

TUGAS AKHIR

ANALISIS PERENCANAAN PONDASI JEMBATAN DI SULAWESI UTARA MENGGUNAKAN ANALISIS GROUP PILE

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Pada Program Strata (S1) Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Sangga Buana YPKP Bandung*

Dosen Pembimbing:

Chandra Afriade Siregar, ST., MT.

NIK.432.200.167

Disusun Oleh :

AHMAD SOPYAN JUNAEDI PUTRA

NIM. 2112207013



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS SANGGA BUANA
BANDUNG**

2023

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS PERENCANAAN PONDASI JEMBATAN DI SULAWESI
UTARA MENGGUNAKAN ANALISIS GROUP PILE**

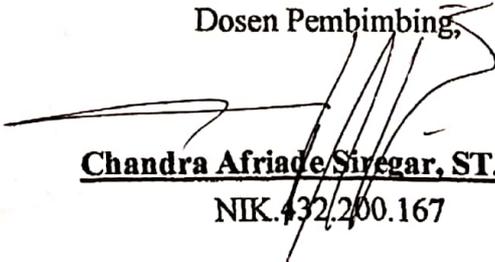
Disusun Oleh :

Ahmad Sopyan Junaedi Putra

NIM. 2112207013

Naskah Tugas Akhir ini diperiksa dan disetujui sebagai kelengkapan persyaratan kelulusan guna memperoleh gelar sarjana Teknik Sipil pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP Bandung

Disetujui Oleh :
Dosen Pembimbing,


Chandra Afriade Siregar, ST., MT.

NIK. 432.200.167

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil
Universitas Sangga Buana YPKP


Muhammad Syukri, ST., MT

NIK. 432.200.200

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan bahwa tugas akhir berjudul “Analisis Perencanaan Pondasi Jembatan Di Sulawesi Utara Menggunakan Analisis Group Pile” ini sepenuhnya karya saya sendiri. Tidak ada bagian didalamnya yang merupakan plagiat dari karya orang lain dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko / sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila kemudian ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya ini, atau ada klaim pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, Juli 2023

Pembuat Pernyataan



Ahmad Sopyan Junaedi Putra

NIM. 2112207013

**“ANALISIS PERENCANAAN PONDASI JEMBATAN DI
SULAWEUSI UTARA MENGGUNAKAN ANALISIS GROUP
PILE”**

Disusun Oleh :

Ahmad Sopyan Junaedi Putra

NIM. 2112207013

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik Sipil pada Fakultas Teknik

© Ahmad Sopyan Junaedi Putra

Universitas Sangga Buana YPKP

2023

Hak Cipta Dilindungi Undang – Undang.

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,

Dengan dicetak ulang, *photocopy*, atau cara lainnya tanpa izin penulis.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Tugas akhir ini ditulis oleh Ahmad Sopyan Junaedi Putra yang merupakan anak ke-2 dari 3 bersaudara dari pasangan Bapak Dedi Junaedi dan Emas Permasi yang lahir pada tanggal 5 April 2000. Berjenis kelamin laki – laki, beragama islam dan sekarang berstatus menikah.

Adapun Riwayat Pendidikan penulis yaitu pada tahun 2011 lulus dari SDN Dawuan Timur 2. Setelah itu melanjutkan di SMPN 2 Kotabaru dan lulus pada tahun 2014. Pada tahun 2017 lulus dari SMAN 2 Cikampek dan terakhir melanjutkan ke Univeristas Sanggabuana YPKP Bandung program S1 jurusan Teknik sipil.

LEMBAR PERSEMBAHAN

“Jika seseorang berpergian dengan mencari ilmu, maka Allah akan menjadikan perjalannya seperti perjalanan menuju surga” – Nabi Muhammad SAW

Ahmad Sopyan Junaedi Putra

NIM. 2112207013

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk:

Terima kasih kepada orang tua, istri, serta rekan – rekan semua dan tidak lupa kepada para pendidik yang telah membantu saya melalui bimbingan yang diberikan saya bisa menyelesaikan Pendidikan di Universitas Sangga Buana YPK Bandung.

Bandung, Maret 2023

ANALISIS PERENCANAAN PONDASI JEMBATAN DI SULAWESI UTARA MENGGUNAKAN ANALISIS GROUP PILE

(Ahmad Sopyan, 2112207013, Chandra Afriade Siregar, ST.MT, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Sangga Buana, Bandung)

ABSTRAK

Tugas akhir ini membahas mengenai analisis kebutuhan pondasi jembatan di Sulawesi Utara dengan jenis pondasi caisson/sumuran pada abutment satu dan pondasi pancang beton pada abutment dua. Jenis pondasi tiang yang digunakan berbeda karena merupakan pengaruh dari jenis dan konsistensi tanah pada lokasi tersebut. Analisis ini dilakukan untuk mendapatkan dimensi dan jumlah kebutuhan tiang pada setiap abutment dengan memperhitungkan faktor keamanan kuat tekan, tarik dan deformasi tiang arah aksial maupun lateral. Berdasarkan analisis kebutuhan tiang pondasi didapat bahwa pondasi pada abutment satu menggunakan pondasi sumuran caisson dengan dimensi 10x12x3 m yang sudah memperhitungkan kondisi bearing, guling dan geser, sedangkan untuk kebutuhan tiang pondasi pancang beton didapat jumlah tiang sebanyak 42 buah (6x7) dengan panjang tiang 18 m hingga bertumpu pada tanah keras dengan diameter tiang 600 mm yang sudah memperhitungkan faktor keamanan tarik dan tekan untuk kondisi statik sebesar 3 dan kondisi gempa sebesar 1.67.

Kata Kunci: Simulasi model, analisis pondasi, dinding penahan tanah, longsoran, tiang pancang beton, Pondasi sumuran, dan Group Pile V19.

ANALYSIS OF BRIDGE FOUNDATION PLANNING IN NORTH SULAWESI USING GROUP PILE ANALYSIS.. (Ahmad Sopyan, 2112207013, Chandra Afriade Siregar, ST.MT Departement of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and Planning, Universitas Sangga Buana

ABSTRACT

This final project discusses the analysis of bridge foundation needs in North Sulawesi with the type of caisson/well foundation on abutment one and concrete pile foundation on abutment two. The type of pile foundation used is different because it is the influence of the type and consistency of the soil at that location. This analysis is carried out to obtain the dimensions and number of pile requirements for each abutment by taking into account the factors of safety for compressive strength, tensile and pile deformation in axial and lateral directions. Based on the analysis of the needs of the foundation piles, it was found that the foundation on the abutment one uses a caisson well foundation with dimensions of 10x12x3 m which has taken into account the conditions of bearing, bolster and shear, while for the needs of the concrete pile foundation, the number of piles obtained is 42 pieces (6x7) with a pile length of 18 m. until it rests on hard ground with a pile diameter of 600 mm which has taken into account the tensile and compressive safety factors for static conditions of 3 and earthquake conditions of 1.67.

Key word: *Model simulation, foundation analysis, retaining walls, landslides, concrete piles, well foundations, and Group Pile V19.*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah Subhanahu Wata'ala atas berkat rahmat serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat memenuhi kewajibannya dalam menyelesaikan tugas akhir pada program studi S1 Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP yang berjudul “Analisis Desain Pondasi Jembatan di Sulawesi Utara”.

Penulis menyadari bahwa dalam memenuhi kewajiban ini masih terdapat kekurangan yang disebabkan oleh keterbatasan kemampuan serta pengetahuan yang dimiliki penulis. Tugas akhir ini dapat selesai dengan bimbingan, bantuan dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan laporan tugas akhir kepada:

1. Dr. Didin Saepudin, SE., M.Si. selaku Rektor Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
 2. Dr. Teguh Nurhadi Suharsono, ST., M.T, selaku Wakil Rektor I Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
 3. Bambang Susanto, SE.,M.Si, selaku Wakil Rektor II Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
 4. Nurhaeni Sikki, S. AP., M.AP, selaku Wakil Rektor III Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
 5. Slamet Risnanto,ST.,M.Kom selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
 6. Muhammad Syukri, ST.,MT., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil.
 7. Chandara Afriade Siregar, ST.,MT., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan untuk Tugas Akhir ini .
 8. Kedua orang tua yang telah memberi dukungan materil dan spiritual dalam penyelesaian kegiatan perkuliahan.
 9. Teman-teman sejawat di lingkungan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana (USB) YPKP.
 10. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir
- Akhir kata, penyusun menyadari bahwa mungkin masih terdapat banyak

kekurangan dalam Laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, kritik dan saran dari pembaca akan sangat bermanfaat bagi penyusun. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Bandung, Januari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Lingkup dan Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Laporan	3
BAB II	4
2.1 Jenis Pondasi Tiang	4
2.1.1 Pondasi Tiang Baja	4
2.1.2 Tiang Pancang Beton Precast.....	5
2.1.3 Tiang Bor Beton Insitu.....	6
2.2 Penyelidikan Tanah	7
2.3 Korelasi Parameter Tanah	9
2.3.1 Sudut Geser Dalam	11

2.3.2	Modulus Elastisitas Tanah	11
2.3.3	Kohesi Tanah	12
2.4	Perhitungan Pondasi Tiang.....	13
2.4.1	Daya Dukung Aksial Tekan Pondasi	13
2.4.2	Daya Dukung Aksial Tarik	17
2.4.3	Efisiensi Tiang Group	18
2.4.4	Kapasitas Lateral Tiang	19
2.4.5	Daya Dukung Izin (Qall).....	21
2.4.6	Penurunan Tiang Pondasi.....	22
2.5	Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang	23
2.6	Metode Transfer Beban	25
BAB III	29
3.1	Tahapan Penelitian	29
3.1.1	Tahapan Pengumpulan Data	29
3.1.2	Penentuan Parameter Tanah dan Stratifikasi.....	29
3.1.3	Tahapan Simulasi Model Pemodelan dengan Group Pile.....	29
3.1.4	Tahapan Analisis dan Pembahasan.	29
3.1.5	Verifikasi dan Validasi.....	30
3.1.6	Tahapan Kesimpulan dan Saran.....	30
3.2	Tahapan Bagan Alir.....	30
3.3	Diagram Alir Penelitian.....	31
BAB IV	32
4.1	Data Tanah.....	32
4.2	Daya Dukung Tiang Aksial & Lateral.....	35
4.3	Reaksi Struktur	37
4.4	Analisis Pondasi	37

4.4.1	Analisis Pondasi Sumuran Abutment 1 (BH-01).....	37
4.4.2	Analisis Pondasi Tiang Pancang Abutment 2 (BH-02).....	40
BAB V	46
5.1	Kesimpulan.....	46
5.2	Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tiang Precast (Das, 2011)	5
Gambar 2.2 Drilling bored	7
Gambar 2.3 Standard Penetration Test.....	8
Gambar 2.4 Korelasi <i>Undrained Shear Strength (cu)</i> Terhadap Nilai SPT Tanah Lempung (Terzaghi & Peck, 1967).....	9
Gambar 2.5 Korelasi antara N-SPT dan Sudut Geser Dalam (Terzaghi, 1969) .	10
Gambar 2.6 Analisis Pondasi Dalam (Group Pile, 2016)	13
Gambar 2.7 (a) Model Pembebanan Aksial ; (b) Model Pembebanan Lateral (Group Pile, 2016)	13
Gambar 2.8 Model sambungan pile cap.....	20
Gambar 2.9 Tipe Kegagalan Tiang Akibat Beban Lateral.....	21
Gambar 2.10 Kelompok Tiang Dibawah Sebuah Bangunan (Hakam, 2008)	24
Gambar 2.11 Konfigurasi pondasi tiang (Hakam,2008)	25
Gambar 2.12 Konfigurasi pondasi tiang (Bowles, 1997).....	27
Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian	31
Gambar 4.1 Lokasi data tanah jembatan Ammat pada plan profil.....	32
Gambar 4.2 Lokasi data tanah jembatan Ammat pada plan profil.....	34
Gambar 4.3 Grafik momen nol pada BH-02 lokasi jembatan Ammat D0.6 m....	36
Gambar 4.4 Proses pemodelan analisis group pile.....	40
Gambar 4.5 Potongan pondasi tiang CSP 600mm, tebal 100 mm.	41
Gambar 4.6 Input reaksi struktur	43
Gambar 4.7 Aksial tekan terbesar kondisi statik (non gempa)	43
Gambar 4.8 Aksial tekan terbesar kondisi gempa.....	44
Gambar 4.9 Aksial tarik terbesar kondisi gempa	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah (Das, 2011)	11
Tabel 2.2 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (Das, 2011).....	11
Tabel 2.3 Korelasi N-SPT dengan q_u dan Berat Volume Tanah. (Das, 2011)	12
Tabel 2.4 Nilai rekomendasi α (Das, 2011).....	16
Tabel 2.5 Parameter Modulus dan ε_{50} Tanah Lempung (Group pile, 2016).....	16
Tabel 2.6 Parameter Modulus Tanah Pasir (Group pile, 2016)	17
Tabel 2.7 Resume teori perhitungan pondasi tiang (Irsyam, 2012)	17
Tabel 4.1 Stratifikasi dan NSPT pada jembatan Sulawesi Utara	33
Tabel 4.2 Daya dukung pondasi tiang pancang baja BH-02 jembatan Ammat untuk A2.....	35
Tabel 4.3 Daya dukung lateral tiang pancang baja BH-02 jembatan Ammat untuk A2 dan A3 D0.6 m	36
Tabel 4.4 Reaksi struktur Abutment 1 (A1).....	37
Tabel 4.5 Reaksi struktur Abutment 2 (A2).....	37
Tabel 4.6 Perhitungan analisis sumuran caisson kondisi statik	38
Tabel 4.7 Perhitungan analisis sumuran caisson kondisi Gempa.....	39
Tabel 4.8 Parameter tanah analisis pemodelan group pile	41
Tabel 4.9 Parameter tanah satu	41
Tabel 4.10 Parameter tanah dua	42
Tabel 4.11 Parameter tanah tiga.....	42
Tabel 4.12 Parameter tanah empat	42
Tabel 4.13 Parameter tanah lima.....	42
Tabel 4.14 Resume aksial tekan dan tarik pada masing-masing join (envelope)	45
Tabel 4.15 Deformasi arah aksial & Lateral pada masing-masing join (envelope)	45

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sedang melakukan pembangunan infrastruktur di seluruh wilayah kepulauannya, terutama di daerah yang belum berkembang. Pembangunan infrastruktur tersebut di antaranya jalan, bendungan, jembatan yang tujuan semua lokasi dapat terhubung dengan baik sehingga wilayah-wilayah yang berada disekitarnya dapat berkembang dengan baik dan memiliki akses mobilisasi perjalanan yang mudah.

Di daerah yang relative belum berkembang seperti pulau sulaweusi memiliki bangunan infrastruktur seperti jembatan yang perlu perbaikan. Hal tersebut dilakukan karena adanya kejadian likuifaksi di daerah palu. Sehingga pemerintah melakukan re design pada jembatan eksisting yang tersebar di daerah kepulauan sulaweusi khususnya sulaweusi utara.

Perencanaan jembatan membutuhkan perencanaan yang matang sebelum masuk ketahap pembangunan. Jembatan yang menjadi penghubung memiliki beban yang besar, baik dari berat beban bangunan itu sendiri maupun dari fungsi bangunan tersebut, sehingga untuk menopang beban yang besar diperlukan fondasi yang sanggup memikulnya. Fondasi ialah struktur bagian bawah bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah dan suatu bagian dari konstruksi yang berfungsi menahan beban di atasnya. Fondasi secara umum terbagi menjadi dua, yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Dalam kasus bangunan gedung bertingkat sangat dianjurkan menggunakan fondasi dalam untuk menopang beban yang besar dan dapat menyalurkan beban tersebut ke dalam tanah keras.

