

TUGAS AKHIR
ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI TIANG BOR
PADA STRUKTUR BOX CULVERT MENGGUNAKAN
METODE ANALITIS DAN METODE ELEMEN HINGGA

Studi kasus : Proyek Jembatan SEI ALALAK, Banjarmasin

***(ANALYSIS OF BORED PILE CARRYING CAPACITY
ON BOX CULVERT STRUCTURE USING ANALYTICAL
METHOD AND FINITE ELEMENT METHOD)***

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Strata Satu Teknik Sipil**



HAIFA YULDA MISBAHUL MA'RUF

15511007

PROGRAM SARJANA TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2022

TUGAS AKHIR

**ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI TIANG BOR
PADA STRUKTUR BOX CULVERT MENGGUNAKAN
METODE ANALITIS DAN METODE ELEMEN HINGGA**

Studi kasus : Proyek Jembatan SEI ALALAK, Banjarmasin

***(ANALYSIS OF BORED PILE CARRYING CAPACITY
ON BOX CULVERT STRUCTURE USING ANALYTICAL
METHOD AND FINITE ELEMENT METHOD)***

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Strata Satu Teknik Sipil**



HAIFA YULDA MISBAHUL MA'RUF

15511007

PROGRAM SARJANA TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2022

TUGAS AKHIR

ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI TIANG BOR PADA STRUKTUR BOX CULVERT MENGGUNAKAN METODE ANALITIS DAN METODE ELEMEN HINGGA

STUDI KASUS : JEMBATAN SEI ALALAK, BANJARMASIN

(ANALYSIS OF BORED PILE CARRYING CAPACITY ON BOX CULVERT STRUCTURE USING ANALYTICAL METHOD AND FINITE ELEMENT METHOD)

Disusun oleh

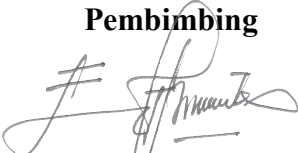
HAIFA YULDA MISBAHUL MARUF

15511007

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji Tanggal
Oleh Dewan Penguji

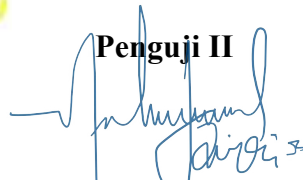
Pembimbing


Edy Purwanto Dr.Ir., CES., DEA
NIK: 855110101

Penguji I


Hanindya Kusuma Artati S.T., M.T
NIK: 045110407

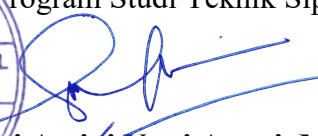
Penguji II


Muhammad Rifqi Abdurrozak S.T., M.Eng
NIK: 135111101

Mengesahkan



Ketua Program Studi Teknik Sipil


Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T
NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Dengan ini saya menyatakan sesungguhnya Tugas Akhir yang saya buat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil adalah hasil dari karya sendiri. Ada beberapa hal yang saya kutip dari berbagai karya milik orang lain, namun itu sifatnya adalah sebagai pedoman dan acuan literasi yang jelas dalam Tugas Akhir ini. Pengutipan yang dilakukan juga telah menyertakan nama dan atau sumber yang jelas sesuai kaidah penulisan yang berlaku. Apabila dikemudian hari Tugas Akhir saya secara keseluruhan meniru karya orang lain, maka saya siap menerima sanksi sesuai peraturan perundang – undangan yang berlaku

Yogyakarta, 17 Februari 2022

Yang membuat pernyataan



Haifa Yulda M. Maruf

(15511007)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “***Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Pada Struktur Box Culvert Menggunakan Metode Analitis Dan Metode Elemen Hingga***” dengan sebaik-baiknya. Shalawat serta salam selalu dilimpahkan kepada junjungan Rasulullah SAW, keluarga, sahabat, serta pengikut beliau hingga yaumul akhir.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat Strata Satu (S1) di Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, banyak hambatan yang dihadapi penulis. Tetapi berkat saran, dorongan serta semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan hal tersebut penulis mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Edy Purwanto, CES.,DEA. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan banyak masukan dan bimbingan selama mengerjakan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Lalu Makrup, M.T selaku Dosen Penguji 1 yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis.
3. Ibu Hanindya Kusuma Artati S.T., M.T selaku Dosen Penguji 2 yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis.
4. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni A, M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak dan Ibu penulis, Bapak Supriyanto SE dan Ibu Nur Irianti, yang selalu memberikan doa, dukungan, serta semangat tiada henti hingga selesainya Tugas Akhir ini.

