

ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI JEMBATAN GORR I

George Roschedy

Fabian Johanes Manoppo, Agnes Tekla Mandagi

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

email: roschedyg@yahoo.com

ABSTRAK

Jenis pondasi sumuran merupakan bentuk peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pada lokasi penelitian, proyek jembatan GORR I di STA 10 + 825 diperoleh nilai SPT > 50 pada kedalaman 7,5 m. Yang menandakan bahwa tanah telah mencapai tanah keras. Sehingga pada kasus ini dirasa cocok untuk menggunakan jenis pondasi sumuran sebagai pondasi yang menahan beban bekerja pada abutmen jembatan.

Pada penelitian ini dilakukan analisis terhadap variasi desain pondasi guna mencari desain yang efektif dan efisien untuk diterapkan di lapangan. Dari hasil perhitungan didapat 4 unit sumuran dengan diameter 3 meter dan kedalaman 4 meter sebagai desain yang paling efisien dibandingkan desain lain yang telah di tinjau sebelumnya sebagai pembandingan. Dari hasil perhitungan secara analitis menggunakan rumus yang disarankan Meyerhof, Terzaghi dan menggunakan program bantu Allpile, 4 unit pondasi sumuran dengan diameter 3 meter memiliki kapasitas dukung sebesar 13142,67 kN (Meyerhof) dan 17582,23 kN (Terzaghi) berdasarkan cara analitis, dan 16796,18 kN sebagai kapasitas dukung yang diberikan program Allpile 6.. Kapasitas dukung tersebut lebih besar dari beban bekerja sebesar 10110,58 kN, yang berarti desain mampu menahan beban bekerja pada abutment jembatan.

Kata Kunci: *Sumuran, Kaison, Allpile6*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sebagai ibu kota dari provinsi Gorontalo, kota Gorontalo merupakan salah satu kota dengan presentase pertumbuhan ekonomi yang cukup pesat. Dengan keberadaan bandar udara utama provinsi Gorontalo di wilayah kabupaten Gorontalo, tentunya aksesibilitas antara penduduk kota Gorontalo dan kabupaten Gorontalo juga ikut meningkat.

Dengan melihat ruas jalan dalam kota yang mulai padat dan ditambah lagi rencana pembangunan jalan bebas hambatan dari Sulawesi Tengah hingga Sulawesi Utara melalui provinsi Gorontalo maka pemerintah provinsi membangun infrastruktur transportasi yaitu Gorontalo Outer Ring Road yang berguna untuk menghubungkan Bandara Jallaludin (kab. Gorontalo) menuju ke kota Gorontalo sekaligus meningkatkan konektivitas yang mendukung perekonomian pada tiga wilayah di provinsi tersebut, yaitu Kota Gorontalo, Kabupaten Bone Bolango, dan Kabupaten Gorontalo.

Gorontalo Outer Ring Road direncanakan membentang sejauh 45 km menghubungkan bandara Djalaludin hingga kota Gorontalo. Di

dalam perencanaan Gorontalo Outer Ring Road (GORR), terdapat 3 segmen pekerjaan jalan, yaitu GORR I sepanjang 15 km, GORR II sepanjang 11 km dan GORR III sepanjang 19 km.

Khusus pada pembangunan GORR 1, tepatnya di STA 10+825 terdapat sebuah jembatan yang pondasi abutmennya didesain menggunakan bor pile dengan kedalaman 30 meter. Namun pada saat pengerjaan pondasi, alat bor yang tersedia tidak mampu untuk melakukan pelaksanaan bor akibat dari letak batuan dasar yang berada tidak jauh dari permukaan tanah ($\pm 7,5$ m). Sehingga, pekerjaan bor harus mendatangkan alat bor dengan kapasitas lebih besar, dan tentunya dapat menyebabkan penambahan biaya pada pekerjaan tersebut.

Berdasarkan data tanah lapangan, penulis merasa perlu merekomendasikan desain yang dipandang efektif dan efisien untuk pekerjaan ini. Dimana dengan letak tanah keras yang tidak terlalu jauh dari permukaan tanah, pondasi sumuran dapat menjadi pilihan desain yang lebih efisien pada pekerjaan tersebut.

Penelitian ini juga dilakukan untuk menguji dan mengetahui apakah desain pondasi yang direkomendasikan mampu untuk menopang jembatan beserta gaya yang bekerja di atasnya

dengan menggunakan hasil pengujian tanah di lapangan (SPT) dan perhitungan secara analitis serta dikontrol dengan program Allpile6.

Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian sebelumnya, dapat dirumuskan beberapa masalah yang akan diteliti sebagai berikut:

1. Berapa beban maksimum yang diterima pondasi ?
2. Berapa dimensi pondasi sumuran yang aman di gunakan ?
3. Berapa daya dukung dari pondasi yang direncanakan?
4. Apakah pondasi yang direncanakan mampu menahan beban yang bekerja ?
5. Apakah hasil dari program Allpile 6 aman terhadap beban bekerja ?

Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Data yang digunakan adalah data sekunder sesuai hasil penelitian di lokasi perencanaan Jembatan GORR I, STA 10+825 .
2. Perhitungan hanya untuk satu abutment.
3. Kapasitas daya dukung hanya berdasarkan data SPT.
4. Program yang digunakan untuk menghitung daya dukung adalah Allpile 6.
5. Tidak menghitung penulangan pondasi.
6. Tidak memperhitungkan biaya konstruksi.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mendesain abutmen yang mampu menahan guling dan geser.
2. Menentukan desain efisien yang aman berdasarkan volume pekerjaan.
3. Merekomendasikan desain yang aman terhadap beban bekerja.
4. Mendesain pondasi menggunakan program Allpile 6.

Manfaat Penelitian

1. Dapat dijadikan referensi dalam perencanaan pondasi jembatan.
2. Sebagai desain alternatif apabila pondasi dalam tidak dapat diaplikasikan dalam pekerjaan pondasi dilapangan.
3. Untuk menambah ilmu pengetahuan, wawasan, dan pembeding kelak jika akan melakukan suatu pekerjaan yang sama atau sejenis.

LANDASAN TEORI

Jalan Lingkar

Jalan lingkar adalah jalan yang melingkari pusat kota, dan berfungsi untuk mengalihkan sebagian arus lalu lintas agar tidak perlu melalui pusat kota. Jalan lingkar yang biasa juga dikenal dengan nama *ring road* sudah cukup umum di Indonesia, dan biasa dibangun di kota besar sebagai solusi kemacetan pusat kota.

Jembatan

Jembatan merupakan struktur yang dibuat untuk memungkinkan kendaraan menyeberangi rintangan seperti jurang, sungai, rel kereta api ataupun jalan raya. Jembatan dibangun untuk penyeberangan pejalan kaki, kendaraan atau kereta api di atas halangan. Jembatan juga merupakan bagian dari infrastruktur transportasi darat yang sangat vital dalam aliran perjalanan. Jembatan sering menjadi komponen kritis dari suatu ruas jalan, karena sebagai penentu beban maksimum kendaraan yang melewati ruas jalan tersebut.

