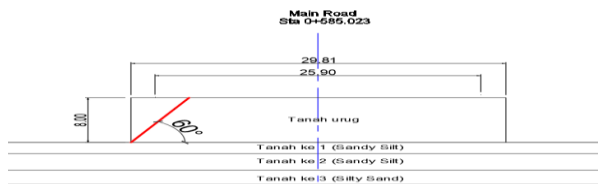
Dari hasil analisa tersebut, didapat bahwa nilai SF timbunan < 1.5 maka supaya timbunan tetap stabil dapat diperkuat geotextile yang hasilnya direkap ke dalam Tabel 10 dan pada Gambar 9 disajikan skema pemasangan geotextile.

2) Perencanaan pada Variasi Timbunan 1:2

Berikut hasil analisa stabilitas dari timbunan variasi 1:2 menggunakan program bantu Geo5 pada Gambar 10 yaitu:

1. Nilai SF = 1.23 < 1.5
2. Momen resisting (MR) = 14682.95 kN.m
3. Titik pusat kelongsoran:
 - a. X = 21.90 m
 - b. Z = 51.45 m
 - c. R = 15.34 m

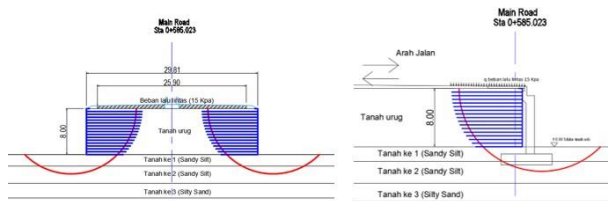
Dari hasil analisa stabilitas timbunan variasi 1:2 menggunakan Geo5, didapat bahwa nilai SF timbunan < 1.5 maka supaya timbunan tetap stabil dapat diperkuat geotextile yang hasilnya direkap kedalam Tabel 11 dan pada Gambar 11 disajikan skema pemasangan geotextile.



Gambar 14. Bidang Longsor dari Perumusan Teori Rankine.



Gambar 15. Hasil Analisa Kestabilan Lereng Timbunan Kondisi Tegak.



Gambar 16. Ilustrasi Pemasangan Geotextile pada Lereng Timbunan Tegak Arah Melintang dan Memanjang.

3) *Perencanaan pada Variasi Timbunan 1:1*

Berikut hasil analisa stabilitas dari timbunan variasi 1:1 menggunakan program bantu Geo5 pada Gambar 12 yaitu:

1. Nilai SF = 0.99 < 1.5
2. Momen resisting (MR) = 8314.69 kN.m
3. Titik pusat kelongsoran:
 - a. X = 23.66 m
 - b. Z = 49.08 m
 - c. R = 12.24 m

Dari hasil analisa stabilitas timbunan eksisting menggunakan Geo5, didapat bahwa nilai SF timbunan < 1.5 maka supaya timbunan tetap stabil dapat diberi perkuatan geotextile yang hasilnya direkap kedalam Tabel 12 dan pada Gambar 13 disajikan skesta pemasangan geotextile.

4) *Perencanaan pada Variasi Timbunan Tegak*

Untuk penentuan bidang longsor pada timbunan variasi tegak dapat menggunakan Teori Rankine, dimana sudut kelongsoran dapat dicari menggunakan rumus $(45^\circ + \phi/2)$. Bentuk bidang longsor pada Gambar 14. Namun pada perencanaan ini juga dilakukan analisa kelongsoran menggunakan Geo5, dimana bentuk bidang longsor berupa setengah lingkaran pada Gambar 15 dengan hasil sebagai berikut:

1. Nilai SF = 0.67 < 1.5
2. Momen resisting (MR) = 4342.63 kN.m
3. Titik pusat kelongsoran:
 - a. X = 26.90 m
 - b. Z = 47.98 m
 - c. R = 11.34 m

Untuk acuan penentuan panjang geotextile yang digunakan yaitu bidang longsor dari Geo5, karena sudah mencakup

bidang longsor dari Teori Rankine. Rekap perhitungan kebutuhan geotextile pada Tabel 13. Untuk timbunan oprit arah memanjang jumlah kebutuhan geotextilnya sama dengan L total 1 sisi timbunan sepanjang 152.63 m, sketsa pemasangan pada Gambar 16. Untuk rekap harga kebutuhan material dan lahan pada Tabel 14.