Pada studi kasus ini akan membahas mengenai jenis pondasi yang cocok dan efektif untuk digunakan sebagai tumpuan transfer beban struktur atas teradap tanah sebagai akhir dari penerima beban atas jembatan. Analisis pondasi menggunakan software group pile untuk mendapatkan kebutuhan panjang tiang, diameter tiang, jarak tiang dan jenis tiang pondasi berdasarkan data tanah yang tersedia untuk kebutuhan desain.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan yang telah dibahas dalam latar belakang, maka permasalahan yang terjadi pada Tugas Akhir ini, diantaranya:

1. Berapakah nilai kapasitas daya dukung single pondasi arah aksial dan lateral ?
2. Bagaimana pengaruh faktor keamanan pondasi terhadap kebutuhan daya dukung tiang pondasi berdasarkan SNI 8460-2017 ?
3. Bagaimana pengaruh panjang tiang bor pile terhadap fixities point (momen=0) ?
4. Bagaimana pengaruh beban statik dan gempa terhadap konfigurasi tiang pondasi ?

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dari kegiatan penelitian Tugas Akhir ini adalah untuk mendapatkan kebutuhan pondasi tiang dan jenis pondasi tiang untuk jembatan yang berada di Sulawesi Utara menggunakan software group pile. Adapun tujuan penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui nilai kapasitas daya dukung tiang pondasi aksial maupun lateral.
2. Mengetahui pengaruh faktor keamanan pondasi terhadap kebutuhan daya dukung tiang pondasi berdasarkan SNI 8460-2017
3. Mengetahui pengaruh variasi panjang tiang bor pile terhadap fixities point (momen=0).
4. Mengetahui pengaruh beban statik dan gempa terhadap konfigurasi tiang pondasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Memicu minat penelitian terhadap mahasiswa Teknik Sipil YPKP khususnya pada bidang mekanika tanah.
2. Hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar untuk mendapatkan kebutuhan pondasi tiang jembatan di daerah Sulawesi Utara.
3. Mengembangkan metode pendekatan berupa simulasi model dengan software group pile dalam perencanaan penanganan longsoran di Sulawesi Utara

1.5 Lingkup dan Batasan Masalah

Adapun lingkup dan batasan masalah yang akan dibahas dalam penulisan Tugas Akhir ini berkaitan dengan rumusan masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, ruang lingkup yang akan dibahas dalam penulisan ini, diantaranya:

1. Penanganan longsoran yang akan dilakukan dalam proses analisis menggunakan tipe tiang pondasi bored pile.
2. Melakukan pemodelan analisis design kebutuhan pondasi tiang jembatan menggunakan pendekatan software Group Pile 2016 & Lpile 2018
3. Menganalisis kebutuhan tiang dan jenis tiang pondasi yang digunakan pada jembatan Sulweusi Utara
4. Data tanah yang digunakan dalam simulasi model merupakan data penyelidikan tanah pada lokasi yang disediakan di salah satu daerah Sulawesi Utara
5. Acuan penentuan design berdasarkan SNI 8460-2017.

1.6 Sistematika Laporan

Sistematika pelaporan dalam kegiatan penelitian Tugas Akhir ini disajikan dalam 3 bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisikan mengenai latar belakang, identifikasi masalah, rumusan masalah, tujuan, manfaat, lingkup dan batasan serta sistematika penulisan dalam penyusunan hasil-hasil penelitian Tugas Akhir ini.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan mengenai teori, rujukan, jurnal dan laporan yang berkaitan dengan penelitian Tugas Akhir ini. Menjelaskan mengenai penanganan longsoran, stabilitas lereng, dan teori bored pile yang mendukung penelitian ini menggunakan Group Pile 2016 dan Lpile 2018.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas hubungan teori yang telah dipaparkan pada Bab sebelumnya dengan permasalahan yang telah dijelaskan dalam rumusan masalah, penjelasan isi, dan penelitian yang disajikan dalam bentuk bagan alir serta langkah – langkah analisis menggunakan Software Group Pile 2016 dan Lpile 2018 (Ensoft)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tiang pancang adalah anggota struktur yang terbuat dari baja, beton, atau kayu. Mereka digunakan untuk membangun pondasi tiang pancang, yang dalam dan yang harganya lebih mahal daripada pondasi dangkal. Terlepas dari biayanya, penggunaan tiang pancang seringkali diperlukan untuk memastikan keamanan struktural. Daftar berikut mengidentifikasi beberapa kondisi yang membutuhkan pondasi tiang (Vesic, 1977).

Ketika satu atau lebih lapisan tanah bagian atas sangat kompresibel dan terlalu lemah untuk menopang beban yang ditransmisikan oleh bangunan atas, tiang pancang/bor digunakan untuk meneruskan beban ke batuan dasar atau lapisan tanah yang lebih kuat. Ketika batuan dasar tidak ditemukan pada kedalaman yang wajar di bawah permukaan tanah, tiang pancang digunakan untuk meneruskan beban struktural ke tanah secara bertahap. Tahanan terhadap beban struktur yang diterapkan terutama berasal dari tahanan gesek yang dikembangkan pada antarmuka tanah-tiang.

2.1 Jenis Pondasi Tiang

Berbagai jenis tiang pancang digunakan dalam pekerjaan konstruksi, tergantung pada jenis beban yang harus dipikul, kondisi lapisan tanah, dan lokasi muka air tanah. Tiang pancang dapat dibagi menjadi beberapa kategori berikut: (a) tiang baja, (b) tiang beton, (c) tiang kayu (kayu), dan (d) tiang komposit.

2.1.1 Pondasi Tiang Baja

Tiang pancang baja umumnya berupa tiang pancang pipa atau tiang pancang baja canai H-section. Tumpukan pipa dapat didorong ke tanah dengan ujung terbuka atau tertutup. Balok baja sayap lebar dan penampang I juga dapat digunakan sebagai tiang pancang. Namun, tiang pancang H-section biasanya lebih disukai karena ketebalan badan dan sayapnya sama. (Pada balok sayap lebar dan balok penampang I, ketebalan badan lebih kecil dari ketebalan sayap)

Keuntungan pemakaian tiang baja diantaranya:

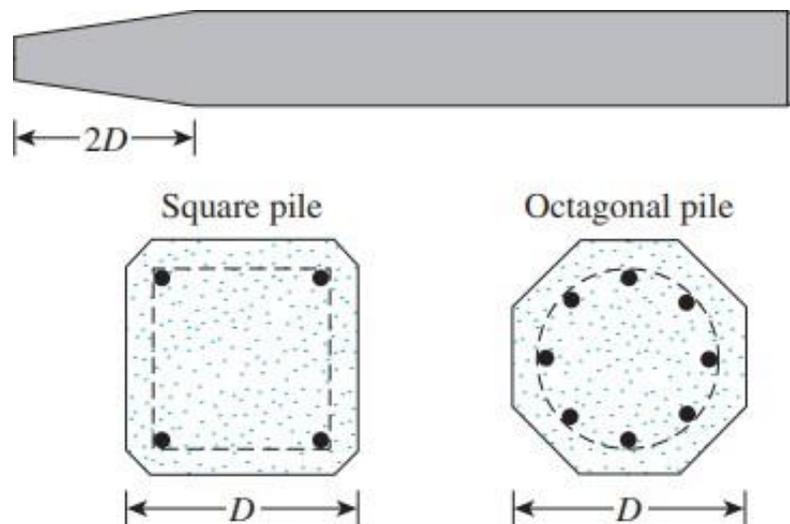
1. Mudah dalam hal penyambungan
2. Memiliki kapasitas daya dukung tinggi
3. Dalam hal pengangkatan dan pemancangan tidak mudah patah

Kerugian pemakaian tiang pancang baja

1. Mudah mengalami korosi
2. Bagian Hpile mudah rusak/dibengkokan
3. Biaya awal pembuatannya tinggi

2.1.2 Tiang Pancang Beton Precast

Tiang pancang pracetak beton dapat dibuat dengan menggunakan tulangan biasa, dan dapat berbentuk bujur sangkar atau segi delapan pada penampang melintangnya. Penulangan diberikan agar tiang dapat menahan momen lentur yang terjadi selama pengambilan dan pengangkutan, beban vertikal, dan momen lentur yang disebabkan oleh beban lateral. Tiang pancang dicor sesuai panjang yang diinginkan dan dikeringkan sebelum diangkut ke lokasi kerja



Gambar 2.1 Tiang Precast (Das, 2011)

Keuntungan tiang pancang beton precast diantaranya:

1. Mempunyai tegangan tekan yang besar
2. Dapat berperan sebagai eng bearing pile dan friction pile
3. Tidak memerlukan galian tanah yang banyak
4. Dapat tahan lebih lama terhadap air

Kerugian tiang pancang beton precast diantaranya:

1. Sulit untuk memindahkannya
2. Memerlukan waktu lama untuk menunggu beton mengeras (jika insitu)
3. Memerlukan alat penyambung khusus

2.1.3 Tiang Bor Beton Insitu

Pondasi tiang insitu atau sering disebut dengan tiang bor merupakan pondasi yang lebih ramah terhadap sekitar. Tidak seperti tiang pancang baja dan beton precast ketika proses pemancangan menimbulkan getaran. Pondasi tiang bor dapat dilakukan atau digunakan pada kondisi tanah seperti apapun, baik tanah lunak, hingga tanah sangat keras.

Keuntungan penggunaan tiang bor diantaranya:

1. Pada saat pemasangan tidak menimbulkan gangguan suara dan getaran yang membahayakan bangunan sekitarnya.
2. Mengurangi kebutuhan beton dan tulangan dowel pada pelat penutup tiang (pile cap) kolom dapat secara langsung diletakkan pada ujung bored pile.
3. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
4. Tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium.
5. Bored pile dapat dipasang menembus batuan sedangkan pada penggunaan tiang pancang akan terjadi kesulitan bila pemancangan menembus lapisan batu.
6. Diameter tiang memungkinkan dibuat besar, bila perlu ujung bawah tiang dapat dibuat lebih besar guna mempertinggi kapasitas dukungnya.
7. Tidak ada resiko kenaikan muka air tanah.
8. Penulangan tidak dipengaruhi oleh tegangan pada waktu pengangkutan dan pemancangan.

Kerugian penggunaan tiang bor diantaranya:

1. Pengecoran bored pile dipengaruhi kondisi cuaca.
2. Pengecoran beton agak sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik.
3. Mutu beton hasil pengecoran bila tidak terjamin keseragamannya disepanjang badan bored pile mengurangi kapasitas dukung bored pile. Terutama bila bored pile cukup dalam.

4. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkerikil.
5. Air yang mengalir kedalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tiangnya.

2.2 Penyelidikan Tanah

Struktur bawah bangunan terdiri dari fondasi dan tanah pendukung fondasi. Untuk itu hal yang sangat berkaitan dengan fondasi adalah penyelidikan tanah. Fondasi harus diletakkan pada lapisan tanah yang cukup keras dan padat. Dengan dilakukannya penyelidikan tanah dapat diketahui letak atau kedalaman tanah keras yang berfungsi untuk mengetahui sifat-sifat dasar tanah seperti asal-usulnya, penyebaran ukuran butiran, kemampuan mengalirkan air, sifat pemampatan bila dibebani (compressibility), kekuatan geser, kapasitas daya dukung terhadap beban dan lain-lain. (Das, 1995).

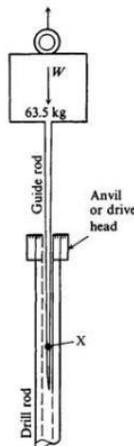
Adapun soil investigation yang biasa dilakukan adalah:

1. Pemboran (drilling): dari hasil pemboran (bore holes) yang dilakukan dengan Standart Penetration Test (SPT). Diketahui jenis lapisan tanah yang kemudian dikirim ke Laboratorium Mekanika Tanah.



Gambar 2.2 Drilling bored

2. Percobaan penetrasi (Penetration Test) dengan menggunakan alat yang disebut Cone Penetration Test atau sondir. Ujungnya berupa konus yang ditekan masuk kedalam tanah dan secara otomatis dapat dibaca tegangan tanah.



Gambar 2.3 Standard Penetration Test

Untuk mengetahui sifat tanah berdasarkan sifat lekatnya antara lain:

1. Tanah kohesif adalah tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butir-butirnya (tanah lempung = mengandung lempung cukup banyak).
2. Tanah non kohesif adalah tanah yang tidak mempunyai atau sedikit sekali lekatan antara butir-butirnya (hampir tidak mengandung lempung misal pasir).
3. Tanah organik adalah tanah yang sifatnya sangat dipengaruhi oleh bahan-bahan organik (sifat tidak baik).

Penyelidikan tanah dengan SPT informasi tentang kondisi di bawah permukaan tanah dapat diperoleh hingga 85% dengan biaya yang ekonomis. Pada fondasi tiang harga yang diperoleh dari proses pengujian lapangan dapat digunakan untuk perhitungan gesekan selimut yang mana dapat diambil rata-rata pada tiap lapisan begitu juga untuk perhitungan daya dukung ujung fondasi tiang `6 Institut Teknologi Nasional perataan dilakukan dengan mengambil suatu interval kedalaman sedikit di bawah dan di atas ujung tiang. (Raharjo, 1996).

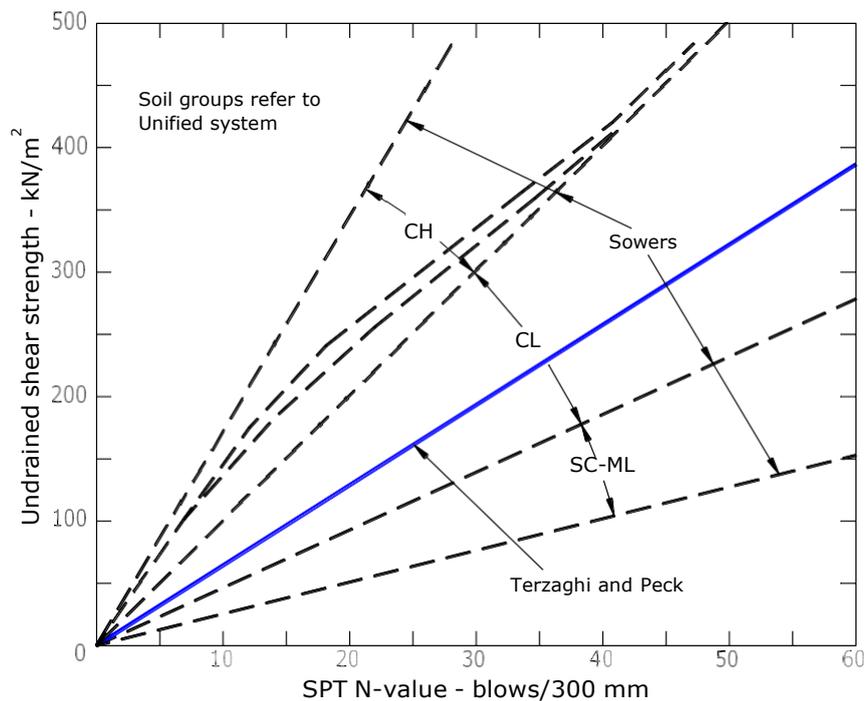
Adapun keuntungan dari penyelidikan tanah dengan menggunakan SPT adalah:

1. Dapat menentukan kedalaman dan tebal masing-masing lapisan tanah.
2. Alat dan cara operasinya relatif sederhana.

3. Contoh tanah terganggu dapat diperoleh untuk identifikasi jenis tanah, sehingga interpretasi kuat geser dan deformasi tanah dapat diperkirakan dengan baik.