Konstruksi jembatan juga harus ditinjau terhadap kombinasi pembebanan dan gaya yang mungkin bekerja. Sesuai dengan sifat-sifat serta kemungkinan kemungkinan pada setiap beban, tegangan yang digunakan dalam pemeriksaan kekuatan konstruksi yang bersangkutan dinaikan terhadap tegangan yang diijinkan.

Tabel 1. Kombinasi pembebanan untuk perencanaan tegangan kerja

Kombinasi pembebanan dan gaya	Tegangan yang dinyatakan dalam persen terhadap tegangan ijin
1. MS + MA + TA + TD + TP	100 %
2. MS + MA + TA + TD + TP + TB + ET	125 %
3. MS + MA + TA + TD + TP + TB + EW	125 %
4. MS + MA + TA + TD + TP + TB + ET + EW	140 %
5. MS + MA + EQ	150 %

Abutment Jembatan

Abutmen merupakan struktur bawah jembatan yang terletak pada ujung pilar – pilar jembatan. Fungsi abutment jembatan adalah sebagai pemikul seluruh beban hidup (Angin, kendaraan, dll) dan mati (beban gelagar, dll) pada jembatan. Dimana, abutment jembatan berperan untuk menyalurkan gaya vertikal dan horizontal dari bangunan atas pada pondasi dengan fungsi tambahan untuk mengadakan peralihan tumpuan

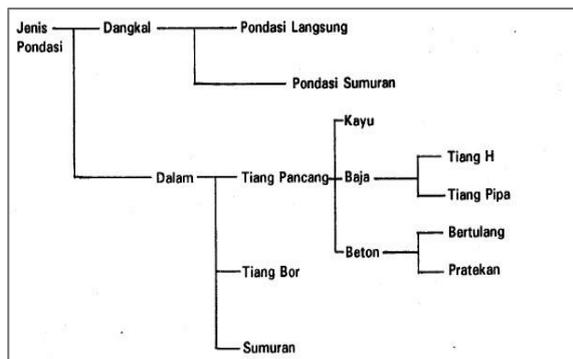
dari timbunan jalan pendekat ke bangunan atas jembatan

JENIS PANGKAL	TINGGI PANGKAL (m)	TINGGI PANGKAL (m)			
		0	10	20	30
PANGKAL TEMBOK PENAHAN GRAVITAS		3	4		
PANGKAL TEMBOK PENAHAN KANTILEVER		8			
PANGKAL TEMBOK PENAHAN KONTRAFORT		6	8		
PANGKAL KOLOM 'SPILL-THROUGH'					
PANGKAL BALOK CAP TIANG SEDERHANA					
PANGKAL TANAH BERTULANG		5	15		

Gambar 1. Jenis Pangkal Tipikal

Pondasi Jembatan

Pondasi adalah suatu konstruksi pada bagian dasar struktur/bangunan (*substructure*) yang berfungsi meneruskan beban dari bagian atas struktur/bangunan (*upper-structure*) ke lapisan tanah yang berada di bagian bawahnya tanpa mengakibatkan keruntuhan geser tanah dan penurunan (*settlement*) tanah/fundasi yang berlebihan. Beberapa bangunan dapat dibangun karena pondasi merupakan komponen utama dari suatu bangunan termasuk jembatan. Secara umum, terdapat dua macam pondasi, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal digunakan bila bangunan yang berada di atasnya tidak terlalu besar sedangkan pondasi dalam ialah pondasi yang dipakai pada bangunan diatas tanah yang lembek dan bangunan bertingkat.



Gambar 2. Jenis pondasi

Tabel 2. Dimensi pondasi tipikal dan beban rencana keadaan batas ultimate

Butir	Pondasi langsung	Sumuran	Tiang Pancang			
			Baja Tiang H	Baja Tiang Pipa	Tiang beton bertulang pracetak	Tiang beton pratekan pracetak
Diameter nominal (mm)	-	3000	100x100 sampai 400x400	300 sampai 600	200 sampai 600	400 sampai 600
Kedalaman maksimum (m)	5	15	Tidak terbatas	Tidak terbatas	30	60
Kedalaman optimum (m)	0,3 sampai 3	7 sampai 9	7 sampai 40	7 sampai 40	12 sampai 15	18 sampai 30
Beban maksimum ULS (Kn) untuk keadaan biasa	20000+	20000+	3750	3000	1300	13000
Variasi optimum beban ULS	-	-	500 sampai 1500	600 sampai 1500	500 sampai 1000	500 sampai 5000

Persyaratan utama pondasi adalah sebagai berikut:

1. Cukup kuat menahan muatan geser akibat muatan tegak ke bawah.
2. Dapat menyesuaikan pergerakan tanah yang tidak stabil (tanah gerak).
3. Tahan terhadap pengaruh perubahan cuaca.
4. Tahan terhadap pengaruh bahan kimia.

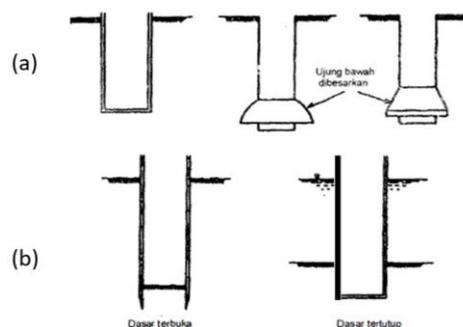
Untuk itu pondasi haruslah kuat, stabil, aman agar tidak mengalami penurunan, tidak mengalami patah, karena akan sulit untuk memperbaiki suatu sistem pondasi.

Akibat penurunan atau patahnya pondasi, maka akan terjadi:

1. Kerusakan dinding, retak-retak.
2. Lantai dan pelat retak dan bergelombang
3. Penurunan bagian atas jembatan.

Pondasi Kaisson

Pondasi kaisson atau yang lebih di kenal sebagai pondasi sumuran di Indonesia memiliki dua tipe, yaitu kaisor bor (*drilled caisson*) dan kaisson (*caisson*). Sebutan sebagai pondasi sumuran tak lepas karena bentuk umum yang ditemukan di Indonesia berbentuk silinder menyerupai sumur.



Gambar 3a. pondasi kaisson bor; 3b. Pondasi kaisson

Pondasi kaisson bor dibuat dengan cara mengebor lebih dahulu untuk membuat lubang di dalam tanah, lalu lubang tersebut diisi dengan beton. Untuk memperoleh kapasitas dukung yang tinggi, dasar kaisson dapat diperbesar menyerupai lonceng (Hardiyatmo, 2008).

Berdasarkan material pembentuknya kaisson bor dibedakan menjadi tiga, yaitu :

1. Kaisson beton
2. Kaisson beton terselubung pipa baja atau pipa beton
3. Kaisson beton di lengkapi dengan inti baja atau inti beton

Pondasi kaisson yang berbentuk silinder atau kotak beton dibuat dengan membenamkan silinder beton di tempatnya, bersamaan dengan penggalian tanah. (Hardiyatmo, 2008). Berdasarkan cara pembuatannya, pondasi kaisson dapat di bagi menjadi tiga, yaitu kaisson terbuka, kaisson pneumatik, dan kaisson apung.

