

# Perencanaan Alternatif Pondasi dan Perbaikan Tanah Dasar pada Timbunan Oprit Jembatan Bandar Ngalim Kota Kediri

Muhammad Burhanudin, Trihanyndio Rendy Satrya, dan Suwarno  
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail*: trendysatrya@its.ac.id

**Abstrak**—Proyek KPBU (Kerja Sama Pemerintah dengan Badan Usaha) sedang gencar dilakukan oleh Kementerian PUPR salah satunya adalah proyek penggantian dan/atau duplikasi 37 Jembatan yang ada di Pulau Jawa. Salah satu jembatan yang masuk dalam proyek KPBU adalah Jembatan Bandar Ngalim. Jembatan tersebut memiliki panjang 148.4 m dengan struktur utama berupa *steel box girder* yang ditopang oleh 2 pilar dan 2 *abutment*. Di belakang *abutment*, direncanakan tinggi timbunan oprit pada *abutment 1* dan *abutment 2* adalah masing-masing 1.7 m dan 2.17 m dengan kemiringan rencana 1:2. Tanah pada BH-01 jembatan merupakan tanah lanau kelempungan dengan konsistensi medium; tanah pada BH-02 terdapat tanah pasir sampai kedalaman 7 m dan dilanjutkan lempung sampai kedalaman 30 m; tanah pada BH-03 didominasi oleh lempung kepasiran sampai dengan kedalaman 28 m dan dilanjutkan oleh pasir sampai kedalaman 30 m; dan tanah pada BH-04 didominasi oleh lempung sampai kedalaman 10 m. Pada jembatan eksisting ditopang pondasi dengan jenis *bored pile* dengan diameter 1 m. Dari hasil perencanaan, diperoleh alternatif pondasi yang aman, kuat, dan efisien adalah pondasi spun pile dengan diameter 80 cm. Jumlah, kedalaman, dan harga berurutan dari A1; P1; P2; dan A2 yaitu 18 buah, 12 m, Rp140.400.000; 15 buah, 24 m, Rp234.000.000; 15 buah, 20 m, Rp195.000.000; dan 18 buah, 15 m, Rp175.500.000. Timbunan oprit A1 dan A2 keduanya tidak membutuhkan perbaikan tanah dasar karena memiliki *rate of settlement* 1.37 dan 1.36 cm/tahun kurang dari yang diizinkan yaitu 2 cm/tahun. Berdasarkan cek *overall stability* dalam kondisi *undrained*, timbunan oprit A1 dan A2 memiliki *safety factor* 1.9 dan 2.2 lebih dari 1.5 sehingga lereng timbunan tidak membutuhkan suatu perkuatan (geotextile). Dari cek Hkritis, didapatkan untuk timbunan oprit A1 dan A2 adalah 8.68 m dan 8.2 m yang masing-masing sudah melebihi tinggi timbunan eksisting 1.7 m dan 2.17 m sehingga tidak membutuhkan proses timbunan bertahap.

**Kata Kunci**—Pondasi, Proyek KPBU, *Rate of Settlement*, Spun Pile, Timbunan Oprit.

## I. PENDAHULUAN

PROYEK KPBU (Kerja Sama Pemerintah dengan Badan Usaha) saat ini sedang gencar dilakukan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). Proyek KPBU ini direncanakan mengganti dan/atau menduplikasi 37 jembatan yang ada di Pulau Jawa salah satunya Jembatan Bandar Ngalim. Jembatan ini menghubungkan sisi timur dan sisi barat Kota Kediri dan sudah berusia lebih dari 48 tahun. Jembatan memiliki struktur utama berupa *steel box girder* yang membentang sepanjang 148.4 m yang terdiri dari 3 segmen. Segmen 1 dan 3 memiliki panjang 30.55 m dan segmen 2 memiliki panjang 71.1 m.

Tanah dasar di BH-01 dan BH-04 didominasi tanah lunak lanau kelempungan dengan konsistensi medium sampai kedalaman 9 m sedangkan pada BH-02 dan BH-03 memiliki

kedalaman tanah keras di 30 m dan 24 m. Pada proyek eksisting, direncanakan pondasi jenis *bored pile* diameter 1 m dengan konfigurasi 3×4. Tinggi timbunan oprit A1 dan A2 adalah 1.7 dan 2.17 m dengan kemiringan rencana 1:2 dan panjang timbunan adalah 18 dan 16.5 m. Oleh karena itu, perlu direncanakan pondasi alternatif yang aman dan efisien. Selain itu, perlu direncanakan perbaikan tanah dasar di bawah timbunan oprit jembatan serta perkuatannya apabila kemiringan sisi timbunan oprit dibuat bervariasi untuk mendapatkan perencanaan yang paling optimum.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Korelasi Tanah Dasar

Pada data tanah yang diperoleh, tidak terdapat hasil tes laboratorium sehingga perlu dilakukan korelasi tanah dasar untuk mendapatkan beberapa parameter tanah dasar yang dibutuhkan seperti  $\gamma, \phi, Cu, Cc, Cs, Cv, LL$ . Korelasi tersebut menggunakan beberapa tabel seperti dari J.E.Bowless, Burt G. Look, Biarez & Favre, dan NAVFAC [1]. Dalam merencanakan suatu pondasi, diperlukan suatu identifikasi terhadap susunan lapisan yang sebenarnya pada lokasi perencanaan, uji laboratorium dari sampel tanah yang diambil pada berbagai kedalaman lapisan tanah, dan hasil observasi tanah dari pembangunan struktur pada kondisi tanah yang mirip [2].