2.3 Korelasi Parameter Tanah

Nilai *undrained shear strength* (c_u) terhadap kedalaman ditentukan berdasarkan hasil Triaxial Test atau *Unconfined Test* atau berdasarkan nilai korelasi antara nilai N-SPT terhadap nilai *undrained shear strength* (c_u) seperti gambar yang ditunjukkan di bawah ini :



Gambar 2.4 Korelasi *Undrained Shear Strength* (c_u) Terhadap Nilai SPT Tanah Lempung (Terzaghi & Peck, 1967)

Nilai kohesi atau *undrained shear strength* (c_u) untuk tanah lempung dapat dihitung juga dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_u = 6. N \text{ (kPa)} \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan:

c_u = *undrained shear strength* tanah lempung

N = nilai N-SPT

Sudut geser friksi tanah merupakan parameter tanah yang dibutuhkan untuk analisis geoteknik pada tanah jenis granular atau pasir (*sand*). Sebuah persamaan yang

bisa dipakai untuk menentukan sudut geser friksi dengan korelasi nilai N-SPT adalah sebagai berikut (Dunham, 1954):

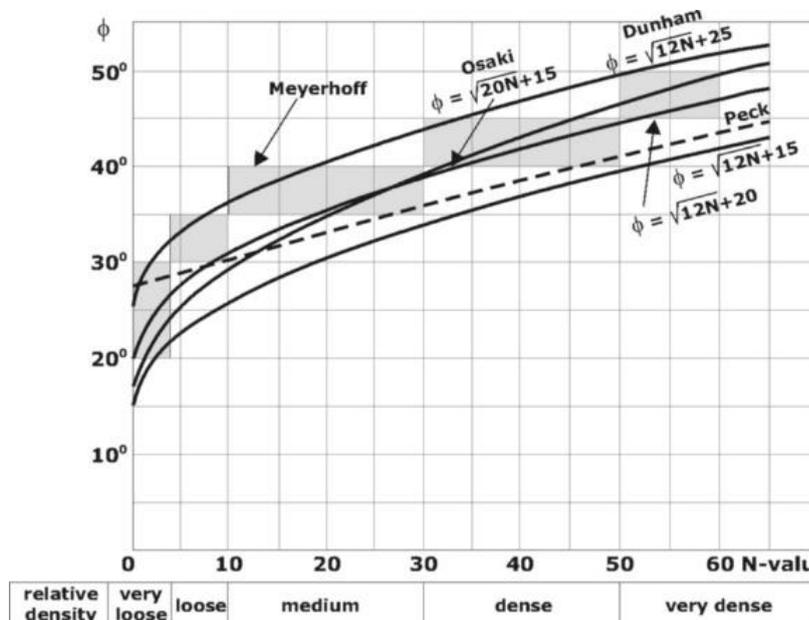
$$\phi = \sqrt{12 N} + 15 \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan:

ϕ = sudut geser friksi (°)

$(N_1)_{60}$ = nilai N-SPT koreksi terhadap prosedur tes dan terhadap tegangan *overburden*

Selain persamaan diatas, parameter sudut geser dalam (ϕ) dapat diperkirakan berdasarkan grafik korelasi Terzaghi (1969) berikut :



Gambar 2.5 Korelasi antara N-SPT dan Sudut Geser Dalam (Terzaghi, 1969)

Pemodelan pemadatan yang dilakukan dalam Group Pile sebelumnya harus memasukan parameter-parameter tanah. Parameter tanah merupakan analogi gambaran kondisi asli yang dibaca oleh suatu software yaitu Group Pile. Parameter-parameter yang digunakan dalam kaitannya dengan penulisan Tugas Akhir ini diantaranya:

2.3.1 Sudut Geser Dalam

Kekuatan geser dalam mempunyai variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam berperan penting dengan kekuatan yang kaitannya dengan gesekan atau friksi. Selain itu, sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja yang berupa tekanan lateral tanah. Sudut geser dalam didapat dari pengujian laboratorium yang berupa pengukuran *engineering properties* tanah dengan *Direct Shear*. Hubungan antara sudut geser dalam dan jenis tanah ditunjukkan pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah (Das, 2011)

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam (θ)
Kerikil kepasiran	$35^{\circ} - 40^{\circ}$
Kerikil kerakalan	$35^{\circ} - 40^{\circ}$
Pasir padat	$35^{\circ} - 40^{\circ}$
Pasir lepas	30°
Lempung kelanauan	$25^{\circ} - 30^{\circ}$
Lempung	$20^{\circ} - 25^{\circ}$

2.3.2 Modulus Elastisitas Tanah

Modulus elastisitas atau sering disebut juga modulus *young* merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan. Selain itu angka modulus elastisitas menunjukkan besaran kekakuan pada tanah. Semakin besar modulus maka tanah tersebut semakin kaku, tanah kaku biasanya berada pada tanah-tanah yang sebelumnya sudah terbebani lebih. Berikut jenis tanah jika dilihat dari angka modulus elastisitas yang disajikan pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (Das, 2011)

Jenis Tanah		E (kg/cm ²)
Lempung	Sangat Lunak	3-30
	Lunak	20-40
	Sedang	45-90
	Keras	70-200

	Berpasir	300-425
Pasir	Berlanau	50-200
	Tidak Dapat	100-250
	Padat	500-1000
Pasir dan Kerikil	Padat	800-2000
	Tidak Padat	500-1400
Lanau		20-200
<i>Looses</i>		150-600
Cadas		1400-14000

2.3.3 Kohesi Tanah

Kohesi merupakan kekuatan tanah yang berdasar pada lekatannya atau gaya tarik menarik antar pertikel tanah. Kohesi juga merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah yang berupa gaya lateral tanah. Deformasi atau penurunan ini terjadi akibat kombinasi kritis pada tegangan normal dan geser yang tidak sesuai dengan faktor keamanan. Nilai kohesi didapat dari pengujian laboratorium yang berupa pengukuran *engineering properties* tanah dengan *Direct Shear*. Nilai kohesi secara empiris dapat ditentukan dari data sondir (q_c) yaitu sebagai berikut:

$$\text{Kohesi } (c) = q_c/20 \dots\dots\dots (2.3)$$

Jika ingin menggunakan rumus diatas maka diperlukan data sondir, data korelasi dari N-SPT dengan sondir disajikan dalam **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Korelasi N-SPT dengan q_u dan Berat Volume Tanah. (Das, 2011)

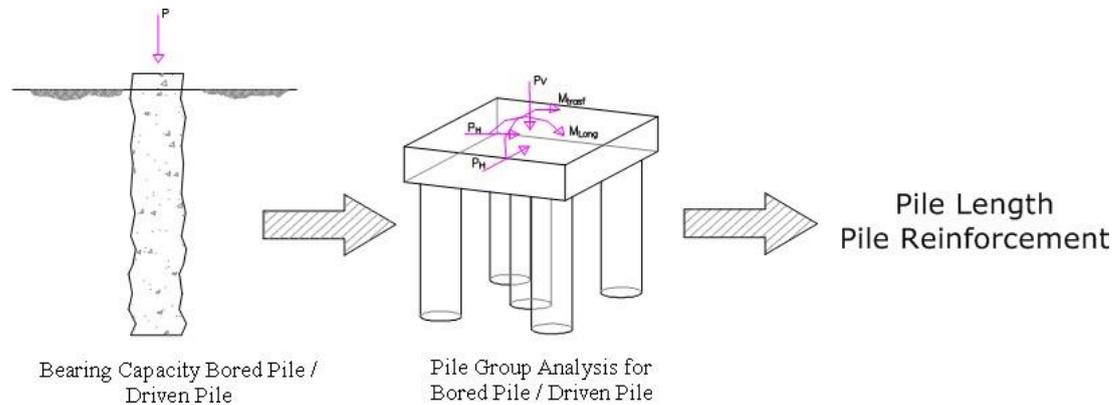
Konsistensi	N-SPT	q_u (kN/m^2)	γ_{sat} (kN/m^3)
Sangat Lunak	0-2	0-25	16-19
Lunak	2-5	25-50	16-19
Sedang	5-10	50-100	17-20
Kaku	10-20	100-200	19-22
Sangat Kaku	20-30	200-400	19-22
Keras	>30	>400	19-22

2.4 Perhitungan Pondasi Tiang

2.4.1 Daya Dukung Aksial Tekan Pondasi

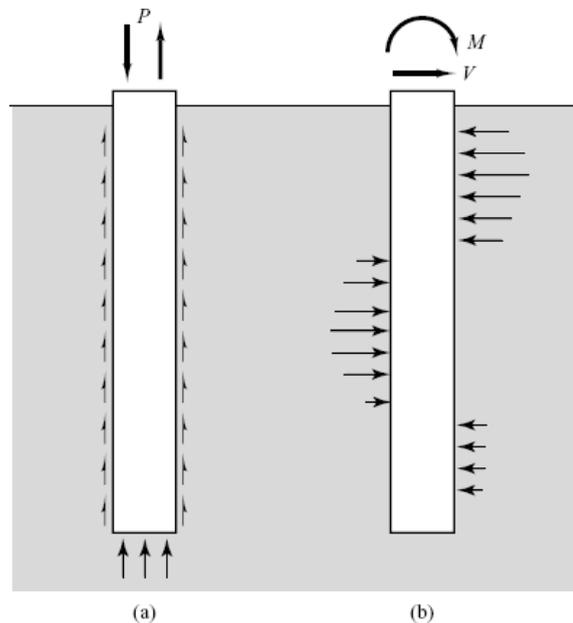
Analisis pondasi dalam dapat didefinisikan sebagai berikut:

- 1 Analisis daya dukung tiang tunggal.
- 2 Analisis interaksi tiang-tanah dan grup tiang.



Gambar 2.6 Analisis Pondasi Dalam (Group Pile, 2016)

Secara umum, kapasitas aksial ultimit dari pondasi dalam merupakan penjumlahan dari daya dukung ujung tiang bored pile dan tahanan gesek di sekeliling tiang bored pile tersebut. Berikut ini adalah persamaan yang bisa digunakan untuk menghitung kapasitas ultimit dari tiang *bored pile*:



Gambar 2.7 (a) Model Pembebanan Aksial ; (b) Model Pembebanan Lateral (Group Pile, 2016)

$$Q_u = Q_s + Q_p \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan:

Q_u = kapasitas ultimit tiang

Q_p = tahanan ujung ulimit

Q_s = tahanan gesek ultimit

Tahanan ujung ultimit dari tiang (Q_p) itu sendiri diperoleh sebagai berikut:

$$Q_p = q_p \times A_p \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan:

Q_p = tahanan ujung ulimit

q_p = unit tahanan ujung tiang

A_p = luas penampang tiang

Unit tahanan ujung tiang (q_p) ditentukan oleh beberapa kondisi. Berikut adalah perhitungan unit tahanan ujung tiang bored pile (q_p) berdasarkan kondisi yang umum dijumpai :

Pondasi dalam berada pada lapisan tanah lempung (*clay*). Untuk rasio $D/B > 3$ dengan $c_u \leq 250$ kPa:

$$q_p = N_c^* \times C_u \leq 4000 \text{ kPa} \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan:

q_p = unit tahanan ujung tiang

N_c^* = faktor daya dukung (O'Neill dan Reese, 1999)

= 6,5 untuk $c_u = 25$ kPa

= 8,0 untuk $c_u = 50$ kPa

= 9,0 untuk $c_u \geq 100$ kPa

c_u = kohesi tanah lempung pada kondisi *undrained*

D = kedalaman tiang bored pile

B_b = diameter tiang bored pile

Untuk tanah granular atau pasir (*Sand*), Meyerhof (1976) merekomendasikan perhitungan unit tahanan ujung tiang bored pile sebagai berikut:

$$q_p \frac{0.4}{\bar{N}_{avg} B} \times D_f \leq (4N_{avg}) (tsf) \dots\dots\dots(2.7)$$

Untuk tiang bor besarnya daya dukung ujung adalah sepertiga kali daya dukung ujung tiang bored pile.

dengan:

q_p = unit tahanan ujung tiang bored pile (tons per square foot)

N'_{avg} = nilai N-SPT koreksi terhadap proses pelaksanaan tes dan terhadap tekanan *overburden*

B_b = diameter tiang

D_f = panjang tiang yang terpenetrasi dalam lapisan tanah pasiran (*Sand*)

Tahanan gesek ultimit (Q_s) pada tiang bored pile dapat dihitung sebagai berikut:

$$Q_s = \sum f_s \times P \times \Delta L \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan:

Q_s = tahanan gesek ultimit

f_s = unit tahanan gesek

p = keliling penampang tiang bored pile

ΔL = panjang tiang bored pile

Adapun perhitungan unit tahanan gesek (f_s) tiang bored pile ditentukan oleh beberapa kondisi sebagai berikut:

Untuk tanah lempung (*Clay*), unit tahanan gesek (f_s) dapat dihitung dengan menggunakan metode α (alpha):

$$f_s = \alpha \times C_u \leq 260 \text{ kPa} \dots\dots\dots (2.9)$$

dengan:

f_s = unit tahanan gesek

α = faktor adhesi

c_u = kohesi tanah lempung (*Clay*) pada kondisi *undrained*

Nilai α (alpha) untuk perhitungan tiang bored pile pada tanah lempung (*Clay*) dapat menggunakan referensi dari Reese & O'Neill (1988) sebagai berikut :

Tabel 2.4 Nilai rekomendasi α (Das, 2011)

Undrained Shear Strength (S_u)		α
(tsf)	(kPa)	
0	0.00	0.55
2	191.52	0.49
3	287.28	0.42
4	383.04	0.38
5	478.80	0.35
6	574.56	0.33
7	670.32	0.32
8	766.08	0.31
9	861.84	0.31

Untuk tanah granular atau pasir (*Sand*), unit tahanan gesek (f_s) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang telah direkomendasikan oleh Meyerhof (1976, 1983) sebagai berikut :

$$f_s = 2N < 120 \text{ kPa} \dots\dots\dots (2.10)$$

dengan :

f_s = unit tahanan gesek (kPa)

N'_{avg} = nilai N-SPT koreksi terhadap proses pelaksanaan tes dan terhadap tekanan *overburden*

Nilai parameter modulus dan regangan 50% (ϵ_{50}) untuk tanah lempung yang dipakai dalam analisis pondasi jembatan akan mengacu pada data-data sebagai berikut:

Tabel 2.5 Parameter Modulus dan ϵ_{50} Tanah Lempung (Group pile, 2016)

Konsistensi	Kuat Geser Tanah, c_u (kPa)	Modulus Tanah, k (kPa/m)	Regangan 50%, ϵ_{50}
Lunak	12.0 – 24.0	8140	0.02
Medium	24.0 – 48.0	27150	0.01
Kaku	48.0 – 96.0	136000	0.007
Sangat Kaku	96.0 – 192.0	271000	0.005
Keras	192.0 – 383.0	543000	0.004

Tabel 2.6 Parameter Modulus Tanah Pasir (Group pile, 2016)

Kondisi Tanah	Pasir Sedang, k (kPa/m)	Pasir Sedang, k (kPa/m)	Pasir Sedang, k (kPa/m)
Basah	5430	16300	33900
Kering	6790	24430	61000

Tabel 2.7 Resume teori perhitungan pondasi tiang (Irsyam, 2012)

	Lempung		Pasir	
	Tiang Pancang	Tiang Bor	Tiang Pancang	Tiang Bor
	<u>Berdasarkan c</u> $\tau = \alpha c$ - α (API, 1986); Gbr. 3.15 - α (revised API meth, 1987) $\alpha = 0.5(\psi)^{-0.5}$, untuk $y \leq 1.0$ $\alpha = 0.5(\psi)^{-0.25}$, untuk $y > 1.0$ - α (Tomlinson, 1977); Gbr 3.16	<u>Berdasarkan c</u> $\tau = \alpha c$ - α (Kulhawey, 1984); Gbr. 3.17 - $\alpha = 0.55$ (Reese & Wright, 1988) - α (Reese & O'Neil, 1988); Gbr 3.18	<u>Dasar N-SPT</u> $\tau = 0.1N$ (t/m^2); (displacement kecil) $\tau = 0.2N$ (t/m^2); (displacement besar) <u>Dasar API RP2A 1987</u> $\tau = K\sigma' \tan \delta$ $K = 0.8$ (open ended piles) $K = 1.0$ (full displacement piles) $\delta \rightarrow$ Tbl. 3.5	<u>Dasar N-SPT</u> $\tau = (0.1-0.32)N$ (t/m^2) $\tau_{rata-rata} = 0.2N$ (t/m^2) (Rata-rata antara Meyerhof-1976 dan Reese & Wright-1977)
	$q_p = 9c$	<u>Dasar N-SPT (Meyerhoff)</u> $q_p = 40N$ (t/m^2) < 1600 (t/m^2) $N = (N_1+N_2)/2$ <u>Dasar ϕ (API, 1986)</u> $q_p = \sigma' N_q$ $N_q \rightarrow$ Tbl. 3.2	<u>Dasar N-SPT (Reese & Wright, 1977)</u> $q_p = 7N$ (t/m^2) < 400 (t/m^2) $N = (N_1+N_2)/2$ <u>Dasar N-SPT NAVDOC</u> $q_p = 13N$ (t/m^2) (1/3 tiang pancang) $N = (N_1+N_2)/2$	

2.4.2 Daya Dukung Aksial Tarik

Desain tiang terhadap beban tarik sangat penting untuk struktur yang mengalami beban seismik. Pada beberapa kondisi, kapasitas tarik tiang menentukan kedalaman penetrasi minimum yang diperlukan.