Kapasitas dukung pondasi

Pondasi kaisson dapat mendukung beban vertikal dengan mengandalkan :

1. Tahanan gesek dinding
2. Tahanan dukung ujung bila tanah berupa pasir padat, pasir kerikil atau batu
3. Kombinasi keduanya

Kapasitas ultimit tiang tunggal (Q_a), adalah jumlah dari tahanan bawah ultimit (Q_u) dan tahanan gesek ultimit (Q_s) antara dinding tiang dan tanah disekitarnya. Namun oleh pertimbangan keamanan, banyak perancang telah mengabaikan pengaruh tahanan gesek dinding dalam hitungan kapasitas dukung (Hardiyatmo, 2008). Bila dinyatakan dalam persamaan, maka:

$$Q_a = \frac{Q_u + Q_s}{SF} \quad (1)$$

dengan:

- Q_a = kapasitas ultimit
- Q_u = tahanan dukung ujung
- Q_s = tahanan adhesi dinding

Kapasitas dukung berdasarkan N_{spt}

Berdasarkan nilai uji SPT untuk penurunan diijinkan sebesar 1 inci, Meyerhof (1956) mengusulkan kpsitas dukung ijin netto untuk tanah pasir sebagai:

untuk $B < 1,2$ m

$$q_a = 12 \times N \quad (2)$$

untuk $B > 1,2$ m

$$q_a = 8 \times N \times \left(\frac{B+0,3}{B}\right)^2 \quad (3)$$

dengan:

- q_a = kapasitas dukung ijin bersih (q_u/SF) (kN/m^2)
- N = jumlah pukulan dalam uji SPT
- B = lebar pondasi
- D = kedalaman

Kapasitas dukung pondasi dengan memperhitungkan tahanan samping

Untuk pondasi kaisson Terzaghi memberikan faktor tambahan meliputi gesekan sepanjang sisi pondasi, sehingga persamaan menjadi :

$$q_a = \frac{Q_u + Q_s}{SF} \quad (4)$$

$$q_a = \frac{q_u A_p + \pi B f_s D_f}{SF} \quad (5)$$

dengan:

- q_a = kapasitas dukung ultimit total untuk pondasi kaisson (kN)
- $q_u = 1,3 cN_c + qN_q + 0,3\gamma BN_\gamma$ (pondasi berbentuk lingkaran)
- f_s = faktor gesekan permukaan antara dinding dan tanah (Tabel 2)
- D_f = kedalaman pondasi (m)
- B = diameter pondasi (m)
- A_p = Luas dasar pondasi (m^2)

Tabel 3. Faktor gesekan dinding untuk berbagai jenis tanah

Jenis tanah	F_s (kg/cm ²)
Lanau dan lempung lunak	0,07 – 0,30
Lempung sangat kaku	0,49 – 1,95
Pasir tak padat	0,12 – 0,37
Pasir padat	0,14 – 0,68
Kerikil padat	0,49 – 0,96

Keruntuhan akan disebabkan akibat tekuk tekuk terlebih dahulu sebelum penampang meleleh pada profil. Pada kolom sedang, serat pada kolom sedang akan mencapai tegangan leleh sebagian sedangkan bagian lain masih elastis. Batang akan runtuh oleh kelelahan dan juga tekuk. Dan untuk kolom pendek profil akan mencapai tegangan leleh pada keseluruhan penampang dan tidak tidak akan tercapai sehingga keruntuhan pada profil diakibatkan oleh kelelahan pada seluruh serat penampang.

Penurunan menggunakan hasil uji SPT

Untuk perhitungan penurunan berdasarkan nilai SPT, Meyerhof (1965) memberikan persamaan untuk tanah pasir sebagai :

untuk $B < 1,2$ meter

$$S_i = \frac{4q}{N} \quad (6)$$

untuk $B > 1,2$ meter

$$S_i = \frac{6q}{N} \times \left(\frac{B}{B+1}\right)^2 \quad (7)$$

dimana:

S_i = penurunan dalam inci (1 inci = 2,54 cm)

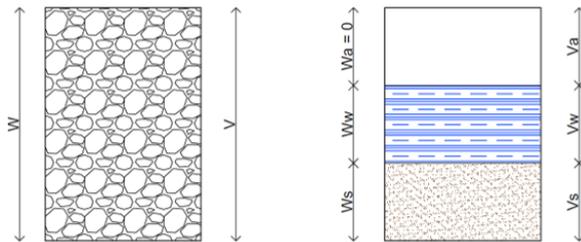
B = lebar pondasi dalam ft (1ft = 0,3048cm)

q = intensitas beban yang diterapkan dalam kip/ft²

N = jumlah pukulan pada uji SPT

Berat volume tanah dan hubungan hubungannya

Segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah kering dan tanah jenuh terdiri dari dua bagian, sedangkan dalam keadaan tidak jenuh, terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian padat (butiran), pori-pori udara dan air pori.



Gambar 4. Diagram fase tanah

Diagram diatas menggambarkan bahwa berat total tanah (W) adalah total berat air (W_w) ditambah dengan berat butiran (W_s). Dan volume total tanah (V) adalah total volume butiran (V_s) ditambah volume air (V_w) dan volume udara (V_a).

Sedangkan berat jenis tanah adalah perbandingan berat volume butiran padat dengan berat volume air.

Tabel 4. Berat jenis tanah

Macam tanah	Berat jenis (Gs)
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau anorganik	2,62 – 2,68
Lanau organic	2,58 – 2,65
Lempung anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,8

Terzaghi juga menyarankan nilai-nilai porositas, angka pori, dan berat volume pada keadaan asli di alam dari berbagai jenis tanah pada tabel berikut.

Tabel 5. Nilai $n, e, w, \gamma_d, \gamma_b$

Macam tanah	n (%)	e	w (%)	γ_d (kN/m ³)	γ_b (kN/m ³)
Pasir seragam, tidak padat	46	0,85	32	14,3	18,9
Pasir seragam, padat	34	0,51	19	17,5	20,9
Pasir berbutir campuran, tidak padat	40	0,67	25	15,9	19,9
Pasir berbutir campuran, padat	30	0,43	16	18,6	21,6
Lempung lunak sedikit organic	66	1,90	70	--	15,8

Korelasi N_{spt} dengan nilai sondir, kepadatan dan sudut geser dalam dapat dilihat dari tabel dibawah. (Schmertmann,1978)

Tabel 6. Korelasi N_{spt}

Tipe Pasir	Kepadatan Relatif, Dr (%)	SPT (Terzaghi and Peck 1967)	CPT, q_c (kN/m ²) (Meyerhof 1974)	Sudut Geser dalam (ϕ)	
				Meyerhof 1974	Peck, Hanson, and Tornbum 1953
Sangat lepas	<20	<4	-	<30	29
Lepas	20-40	4 – 10	0 - 5000	30-35	29-30
Medium	40-60	10 – 30	5000 - 15000	35-38	30-36
Padat	60-80	30-50	15000 - 25000	38-41	36-41
Sangat padat	>80	>50	25000 - 40000	41-44	>41

Allpile 6

Allpile merupakan program yang secara khusus menghitung daya dukung dan penurunan pondasi akibat beban yang diterima. Program dapat digunakan untuk menghitung berbagai jenis pondasi, seperti pondasi telapak, pondasi tiang bor, pondasi sumuran, pondasi tiang pancang, dan lain sebagainya. Pada program Allpile, proses perhitungan melalui lima tahap pengiputan data, yaitu *Pile type, Pile profile, Pile properties, Load and Group, dan Soil Properties*.