### B. Pemampatan Tanah Dasar akibat Beban di Atasnya

Perhitungan pemampatan pada tanah lempung adalah sebagai berikut:

1. Tanah terkonsolidasi normal (*NC Soil*) dengan  $OCR = 1$

$$S_{ci} = \frac{H}{1+e_0} \left[ Cc \log \left( \frac{\sigma' + \sigma \Delta}{\sigma'} \right) \right] \quad (1)$$

2. Tanah terkonsolidasi berlebih (*OC Soil*) dengan  $OCR > 1$

$$\text{jika } (\sigma' + \Delta\sigma) \leq \sigma$$

$$S_{ci} = \frac{H}{1+e_0} \left[ Cs \log \left( \frac{\sigma' + \sigma \Delta}{\sigma'} \right) \right] \quad (2)$$

$$\text{jika } (\sigma' + \Delta\sigma) > \sigma$$

$$S_{ci} = \frac{H}{1+e_0} \left[ Cs \log \left( \frac{\sigma'}{\sigma'} \right) + (Cc \log \left( \frac{\sigma' + \sigma \Delta}{\sigma'} \right)) \right] \quad (3)$$

Dengan

$$OCR = \frac{\sigma'}{\sigma'} \quad (4)$$

$$\sigma' = \sigma' + \Delta\sigma_{MAT} \quad (5)$$

Tabel 1.  
Hubungan derajat konsolidasi dengan faktor waktu

Derajat Konsolidasi (U%)	Faktor Waktu (Tv)
0	0
10	0.008
20	0.031
30	0.071
40	0.126
50	0.197
60	0.287
70	0.403
80	0.567
90	0.848
100	-

Tabel 2.  
Batas penurunan untuk timbunan pada umumnya sesuai kelas jalan

Kelas Jalan	Penurunan yang Disyaratkan selama Masa Konstruksi S/Stot	Kecepatan Penurunan setelah Konsolidasi (mm/tahun)
I	>90%	<20
II	>85%	<25
II	>80%	<30
IV	>75%	<30

$$\Delta\sigma = \frac{q_0}{\pi} \left[ \left( \frac{B_1+B_2}{B_1} \right) (\alpha_1 + \alpha_2) - \frac{B_1}{B_2} \alpha_2 \right] \tag{6}$$

Ilustrasi mencari tambahan tegangan pada suatu titik dapat dilihat pada Gambar 1. Setelah mendapatkan besar pemampatan yang terjadi, dilakukan perhitungan waktu pemampatan yang diperlukan untuk menyelesaikan pemampatan tersebut. Lama waktu pemampatan ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$t = \frac{T_v(H_{dr})^2}{C_{vgabungan}} \tag{7}$$

Dengan:

$T_v$  = faktor waktu didapatkan dari Tabel 1.

$H_{dr}$  = panjang lapisan yang terpengaruh dan mengalami pemampatan (0.5H untuk lapisan *double drainage* dan H untuk lapisan *single drainage*)

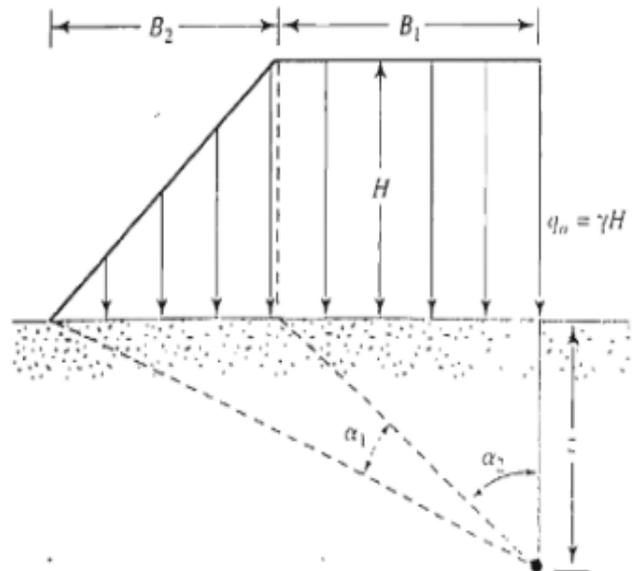
$$C_{vgabungan} = \frac{[H_1+H_2+\dots+H_n]^2}{\left[ \frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}} \right]^2} \tag{8}$$

Jika lama waktu pemampatan yang dibutuhkan dihasilkan sangat lama melebihi waktu proyek berlangsung, maka akan direncanakan suatu perbaikan tanah dasar dengan menggunakan PVD. Namun sebelum itu, perlu di cek terkait dengan *rate of settlement* yang terjadi. Jika *rate of settlement* sudah kurang dari maksimal yang diisyaratkan, maka tidak perlu direncanakan PVD. Syarat *rate of settlement* dapat dilihat pada Tabel 2.

### C. Stabilitas Timbunan

Sesuai dengan SNI 8460:2017, beban lalu lintas untuk analisis stabilitas timbunan adalah sebesar 15 kPa untuk kelas jalan I. Akan tetapi untuk analisis saat masa konstruksi berlangsung, akan digunakan beban sebesar 35 kPa yaitu beban alat berat yang bekerja pada timbunan oprit.

Analisis stabilitas timbunan dilakukan menggunakan dua pendekatan yaitu keseimbangan batas (*limit equilibrium*) dan elemen hingga (*finite element*). Keduanya menggunakan program bantu untuk proses analisisnya. Nilai faktor keamanan yang digunakan sebagai syarat minimum adalah 1.5.



Gambar 1. Ilustrasi mencari tambahan tegangan pada suatu titik akibat tinggi timbunan.

### D. Perencanaan Abutmen dan Pilar

#### 1) Pembebanan

Berdasarkan SNI 1725:2016, beban yang harus diperhitungkan untuk perencanaan abutmen adalah beban mati dan tambahan, tekanan tanah, lajur “D”, pejalan kaki, temperatur, angin, gempa, dan tekanan tanah dinamis. Sedangkan pada perencanaan pilar beban yang diperhitungkan adalah sama dengan abutmen kecuali tekanan tanah dan tekanan tanah dinamis serta terdapat beban tambahan berupa arus dan hanyutan.

#### 2) Kombinasi Pembebanan Struktur

Beban yang sudah diperhitungkan kemudian di rekap dan dikalikan dengan faktor beban yang ada pada SNI 1725:2016 Pasal 5.8. Kombinasi tersebut akan digunakan dalam perhitungan struktur seperti perhitungan penulangan. Dalam perencanaan struktur juga perlu diketahui terhadap beban gempa yang ada sesuai dengan SNI 2833:2016.

#### 3) Kombinasi Pembebanan Geoteknik

Berbeda dengan kombinasi pada struktur. Pada perhitungan konfigurasi pondasi digunakan kombinasi yang berbeda. Tidak ada faktor beban yang mengalikannya karena dalam perhitungan geoteknik sudah digunakan faktor keamanan pada daya dukung tanahnya.