Menurut Nicola dan Randolph (1993), pada tanah kohesif berbutir halus (*fine grained*), dimana pembebanan diasumsikan terjadi pada kondisi undrained, tahanan sisi tiang pada kondisi tekan dihitung sama dengan kondisi tarik. Sedangkan pada tanah non-kohesif atau tanah teralirkan bebas (*free-draining*), Nicola dan Randolph (1993) menyatakan bahwa tahanan friksi biasanya dihitung 70% dari tahanan friksi untuk kondisi tekan. Karena tanah dasar pada lokasi proyek terdiri dari tanah kohesif dan non kohesif, tahanan friksi untuk kondisi tarik dihitung 70% dari tahanan sisi untuk kondisi tekan

2.4.3 Efisiensi Tiang Group

Jarak antar tiang akan sangat mempengaruhi besarnya beban yang dapat dipikul dari sebuah pondasi tiang grup. Jarak tersebut harus diatur sedemikian rupa sehingga memberikan daya dukung dari sebuah tiang grup yang optimal. Jika spasi antar tiang terlalu dekat maka dapat menurunkan daya dukung tiang grup tersebut akibat daerah pengaruh dari masing-masing tiangnya saling berpotongan. Apabila spasi tersebut terlalu besar, maka akan diperlukan ukuran pilecap yang relatif lebih besar dan dampaknya dana pelaksanaan konstruksi akan bertambah besar.

Berikut ini adalah persamaan yang dapat dipakai untuk menghitung daya dukung sebuah tiang grup yang dipengaruhi oleh faktor efisiensinya:

$$P_{ag} \eta \times N \times P_a = \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan:

- P_{ag} = daya dukung izin tiang grup
- η = faktor efisiensi
- N = jumlah tiang dalam sebuah tiang grup
- P_a = daya dukung izin masing-masing tiang tunggal

Converse-Labarre formula (Bolin,1941):

$$\eta = 1 - \theta \times \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 m n} \right) \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan:

- η = faktor efisiensi
- m = jumlah baris
- n = jumlah tiang dalam satu baris
- θ = $\tan^{-1} (B/s)$ (derajat)
- B = diameter tiang
- s = spasi antar pusat dari tiang terdekat

Dalam menentukan kapasitas dukung dari tiang grup sangat rumit dan belum sepenuhnya terselesaikan. Ketika tiang ditempatkan dekat satu sama lain, maka asumsi yang masuk akal adalah tekanan yang terjadi akan disebarkan oleh tiang ke dalam tanah mengalami tumpang tindih yang akan mengurangi kapasitas dukung dari tiang. Idealnya, tiang dalam kelompok harus berjarak sehingga kapasitas dukung kelompok tidak kurang dari jumlah daya dukung tiang tunggal. Dalam prakteknya, jarak antar tiang minimal, d , adalah $2.5D$ atau bisa juga sekitar 3 sampai $3.5D$. Pada pekerjaan ini efisiensi tiang group diperhitungkan pada analisis GROUP 2016.

2.4.4 Kapasitas Lateral Tiang

Untuk kemudahan analisis lateral dari tiang bored pile maka digunakan program geoteknik, yaitu GROUP v8.0 keluaran dari Ensoft. Analisis yang digunakan oleh program ini adalah dengan pengaplikasian reaksi non-linier dari tanah akibat pembebanan arah lateral.

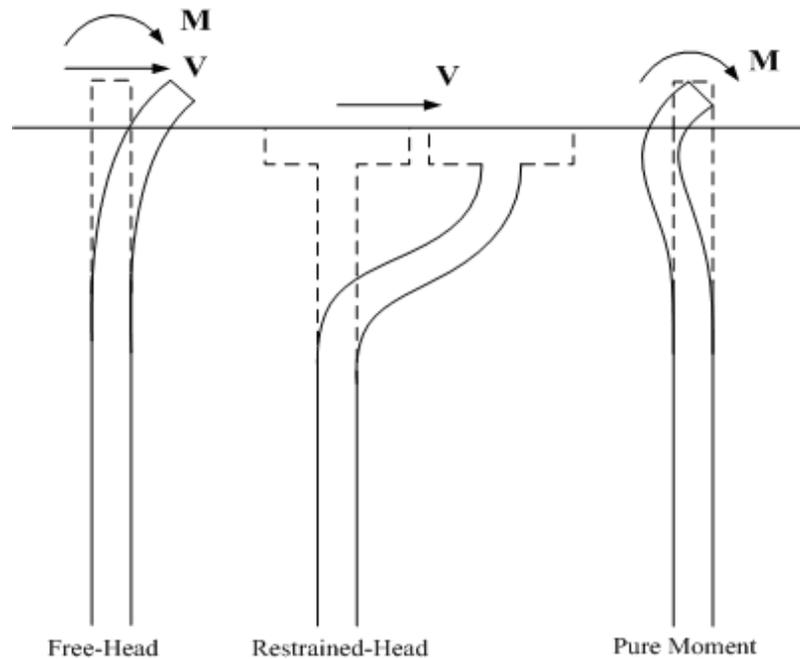
Dalam desain pondasi dalam, ada 2 (dua) kategori utama pembebanan: beban aksial dan beban lateral. Beban aksial adalah beban yang bekerja searah dengan sumbu pondasi, sedangkan beban lateral adalah beban yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu pondasi. Asumsinya adalah sumbu pondasi tersebut berada dalam arah vertikal, dengan demikian beban uplift dan aksial tekan didefinisikan sebagai beban aksial pada pondasi, sedangkan gaya geser dan momen yang ada didefinisikan sebagai beban arah lateral. Adapun beban torsi sangat jarang diperhitungkan dalam desain pondasi dalam.

Jenis sambungan antara tiang dengan struktur bagian atas sangat menentukan jenis kekangan yang timbul dalam analisis perilaku tiang. Berikut ini ada beberapa jenis tipe sambungan yang sering digunakan sebagai pengikat antara tiang dengan struktur atas:

- The free-head condition, artinya tiang bagian atas diizinkan untuk bergerak bebas dalam arah lateral dan diperbolehkan berotasi ketika dibebani oleh gaya geser dan atau momen.
- The fixed-head condition, artinya tiang bagian atas dimungkinkan untuk bergerak dalam arah lateral tanpa ada rotasi. Pemodelan seperti ini

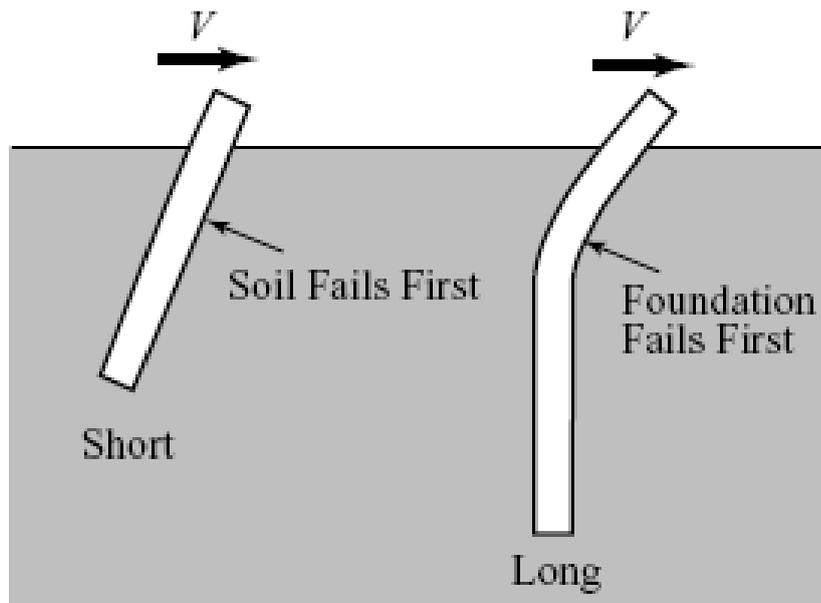
mensyaratkan sambungan antara tiang dengan struktur bagian atas yang kaku.

- The pure moment condition, terjadi apabila ada gaya momen yang bekerja, tetapi tidak disertai oleh gaya geser. Selanjutnya, tiang tersebut hanya berotasi saja tanpa adanya pergerakan dalam arah lateral.
-



Gambar 2.8 Model sambungan pile cap

Kegagalan tiang akibat beban lateral dapat dibagi atas 2 (dua) jenis. Yaitu, kegagalan sebagai tiang pendek dan sebagai tiang panjang. Tipe tiang pendek timbul karena kedalaman penetrasi yang terlalu dangkal, akibatnya kondisi jepit tidak tercipta pada bagian ujung tiang sehingga tidak akan mampu menahan rotasi yang ada. Untuk tipe tiang panjang merupakan kebalikan dari tipe tiang pendek. Tipe kegagalan tiang panjang mensyaratkan rasio perbandingan D/B yang harus lebih besar dari 35 (berlaku untuk tiang beton). Selain itu, kapasitas lateral pada tiang tipe pendek sangat ditentukan sepenuhnya oleh kondisi tanah sekitarnya. Atau dengan kata lain, tanah akan runtuh terlebih dahulu sebelum tiang tersebut gagal secara struktural. Untuk lebih jelasnya, berikut ini adalah ilustrasi untuk kedua jenis tipe kegagalan dari tiang akibat beban lateral:



Gambar 2.9 Tipe Kegagalan Tiang Akibat Beban Lateral

2.4.5 Daya Dukung Izin (Qall)

Dalam analisis dengan metoda statik, beban desain dari tiang dengan panjang yang diketahui, secara umum telah diperhitungkan dengan cara membagi daya dukung ultimate pada lapisan tanah pendukung dengan angka keamanan tertentu, atau:

$$Q_{all} = (Q_u)/(SF) \dots\dots\dots(2.13)$$

dimana:

SF = angka keamanan

Kisaran angka keamanan terutama tergantung pada reliabilitas dari metoda analisis statik tertentu dengan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut:

- Faktor ketidakpastian data tanah yang ada.
- Variasi dari lapisan tanah.
- Efek dan konsistensi dari metoda instalasi tiang yang diusulkan.
- Tingkat pengawasan konstruksi.

Pada umumnya, angka keamanan yang sering digunakan berkisar antara 2-4 untuk kondisi operasional atau untuk beban yang bekerja selama operasi. Tomlinson (1977) menyarankan mengambil angka keamanan 2.5. Sedangkan Canadian

Foundation Engineering Manual dan AASHTO 1992 menyarankan penggunaan angka keamanan sebesar 2.5 untuk kapasitas tiang bor.

Selain harus mampu menahan beban yang bekerja pada kondisi operasional maka pondasi tiang juga harus mampu menahan beban yang bekerja pada kondisi gempa. Untuk itu, pondasi harus mampu mengantisipasi momen dan gaya cabut yang terjadi akibat kondisi gempa. Kapasitas tekan pondasi tiang terhadap beban gempa (temporary load) dimana beban gempa didasarkan yang berlaku adalah 1.5 lebih besar daripada kapasitas daya dukung ijin kondisi operasi.

Berdasarkan hal tersebut, untuk memenuhi persyaratan angka keamanan dalam seluruh disain pondasi tiang Jembatan, diambil angka keamanan sebagai berikut:

- Angka keamanan tekan kondisi operasi = 2.5
- Kapasitas ijin tekan pada saat gempa adalah 1.5 x kapasitas ijin untuk kondisi operasi,
atau SF = 1.67
- Angka keamanan tarik pondasi tiang = 2.5.

2.4.6 Penurunan Tiang Pondasi

Untuk menghitung penurunan tanah akibat konsolidasi primer digunakan konsep konsolidasi satu dimensi yang disarankan oleh Terzaghi.

Untuk tanah *normally consolidated* maka penurunan tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$S_c = \frac{C_c H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma_0^F + \Delta \sigma^F}{\sigma_0^F} \right) \dots \dots \dots (2.14)$$

Derajat konsolidasi rata-rata (U%) dari lapisan lempung dapat dihitung sebagai berikut:

$$U = \frac{S_t}{S_{max}} \dots \dots \dots (2.15)$$

dimana,

S_t : penurunan konsolidasi lapisan lempung pada waktu (t) setelah pembebanan

S_{max} : penurunan konsolidasi maksimum yang dapat terjadi akibat suatu pembebanan

Jangka waktu (t) yang diperlukan untuk mencapai suatu derajat konsolidasi tertentu dapat diperkirakan sebagai berikut:

$$t = \left(\frac{T_v \times H^2}{C_v} \right) \dots \dots \dots (2.16)$$

dimana,

H : lintasan drainase maksimum

C_v : koefisien konsolidasi (didapat dari uji laboratorium)

T_v : faktor waktu (non dimensional)

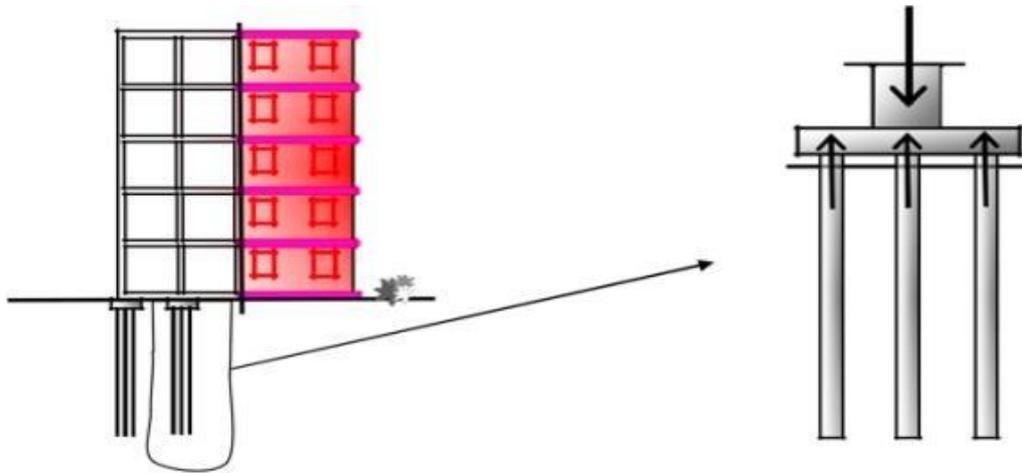
Untuk U < 60%, $T_v = \frac{\pi}{4} \left(\frac{U\%}{100} \right)^2$

Untuk U > 60%, $T_v = 1.781 - 0.933 \log (100 - U\%)$

Untuk menganalisis penurunan konsolidasi, maka ada 4 kondisi yang menunjukkan dimana penurunan konsolidasi perlu diperhitungkan.