Setelah proses pengiputan data selesai, maka hasil dapat di lihat pada pilihan vertical dan lateral yang berada di toolbar. Output dari program Allpile 6 adalah kapasitas dukung dengan satuan metric atau english serta daya dukung dengan penurunan tertentu.

Dalam kasus ini, pada program digunakan *pile type SHAFT* untuk jenis tanah pasir (*cohesionless soil*). Perhitungan program untuk tipe shaft menggunakan prosedur yang digambarkan dalam *Drilled Shaft: Construction Procedures and Design Methods* (FHWA-IF-99-025) yang diterbitkan oleh FHWA pada Agustus 1999.

$$Q_{dw} = Q_{tip} + Q_{side}$$

$$Q_{tip} = q_{ult} A_b$$

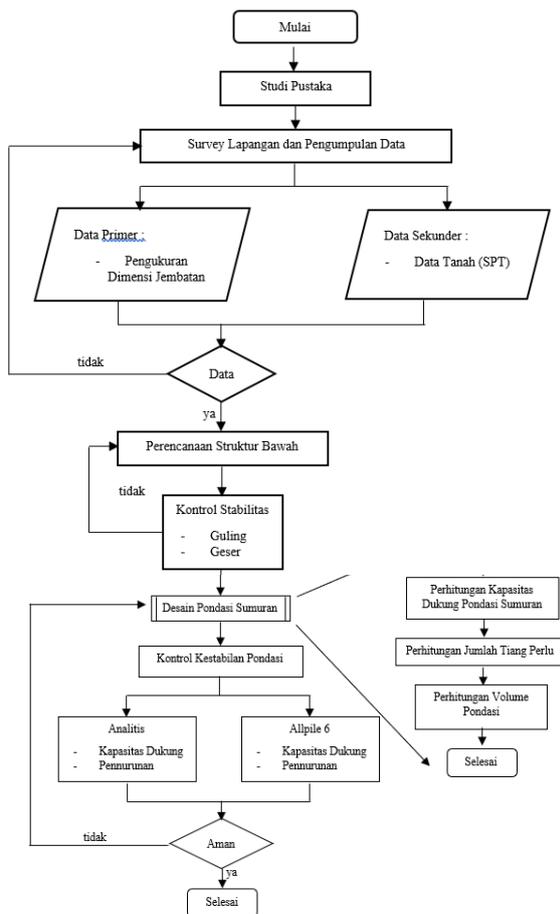
$$Q_{side} = \sum f_0 \cdot \Delta l \cdot P_i \quad (8)$$

dimana :

- Q_{dw} = Kapasitas dukung total
- Q_{tip} = Kapasitas dukung ujung
- Q_{side} = Kapasitas dukung samping

METODOLOGI PENELITIAN

Bagan alir penelitian



Gambar 5. Bagan Alir Penelitian

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian bertempat di kabupaten Gorontalo, provinsi Gorontalo. Tepatnya pada proyek Gorontalo Outer Ring Road I, di STA 10 +825. Secara geografis terletak di 0°39'02.58" LU dan 122°55'29.90" BT. Akses menuju lokasi penelitian sangat mudah dijangkau, dimana berada tidak jauh dari jalur trans Sulawesi sehingga memudahkan penulis untuk melakukan penelitian di daerah tersebut.



Gambar 6. Citra satelit lokasi penelitian

Metode pengumpulan data

Data pokok yang dibutuhkan dalam analisis ini ada dua macam yaitu data pembebanan dan data tanah

Analisis daya dukung pondasi sumuran pada jembatan Gorontalo Outer Ring Road I dapat diawali dengan menghitung beban-beban yang bekerja pada konstruksi tersebut. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan standarisasi pembebanan pada panduan Indonesia Bridge Management System (IBMS,1992)

Untuk mengetahui kemampuan daya dukung pondasi sumuran dalam memikul beban-beban yang ada, perlu juga dilakukan penyelidikan tanah. Dalam hal ini, penyelidikan tanah yang dilakukan di lokasi penelitian adalah uji SPT. Sehingga, daya dukung pondasi sumuran akan dihitung berdasarkan nilai N-SPT yang didapat dari uji tanah di lapangan.

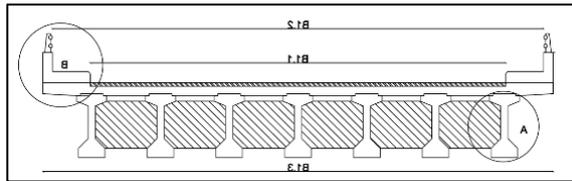
Analisis Data

Analisis perhitungan dilakukan dengan mencari desain efisien guna menentukan desain yang akan direkomendasikan. Penentuan desain rekomendasi dengan cara menghitung volume pondasi berdasarkan daya dukung dan jumlah tiang yang diterapkan. Untuk perhitungan menggunakan metode Meyerhoff, metode Terzaghi, dan metode yang diberikan program Allpile 6. Hasil perhitungan manual yang didapatkan akan dibandingkan dengan hasil dari program Allpile 6. Program ini akan membantu untuk mengetahui *total ultimate capacity*, *total allowable capacity* dan, *settlement* yang mana hasil ini akan mendukung hasil dari perhitungan manual yang telah dibuat sebelumnya.

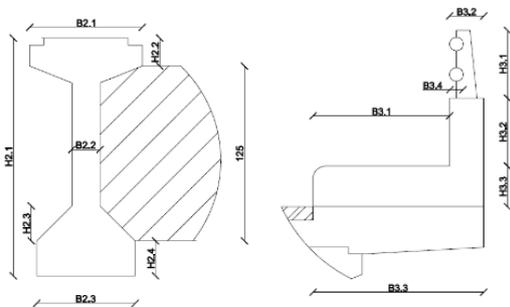
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data perencanaan

1. Jembatan
 - Tipe jembatan : Jembatan Beton Prategang
 - Panjang bentang jembatan: 30.6 m



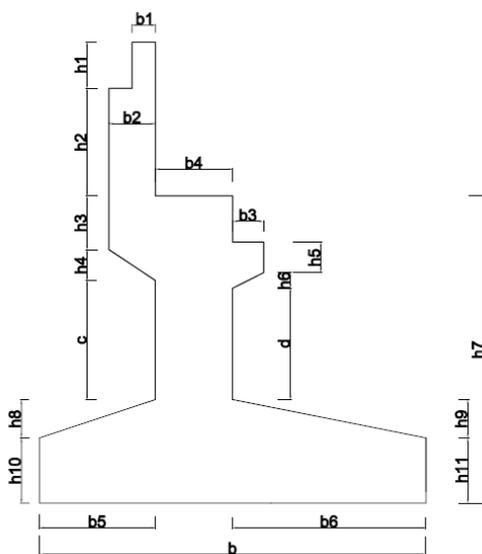
Gambar 7. Potongan melintang



Gambar 8. Detail A dan B

Tabel 7. Notasi dan ukuran bangunan atas

Notasi	Ukuran (cm)	Notasi	Ukuran (cm)
Bangunan atas			
B1.1	1100		
B1.2	1300		
B1.3	1350		
Detail A (Girder)			
B2.1	80	H2.1	170
B2.2	20	H2.2	20
B2.3	70	H2.3	25
		H2.4	25
Detail B (Trotoar)			
B3.1	100	H3.1	50
B3.2	25	H3.2	50
B.3.3	125	H3.3	30
B3.4	10		