### E. Perencanaan Pondasi Dalam

#### 1) Daya Dukung Tanah

Pertama, dilakukan koreksi NSPT terhadap muka air tanah dan tegangan *overburden* tanah. Setelah itu akan didapatkan  $N_2$  atau  $N_{pakai}$  yang digunakan dalam perhitungan perencanaan pondasi dalam selanjutnya.

Kedua, dilakukan perhitungan daya dukung tanah menggunakan persamaan Luciano Decourt dan Meyerhof yang kemudian nantinya akan dicari hasil terkritis.

$$Q_L = Q_P + Q_S \tag{9}$$

$$Q_L = \alpha N_P K A_P + \beta \left( \frac{N_S}{3} + 1 \right) A_S \dots Luciano Decourt \tag{10}$$

Tabel 3.  
Hasil korelasi tanah dasar pada BH-01

Range Kedalaman (m)	NAVG	Jenis Tanah	$\gamma_{SAT}$ t/m <sup>3</sup>	Cc	Cv cm <sup>2</sup> /s	$\phi$ °	Cu t/m <sup>2</sup>
0 - 1	7	Pasir Kelanauan	1.3			31	0
1 - 7	10	Lanau Kelempungan	1.53	0.651	0.00025	12.58	3.2
7 - 9.5	18	Lanau Kepasiran	1.84	0.449	0.00084	21.56	11.73
9.5 - 13	32	Lanau Kepasiran	2	0.297	0.00382	25	26.67
13 - 18	43	Pasir Kelanauan	2.13			40.20	0
18 - 20	54	Pasir Kelanauan	2.3			43	0
20 - 24	58	Lanau Kepasiran	2	0.297	0.00382	25	54.4
24 - 32	60	Pasir Kelanauan	2.3			43	0

Tabel 4.  
Hasil korelasi tanah dasar pada BH-02

Range Kedalaman (m)	NAVG	Jenis Tanah	$\gamma_{SAT}$ t/m <sup>3</sup>	Cc	Cv cm <sup>2</sup> /s	$\phi$ °	Cu t/m <sup>2</sup>
0 - 7	7	Pasir Kelanauan	1.3			31	0
7 - 14	14	Lempung	1.59	0.651	0.00036	13.93	4.48
14 - 22	22	Lempung Kepasiran	1.93	0.404	0.00099	25	16
22 - 29	37	Lempung Kepasiran	2	0.297	0.00382	25	32
29 - 35	60	Pasir	2.3			43	0

Tabel 5.  
Hasil korelasi tanah dasar pada BH-03

Range Kedalaman (m)	NAVG	Jenis Tanah	$\gamma_{SAT}$ t/m <sup>3</sup>	Cc	Cv cm <sup>2</sup> /s	$\phi$ °	Cu t/m <sup>2</sup>
0 - 2	13	Pasir	1.46			32.45	0
2 - 7	14	Lempung	1.59	0.651	0.00036	13.93	4.48
7 - 10	17	Lempung	1.82	0.454	0.00080	20.44	10.67
10 - 23	29	Lempung Kepasiran	2	0.297	0.00382	25	23.47
23 - 30	57	Pasir	2.3			43	0

Tabel 6.  
Hasil korelasi tanah dasar pada BH-04

Range Kedalaman (m)	NAVG	Jenis Tanah	$\gamma_{SAT}$ t/m <sup>3</sup>	Cc	Cv cm <sup>2</sup> /s	$\phi$ °	Cu t/m <sup>2</sup>
0 - 1	8	Pasir Kerikil	1.33			31.33	0
1 - 10	9	Lanau Kepasiran	1.52	0.651	0.00023	12.24	2.88
10 - 12	18	Pasir Kelanauan	1.56			33.2	0
12 - 20	44	Lanau Kepasiran	2	0.297	0.00382	25	39.47
20 - 26	58	Pasir Kelanauan	2.3			43	0
26 - 27	60	Lanau Kepasiran	2	0.297	0.00382	25	56.53
27 - 32	60	Pasir Kelanauan	2.3			43	0

$$Q_L = 40 NA_p + \left(\frac{A_s N_{AVG}}{2 \text{ atau } 5}\right) \dots \text{Mayerhoff} \tag{11}$$

$$P = \frac{\sum V}{m \times n} + \frac{M_x Y_i}{\sum_{i=1}^n Y_i^2} + \frac{M_y X_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2} \tag{12}$$

Ketiga, dilakukan perhitungan P (beban) yang dapat diterima 1 tiang dengan menggunakan persamaan (12). Keempat, dilakukan perhitungan daya dukung pondasi dalam grup. Dihitung nilai efisiensi tiang dalam grup yang nantinya akan dikalikan dengan daya dukung 1 tiang. Terdapat 2 rumusan efisiensi yaitu Converse dan Los Angeles yang tertera pada persamaan (13) dan (14).

$$C_e = 1 - \frac{a \tan \frac{D}{90^\circ}}{2} \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right) \dots \text{Converse} \tag{13}$$

$$C_e = 1 - \frac{D}{\pi S_{AVG} m n} (m(n-1) + (4(m-1)(n-1))) \tag{14}$$

2) Kontrol Pondasi Dalam

Terdapat berbagai kontrol yang dilakukan agar pondasi yang direncanakan sudah aman, yaitu kontrol beban

maksimum dan minimum 1 tiang, kontrol daya dukung pondasi dalam grup, kontrol gaya vertikal maksimum, kontrol gaya horizontal maksimum, kontrol defleksi pondasi, kontrol momen maksimum.

III. METODOLOGI

Langkah-langkah pengerjaan Tugas Akhir ini dimulai dengan studi literatur, pengumpulan data sekunder, dan analisis data tanah. Kemudian dilanjutkan dengan dua proses perencanaan yang pertama adalah perencanaan pondasi pilar dan abutmen dan yang kedua adalah perencanaan timbunan oprit. Perencanaan pondasi pilar dan abutmen menggunakan dua variasi diameter yaitu D600 mm dan D800 mm kemudian direncanakan kedalaman tiang, daya dukung, konfigurasi, dan kontrol terkait daya dukung, kapasitas material, dan defleksi. Kemudian dicari biaya kebutuhan material pondasi untuk memilih diameter yang digunakan. Perencanaan timbunan oprit dimulai dengan evaluasi stabilitas timbunan oprit eksisting, apabila sudah memenuhi SF maka tidak memerlukan perkuatan timbunan dan sebaliknya. Kemudian

Tabel 7.