2.5 Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang

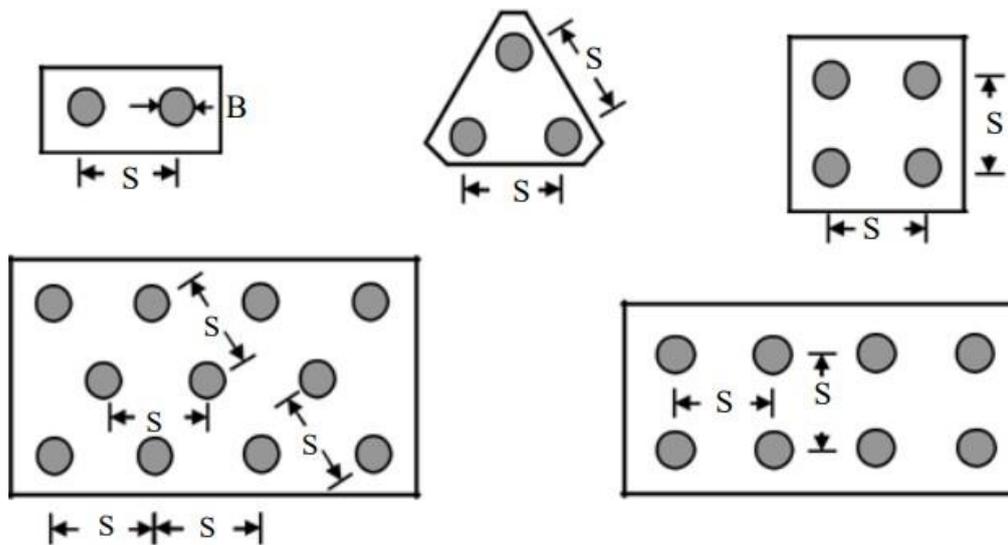
Dalam pemanfaatan sesungguhnya, fondasi tiang lebih sering direncanakan dan dibuat dalam bentuk kelompok tiang. Dalam satu grup tiang, terdiri dari beberapa tiang (lebih dari satu) diikat dengan satu kepala tiang (pile cap). Contoh yang sangat sering dijumpai terdapat pada bangunan bertingkat yang mana pada tiap kolomnya ditopang oleh sebuah grup tiang. Gambar di bawah menunjukkan ilustrasi kelompok tiang pada sebuah bangunan bertingkat. Pada **Gambar 2.10** tersebut terlihat bahwa untuk menahan beban kolom, seluruh tiang menahan secara bersamaan sebagai sebuah grup yang solid. Dalam bagian ini akan dibahas mengenai tahanan masing-masing tiang dalam menahan beban luar termasuk momen dan beban vertikal serta efisiensi grup tiang (Hakam 2008).



Gambar 2.10 Kelompok Tiang Dibawah Sebuah Bangunan (Hakam, 2008)

Daya dukung fondasi dangkal dan fondasi dalam (tiang). Kedua daya dukung tersebut sangat dipengaruhi oleh parameter tanahnya, disamping faktor-faktor lainnya. Pada daya dukung grup tiang, selain daya dukung masing-masing tiang dalam grup, tata letak dan dimensi dari grup sangat menentukan kapasitas daya dukung grup tersebut

Dalam sebuah grup tiang, tiap-tiap tiang diletakkan pada posisi tertentu dan berjarak yang disebut spasi (spacing) terhadap tiang-tiang lain didekatnya. Bentuk-bentuk susunan tiang yang sering dijumpai dalam sebuah grup tiang dan jarak antar tiang atau spasi dihitung dari pusat tiang dapat dilihat pada Gambar di bawah. Jarak spasi antar tiang sangat ditentukan oleh ukuran dari tiap-tiap tiang serta luas daerah yang tersedia. Namun biasanya jarak tiang dalam grup tiang ditentukan berdasarkan lebar atau diameter dari tiang, B yaitu antara $2B$ hingga $5B$.



Gambar 2.11 Konfigurasi pondasi tiang (Hakam,2008)

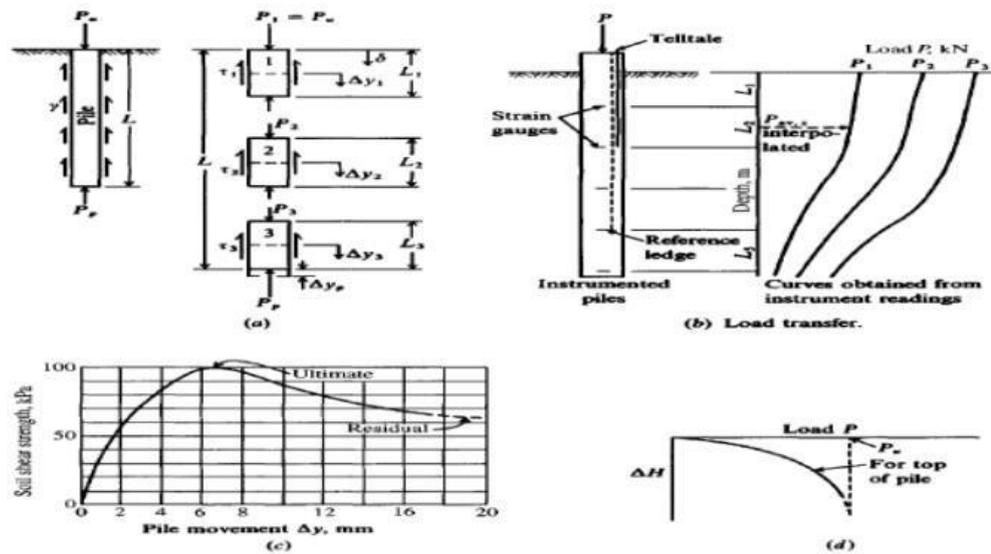
Daya dukung grup tiang ditentukan oleh daya dukung tiap-tiap tiang dan susunan tiang-tiang tersebut dalam sebuah grup. Pada saat beban luar bekerja pada sebuah grup tiang, maka tanah disekitar fondasi tiang dan dasar tiang akan menerima transfer beban dari tiang. Respon tanah yang menerima transfer beban tersebut ditunjukkan dengan terjadinya perpindahan dan meningkatnya tegangan dalam massa tanah. Pada tanah di daerah-daerah antara tiang, juga akan menerima tranfer beban dari beberapa tiang didekatnya. Hal ini ditunjukkan oleh daerah pengaruh yang overlap. Adanya daerah overlap ini memberikan salah satu alasan berkurangnya daya dukung grup tiang dibanding dengan penjumlahan seluruh daya dukung tiang dalam grup tersebut. Nilai yang menunjukkan perbandingan antara kapasitas daya dukung grup tiang dengan penjumlahan seluruh kapasitas daya dukung tiang-tiang tunggal dikenal dengan efisiensi grup tiang.

2.6 Metode Transfer Beban

Kapasitas statis dan penurunan tiang dapat dihitung kembali dari pemindahan beban data yang diperoleh dari satu atau lebih tiang uji yang dilengkapi dengan alat ukur regangan secara memadai dan / atau telltales. Telltales adalah tongkat yang digunakan untuk mengukur gerakan secara akurat dari tepian yang dilas pada jarak yang diketahui dari titik acuan di ujung tiang pancang. Lengan dilas ke poros tiang di atas langkan sehingga batang dapat dimasukkan ke langkan untuk mengukur

perpindahan setelah tiang digerakkan dan beberapa penambahan beban diterapkan. Pengukur regangan dikalibrasi untuk memberikan tegangan pada tiang pancang di lokasi pengukur secara langsung. Perbedaan beban terukur ialah dua titik mana pun dianggap sebagai beban dipindahkan ke tanah dengan ketahanan kulit, diasumsikan konstan pada panjang segmen. Itu tahanan geser segera dihitung karena keliling tiang dan panjang segmen diketahui. Deformasi segmen dapat dihitung dengan menggunakan beban aksial rata-rata, dan jika perpindahan titik diketahui atau diasumsikan, pergerakan segmen dianggap slip. Kurva slip sebagai absis x sedangkan tahanan geser sebagai absis y kemudian dapat diplot seperti pada **Gambar 2.12** untuk kemudian digunakan dalam memperkirakan kapasitas statis untuk tiang di sekitarnya. Perhatikan bahwa beberapa penambahan beban harus diterapkan pada tiang untuk mengembangkan kurva pemindahan beban, dan secara umum, lebih banyak lagi dari satu kurva dari tipe yang ditunjukkan pada **Gambar 2.12** diperlukan untuk memodelkan respons tiang dengan tanah secara wajar. Kurva transfer beban dapat dikembangkan untuk setiap segmen tiang AL di atas poros panjang L_p . Segmen ditentukan oleh alat pengukur regangan atau telltales yang terletak di setiap ujung panjang AL. Jika kurva segmen yang berdekatan sangat mirip, komposit dapat digunakan, jika tidak satu akan menggunakan kurva individu. Perhitungan kapasitas tiang dapat dilakukan dengan tangan (Coyle dan Reese (1966)) atau menggunakan program komputer (Bowles (1974)). Perhitungan tangan praktis tidak lebih dari tiga untuk lima segmen tiang (tiga ditunjukkan pada **Gambar 2.12**). Hasil yang lebih baik dapat diperoleh dengan menggunakan jumlah segmen yang lebih besar jika ada kurva pemindahan beban yang memadai dan datanya dari kualitas baik.

Metode transfer beban berlangsung seperti berikut ini:



Gambar 2.12 Konfigurasi pondasi tiang (Bowles, 1997)

Kurva geser dibandingkan dengan slip tiang pada Gambar 2.5c atau yang sering disebut kurva t-z ($t = \tau =$ simbol yang kadang digunakan untuk tegangan geser s dan $z =$ slip tiang tiang berhubungan dengan tanah yang berdekatan). (Kraft dkk) (1981) mengusulkan prosedur semi teoritikal untuk mendapatkan t-z kurva. Prosedur ini paling baik dijelaskan sebagai semi teoritikal karena metodenya secara substansial teoritis namun, ketika direduksi menjadi persamaan untuk pengembangan kurva, dibutuhkan asumsi:

1. Tegangan geser pada antarmuka tiang dengan tanah
2. G (modulus geser tanah)
3. Parameter empiris (R_f)
4. Perkiraan tegangan geser puncak (S_{max})
5. Perkiraan radius pengaruh dimana tegangan geser berkisar dari maksimum di tiang pancang ke nol di dari tiang

Jumlah asumsi ini cukup banyak namun, jika seseorang memiliki keahlian yang bisa digunakan dan metode yang telah diprogram, dengan percobaan dapat diperoleh hasil yang baik antara nilai yang diprediksi dan diukur untuk uji tiang yang sedang ditinjau

Hasil uji beban sangat spesifik untuk lokasi yang arti hanya merupakan tanggapan tumpukan untuk tumpukan di lokasi itu dan tunduk pada interpretasi. Untuk alasan ini disarankan bahwa di situasi praktis jika kita dapat memperoleh tiga atau empat

profil kurva transfer beban, kita dapat melakukannya kemudian buat dua atau lebih kurva transfer geser percobaan dan gunakan prosedur yang lebih sederhana yang telah dijelaskan pada Gambar 2.12

Dalam metode transfer beban ini perhitungan ditinjau menggunakan software. Dimana software yang digunakan ialah Lpile dan Group pile. Dalam menganalisis daya dukung lateral satu tiang menggunakan Lpile. Dengan input data dimensi fondasi tiang, lapisan tanah, data properties tanah, serta beban yang terjadi pada pile cap. Sedangkan Menganalisis daya dukung kelompok tiang menggunakan Group Pile 2016. Dengan memodelkan fondasi kelompok tiang menggunakan data input pile properties, pile group properties, pile head coordinates, loading, pile cap, serta soil layer.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

3.1.1 Tahapan Pengumpulan Data

Data tanah yang digunakan untuk pemadatan Laboratorium maupun data Lapangan merupakan data dari salah satu proyek atas terjadinya longsor pada wilayah jampang kulon dengan memvariasikan panjang tiang sesuai kebutuhan dan fixities point pada bored pile mengacu pada faktor kemanan berdasarkan SNI 8460-2017.

3.1.2 Penentuan Parameter Tanah dan Stratifikasi

Proses penentuan parameter tanah dengan melakukan interpretasi berdasarkan data laboratorium dan data lapangan. Analisis yang dilakukan berdasarkan titik yang berada di lokasi terjadinya longsor jampang kulon, tidak dipukul rata dengan menggunakan data lapangan yang paling konservatif.

3.1.3 Tahapan Simulasi Model Pemodelan dengan Group Pile

Simulasi model pemodelan untuk kegiatan penelitian Tugas Akhir ini menggunakan sistem perhitungan statika menggunakan software ensfot (Group Pile 2016). Hasil dari software akan didapat beban terbesar (envelope) yang nantinya akan dijadikan sebagai acuan penentuan panjang, diameter dan jumlah pondasi. Untuk mendapatkan itu semua harus melakukan input parameter tanah pada software Group Pile 2016

3.1.4 Tahapan Analisis dan Pembahasan.

Analisis dan Pembahasan dalam kegiatan penelitian Tugas Akhir ini membahas mengenai analisis faktor keamanan yang didapat dengan memberikan input parameter tanah berdasarkan SNI 8460-2017. Hasil beban terbesar pada satu tiang nantinya akan dijadikan sebagai penentu panjang tiang, diameter tiang dan jumlah tiang pondasi yang didapat berdasarkan reaksi dari struktur atas jembatan.

3.1.5 Verifikasi dan Validasi

Setelah didapatkan hasil-hasil yang telah dianalisis dan dibahas serta diberikan batasan desain berdasarkan SNI 8460-2017. Batasan ini yang menentukan kebutuhan pondasi sesuai dengan kriteria faktor keamanan tekan, tarik kondisi statik maupun gempa.

3.1.6 Tahapan Kesimpulan dan Saran

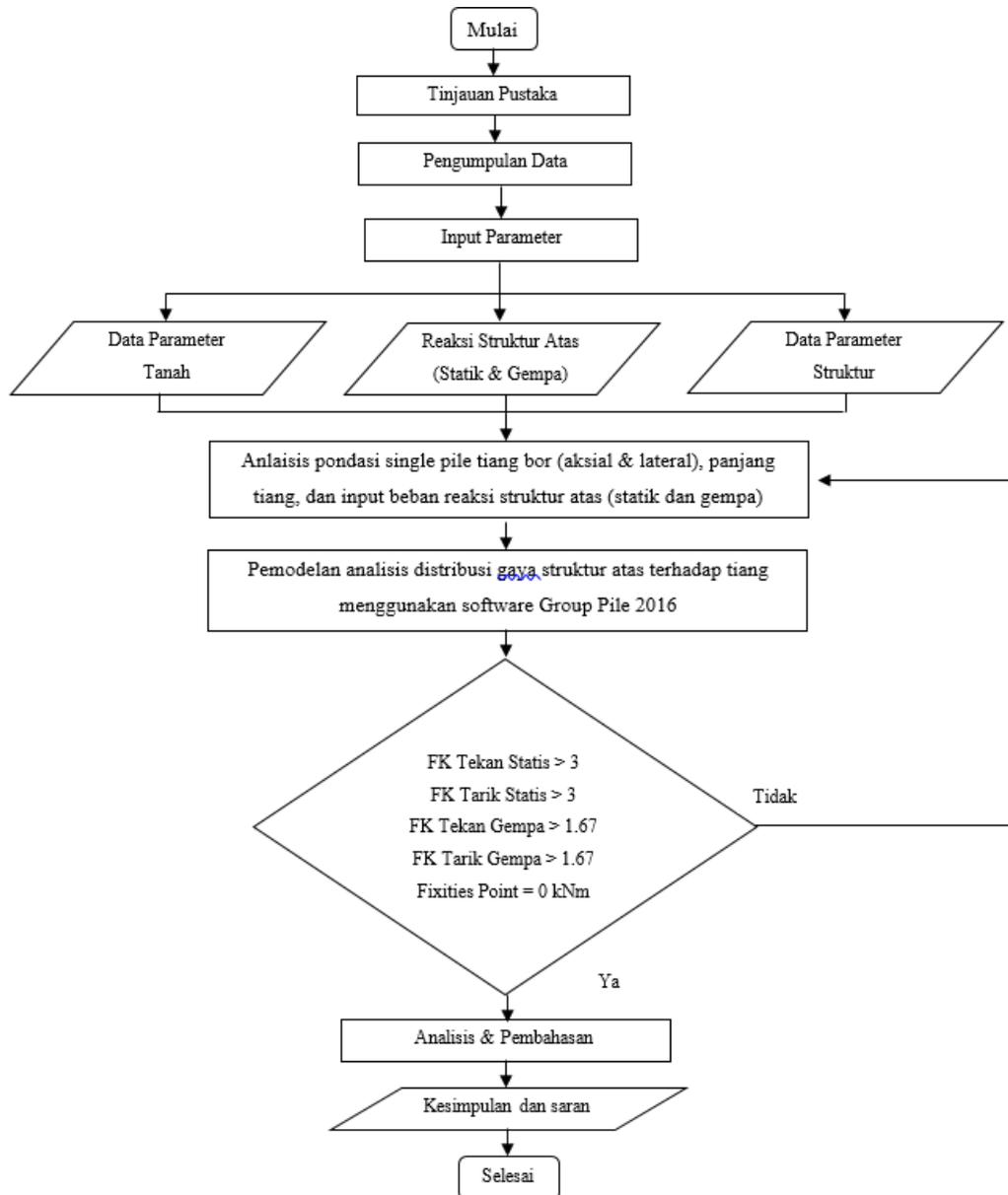
Tahapan ini merupakan tahapan akhir dalam menentukan hasil analisis yang telah dilakukan. Kesimpulan yang didapat mengenai perkuatan penanganan longsoran jampang kulon tujuannya untuk implementasi di Lapangan. Selain itu dari analisis yang telah dilakukan didapat gaya-gaya setiap tiang yang telah didistribusikan pada sejumlah tiang yang nantinya dijadikan sebagai penentu kebutuhan tiang pondasi.