6. Kakak penulis, Devita Astrini Nur Mahayani dan Faradiba Nur Caesarani yang selalu memberi dukungan dan motivasi agar saya segera menyelesaikan masa studi.
7. Teman Penulis, Sova, KJ dan Chiper yang selalu menemani dan memberi semangat agar segera menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan keterbatasan serta jauh dari sempurna. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca khususnya penulis dalam ilmu pengetahuan khususnya bidang geoteknik .

Wasslamu'alaikum Wr.Wb

Yogyakarta, 17 Februari 2022

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xv
ABSTRAKSI	xviii
ABSTRACT	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	2
1.5. Batasan Penelitian	2
1.6. Lokasi Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pendahuluan	7
2.2 Penelitian Sebelumnya	7
2.3 Perbedaan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Sekarang	9
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Tanah	12
3.1.1 Properti Tanah	12
3.1.2 Klasifikasi Tanah	17
3.2 <i>Standard Penetration Test</i> (SPT)	23
3.3 Struktur Box Culvert	25
3.3.1 Pembebanan struktur box culvert	25

3.3.2	Penulangan Struktur Box culvert	27
3.3	Pondasi Tiang bor	29
3.4	Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Bor	31
3.4.1	Kapasitas Daya Dukung Ujung Tiang Berdasarkan data SPT	31
3.4.2	Kapasitas Dukung Ijin Tiang Bor (allowable Capacity)	36
3.5	Kapasitas Kelompok dan Efisiensi Pondasi Tiang bor	36
3.6	Penurunan pondasi Tiang Bor	40
3.6.1	Penurunan Tiang Tunggal	41
3.6.2	Penurunan Pondasi Tiang Kelompok	44
3.7	Plaxis 2D	45
BAB IV METODE PENELITIAN		46
4.1	Tinjauan umum	46
4.2	Persiapan Penelitian	46
4.3	Tahap Penelitian	47
4.4	Analisis Data	47
4.4.1	Potongan Melintang Jalan dan Parameter Tanah Asli	47
4.5	Tahap Pelaksanaan Penelitian	50
4.6	Pemodelan dan Input Data pada Plaxis 2D	51
4.6.1	Input Data Geometri	51
4.6.2	Tahap Analisis	51
4.6.3	<i>Plaxis Calculations</i>	52
4.6.4	<i>Plaxis Output</i>	54
4.7	Bagan Alur Penelitian	54
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		57
5.1	Analisis Perhitungan Penulangan Struktur <i>Box Culvert</i>	57
5.1.1	Data Dimensi dan Bahan Struktur <i>Box Culvert</i>	57
5.1.2	Data Tanah	58
5.2	Analisa Pembebanan Stuktur Beton Box Culvert	60
5.2.1	Berat Sendiri Pelat Atas (B1)	61
5.2.2	Berat Sendiri Pelat Dinding	61

5.2.3	Berat Sendiri Pelat Lantai Dasar	62
5.2.3.1	Beban Mati Pada Lantai Dasar	62
5.2.3.2	Beban Lalu Lintas Pada Pelat Lantai Dasar	63
5.2.4	Rekapitulasi Beban	65
5.3	Perhitungan Kebutuhan Penulangan Struktur Box Culvert	65
5.3.1	Kebutuhan Penulangan Pelat Atas	65
5.3.2	Kebutuhan Penulangan Plat Dinding	73
5.3.3	Kebutuhan Penulangan Plat Bawah	80
5.3.4	Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Struktur Box culvert	87
5.3.5	Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Tiang Bor Metode Meyerhof	89
5.3.5.1	Analisis Daya Pondasi Tiang Tunggal	89
5.3.5.2	Analisis Kapasitas Dukung Tiang Kelompok	92
5.3.6	Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Tiang Bor metode Reese & Wright	94
5.3.6.1	Analisis Daya Dukung Tiang Tunggal	94
5.3.6.2	Analisis Daya Dukung Tiang Kelompok	97
5.4	Analisis Penurunan Pada Tiang Bor	99
5.4.1	Analisis Penurunan Pada Tiang Tunggal	99
5.4.2	Analisis Penurunan Pada Tiang Kelompok	100
5.5	Analisis Daya dukung menggunakan Plaxis 2D	101
5.6	Pembahasan	113
5.6.1	Hasil Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal	113
5.6.2	Hasil Perhitungan Daya Dukung Tiang Kelompok	115
5.6.3	Penurunan yang terjadi	116
5.6.4	Faktor Keamanan (safety Factor)	118
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		119
6.1	Kesimpulan	119
6.2	Saran	119