Rekapitulasi kombinasi pembebanan (struktur) pada abutmen A1

Kombinasi	Gaya Vertikal (kN)	Gaya Horizontal (kN)		Momen (kN.m)	
		Arah-X	Arah-Y	Arah-Y	Arah-X
Kuat 1	17385.22	1436.31	0.00	10351.40	0.00
Kuat 2	16422.83	1346.31	0.00	8430.79	0.00
Kuat 3	13054.48	1031.31	41.06	1708.65	173.27
Kuat 4	13054.48	1031.31	0.00	1708.65	0.00
Kuat 5	13054.48	1031.31	34.03	1708.65	215.41
Ekstrem I	15460.45	7659.88	2879.90	12821.69	14651.76
Ekstrem II	14257.47	1119.26	0.00	4040.68	0.00
Daya Layan I	15460.45	1256.31	31.10	6510.18	203.03
Daya Layan II	16182.24	1323.81	0.00	7950.64	0.00
Daya Layan III	14979.25	1211.31	0.00	5549.87	0.00
Daya Layan IV	13054.48	1031.31	20.53	1708.65	86.63
Fatik	1804.47	168.75	0.00	3601.14	0.00

Tabel 8.

Rekapitulasi kombinasi pembebanan (geoteknik) pada abutmen A1

Kombinasi	Gaya Vertikal (kN)	Gaya Horizontal (kN)		Momen (kN.m)	
		Arah-X	Arah-Y	Arah-Y	Arah-X
1	15460.45	1231.76	0.00	6441.44	0.00
2	13054.48	1027.22	51.63	1697.20	289.66
3	15460.45	1252.22	51.63	6498.72	289.66
4	13054.48	6428.12	2879.90	6295.43	14651.76

Tabel 9.

Rekapitulasi verifikasi stabilitas menyeluruh abutmen A1 sebelum dan setelah dipasang pondasi

Kombinasi	SF tanpa Pondasi	SF dengan Pondasi	Cek SF > 1.5
1	0.84	2.95	OK
2	0.87	3.12	OK
3	0.84	2.95	OK
4	0.87	3.12	OK

Tabel 10.

Rekapitulasi kombinasi pembebanan (struktur) pada abutmen A2

Kombinasi	Gaya Vertikal (kN)	Gaya Horizontal (kN)		Momen (kN.m)	
		Arah-X	Arah-Y	Arah-Y	Arah-X
Kuat 1	17385.22	1443.49	0.00	10354.35	0.00
Kuat 2	16422.83	1353.49	0.00	8433.74	0.00
Kuat 3	13054.48	1038.49	41.06	1711.60	173.27
Kuat 4	13054.48	1038.49	0.00	1711.60	0.00
Kuat 5	13054.48	1038.49	34.03	1711.60	215.41
Ekstrem I	15460.45	7667.07	2879.90	12824.64	14651.76
Ekstrem II	14257.47	1126.45	0.00	4043.63	0.00
Daya Layan I	15460.45	1263.49	31.10	6513.12	203.03
Daya Layan II	16182.24	1330.99	0.00	7953.58	0.00
Daya Layan III	14979.25	1218.49	0.00	5552.82	0.00
Daya Layan IV	13054.48	1038.49	20.53	1711.60	86.63
Fatik	1804.47	168.75	0.00	3601.14	0.00

Tabel 11.

Rekapitulasi kombinasi pembebanan (geoteknik) pada abutmen A2

Kombinasi	Gaya Vertikal (kN)	Gaya Horizontal (kN)		Momen (kN.m)	
		Arah-X	Arah-Y	Arah-Y	Arah-X
1	15460.45	1238.95	0.00	6444.39	0.00
2	13054.48	1034.40	51.63	1700.14	289.66
3	15460.45	1259.40	51.63	6501.67	289.66
4	13054.48	6428.12	2879.90	6295.43	14651.76

Tabel 12.

Rekapitulasi verifikasi stabilitas menyeluruh abutmen A2 sebelum dan setelah dipasang pondasi

Kombinasi	SF tanpa Pondasi	SF dengan Pondasi	Cek SF > 1.5
1	0.74	2.77	OK
2	0.77	2.93	OK
3	0.74	2.78	OK
4	0.79	3.07	OK

dilakukan cek terhadap waktu dan besar pemampatan yang terjadi dan dilanjut dengan cek *rate of settlement*. Jika *rate of settlement* sudah memenuhi syarat yaitu 2 cm/tahun maka timbunan tidak memerlukan perbaikan tanah dasar dan sebaliknya. Jika timbunan memerlukan perkuatan maka akan di cek efisiensi perkuatan dan kebutuhan lahan dari adanya variasi kemiringan rencana timbunan. Setelah kedua perencanaan dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan.

IV. ANALISIS DATA PERENCANAAN

Terdapat 4 data tanah dasar yaitu BH-01, BH-02, BH-03, dan BH-04. Masing-masing titik berurutan digunakan untuk perencanaan oprit A1 dan pondasi A1, pondasi P1, pondasi P2, dan oprit A2 dan pondasi A2. Dari data NSPT tersebut, akan dilakukan korelasi yang dapat dilihat pada Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6. Data struktur jembatan proyek eksisting sebagai berikut:

- Struktur utama = *steel box girder*
- Jumlah pondasi = 2 abutmen dan 2 pilar
- Jumlah segmen = 3
- Jumlah jalur = 2
- Jumlah lajur = 4
- Lebar trotoar = 1 m
- Lebar total = 13.8 m
- Tinggi oprit = 1.7 m (oprit A1) dan 2.17 m (oprit A2)