V. KESIMPULAN

Perencanaan alternatif pondasi abutment jembatan yang memenuhi kategori aman terhadap semua kontrol-kontrol yaitu pondasi bored pile D80, memiliki kedalaman 19 m dari dasar pile cap, berjumlah 42 buah dalam 1 abutment dan pondasi sumuran D300, memiliki kedalaman 6 m dari dasar pile cap, berjumlah 4 buah dalam 1 abutment. Pada analisa harga material untuk pondasi bored pile D80 menghabiskan dana sebanyak Rp1,525,088,044.37 dan pondasi sumuran D300 sebanyak Rp486,894,208.21. Dipilih pondasi yang aman dan efisien yaitu pondasi sumuran D300. Digunakan T ult geotextile sebesar 52 kN/m dengan kebutuhan geotextile pada timbunan kondisi eksisting sebanyak 5 lapis geotextile, untuk variasi 1:2 sebanyak 7 lapis geotextile, dan kondisi lereng 1:1 membutuhkan 10 lapis geotextile. Untuk timbunan tegak menggunakan T ult 200 kN/m dengan jumlah 16 lapis geotextile.

Hasil analisa harga material geotextile dan kebutuhan lahan didapat bahwa alternatif paling efektif yaitu pada timbunan kondisi tegak pada sisi melintang dikarenakan bila diasumsikan pembangunan per 100 m jalan, maka timbunan kondisi tegak menghabiskan biaya material dan lahan sebesar Rp10,057,199,000.00. Hal ini lebih murah apabila dibandingkan dengan kondisi timbunan yang lain. Timbunan oprit tegak arah memanjang menggunakan geotextile sebanyak 16 lapis dengan T ult 200 kN/m, dengan total panjang geotextile 152,63 m dan bila dikalikan dengan lebar jalan 29.8 m menjadi sebanyak 4549.9 m². Hasil perkuatan arah memanjang jumlahnya sama dengan arah melintang karena tinggi timbunan sama yaitu 8 m.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. K. Bowles, Joseph E and Hainim, "Sifat-sifat fisis dan geoteknis tanah (mekanika tanah)," Erlangga, Jakarta, 1984.
- [2] I. Braja, M Das and Endah, Noor and B Mochtar, "Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2," Erlangga, Jakarta, 1985.
- [3] B. G. Look, "Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables". Taylor & Francis, 2007.
- [4] Badan Standarisasi Nasional Indonesia, "Pembebanan untuk Jembatan," Badan Standarisasi Nasional Indonesia, SNI, vol. 1725, p. 2016, Jakarta, 2016.
- [5] Badan Standarisasi Nasional Indonesia, "Persyaratan Perancangan Geoteknik," Badan Standarisasi Nasional Indonesia, SNI, vol. 8460, p. 2017, Jakarta, 2017.
- [6] C. H. Hary, "Analisis dan perancangan fondasi II," Gadjah Mada University Press., Yogyakarta, 2011.
- [7] D. M. Mechanics, "Foundations and earth structures," NAVFAC DM-7, Dept of the Navy, Naval Facilities Engineering Command, Washington DC, 1971.
- [8] T. R. Saputra, Pungky Aditya and Suwarno, Suwarno and Satrya, "Alternatif perencanaan abutment dan oprit fly over Kandangan, Surabaya, Jawa Timur," Jurnal Transportasi Sistem Material dan Infrastruktur, vol. 1, pp. 88–94, 2019.