3.2 Tahapan Bagan Alir

Untuk memberikan gambaran lebih jelas tentang tahapan penelitian yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini maka dibuat bagan alir penelitian seperti pada **Gambar 3.1**.

Berdasarkan bagan alir yang berada pada **Gambar 3.1**, memiliki informasi bahwa jika faktor keamanan tidak dapat tercapai maka perlu merubah dimensi dinding penahan tanah atau memanjangkan tiang bored pile yang tertara dan tertulis berdasarkan SNI 8460-2017. Maka proses *looping/trial* akan kembali terhadap dimensi struktur yang digunakan berdasarkan aturan yang sudah tertulis dalam SNI 8460-2017.

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

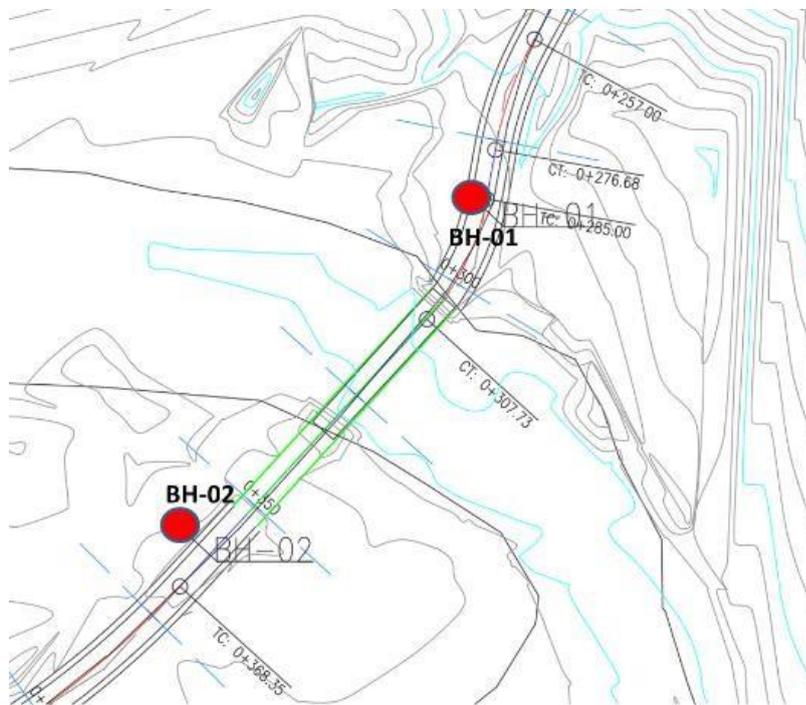
BAB IV ANALISIS & PEMBAHASAN

Analisis pondasi jembatan dilakukan untuk mendapatkan kebutuhan dimensi, jumlah dan panjang tiang pondasi. Jenis pondasi yang digunakan juga tergantung dari jenis tanah yang berada pada lokasi tersebut. Semakin keras data tanah maka semakin baik pondasi dalam menahan beban struktur atas.

Pondasi dibagi menjadi beberapa macam, diantaranya: Pondasi tiang pancang, bor dan sumuran. Pada kasus perencanaan pondasi jembatan di area sulaweusi utara ini akan menggunakan jenis tiang pondasi pancang dan sumuran. Pada BH-01 menggunakan jenis pondasi sumuran, sedangkan pada BH-02 menggunakan jenis pondasi tiang pancang. Jenis pondasi yang cocok untuk jenis tanah pada kasus saat ini adalah menggunakan pondasi tiang pancang dan pondasi sumuran.

4.1 Data Tanah

Lokasi data tanah jika dilihat dari peta topografi dapat dilihat pada gambar di bawah:



Gambar 4.1 Lokasi data tanah jembatan Ammat pada plan profil

Berikut stratifikasi dan nspt pada data tanah jembatan yang dapat dilihat pada tabel di bawah:

Tabel 4.1 Stratifikasi dan NSPT pada jembatan Sulawesi Utara

Depth	BH-01	BH-02	
2	60	11	
4	60	16	
6	60	21	
8	60	18	
10	60	11	
12	60	12	
14	60	9	
16	60	38	
18	60	33	
20	60	43	
22	60	60	
24	60	35	Legenda
26	60	60	Lempung pasir
28	60	60	Lempung Lanau
30	60	60	Batu Gamping

Berdasarkan jenis tanah di atas dapat disimpulkan bahwa jenis tanah pada BH-01 dan BH-02 didominasi oleh batu gamping, meskipun pada BH-02 di awal kedalaman 2 s.d 14 m merupakan jenis tanah lempung pasir. Konsistensi jenis tanah pada BH-01 merupakan tanah keras dari awal kedalaman, sedangkan BH-02 tanah keras didapat pada kedalaman lebih dari 16 m.

Jenis pondasi tiang pada BH-01 dan BH-02 akan berbeda, untuk pondasi tiang pada BH-01 menggunakan jenis pondasi sumuran sedangkan BH-02 menggunakan pondasi tiang pancang.

Data tanah pada BH-01 memiliki jenis tanah batu gamping dari awal hingga akhir pengeboran, dan BH-02 memiliki jenis batu gamping pada kedalaman > 16 m.

Pada BH-01 memiliki konsistensi tanah keras dari permukaan tanah sedangkan BH-02 memiliki konsistensi tanah keras pada kedalaman > 20 m. Berikut data corebox BH-01 dan BH-02 dapat dilihat pada gambar di bawah:



Gambar 4.2 Lokasi data tanah jembatan Ammat pada plan profil

4.2 Daya Dukung Tiang Aksial & Lateral

Berdasarkan data tanah jembatan Ammat bahwa Pada BH-01 memiliki konsistensi tanah keras dari permukaan tanah sedangkan BH-02 memiliki konsistensi tanah keras pada kedalaman > 20 m. Sehingga pondasi yang tepat digunakan pada lokasi BH-01 adalah pondasi sumuran sedangkan pada lokasi BH-02 menggunakan pondasi tiang pancang beton, berikut perhitungan analisis pondasi tiang pancang beton pada BH-02 dan perkiraan diameter sumuran yang digunakan untuk lokasi BH-01:

Tabel 4.2 Daya dukung pondasi tiang pancang baja BH-02 jembatan Ammat untuk A2

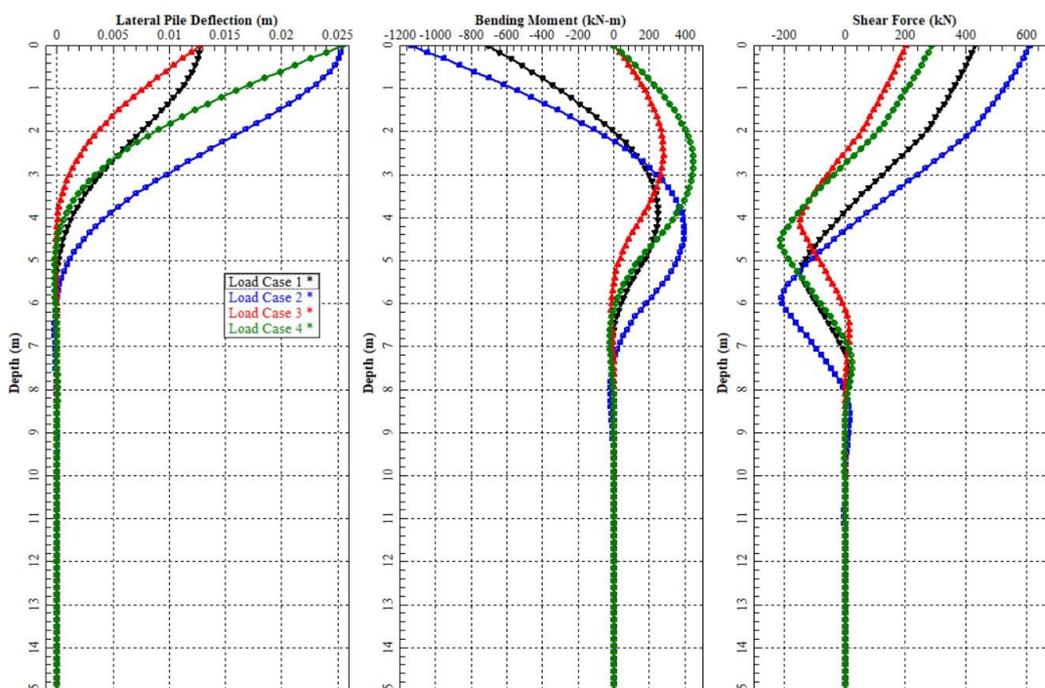
CALCULATION REPORT						
PILE ALLOWABLE BEARING CAPACITY - MAYERHOF METHOD						
Project	JEMBATAN					
Location	SULWAEUSI UTARA					
Borehole Number	H-02					
Coordinate	X	-				
	Y	-				
Ground elevation	0.00	m				
Ground water elevation	-4.00	m				
Pile shape	SP	Spun Pile Area	Skin friction safety factor		3	
Dimension (mm)	600		End bearing safety factor		3	
Thickness Spun Pile (mm)	100	1570.8	Safety Factor for Tension		3	
Soil type	Depth	Pile Length	Layer Thickness	N _{SPT}	Allowable Bearing Capacity	Allowable Tension Capacity
	(m)	(m)	(m)		(ton)	(ton)
	0	0	0	0	0.000	0.000
-	0	0	0	-	0.000	0.000
Clay	-2	0	2	11	10.946	1.834
Clay	-4	2	2	16	22.836	5.148
Clay	-6	4	2	21	37.868	9.262
Clay	-8	6	2	18	48.083	12.896
Clay	-10	8	2	11	52.432	14.729
Clay	-12	10	2	12	60.341	16.558
Clay	-14	12	2	9	64.899	18.401
Clay	-16	14	2	38	99.413	25.235
Clay	-18	16	2	33	118.324	31.269
Sand	-19	17	1	43	183.411	65.055
Sand	-20	18	1	43	188.547	100.382
Sand	-22	20	2	60	231.362	140.385
Sand	-24	22	2	35	197.834	182.896
Sand	-26	24	2	60	254.053	229.707
Sand	-28	26	2	60	268.385	280.817
Sand	-30	28	2	60	282.716	336.227
Sand	-32	30	2	60	297.048	395.936

Sedangkan diameter usulan untuk pondasi sumuran yang berada di lokasi BH-01 menggunakan rentang sebesar 3 s.d 4 m dengan kedalaman perencanaan sedalam 6 m.

Berikut perhitungan analisis daya dukung lateral dan penentuan panjang tiang minimum berdasarkan momen nol (*fixities poin*) pada lokasi jembatan Ammat yang dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah:

Tabel 4.3 Daya dukung lateral tiang pancang baja BH-02 jembatan Ammat untuk A2 dan A3 D0.6 m

Load Case No.	Load Type	Pile-head Load 1	Load Type 2	Pile-head Load 2	Axial Loading kN	Pile-head Deflection meters	Pile-head Rotation radians	Max Shear in Pile kN	Max Moment in Pile kN-m
1	y, m	0.01270	S, rad	0.00	0.00	0.01270	0.00	428.6535	-706.6654
2	y, m	0.02540	S, rad	0.00	0.00	0.02540	0.00	612.6839	-1135.
3	y, m	0.01270	M, kN-m	0.00	0.00	0.01270	-0.00520	202.2866	277.2853
4	y, m	0.02540	M, kN-m	0.00	0.00	0.02540	-0.00931	287.0807	446.3282



Gambar 4.3 Grafik momen nol pada BH-02 lokasi jembatan Ammat D0.6 m

Berdasarkan hasil analisis lateral tiang didapat bahwa pondasi tiang pancang minimum memiliki panjang 10 m karena posisi fixities point atau momen nol berada pada kedalaman tersebut.

4.3 Reaksi Struktur

Untuk mendapatkan kebutuhan dimensi dan panjang pada pondasi caisson maupun tiang pancang, diperlukan adanya reaksi struktur atas jembatan yang nantinya akan di transfer ke dalaman tanah melalui pondasi. Berikut reaksi struktur atas abutment 1 dan 2 yang dapat dilihat pada tabel di bawah:

Tabel 4.4 Reaksi struktur Abutment 1 (A1)

TABLE: Joint Reactions									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
128	LAYAN_1	Combination	Max	236	3176	26978	-11722	2006	0
128	LAYAN_1	Combination	Min	236	3176	26733	-12348	1962	0
128	EKSTRIM 1 (R=1) X-Y	Combination	Max	10887	6621	28112	19275	98905	17
128	EKSTRIM 1 (R=1) X-Y	Combination	Min	-10887	-320	25535	-41508	-98936	-17
128	EKSTRIM 1 (R=1) Y-X	Combination	Max	3292	14632	32356	85825	29726	5
128	EKSTRIM 1 (R=1) Y-X	Combination	Min	-3292	-8331	24176	-115416	-29757	-5

Tabel 4.5 Reaksi struktur Abutment 2 (A2)

TABLE: Joint Reactions									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
18	LAYAN_1	Combination	Max	236	85	11131	427	1416	0
18	LAYAN_1	Combination	Min	236	85	10300	-71	1372	0
18	EKSTRIM 1 (R=1) X-Y	Combination	Max	8539	3302	11537	19326	62904	1720
18	EKSTRIM 1 (R=1) X-Y	Combination	Min	-8539	-3132	10522	-18930	-62948	-1720
18	EKSTRIM 1 (R=1) Y-X	Combination	Max	2562	10810	11753	63377	18871	516
18	EKSTRIM 1 (R=1) Y-X	Combination	Min	-2562	-10640	10307	-62982	-18915	-516

Reaksi struktur kondisi layan dan gempa memiliki perbedaan yang cukup signifikan, semenjak di sahkan SNI 1726-2019 maka proses pembebanan pada struktur bangunan menjadi lebih berat. Hasil reaksi yang lebih berat akibat gempa akan memberikan tingkat faktor keamanan yang lebih tinggi dalam menghadapi gempa yang sulit dipredesi. Maka hasil faktor keamanan kondisi statik akan lebih besar dibandingkan kondisi gempa.

4.4 Analisis Pondasi

4.4.1 Analisis Pondasi Sumuran Abutment 1 (BH-01)

Analisis pondasi sumuran menggunakan pondasi caisson dengan dimensi 10m x 12m x 3m (PxLxT).