Sedangkan data spesifikasi material timbunan tertera

berikut:

$$\gamma = 1.989 \frac{t}{m^3}$$

$$\phi = 43,45^{\circ}$$

$$Cu = 6,36 \frac{t}{m^2}$$

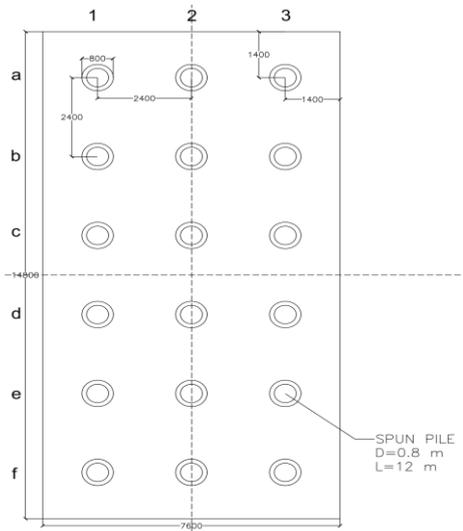
Untuk data spesifikasi material pondasi alternatif spun pile tertera sebagai berikut:

1. Spesifikasi spun pile diameter 600 mm
  - Diameter = 600 mm
  - Kelas = B
  - Moment crack = 25 ton.m
  - Allowable compression = 238.3 ton
  - Variasi panjang = 6 – 19 m
2. Spesifikasi spun pile diameter 800 mm
  - Diameter = 800 mm
  - Kelas = B
  - Moment crack = 55 ton.m
  - Allowable compression = 388.61 ton
  - Variasi panjang = 6 – 23 m

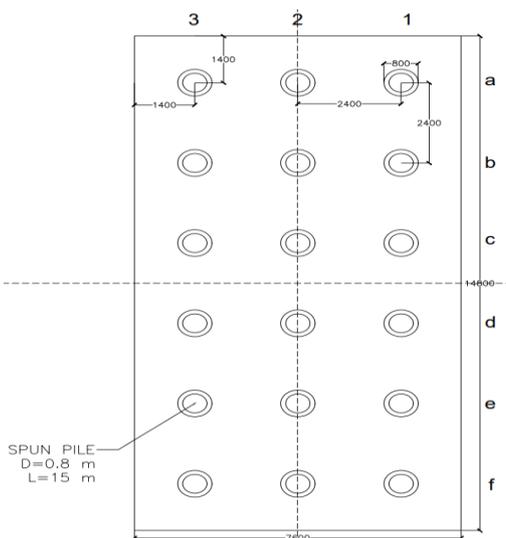
V. PERENCANAAN PONDASI ABUTMEN A1 DAN A2

A. Pendahuluan

Perencanaan pondasi *abutment* A1 menggunakan data



Gambar 2. Konfigurasi pondasi D800 pada abutmen 1.



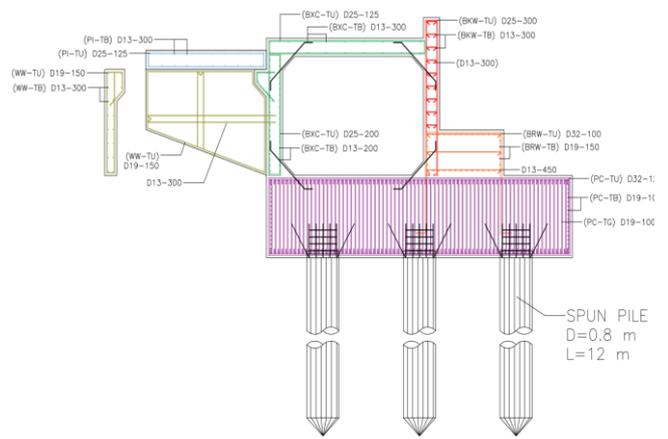
Gambar 3. Konfigurasi pondasi D800 pada abutmen 2.

tanah dari BH-01 sedangkan pondasi *abutment* A2 menggunakan data tanah dari BH-04.

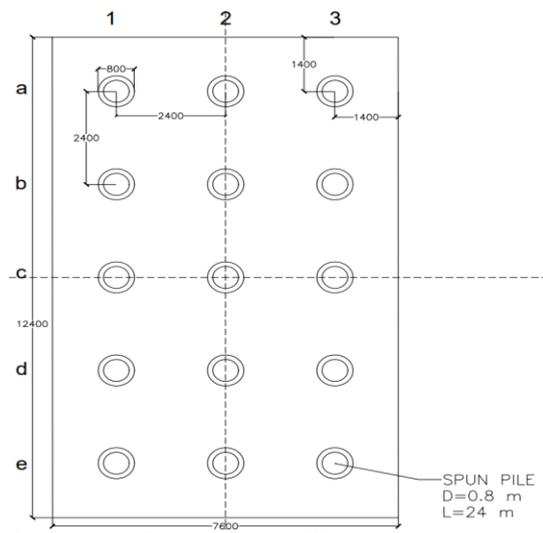
**B. Hasil Perencanaan Pondasi Abutmen A1**

Rekapitulasi kombinasi pembebanan untuk perhitungan struktur abutmen A1 dapat dilihat pada Tabel 7. Rekapitulasi kombinasi pembebanan untuk perhitungan geoteknik abutmen A1 dapat dilihat pada Tabel 8. Dari beban tersebut, dilakukan kontrol abutmen A1 tanpa adanya pemasangan pondasi terhadap guling (SF=2), geser (SF=1.5), daya dukung (SF=3), dan *overall stability* (SF=1.5). Setelah dicek, didapatkan ada beberapa hasil yang belum memenuhi SF dan *overall stability* kurang dari 1.5. Sehingga, perlu direncanakan pondasi di bawahnya. Didapatkan hasil perencanaan pondasi pada Tabel 8 dan Tabel 9.

1. Diameter 0.6 m
  - Jumlah = 28 buah
  - Konfigurasi = 7×4
  - Panjang = 12 m
  - Harga material = Rp190.400.000
2. Diameter 0.8 m
  - Jumlah = 18 buah
  - Konfigurasi = 6×3
  - Panjang = 12 m
  - Qult = 492.86 ton menggunakan persamaan (9)
  - Pmax = 186.76 ton menggunakan persamaan (12)



Gambar 4. Sketsa penulangan abutmen.



Gambar 5. Konfigurasi pondasi D800 pada pilar 1.