Gambar 9. Abutment jembatan

Tabel 8. Notasi dan ukuran abutment

Notasi	Ukuran (m)	Notasi	Ukuran (m)
h1	0.60	b1	0.30
h2	1.40	b2	0.60
h3	0.70	b3	0.40
h4	0.40	b4	1.00
h5	0.40	b5	1.50
h6	0.20	b6	2.50
h7	4.00	b	5.00
h8	0.50		
h9	0.50		
h10	0.85		
h11	0.85		
C	1.55		
d	1.45		

2. Tanah

Lokasi pengambilan data tanah berada di desa Ombulo, tepatnya pada STA 10+825 ruas Gorontalo Outer Ring Road dengan melakukan pengujian SPT.

Tabel 9. Data tanah dan korelasi

Kedalaman (m)	Nilai SPT (N)	Jenis tanah	Sudut Geser Dalam (Ø) (Meyerhof 1974)
1.5	9	Sand	29,83
3	46	Sand Gravel	40,4
4.5	48	Sand Gravel	40,7
6	48	Sand Gravel	40,7
>7.5	> 50	Gravel Boulder	-

Pembebanan jembatan

Berdasarkan data perencanaan, dihitung beban yang bekerja serta berat bangunan atas dan bawah. Rekapitulasi beban yang bekerja pada pondasi dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 10. Beban bekerja pada pondasi

Rekap Beban Kerja		Arah	Vertikal	Horizontal	
No	Aksi/Beban	Kode	P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)
A Aksi Tetap					
1	Berat Sendiri	MS	8410.07		
2	Beban Mati Tambahan	MA	464.97		
3	Tekanan Tanah	TA	0.00	5.63	
B Beban Lalu Lintas					
4	Baban Lajur	TD	1072.50		
5	Beban Pendestrian	TP	132.20		
6	Gaya Rem	TB		250.00	
C. Aksi Lingkungan					
7	Temperatur	ET		20.08	
8	Beban Angin	EW	30.84		31.21
9	Beban Gempa	EQ		705.30	887.50
10	Tekanan Tanah Dinamis	EQ		56.38	

Setelah didapat rekapitulasi beban bekerja pada pondasi, dibuat kombinasi pembebanan akibat beban bekerja berdasarkan tegangan berlebihan diijinkan.

Tabel 11. Rekap kombinasi pembebanan

No	Kombinasi Beban	Tegangan berlebihan diijinkan	P	Tx	Ty	Mtahan	Mguling x	Mguling y
			(kN)	(kN)	(kN)	(kN.m)	(kN.m)	(kN.m)
1	Kombinasi - 1	0	10079.73	255.6321	0	7606.133	1512.203	0
2	Kombinasi - 2	0.25	10079.73	275.7133	0	7606.133	1592.528	0
3	Kombinasi - 3	0.25	10110.58	255.6321	31.20626	7606.133	1512.203	179.436
4	Kombinasi - 4	0.4	10110.58	275.7133	31.20626	7606.133	1592.528	179.436
5	Kombinasi - 5	0.5	8875.034	767.3124	887.5034	7003.784	3078.109	3574.155

Stabilitas abutmen

1. Kontrol stabilitas terhadap guling

$$\text{Stabilitas guling} = \frac{M_{\text{tahan}} \times k}{M_{\text{guling}}} > 2,2$$

(k = tegangan berlebihan diijinkan)

Tabel 12. Stabilitas guling arah x

No	Kombinasi beban	k	Mt	Mgx	Mt.k	SF	Keterangan
			(kN)	(kN)	kN		
1	Kombinasi - 1	0 %	7606.133	1512.203	7606.133	5.029836	> 2.2 (OK)
2	Kombinasi - 2	125%	7606.133	1592.528	9507.666	5.970173	> 2.2 (OK)
3	Kombinasi - 3	125%	7606.133	1512.203	9507.666	6.287296	> 2.2 (OK)
4	Kombinasi - 4	140%	7606.133	1592.528	10648.59	6.686593	> 2.2 (OK)
5	Kombinasi - 5	150%	7003.784	3078.109	10505.68	3.413029	> 2.2 (OK)

Tabel 13. Stabilitas guling arah y

No	Kombinasi beban	k	Mt	Mgy	Mt.k	SF	Keterangan
			(kN)	(kN)	kn		
1	Kombinasi - 1	0 %	7606.133	0	7606.133	-	> 2.2 (OK)
2	Kombinasi - 2	125%	7606.133	0	9507.666	-	> 2.2 (OK)
3	Kombinasi - 3	125%	7606.133	179.436	9507.666	52.98639	> 2.2 (OK)
4	Kombinasi - 4	140%	7606.133	179.436	10648.59	59.34475	> 2.2 (OK)
5	Kombinasi - 5	150%	7003.784	3574.155	10505.68	2.939345	> 2.2 (OK)

2. Kontrol stabilitas terhadap geser

$$\text{Stabilitas geser} = \frac{H}{T(x,y)} > 2,2$$

$$H = (c \times B_x \times B_y + P \times \tan \emptyset) \times k$$

dengan,

$$c = 0 ; B_x = 5 \text{ m} ; B_y = 13,5 ; \tan \emptyset = 0,57$$

Tabel 14. Stabilitas geser arah x

No	Kombinasi beban	k	Tx	P	H	SF	Keterangan
			(kN)	(kN)	(kN)		
1	Kombinasi - 1	0 %	255.6321	10079.73	5745.45	22.47546	> 2.2 (OK)
2	Kombinasi - 2	125%	275.7133	10079.73	7181.81	26.0481	> 2.2 (OK)
3	Kombinasi - 3	125%	255.6321	10110.58	7203.79	28.18029	> 2.2 (OK)
4	Kombinasi - 4	140%	275.7133	10110.58	8068.24	29.26315	> 2.2 (OK)
5	Kombinasi - 5	150%	767.3124	8875.034	7588.15	9.889262	> 2.2 (OK)

Tabel 15. Stabilitas geser arah y

No	Kombinasi beban	k	Ty	P	H	SF	Keterangan
			(kN)	(kN)	(kN)		
1	Kombinasi - 1	0 %	0	10079.73	5745.45	-	> 2.2 (OK)
2	Kombinasi - 2	125%	0	10079.73	7181.81	-	> 2.2 (OK)
3	Kombinasi - 3	125%	31.20626	10110.58	7203.79	230.8442	> 2.2 (OK)
4	Kombinasi - 4	140%	31.20626	10110.58	8068.24	258.5455	> 2.2 (OK)
5	Kombinasi - 5	150%	887.5034	8875.034	7588.15	8.55	> 2.2 (OK)

Perencanaan pondasi

Pada perencanaan pondasi sumuran, akan dicari dimensi optimum dengan memperhatikan volume pekerjaan dan daya dukung yang dianggap mampu menerima beban bekerja pada abutmen. Oleh karena itu, akan dibuat variasi diameter pada perencanaan.