Tabel 4.6 Perhitungan analisis sumuran caisson kondisi statik

Reaksi Struktur	
V	= 26733 kN
M	= 12348 kN.m
H	= 3176 kN
Data Pondasi	
Kedalaman pile cap	= 0 m
Panjang Caisson	= 10 m
Lebar Caisson	= 12 m
Tinggi Caisson	= 3 m
Kedalaman Caisson	= 3 m
Parameter Lain	
Surcharge load (q)	= 20 kN/m ²
gamma water (γw)	= 10 kN/m ³

Data Tanah Kontribusi Aktif		M.A.T =		1.5 m					
No lapisan	Kedalaman		Y _{day}	Y _{sat}	γ'	c'	φ'	Ka	
	(m)		(kN/m ³)	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(kN/m ²)	(deg)		
1	0	-	0	0	0	0	0	1.00	
2	0	-	0	0	0	0	0	1.00	
3	0	-	0	0	0	0	0	1.00	
4	0	-	3	19	20	10	10	42	0.20

Data Tanah Kontribusi Pasif		M.A.T =		1.5 m					
No lapisan	Kedalaman		Y _{day}	Y _{sat}	γ'	c'	φ'	Kp	
	(m)		(kN/m ³)	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(kN/m ²)	(deg)		
1	0	-	0	0	0	0	0	1.00	
2	0	-	0	0	0	0	0	1.00	
3	0	-	0	0	0	0	0	1.00	
4	0	-	3	19	20	10	10	42	5.04

Daya Dukung Tanah
 Perhitungan kapasitas daya dukung pondasi didasarkan pada Teori Terzaghi :
 $q_{ult} = 1.3 c'N_c + qN_q + 0.3\gamma BN_q$ **Bearing Cap. Factor**

	$N_c = 93.71$	$\gamma' = 12$ kN/m ³
	$N_q = 85.37$	$c' = 10$ kN/m ²
	$N_\gamma = 155.54$	$\phi' = 42$ degree
		$q = 46.5$ kN/m ²

Hasil perhitungan :
 $q_{ult} = 11907.48$ kN/m²
 $q_{max} = 562.34$ kN/m²

SF Daya Dukung = 21.17

Stabilitas Guling	$\Sigma M_R = 215018.1$ kN.m	Stabilitas Geser	$\Sigma F_R = 21875.8$ kN
	$\Sigma M_{ov} = 17435.4$ kN.m		$\Sigma F_D = 3496.3$ kN

SF Guling = 12.33 SF geser = 6.26

Berdasarkan hasil analisis pondasi sumuran kondisi statik atau non gempa di dapat faktor keamanan daya dukung atau bearing sebesar 21.17, Faktor keamanan guling 12.33 dan Faktor keamanan geser sebesar 6.26. Faktor kewanaman kondisi daya dukung minimum sebesar 2, geser dan momen minimum sebesar 1.5.

Berikut analisis pondasi sumuran kondisi gempa yang dapat dilihat pada tabel di bawah:

Tabel 4.7 Perhitungan analisis sumuran caisson kondisi Gempa

Design by	: DR
Checked by	: DA

Reaksi Struktur	
V	= 24176 kN
M	= 1E+05 kN.m
H	= 8331 kN

Data Pondasi	
Kedalaman pile cap	= 0 m
Panjang Caisson	= 10 m
Lebar Caisson	= 12 m
Tinggi Caisson	= 3 m
Kedalaman Caisson	= 3 m

Parameter Lain	
Surcharge load (q)	= 20 kN/m ²
gamma water (γw)	= 10 kN/m ³

Data Tanah Kontribusi Aktif M.A.T = 1.5 m

No lapisan	Kedalaman			Y _{dry} (kN/m ³)	Y _{sat} (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	c' (kN/m ²)	φ' (deg)	Ka
	(m)								
1	0	-	0	0	0	0	0	0	1.00
2	0	-	0	0	0	0	0	0	1.00
3	0	-	0	0	0	0	0	0	1.00
4	0	-	3	19	20	10	10	42	0.20

Data Tanah Kontribusi Pasif M.A.T = 1.5 m

No lapisan	Kedalaman			Y _{dry} (kN/m ³)	Y _{sat} (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	c' (kN/m ²)	φ' (deg)	Kp
	(m)								
1	0	-	0	0	0	0	0	0	1.00
2	0	-	0	0	0	0	0	0	1.00
3	0	-	0	0	0	0	0	0	1.00
4	0	-	3	19	20	10	10	42	5.04

Daya Dukung Tanah
 Perhitungan kapasitas daya dukung pondasi didasarkan pada Teori Terzaghi :

$$q_{ult} = 1.3 c' N_c + q N_q + 0.3 \gamma B N_\gamma$$
 Bearing Cap. Factor

$$N_c = 93.71 \quad \gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$$

$$N_q = 85.37 \quad c' = 10 \text{ kN/m}^2$$

$$N_\gamma = 155.54 \quad \phi' = 42 \text{ degree}$$

$$q = 46.5 \text{ kN/m}^2$$
 Hasil perhitungan :

$$q_{ult} = 11907.48 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{max} = 1376.24 \text{ kN/m}^2$$

$$SF \text{ Daya Dukung} = 8.65$$

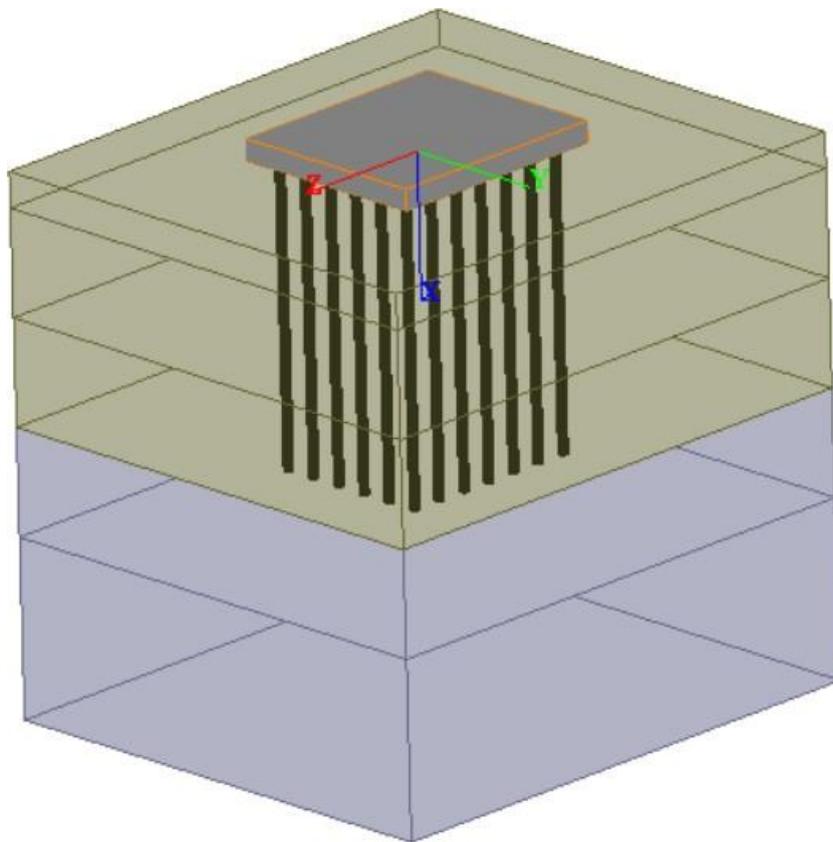
Stabilitas Guling		Stabilitas Geser	
ΣM _R	= 199675.0 kN.m	ΣF _R	= 20508.1 kN
ΣM _{ov}	= 128236.4 kN.m	ΣF _D	= 8651.8 kN
SF Guling = 1.56		SF geser = 2.37	

Berdasarkan hasil analisis pondasi sumuran kondisi statik atau non gempa di dapat faktor keamanan daya dukung atau bearing sebesar 8.65, Faktor keamanan guling 1.56 dan Faktor keamanan geser sebesar 2.37. Faktor kemandan kondisi daya dukung minimum sebesar 2, geser dan momen minimum sebesar 1.5.

4.4.2 Analisis Pondasi Tiang Pancang Abutment 2 (BH-02)

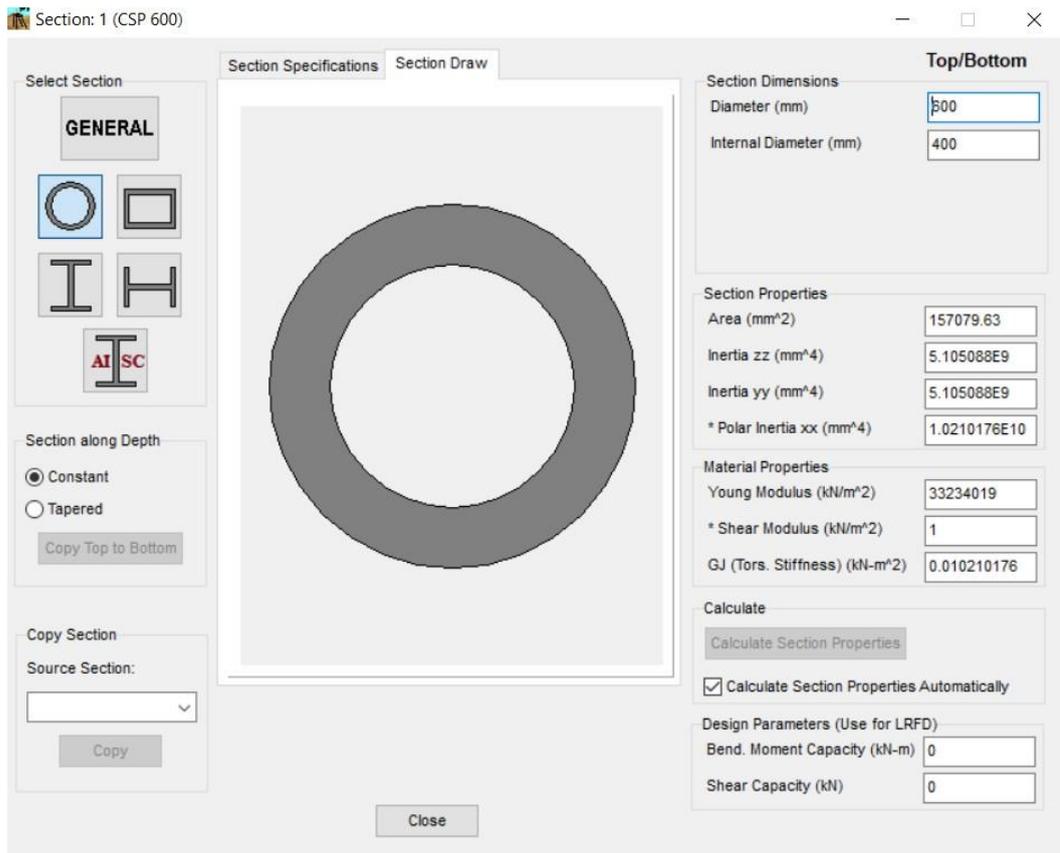
Pondasi tiang untuk abutment 2 menggunakan panjang tiang 18 m dengan daya dukung tekan allowable sebesar 118.324 Ton dan tarik 31.269 ton menggunakan faktor keamanan 3. Jika memperhitungkan efisiensi tiang dengan jumlah tiang sebanyak 42 buah didapat sebesar 0.591 maka didapat daya dukung tiang ultimit tekan sebesar 209.6 Ton dan tarik sebesar 55.3 ton.

Model analisis group dapat dilihat pada gambar di bawah:



Gambar 4.4 Proses pemodelan analisis group pile

Pemodelan tiang pancang beton menggunakan panjang tiang 17 m dengan diameter tiang 600 mm dengan tebal 100 mm dan jenis tanah yang mengacu pada BH-02, berikut parameter tanah dan pondasi CSP 600 yang dapat dilihat pada gambar di bawah:



Gambar 4.5 Potongan pondasi tiang CSP 600mm, tebal 100 mm.

Tabel 4.8 Parameter tanah analisis pemodelan group pile

Layer	Soil Type	Depth for Top of Soil Layer (m)	Depth for Bottom of Soil Layer (m)	Properties of Layer
1	Stiff Clay w/o Free Water (Reese)	0	2	1: Stiff Clay without Free Water
2	Stiff Clay w/o Free Water (Reese)	2	8	2: Stiff Clay without Free Water
3	Stiff Clay w/o Free Water (Reese)	8	14	3: Stiff Clay without Free Water
4	Sand (Reese)	14	20	4: Sand (Reese, et al.)
5	Sand (Reese)	20	30	5: Sand (Reese, et al.)

Tabel 4.9 Parameter tanah satu

1=Top, 2=Bottom	Effective Unit Weight (kN/m ³)	Undrained Cohesion, c (kN/m ²)	Strain Factor E50	Ultimate Unit Side Friction (kN/m ²)	Ultimate Unit Tip Resistance (kN/m ²)
1	16	66	0.007	0	0
2	16	66	0.007	0	0

Tabel 4.10 Parameter tanah dua

Stiff Clay without Free Water 2

1=Top, 2=Bottom	Effective Unit Weight (kN/m ³)	Undrained Cohesion, c (kN/m ²)	Strain Factor E50	Ultimate Unit Side Friction (kN/m ²)	Ultimate Unit Tip Resistance (kN/m ²)
1	17	110	0.005	0	0
2	17	110	0.005	0	0

Tabel 4.11 Parameter tanah tiga

Stiff Clay without Free Water 3

1=Top, 2=Bottom	Effective Unit Weight (kN/m ³)	Undrained Cohesion, c (kN/m ²)	Strain Factor E50	Ultimate Unit Side Friction (kN/m ²)	Ultimate Unit Tip Resistance (kN/m ²)
1	16	64	0.007	0	0
2	16	64	0.007	0	0

Tabel 4.12 Parameter tanah empat

Sand (Reese, et al.) 4

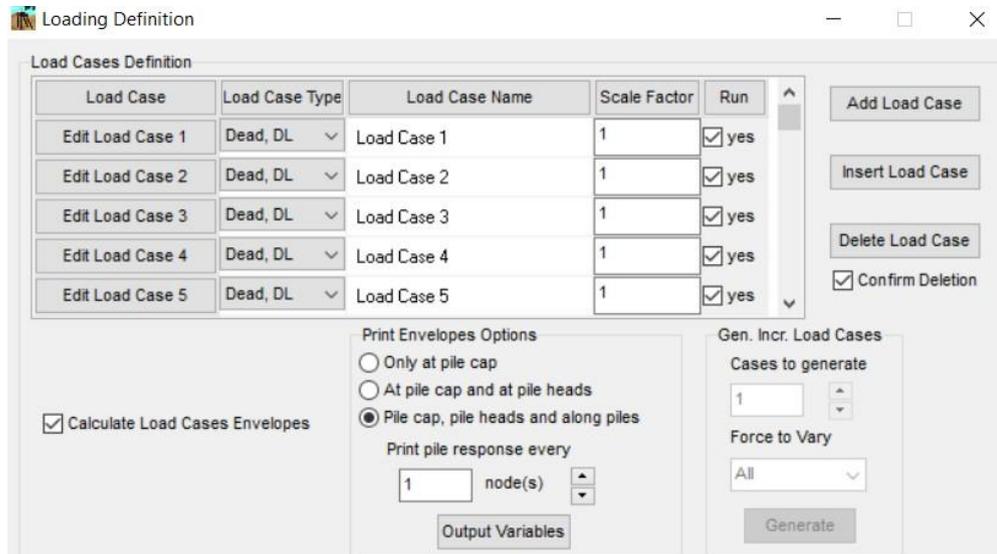
1=Top, 2=Bottom	Effective Unit Weight (kN/m ³)	Friction Angle, (DEG.)	p-y Modulus, k (kN/m ³)	Ultimate Unit Side Friction (kN/m ²)	Ultimate Unit Tip Resistance (kN/m ²)
1	18	37	16300	0	0
2	18	37	16300	0	0