$P_{min} = -41.71$  ton menggunakan persamaan (12)  
 Harga material = Rp140.400.000

Kemudian dari konfigurasi tersebut dicek terhadap berbagai kontrol seperti daya dukung dalam grup dengan menghitung efisiensi pada rumus (13) dan (14), kontrol material, kontrol defleksi, dan kontrol momen. Sehingga, digunakan pondasi dengan diameter 0.8 m karena memiliki harga material yang lebih murah. Setelah didapatkan pondasi yang digunakan, dilakukan cek terhadap *overall stability* setelah dipasang pondasi dan didapatkan hasilnya sudah melebihi 1.5 dan rekapitulasinya dapat dilihat pada Tabel 9.

**C. Hasil Perencanaan Pondasi Abutmen A2**

Rekapitulasi kombinasi pembebanan untuk perhitungan struktur abutmen A2 dapat dilihat pada Tabel 10. Rekapitulasi kombinasi pembebanan untuk perhitungan geoteknik abutmen A2 dapat dilihat pada Tabel 11. Dari beban tersebut, dilakukan kontrol abutmen A1 tanpa adanya pemasangan pondasi terhadap guling (SF=2), geser (SF=1.5), daya dukung (SF=3), dan *overall stability* (SF=1.5). Setelah dicek, didapatkan ada beberapa hasil yang belum memenuhi SF dan *overall stability* kurang dari 1.5. Sehingga, perlu direncanakan pondasi di bawahnya. Didapatkan hasil perencanaan pondasi adalah sebagai berikut.

1. Diameter 0.6 m
  - Jumlah = 28 buah
  - Konfigurasi = 7×4
  - Panjang = 15 m
  - Harga material = Rp238.000.000

Tabel 13.

Rekapitulasi kombinasi pembebanan (struktur) pada pilar P1

Kombinasi	Gaya Vertikal (kN)	Gaya Horizontal (kN)		Momen (kN.m)	
		Arah-X	Arah-Y	Arah-Y	Arah-X
Kuat 1	24908.82	568.36	254.83	5868.64	962.44
Kuat 2	22501.51	478.36	254.83	4621.24	962.44
Kuat 3	14075.91	163.36	342.31	255.33	1143.80
Kuat 4	14075.91	163.36	254.83	255.33	962.44
Kuat 5	14075.91	163.36	354.03	255.33	1325.34
Ekstrem I	20094.19	3220.38	2873.84	8077.56	7640.58
Ekstrem II	17085.05	112.50	254.83	679.26	962.44
Daya Layan I	20094.19	388.36	347.78	3373.83	1312.38
Daya Layan II	21899.68	455.86	254.83	4309.39	962.44
Daya Layan III	18890.54	343.36	254.83	2750.13	962.44
Daya Layan IV	14075.91	163.36	298.57	255.33	1053.12
Fatik	4513.72	168.75	0.00	2338.88	0.00

Tabel 14.

Rekapitulasi kombinasi pembebanan (geoteknik) pada pilar P1

Kombinasi	Gaya Vertikal (kN)	Gaya Horizontal (kN)		Momen (kN.m)	
		Arah-X	Arah-Y	Arah-Y	Arah-X
1	20094.19	225.00	0.00	2238.51	0.00
2	14075.91	136.13	391.52	66.11	1403.06
3	20094.19	361.13	136.69	3184.61	440.63
4	14075.91	2995.38	2619.01	4959.06	6678.15

2. Diameter 0.8 m

Jumlah = 18 buah

Konfigurasi = 6 × 3

Panjang = 15 m

Qult = 1149.10 ton menggunakan persamaan (9)

Pmax = 186.76 ton menggunakan persamaan (12)

Pmin = -41.71 ton dengan menggunakan persamaan (12)

Harga material = Rp175.500.000

Kemudian dari konfigurasi tersebut dicek terhadap berbagai kontrol seperti daya dukung dalam grup dengan menghitung efisiensi pada persamaan (13) dan (14), kontrol material, kontrol defleksi, dan kontrol momen.

Sehingga, digunakan pondasi dengan diameter 0.8 m karena memiliki harga material yang lebih murah. Setelah didapatkan pondasi yang digunakan, dilakukan cek terhadap *overall stability* setelah dipasang pondasi dan didapatkan hasilnya sudah melebihi 1.5 dan rekapitulasinya dapat dilihat pada Tabel 12. Konfigurasi pondasi diameter 0.8 m pada A1 dan A2 dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3. Tulangan A1 dan A2 dapat dilihat pada Gambar4.

VI. PERENCANAAN PONDASI PILAR P1 DAN P2

A. Pendahuluan

Perencanaan pondasi pilar P1 menggunakan data tanah dari BH-02 sedangkan pondasi pilar P2 menggunakan data tanah dari BH-03.

B. Hasil Perencanaan Pondasi Pilar P1

Rekapitulasi kombinasi pembebanan untuk perhitungan struktur pada pilai P1 dapat dilihat pada Tabel 13. Rekapitulasi kombinasi pembebanan untuk perhitungan geoteknik pilar P1 dapat dilihat pada Tabel 14.

Dari beban tersebut, dilakukan kontrol pilar P1 tanpa adanya pemasangan pondasi terhadap guling (SF=2), geser (SF=1.5), daya dukung (SF=3), dan *overall stability*

Tabel 15.

Rekapitulasi kombinasi pembebanan (struktur) pada pilar P2

Kombinasi	Gaya Vertikal (kN)	Gaya Horizontal (kN)		Momen (kN.m)	
		Arah-X	Arah-Y	Arah-Y	Arah-X
Kuat 1	24908.82	568.36	254.83	5868.64	962.44
Kuat 2	22501.51	478.36	254.83	4621.24	962.44
Kuat 3	14075.91	163.36	342.31	255.33	1143.80
Kuat 4	14075.91	163.36	254.83	255.33	962.44
Kuat 5	14075.91	163.36	354.03	255.33	1325.34
Ekstrem I	20094.19	3220.38	2873.84	8077.56	7640.58
Ekstrem II	17085.05	112.50	254.83	679.26	962.44
Daya Layan I	20094.19	388.36	347.78	3373.83	1312.38
Daya Layan II	21899.68	455.86	254.83	4309.39	962.44
Daya Layan III	18890.54	343.36	254.83	2750.13	962.44
Daya Layan IV	14075.91	163.36	298.57	255.33	1053.12
Fatik	4513.72	168.75	0.00	2338.88	0.00

Tabel 15.