Dimensi yang akan dianalisa adalah diameter 250cm, 300cm, 350cm, 400cm, dan 450 cm, serta membandingkan volume dari desain yang direncanakan dengan desain yang digunakan di lokasi penelitian.

Data perancangan:

- Jenis pondasi = Pondasi Sumuran
- Tebal cincin = 25 cm
- Berat cincin = 24 kN/m³
- Berat isian = 22 kN/m³
- Diameter (B) = a. 2,5 meter
b. 3 meter
c. 3,5 meter
d. 4 meter
e. 4,5 meter
- Kedalaman (D) = 4 meter
- N_{spt} = 48
- Tebal cincin = 25 cm
- Berat cincin = 24 kN/m³
- Berat isian = 22 kN/m³

Dengan diketahui data data diatas, maka dapat dihitung daya dukung pondasi untuk data lapangan menggunakan metode Meyerhof, data lab menggunakan metode Terzaghi dan rumus yang diberikan program Allpile 6 dengan persamaan :

1. Metode Meyerhof

$$q_a = 8 \times N \times \left(\frac{B+0,3}{B} \right)^2 \text{ untuk } B > 1,2\text{m}$$

dimana ;

q_a = kapasitas dukung ijin netto (kN/m²)

N = jumlah pukulan pada uji SPT

B = Lebar pondasi

Sehingga, daya dukung pertiang menjadi.

Tabel 16. Kapasitas dukung 1 tiang (Meyerhof)

Diameter (m)	Luas (m ²)	q _a (kN/m ²)	Q _a (kN)	Berat tiang (kN)	Q _a - berat tiang (kN)
2.5	4.910714	481.6896	2365.44	446.2857	1919.154
3	7.071429	464.64	3285.669	639.5714	2646.097
3.5	9.625	452.6498	4356.754	867.4286	3489.326
4	12.57143	443.76	5578.697	1129.857	4448.84
4.5	15.91071	436.9067	6951.497	1426.857	5524.64

2. Metode Terzaghi

$$q_a = \frac{q_u A_p + \pi B f_s D_f}{SF}$$

untuk pondasi berbentuk lingkaran

$$q_u = 1,3 cN_c + qN_q + 0,3\gamma BN_f$$

dimana:

q_a = kapasitas dukung ultimit total untuk pondasi kaisan (kN)

Q_u = kapasitas dukung ujung (kN)

Q_s = perlawanan gesekan dinding (kN)

f_s = faktor gesekan permukaan antara dinding dan tanah

SF = faktor keamanan (diambil = 3)

Tabel 17. Kapasitas dukung 1 tiang (Terzaghi)

Diameter (m)	Luas (m ²)	q_u (kN/m ²)	Q_u (kN)	Q_s (kN)	Q_a (kN) (Qu + Qs)/SF	Q_a - berat tiang (kN)
2.5	4.910714	1814.315	8909.582	436.0714	3115.218	2668.932
3	7.071429	2177.178	15395.76	523.2857	5306.348	4666.777
3.5	9.625	2540.041	24447.89	610.5	8352.798	7485.369
4	12.57143	2902.904	36493.65	697.7143	12397.12	11267.26
4.5	15.91071	3265.767	51960.68	784.9286	17581.87	16155.01

3. Allpile 6

$$Q_{dw} = Q_{tip} + Q_{side}$$

$$Q_{tip} = q_{ult} A_b ; q_{ult} (kpa) = 57,5 \cdot N_{spt}$$

$$Q_{side} = \sum f_0 \cdot \Delta l \cdot P_i ; f_0 = \beta \cdot C$$

dimana:

Q_{dw} = Kapasitas dukung total

Q_{tip} = Kapasitas dukung ujung

Q_{side} = Kapasitas dukung samping

f_0 = tahanan gesek

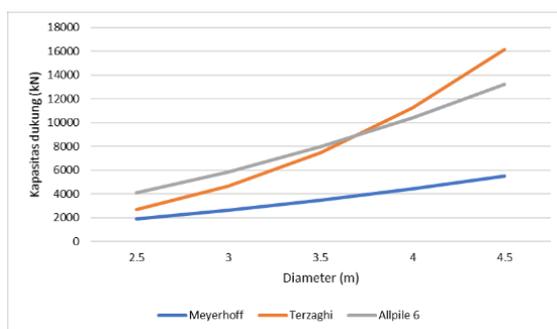
Δl = segmen yang ditinjau (kedalaman tinjauan)

P_i = keliling pondasi

C = nilai kohesi area tinjauan

Tabel 18. Kapasitas dukung 1 tiang (Allpile6)

Diameter (m)	Luas (m ²)	q_u (kN/m ²)	Q_u (kN)	Q_s (kN)	Q_a (kN) (Qu + Qs)/SF	Q_a - berat tiang (kN)
2.5	4.910714	2760	13553.57	0	4517.857	4071.571
3	7.071429	2760	19517.14	0	6505.714	5866.143
3.5	9.625	2760	26565	0	8855	7987.571
4	12.57143	2760	34697.14	0	11565.71	10435.86
4.5	15.91071	2760	43913.57	0	14637.86	13211



Gambar 10. Grafik hubungan diameter pondasi dengan kapasitas dukung

Perhitungan jumlah tiang perlu

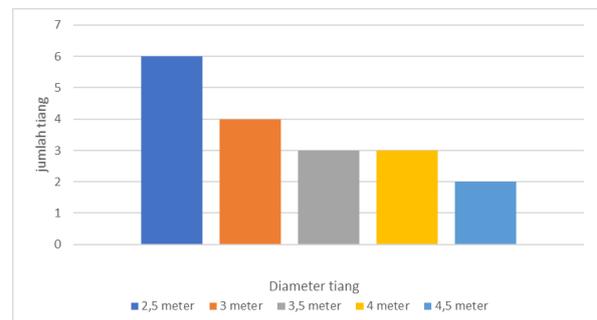
Setelah didapat daya dukung bersih pertiang, dicari jumlah tiang diperlukan dengan cara membagi beban bekerja pada setiap kombinasi pembebanan dengan kapasitas dukung pertiang yang telah dikurangi berat pondasi.