Tabel 4.13 Parameter tanah lima

Sand (Reese, et al.) 5

1=Top, 2=Bottom	Effective Unit Weight (kN/m ³)	Friction Angle, (DEG.)	p-y Modulus, k (kN/m ³)	Ultimate Unit Side Friction (kN/m ²)	Ultimate Unit Tip Resistance (kN/m ²)
1	20	42	33900	0	0
2	20	42	33900	0	0

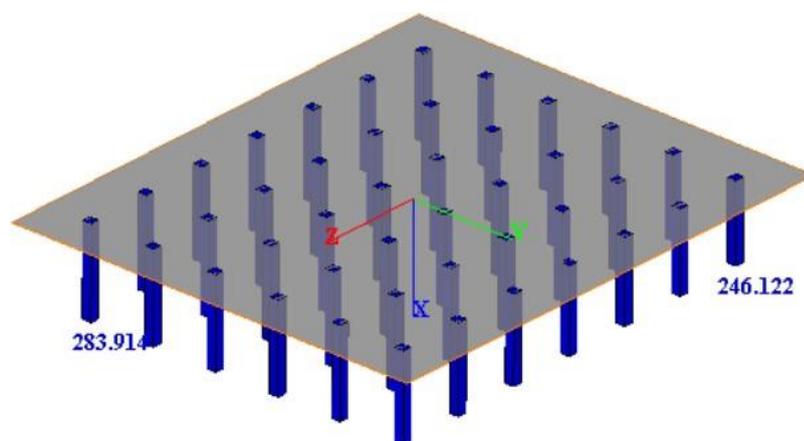
Setelah melakukan proses input diameter tiang dan parameter tanah selanjutnya input reaksi struktur, berikut reaksi struktur yang digunakan pada analisis group pile yang dapat dilihat pada gambar di bawah:



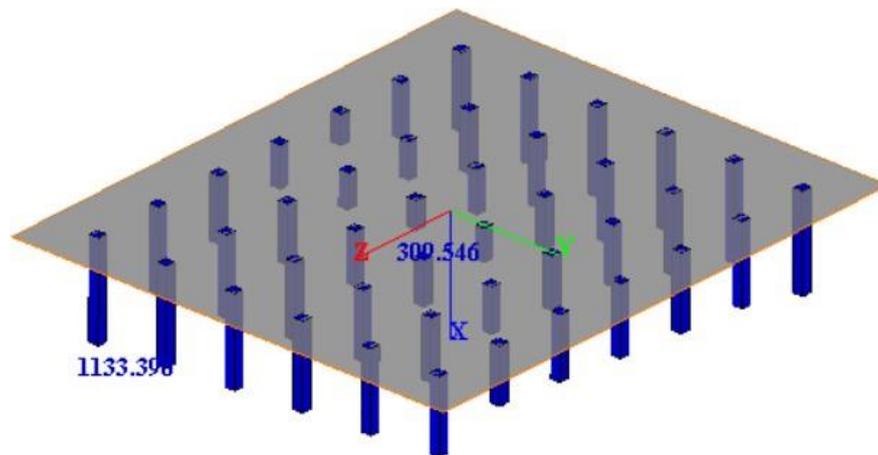
Gambar 4.6 Input reaksi struktur

Setelah proses input telah dilakukan selanjutnya melakukan proses running. Proses perhitungan pada analisis group pile tidak lama, dan akan memberikan informasi mengenai gaya-gaya yang terjadi baik aksial maupun lateral dan deformasi dari berbagai arah.

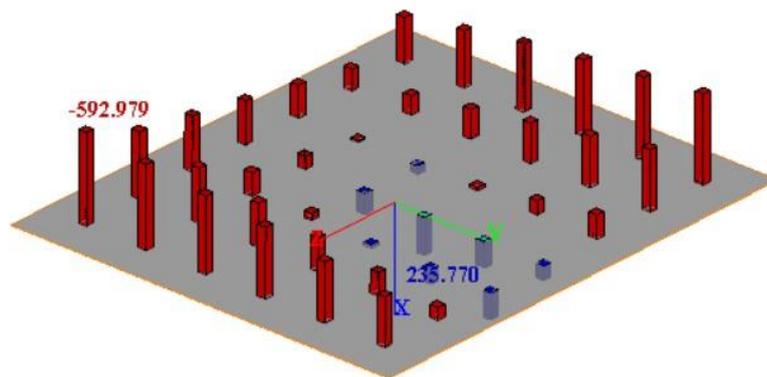
Berikut didapat daya dukung satu tiang menggunakan analisis group pile kondisi envelope yang dapat dilihat pada gambar di bawah:



Gambar 4.7 Aksial tekan terbesar kondisi statik (non gempa)



Gambar 4.8 Aksial tekan terbesar kondisi gempa



Gambar 4.9 Aksial tarik terbesar kondisi gempa

Hasil dari perhitungan group pile di atas didapat bahwa tekan terbesar kondisi gravity sebesar 283.9 kN dan tidak mengalami tarik. Aksial tekan terbesar terjadi kondisi gempa sebesar 1133.39 kN dan kondisi tarik sebesar 593 kN. Berikut resume aksial tekan dan tarik pada masing-masing join yang dapat dilihat pada tabel dibawah:

Tabel 4.14 Resume aksial tekan dan tarik pada masing-masing join (envelope)

Join/Kolom	Kondisi	Gaya Tekan (kN)	Gaya Tarik	Gaya Tekan (kN)	Gaya Tarik	Gaya Tekan	Gaya Tarik (kN)	Cek Kriteria	
								Tekan	Tarik
LAYAN_1	STATIK	283.91	246.12	2096.11	-1187	7.383009	-	OK	OK
LAYAN_1	STATIK	260.63	229.85			8.042474	-	OK	OK
EKSTRIM 1 (R=1) X-Y	GEMPA	1133.4	-577.01			1.8494	2.057	OK	OK
EKSTRIM 1 (R=1) X-Y	GEMPA	1111.8	-592.98			1.88533	2.002	OK	OK
EKSTRIM 1 (R=1) Y-X	GEMPA	972.91	-483.88			2.154475	2.453	OK	OK
EKSTRIM 1 (R=1) Y-X	GEMPA	235.77	-592.98			8.890486	2.002	OK	OK

Setelah proses analisis kebutuhan tarik dan tekan dilakukan, selanjutnya melakukan pengecekan terhadap deformasi tiang arah lateral maupun aksial.

Berikut deformasi aksial dan lateral pada tiang dalam setiap join yang dapat dilihat pada tabel di bawah:

Tabel 4.15 Deformasi arah aksial & Lateral pada masing-masing join (envelope)

Deformasi arah aksial & Lateral pada masing-masing join (envelope)

Join/Kolom	Deformasi Aksial (m)			Cek Kriteria Deformasi		
	Deformasi Aksial (m)	Deformasi Lateral Y (m)	Deformasi Lateral z (m)	Deformasi Aksial (m)	Deformasi Lateral Y (mm)	Deformasi Lateral z (mm)
LAYAN_1	0.0005	0.0000	0.0000	OK	OK	OK
LAYAN_1	0.0005	0.0000	0.0000	OK	OK	OK
EKSTRIM 1 (R=1) X-Y	0.0026	0.0014	0.0041	OK	OK	OK
EKSTRIM 1 (R=1) X-Y	0.0026	0.0013	0.0041	OK	OK	OK
EKSTRIM 1 (R=1) Y-X	0.0022	0.0044	0.0014	OK	OK	OK
EKSTRIM 1 (R=1) Y-X	0.0022	0.0043	0.0014	OK	OK	OK

BAB V

KESIMPULAN & SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang sudah diperhitungkan dan dibahas pada BAB IV, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Jenis pondasi pada abutment satu menggunakan jenis pondasi caisson dengan dimensi 10x12x3 m (Px1xt) karena memiliki jenis tanah yang keras mulai dari permukaan tanah.
2. Jenis pondasi pada abutment dua menggunakan jenis pondasi tiang pancang beton dengan panjang 18 m hingga tanah bertumpu pada tanah keras dengan diameter tiang 0.6 m dan jarak antar tiang 3D atau 1.8 m.
3. Pondasi caisson telah memenuhi kriteria dengan faktor keamanan bearing melebihi 3, guling dan geser melebihi 1.5.
4. Pondasi tiang pancang beton pada abutment dua didapat kebutuhan jumlah tiang sebanyak 42 buah untuk dapat menopang reaksi struktur di atasnya.
5. Gaya terbesar pada pondasi tiang pancang beton didapat tekan kondisi statik sebesar 283.9 kN dan tidak mengalami tarik sedangkan kondisi gempa didapat gaya tekan sebesar 1133.4 kN dan gaya tarik sebesar 592.98 kN.
6. Pondasi tiang sebaiknya menumpu pada tanah keras agar tidak mengalami penurunan yang signifikan pada masa pasca konstruksi.
7. Tanah pada lokasi proyek memiliki jenis tanah yang baik sebagai tumpuan pondasi pancang maupun sumuran. Sehingga pondasi dapat lebih kuat dalam menahan struktur atas, karena proses transfer beban terhadap pondasi akan langsung diterima oleh tumpuan tanah keras.

5.2 Saran

1. Pada saat pelaksanaan di lapangan sebaiknya proses pemancangan dilakukan dengan alat HSPD atau Hydraulic Static Pile Driver supaya dapat diketahui secara langsung daya dukung tiang.
2. Pemancangan tiang pancang dilakukan hingga final set 2.5 cm/10 blows jikalau menggunakan metode pemukulan.

3. Penelitian ini dapat dikembangkan kembali dengan melakukan perhitungan menggunakan tiang pancang baja atau pondasi dangkal
4. Penelitian ini dapat dikembangkan lebih luas oleh mahasiswa jurusan teknik sipil dengan melakukan pemodelan kedepannya dengan topik yang sama pada analisis perhitungan pondasi menggunakan Group Pile seperti:
 - a. Menganalisis pondasi tiang terhadap korosi akibat dari air sungai atau danau.
 - b. Memperhitungkan beberapa kondisi reaksi seperti kondisi gravity, nominal maupun over strength (Gempa kuat).

DAFTAR PUSTAKA

- 8064-2016, S. (2016). *Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan*. Indonesian: Badan Standarisasi Nasional.
- Å, S. (1994). *Numerical simulation of a vibratory roller on cohesionless soil, Internal Report, Geodynamik, Stockholm, Sweden*.
- AASHTO T-180 Modified*. (n.d.).
- ASTM D-1556 Sand Cone*. (n.d.).
- ASTM D-1557 Modified Procto*. (n.d.).
- ASTM D2167 Rubber Ballon*. (1994).
- ASTM D6938 Nucler Method*. (2010).
- ASTM D-698 Standrad Proctor*. (n.d.).
- Badan Standarisasi Nasional. (2017). *Persyaratan Perancangan Geoteknik (SNI 8460:2017)*. Jakarta.
- Bowles, J. E. (1993). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, J. E. (n.d.). *Foundation Analysis and Design*. Singapore: 1997.
- Das, B. M. (2011). *Das Principles Of Geotechnical engineering Edition 7*. USA.
- Das, B. M. (2011). *Principles of foundation engineering*. Stamford: Cengage Learning.
- E. T.Selig, ., &. (1977). *Fundamentals of vibratory roller behavior. Proc., 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Tokyo, Japan.
- Edil, T. B. (1982). *Seepage, Slopes, and Embankments, CEE-530 Class Notes*. Seepage, Slopes, and Embankments, CEE-530 Class Notes.
- FHWA. (1999). *“Manual for design, construction monitoring soil nail walls, FHWA-SA-96-069R,*. Department of Transportation. .
- FHWA. (2003). *Geotechnical Engineering Circular No. 7: Soil Nail Walls, GEC#7. Report No. FHWA0-IF-03-017*. US Department of Transportation.
- Hadiyanto, H. C. (1992). *Mekanika Tanah I Jilid 2*. Jakarta: Gramedia Pustakan Utama.
- Hardiyatmo, H. (2006). *Mekanika Tanah I, Edisi Keempat*. Yogyakarta: Penerbit Gadjah Mada University Press.

- Harseno, E. (2008). "Tinjauan Tinggi Tekanan Air di Bawah Bendung dengan Turap dan Tanpa Turap pada Tanah. *Majalah Ilmiah UKRIM Edisi 2*.
- Henrich, H. (1978). *Compaction with vibratory rollers, Aspects of construction, Die Sivile Ingenieur*. South Africa.
- Holtz R.D., a. K. (1981). *An Introduction to Geotechnical Engineering*. An Introduction to Geotechnical Engineering.
- Kumalasari, V. (2012). Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program Geoslope.
- Lazarte, C. E. (2003). *Geotechnical Engineering Circular No. 7 Soil Nail Walls*. Washington, DC.: FHWA-IF-03-017.
- M. F. Howedy, & B. (1975). *Factors influencing vibratory compaction of cohesionless soils*.
- Meisari, Y. (2017). *Analisis Daya Dukung Fondasi Kelompok Tiang pada Tanah*. Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- Mohsen M K et all. (2017). Creep Behavior of Soil Nails in High Plasticity Clay under Various Load. *PanAm Unsaturated Soils, ASCE*, 38-48.
- NAASRA. (1950). *Soil Mechanics for Road Engineers*.
- Pankaj R et all. (2018). Seismic Stability Analysis of Soil Slopes Using Soil Nails. *Seismic Stability Analysis of Soil Slopes Using Soil Nails, ASCE*, 79-87.
- Ping, W. V. (2002). Laboratory simulation of field compaction characteristics on sandy soils, *Transportation Research Record 1808*.
- Plaxis 2D Material Models Manual*. (2017).
- PLAXIS MANUAL 2D*. (2017).
- Plaxis, 2. (2017). *Material Models Manual*.
- Proctor. (1933). *Fundamental Principles of Soil Compaction*.
- Rahardjo, P. P. (2013). *Manual pondasi tiang (4th edition)*. . Bandung: Geotechnical Engineering Center.
- Roudgari, R. (2012). *Compaction of Soil by Repeated Loading*. Canada.
- Saeedi A A et all. (2018). Investigation on the Effects of Different Nail Diameters, Soil Elastic Moduli. *IFCEE, ASCE*, 54-64.
- Sanejouand, R. e. (1980). Discussion of dynamic of vibratory-roller compaction, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*,.

- Sazzad B S et all. (2013). Performance of Soil Nail Wall in High Plasticity Expansive Soil. *Geo-Congress, ASCE*, 1791-1801.
- Selig, E. T. (1982). *Compaction procedures, specifications and control considerations, Earthwork Compaction, Transportation Research Record* 897,. Washington, DC.
- SNI 03-2828 Pengujian Sand Cone.* (1992).
- SNI-03-6797-2002 Klasifikasi Tanah.* (2002).
- Spesifikasi Umum Binar Marga .* (2010).
- Sutherland, A. J. (2007). *Vibration assessment, Central Laboratories Report.*
- Terzaghi. (1948). *Soil Mechanics In Engineering Practice.*
- Terzaghi, K. P. (1987). *Mekanika Tanah I & Mekanika Tanah II.* Jakarta: Pekerjaan Umum.
- Tobing, D. (2019). *Analisis Daya Dukung Pondasi Bore Pile pada Proyek Pembangunan Gedung Wahid Hasyim Apartemen Medan.* Medan: Universitas Medan Area.
- Triatmojdo, B. (1996). *Hidraulika.* Yogyakarta: Bea Offset.
- Wesley, L. (1977). *Mekanika Tanah.* Jakarta: Pekerjaan Umum.
- Wu, S. G. (1984). Capillary effects on dynamic modulus of sands and silts, *Journal of Geotechnical Engineering.*
- Yoo, T. S. (1979). Dynamics of vibratory-roller compaction, *Journal of the Geotechnical Engineering Division.*
- Yulek, M. (2006). *Energy consumption in compaction of a thin layer overlying a deep deposit.*