Rekapitulasi kombinasi pembebanan (geoteknik) pada pilar P2

Kombinasi	Gaya Vertikal (kN)	Gaya Horizontal (kN)		Momen (kN.m)	
		Arah-X	Arah-Y	Arah-Y	Arah-X
1	20094.19	225.00	0.00	2238.51	0.00
2	14075.91	136.13	391.52	66.11	1403.06
3	20094.19	361.13	136.69	3184.61	440.63
4	14075.91	2995.38	2619.01	4959.06	6678.15

(SF=1.5). Setelah dicek, didapatkan ada beberapa hasil yang belum memenuhi SF dan *overall stability* kurang dari 1.5. Sehingga, perlu direncanakan pondasi di bawahnya. Didapatkan hasil perencanaan pondasi yang tertera sebagai berikut:

1. Diameter 0.6 m

Jumlah = 28 buah

Konfigurasi = 7 × 4

Panjang = 24 m

Harga material = Rp380.800.000

2. Diameter 0.8 m

Jumlah = 15 buah

Konfigurasi = 5 × 3

Panjang = 24 m

Harga material = Rp234.000.000

Sehingga, digunakan pondasi dengan diameter 0.8 m karena memiliki harga material yang lebih murah.

C. Hasil Perencanaan Pondasi Pilar P2

Rekapitulasi kombinasi pembebanan untuk perhitungan struktur pada pilar P2 dapat dilihat pada Tabel 15. Rekapitulasi kombinasi pembebanan untuk perhitungan geoteknik pilar P2 dapat dilihat pada Tabel 16. Dari beban tersebut dilakukan kontrol pilar P1 tanpa adanya pemasangan pondasi terhadap guling (SF=2), geser (SF=1.5), daya dukung (SF=3), dan *overall stability* (SF=1.5). Setelah dicek, didapatkan ada beberapa hasil yang belum memenuhi SF dan *overall stability* kurang dari 1.5. Sehingga, perlu direncanakan pondasi di bawahnya. Didapatkan hasil perencanaan pondasi adalah sebagai berikut.

1. Diameter 0.6 m

Jumlah = 28 buah

Konfigurasi = 7 × 4

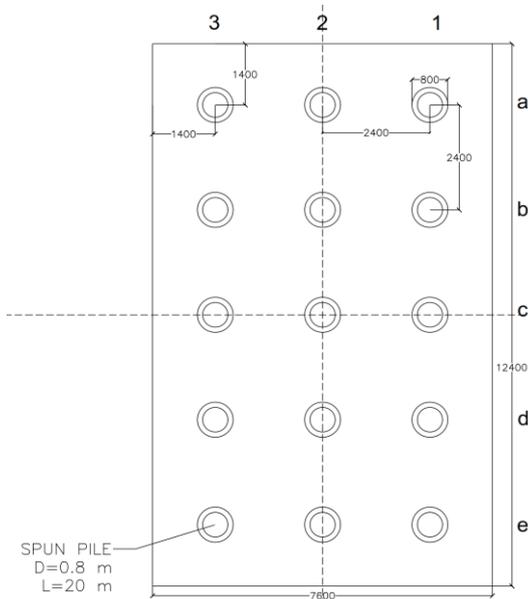
Panjang = 20 m

Harga material = Rp317.333.333

2. Diameter 0.8 m

Jumlah = 15 buah

Konfigurasi = 5 × 3



Gambar 6. Konfigurasi pondasi D800 pada pilar 2.

Panjang = 20 m  
 Harga material = Rp195.000.000

Sehingga, digunakan pondasi dengan diameter 0.8 m karena memiliki harga material yang lebih murah. Konfigurasi pondasi diameter 0.8 m pada P1 dan P2 dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6. Tulangan P1 dan P2 dapat dilihat pada Gambar 7.

VII. PERENCANAAN TIMBUNAN OPRIT A1 DAN A2

A. Pendahuluan

Perencanaan timbunan oprit pada abutmen 1 dan 2 memiliki kemiringan lereng eksisting adalah 1:2. Pada proyek eksisting tidak direncanakan perbaikan tanah dasar dan kekuatan lereng timbunan. Pada Tugas Akhir ini, akan dilakukan cek terhadap kebutuhan perbaikan tanah dasar dan kekuatan lereng pada abutmen A1 dan A2. Perencanaan timbunan oprit A1 menggunakan data tanah BH-01 dan timbunan oprit A2 menggunakan data tanah BH-04.

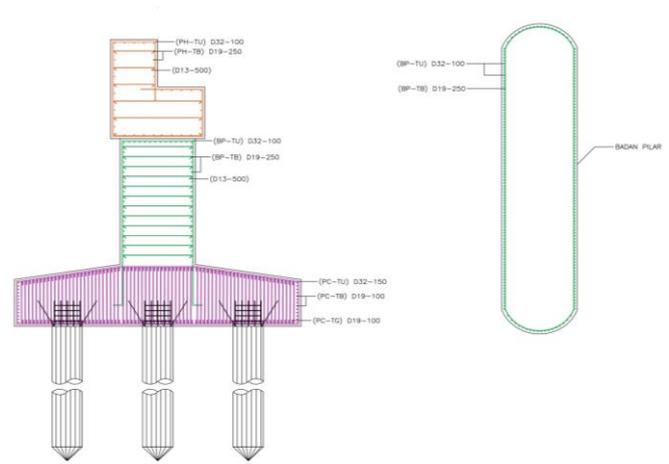
B. Hasil Perencanaan Timbunan Oprit A1

Tinggi timbunan = 1.7 m  
 Kemiringan lereng = 1:2  
 Fluktuasi MAT = -6.5 m  
 Kedalaman tinjau = 9 m (tebal lapisan kompresibel)

Perhitungan besar pemampatan menggunakan persamaan (1) sampai persamaan (6). Didaptkan hasil sebagai berikut:

Sc tinggi timbunan akhir = 0.07 m  
 Sc perkerasan = 0.0057 m  
 Sc beban kendaraan = 0.0343 m  
 Sc total = Sc tinggi timbunan akhir + Sc perkerasan + Sc beban kendaraan = 0.07 + 0.0057 + 0.0343 = 0.1098 m = 10.98 cm

Perhitungan lama waktu pemampatan, dalam menentukan lama waktu pemampatan, dihitung terlebih dahulu Cv gabungan dengan menggunakan persamaan (8). Didapatkan Cv gabungan sebesar 0.000316 cm<sup>2</sup>/detik. Selanjutnya dihitung waktu pemampatan dengan menggunakan persamaan (7). Untuk kedalaman tinjau 9 m, waktu yang dibutuhkan untuk tanah mencapai derajat konsolidasi 90% adalah 54.52 tahun. Cek *Rate of settlement*, pada tahun pertama didapatkan *rate of settlement* sebesar 1.3 cm/tahun.