Tabel 19. Tiang perlu disetiap kombinasi pembebanan

Diameter (m)	$Q_a - W$ (kN)	Kombinasi 1 (kN)	Kombinasi 2 (kN)	Kombinasi 3 (kN)	Kombinasi 4 (kN)	Kombinasi 5 (kN)
		10079.73	10079.732	10110.577	10110.577	8875.0
2.5	1919.154	5.252174	5.2521738	5.2682459	5.2682459	4.6244
3	2646.097	3.809283	3.8092826	3.8209393	3.8209393	3.3540
3.5	3489.326	2.888733	2.8887334	2.8975732	2.8975732	2.5434
4	4448.84	2.265699	2.2656989	2.2726321	2.2726321	1.9945
4.5	5524.64	1.824505	1.8245047	1.8300879	1.8300879	1.6064

Tabel 20. Tiang perlu di setiap kombinasi pembebanan (dibulatkan)

Diameter (m)	Q_a (kN)	Kombinasi 1 (kN)	Kombinasi 2 (kN)	Kombinasi 3 (kN)	Kombinasi 4 (kN)	Kombinasi 5 (kN)
		10079.73	10079.732	10110.577	10110.577	8875.034
2.5	3225.9	6	6	6	6	5
3	4480.8	4	4	4	4	4
3.5	5941.6	3	3	3	3	3
4	7608.0	3	3	3	3	2
4.5	9218.8	2	2	2	2	2

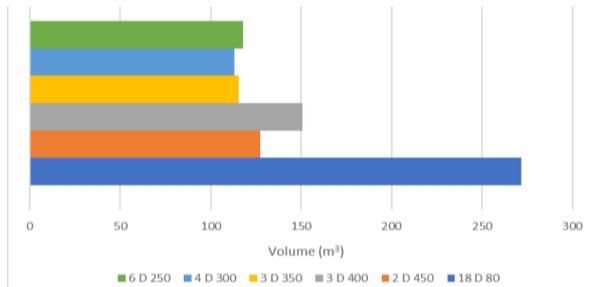


Gambar 11. Kebutuhan tiang terhadap variasi diameter pondasi

Untuk mendapatkan desain yang efisien, perlu dilakukan perhitungan volume pondasi. Tabel berikut merupakan perhitungan volume desain pondasi yang direncanakan penulis dan desain yang ada di lokasi penelitian.

Tabel 21. Perhitungan volume pondasi

Diameter (m)	Luas (m ²)	kedalaman (m)	nmaks/nlap	Vtiang (m ³)	Vtotal (m ³)
desain rencana					
2.5	4.910714	4	6	19.64286	117.8571
3	7.071429	4	4	28.28571	113.1429
3.5	9.625	4	3	38.5	115.5
4	12.57143	4	3	50.28571	150.8571
4.5	15.91071	4	2	63.64286	127.2857
desain yang dilaksanakan di lapangan					
0.8	0.502857	30	18	15.08571	271.5429

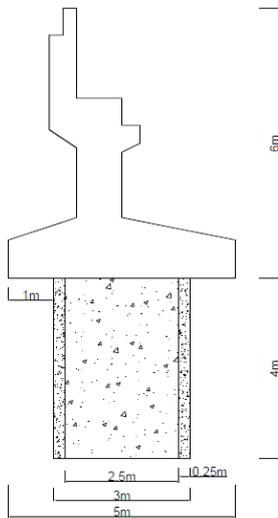


Gambar 12. Volume total pondasi terhadap jumlah dan diameter tiang

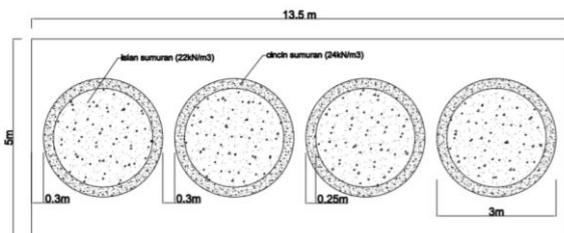
Berdasarkan perhitungan volume, didapat dimensi efisien untuk perencanaan pondasi pada lokasi penelitian, yaitu diameter 3 meter dengan kedalaman 4 meter sebanyak 4 tiang.

Analisis daya dukung pondasi sumuran (desain efisien)

Setelah didapat desain efisien, kapasitas dukung dan penurunan harus dihitung untuk mendapatkan nilai kapasitas dukung total. Penempatan pondasi sumuran yang direncanakan juga harus menyesuaikan dengan dimensi balok cap, dimana ada jarak bebas balok cap minimum sebesar 250mm.



Gambar 13. Tampak samping penempatan pondasi



Gambar 14. Tampak atas penempatan pondasi

1. Dengan N_{spt}

Data perencanaan:

- Jenis pondasi = Pondasi Sumuran
- Diameter (B) = 3 meter
- Kedalaman (D) = 4 meter
- Jumlah tiang (n) = 4 buah
- N = 48
- P_{maks} = 10110,58 kN

Digunakan rumus Meyerhof untuk tanah pasir, dengan $B > 1,2$ meter

$$q_a = 8 \times N \times \left(\frac{B+0,3}{B}\right)^2 \quad \text{untuk } B > 1,2m$$

dimana ;

- q_a = kapasitas dukung ijin netto (kN/m²)
- N = jumlah pukulan pada uji SPT
- B = Lebar pondasi

maka ;

$$W_{tiang} = n \times ((V_{isian} \times W_{isian}) + (V_{selimut} \times W_{selimut}))$$

$$= 4 \times ((19,642 \times 22) + (8,642 \times 24))$$

$$= 2558,28 \text{ kN}$$

$$q_a = 8 \times 48 \times \left(\frac{3+0,3}{3}\right)^2$$

$$= 464,64 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_a = q_a \times A_s \times n$$

$$= 464,64 \times (\pi \times 1,5^2) \times 4 \text{ (kN)}$$

$$= 13142,67 \text{ kN}$$

Syarat: $Q_a > P_{maks} + W_{tiang}$

$$13142,67 \text{ kN} > 10110,58 \text{ kN} + 2558,28 \text{ kN}$$

$$13142,67 \text{ kN} > 12668,86 \text{ kN} \quad (\text{aman})$$

2. Dengan data Lab (dikorelasi)

Tabel 22. Data tanah dan korelasi terhadap sudut geser dalam

Kedalaman (m)	Nilai SPT (N)	Jenis tanah	Sudut Geser Dalam (Ø) (Meyerhof 1974)
1.5	9	Sand	29,83
3	46	Sand Gravel	40,4
4.5	48	Sand Gravel	40,7
6	48	Sand Gravel	40,7
>7.5	> 50	Gravel Boulder	-

Tabel 23. Data tanah dan korelasi terhadap faktor gesekan dinding

Kedalaman (m)	Nilai SPT (N)	Jenis tanah	F_s (kN/m ²)
1.5	9	Pasir tak padat	12
3	46	Pasir padat	14
4.5	48	Pasir padat	14
6	48	Pasir padat	14
>7.5	> 50	Pasir padat	-

- a. Tahanan ujung
 $\emptyset = 40,7^\circ$ maka ; $N_c = 106,424$
 $N_q = 94,18$
 $N_\gamma = 127,9$
 $\gamma = 21,6 \text{ kN/m}^3$
 $q_u = 1,3 cN_c + qN_q + 0,3\gamma B N_\gamma$
 $= 2486,376 \text{ kN/m}^2$
 $Q_u = q_u A_p$
 $= 2486,376 \times 0,25 \times \pi \times 3^2$
 $= 17582,23 \text{ kN}$

- b. Tahanan samping
 0,25 meter berada pada pasir tidak padat
 $(f_s = 12 \text{ kN/m}^2)$
 3,75 meter berada pada pasir padat
 $(f_s = 14 \text{ kN/m}^2)$
 $Q_s = \Sigma \pi B f_s D f$
 $= (\pi \times 3 \times 12 \times 0,25)$
 $+ (\pi \times 3 \times 14 \times 3,75) \text{ kN}$
 $= 523,285 \text{ kN}$