Gambar 7. Sketsa penulangan pilar.

Kesimpulan kebutuhan perbaikan tanah dasar, walaupun waktu yang dibutuhkan sangat lama dengan mempertimbangkan harga dan waktu dari pemasangan PVD maka jika *rate of settlement* yang dihasilkan kurang dari 2 cm/tahun dapat disimpulkan untuk tidak merencanakan perbaikan tanah dasar. Stabilitas global lereng dan kesimpulan kebutuhan perkuatan timbunan tertera sebagai berikut:

Tipe analisis = *undrained*  
 SF LEM = 1.9 > 1.5 (OK)  
 SF FEM = 1.923 > 1.5 (OK)

Karena SF > 1.5 dari kedua metode analisis, maka lereng dapat dikatakan aman dan tidak membutuhkan suatu perkuatan.

Cek *bearing capacity* untuk menentukan Hkritis, Hkritis yang didapatkan untuk timbunan oprit A1 menggunakan metode Terzaghi adalah 8.68 m sudah melebihi tinggi timbunan eksisting yaitu 1.7 m sehingga tidak perlu membutuhkan tahapan penimbunan.

C. Hasil Perencanaan Timbunan Oprit A2

Tinggi timbunan = 2.17 m  
 Kemiringan lereng = 1:2  
 Fluktuasi MAT = -8 m  
 Kedalaman tinjau = 9 m (tebal lapisan kompresibel)

Perhitungan pemampatan total didapatkan hasil sebagai berikut:

Sc tinggi timbunan akhir = 0.08 m  
 Sc perkerasan = 0.0055 m  
 Sc beban kendaraan = 0.0728 m  
 Sc total = Sc tinggi timbunan akhir + Sc perkerasan + Sc beban kendaraan = 0.08 + 0.0055 + 0.0728 = 0.1567 m = 15.67 cm

Perhitungan lama waktu pemampatan, dalam menentukan lama waktu pemampatan, dihitung terlebih dahulu Cv gabungan dengan menggunakan rumus (8). Didapatkan Cv gabungan sebesar 0.000229 cm<sup>2</sup>/detik. Selanjutnya dihitung waktu pemampatan dengan menggunakan rumus (7). Untuk kedalaman tinjau 9 m, waktu yang dibutuhkan untuk tanah mencapai derajat konsolidasi 90% adalah 75.29 tahun.

Cek *Rate of settlement*, pada tahun pertama didapatkan *rate of settlement* sebesar 1.6 cm/tahun. Kesimpulan kebutuhan perbaikan tanah dasar, walaupun waktu yang dibutuhkan sangat lama dengan mempertimbangkan harga dan waktu dari pemasangan PVD maka jika *rate of settlement* yang dihasilkan kurang dari 2 cm/tahun dapat disimpulkan

untuk tidak merencanakan perbaikan tanah dasar. Stabilitas global lereng dan kesimpulan kebutuhan perkuatan timbunan tertera sebagai berikut:

Tipe analisis = *undrained*  
SF LEM =  $2.2 > 1.5$  (OK)  
SF FEM =  $2.02 > 1.5$  (OK)

Karena  $SF > 1.5$  dari kedua metode analisis, maka lereng dapat dikatakan aman dan tidak membutuhkan suatu perkuatan. Cek *bearing capacity* untuk menentukan Hkritis, Hkritis yang didapatkan untuk timbunan oprit A1 menggunakan metode Terzaghi adalah 8.2 m sudah melebihi tinggi timbunan eksisting yaitu 2.17 m sehingga tidak perlu membutuhkan tahapan penimbunan.

#### VIII. KESIMPULAN

Alternatif pondasi jembatan yang aman dan kuat dari semua kontrol dan efisien dari segi biaya material adalah pondasi spun pile diameter 80 cm. Jumlah, kedalaman, dan harga berurutan dari A1; P1; P2; dan A2 yaitu 18 buah, 12 m, Rp140.400.000; 15 buah, 24 m, Rp234.000.000; 15 buah, 20 m, Rp195.000.000; dan 18 buah, 15 m, Rp175.500.000

Timbunan oprit A1 dan A2 tidak memerlukan perbaikan tanah dasar karena memiliki *rate of settlement* yaitu 1.37 dan 1.66 cm/tahun kurang dari maksimum yang diizinkan yaitu 2 cm/tahun

Timbunan oprit A1 dan A2 sudah aman dan tidak memerlukan perkuatan lereng timbunan (geotextile) karena berdasarkan analisis *overall stability* didapatkan SF masing-masing sebesar 1.9 dan 2.2 lebih dari syarat yaitu 1.5. Berdasarkan cek bearing capacity, timbunan oprit A1 dan A2 memiliki Hkritis masing-masing setinggi 8.68 m dan 8.2 m sudah lebih dari tinggi timbunan eksisting 1.7 m dan 2.17 m sehingga tidak diperlukan tahapan penimbunan. Karena tidak diperlukan suatu perkuatan timbunan, maka tidak dapat ditarik kesimpulan terkait kemiringan sisi oprit yang paling efisien

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. G. Look, "Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables," pp. 124–132, 2007. ISBN: 9780429227653.
- [2] K. Das, Braja M. dan Sobhan, *Principles of Geotechnical Engineering*. 2014. ISBN: 32-00-020-6.