- c. Kapasitas dukung total.
 $Q_a = \frac{Q_u + Q_s}{SF} = \frac{17582,23 + 523,285}{3}$
 $= 6035,17 \text{ kN}$

Sehingga untuk 4 unit pondasi sumuran, kapasitas dukung menjadi 24140,68 kN > 12668,86 kN (aman)

Penurunan

Untuk penurunan pondasi, digunakan metode Meyerhof dengan persamaan

$$S_i = \frac{6q}{N} \times \left(\frac{B}{B+1}\right)^2 \text{ untuk } B > 1,2 \text{ meter}$$

Dimana:

- S_i = penurunan dalam in (1 in= 2,54 cm)
- B = lebar pondasi dalam ft (1ft = 30,48cm)
- q = intensitas beban yang diterapkan dalam kip/ft² (1 kip/ft² = 47,88 kN/m²)
 $= (P / A_t) / 47,88 \text{ (kip/ft}^2)$
- A_t = luas total pondasi
 $= \text{luas pondasi} \times \text{jumlah tiang}$
- P = $P_{maks} + W_{tiang}$

Penurunan pondasi ditinjau pada ujung tiang (4m) dengan data perencanaan ;

- $B = 3 \text{ meter (9,84252 ft)}$
- $N = 48$
- $P = 12668,86 \text{ kN}$
- $A_t = 0,25 \times \pi \times 3^2 \times 4$
 $= 28,285 \text{ m}^2$
- $q = (12668,86 / 28,285) / 47,88$
 $= 9,354 \text{ kip/ft}^2$

Maka:

$$S_i = \frac{6q}{N} \times \left(\frac{B}{B+1}\right)^2$$

$$S_i = \frac{6 \times 9,354}{48} \times \left(\frac{9,84252}{9,84252 + 1}\right)^2 = 0,963559 \text{ in}$$

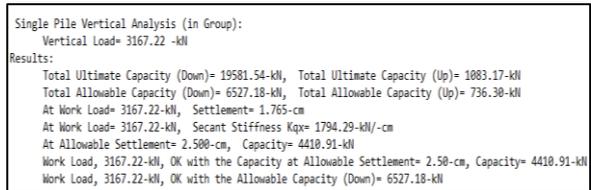
$$= 2,408 \text{ cm}$$

Perhitungan daya dukung dengan program ALLPILE 6

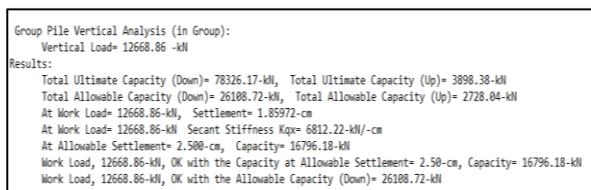
Sebagai pembandingan, digunakan program Allpile 6 untuk mendukung perhitungan manual yang telah dibuat sebelumnya dengan data perencanaan sebagai berikut.

- a. *Pile type: SHAFT*
- b. *Pile profile:*
 - *Pile Length (L): 4 meter*
 - *Top Height (H): -1,25 meter*
- c. *Pile properties:*
 - $Z_p = 0 \text{ m} : \text{width} = 300 \text{ cm}$
 - $Z_p = 4 \text{ m} : \text{width} = 300 \text{ cm}$
- d. *Load: Vertical: 12668,86 kN*
- e. *Soil properties:*
 - $Z_p = 0 \text{ m} ; \text{sand/gravel} ; N_{spt} = 9$
 - $Z_p = 1,5 \text{ m} ; \text{sand/gravel} ; N_{spt} = 9$
 - $Z_p = 3 \text{ m} ; \text{sand/gravel} ; N_{spt} = 46$
 - $Z_p = 4,5 \text{ m} ; \text{sand/gravel} ; N_{spt} = 48$
 - $Z_p = 6 \text{ m} ; \text{sand/gravel} ; N_{spt} = 48$
 - $Z_p = 7,5 \text{ m} ; \text{sand/gravel} ; N_{spt} = 50$

Output dari Allpile yang digunakan adalah total *ultimate capacity*, total *allowable capacity*, dan *settlement*. Dengan mengambil *safety factor* = 3, hasil dari perhitungan program dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 15. *summary report* Allpile 6 untuk tiang tunggal



Gambar 16. *summary report* Allpile 6 untuk tiang grup



Gambar 17 Pengaruh beban bekerja terhadap penurunan pondasi

Gambar 17 adalah kapasitas dukung per-tiang dengan daya dukung untuk penurunan 1 inci sebesar 4410,91 kN, dan gambar 16 adalah kapasitas dukung tiang grup dengan kapasitas dukung untuk penurunan 1 inci sebesar 16796,18 kN, lebih besar daripada beban total sebesar 12668,86 kN. Dengan demikian menurut hasil dari program Allpile 6 desain pondasi yang direkomendasikan aman untuk diaplikasikan dilapangan.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Akibat beban bekerja pada abutmen, dapat disimpulkan bahwa desain abutmen yang ada aman terhadap stabilitas guling dan geser dengan safety factor $> 2,2$.
2. Berdasarkan volume pondasi, direkomendasikan 4 unit pondasi sumuran diameter 3 meter dan kedalaman 4 meter, dimana penggunaan desain yang direkomendasikan dapat mengurangi volume pekerjaan $\pm 58 \%$.
3. Kapasitas dukung desain yang direkomendasikan aman terhadap beban bekerja pada abutmen jembatan dan penurunan.
4. Berdasarkan hasil perhitungan software bantu Allpile 6, desain rekomendasi mampu menahan beban bekerja dengan penurunan dibawah 1 inci.

Saran

Berdasarkan hasil analisis, maka disarankan beberapa hal berikut :

Saat perencanaan pondasi, akan lebih baik jika perencana mempertimbangkan beberapa desain dengan memperhatikan letak tanah keras pada lokasi pekerjaan serta kapasitas dukung dari pondasi yang direncanakan. Hal ini dilakukan agar perencana bisa mendapatkan desain yang efektif serta efisien sehingga tidak akan memakan waktu, biaya, serta tenaga yang berlebihan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2017. *Allpile Version 7 User's Manual volume 1 and 2*, Civiltech. Amerika
- Budi, Gogot Setyo. *Pondasi Dangkal*, ANDI Yogyakarta. Yogyakarta
- Directorate General of Highways. 1992. *Bridge Design Manual Section 1*, Bina Marga. Jakarta
- Hardiyatmo, Hary C., 2008. *Teknik Fondasi 2*, PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Harsanto C., Manoppo F. J., Sumampouw J. R., 2015. *Analisis Daya Dukung Tiang Bor (Bored Pile) pada Struktur Pylon Jembatan Soekarno dengan PLAXIS 3D*, Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol.5 No.2, September 215 (345-35) ISSN: 287-9334, Universitas Sam Ratulangi. Manado
- Lapis J. O., Balamba S., Sompie O. B. A., Sarajar A. N.. 2013. *Analisis Kestabilan Pondasi Jembatan (Studi Kasus : Jembatan Essang – Lalue)*, Jurnal Sipil Statik Vol.1 No.11, Oktober 2013 (730-744) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi. Manado
- SNI 4153-2008 *Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- SNI T 02 – 2005 *Standar Pembebanan untuk Jembatan*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.