DAFTAR PUSTAKA	120
LAMPIRAN	122

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	10
Tabel 2.2	Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	11
Tabel 3.1	Nilai Berat Volume Tanah	14
Tabel 3.2	Nilai Koefisien Permeabilitas	15
Tabel 3.3	Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah	16
Tabel 3.4	Hubungan Jenis Tanah dengan Angka Poisson	16
Tabel 3.5	Sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO	18
Tabel 3.6	Sistem klasifikasi Unified	22
Tabel 3.7	Hubungan D_r , ϕ dan N dari Pasir (Peck, Mayerhoff)	24
Tabel 3.8	Hubungan D_r , ϕ dan N dari Pasir (Terzaghi)	24
Tabel 3.9	berat isi untuk berat mati	26
Tabel 3.10	Faktor Aman (Reese dan O’Neill, 1989)	36
Tabel 3.11	Nilai Koefisien C_p	42
Tabel 3.12	Modulus Elastisitas Tanah	43
Tabel 3.13	Angka Poisson	44
Tabel 4.1	Parameter Tanah Pada Bor log 04	51
Tabel 5.1	Data Mutu Beton Box culvert	58
Tabel 5.2	Data Mutu Baja Box Culvert	58
Tabel 5.3	Data Berat Jenis Box Culvert	58
Tabel 5.4	Data Properties Tanah	59
Tabel 5.5	Beban Mati	62
Tabel 5.6	Rekapitulasi Pembebanan	65
Tabel 5.7	Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Daerah Tumpuan Pada Struktur Box Culvert	88
Tabel 5.8	Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Daerah Lapangan Pada Struktur Box Culvert	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Lokasi Pekerjaan Jembatan Sei Alalak	4
Gambar 1.2	Potongan Melintang Jembatan Sei Alalak	5
Gambar 1.3	Potongan Melintang Struktur Box Culvert	6
Gambar 3.1	Diagram Fase Tanah	13
Gambar 3.2	Penetrasi dengan SPT	23
Gambar 3.3	Kapasitas Dukung Tiang Bor	31
Gambar 3.4	Susunan Tiang Kelompok	38
Gambar 4.1	Potongan Melintang Jembatan Sei Alalak	48
Gambar 4.2	Potongan Melintang Struktur Box Culvert	49
Gambar 4.3	Tampilan <i>Project Properties</i>	51
Gambar 4.4	Jendela Material Set	53
Gambar 4.5	Bagan Aliran Penelitian	55
Gambar 4.6	Lanjutan Bagan Aliran Penelitian	57
Gambar 5.1	Gambar Dimensi Struktur Box Culvert	57
Gambar 5.2	Gambar Potongan Struktur Box Culvert	60
Gambar 5.3	Sketsa Pembebanan Pada Struktur Box Culvert	61
Gambar 5.4	Gaya akibat beban mati	63
Gambar 5.5	Faktor Beban Dinamis (DLA)	64
Gambar 5.6	Gaya Akibat Beban Lajur “D”	64
Gambar 5.7	Tulangan Atap Pada Daerah Tumpuan	69
Gambar 5.8	Penulangan Pelat Atap Pada Daerah Lapangan	72
Gambar 5.9	Kodefikasi Penulangan Pelat Atap	72
Gambar 5.10	Tulangan Pelat Dinding Pada Daerah Tumpuan	76
Gambar 5.11	Penulangan Pelat Dinding Pada Daerah Lapangan	79
Gambar 5.12	Sketsa Penulangan Pelat Dinding	80
Gambar 5.13	Tulangan Pelat Lantai Daerah Tumpuan	83
Gambar 5.14	Tulangan Pelat Atap Pada Daerah Lapangan	87
Gambar 5.15	Sketsa Penulangan Pelat Bawah	87

Gambar 5.16	Sketsa Penulangan Struktur Box Culvert Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang	88
Gambar 5.17	Sketsa Lapisan Tanah	89
Gambar 5.18	Sketsa Nilai Rerata 8D dan 4D	90
Gambar 5.19	Sketsa Konfigurasi Kelompok Tiang Bor existing	93
Gambar 5.20	Sketsa Lapisan Tanah	94
Gambar 5.21	Sketsa Konfigurasi Kelompok Tiang Bor existing	98
Gambar 5.23	Permodelan Kondisi Lapisan Tanah Menggunakan Tiang Tunggal	102
Gambar 5.24	<i>General Meshing</i> Dengan Perkuatan Tiang Tunggal	102
Gambar 5.25	Tahapan Kalkulasi Struktur Box Culvert Dengan Tiang Tunggal	103
Gambar 5.26	Hasil Kalkulasi Safety Factor phase Σ - Msf	103
Gambar 5.27	Axial Forces	104
Gambar 5. 28	Hasil analisis pada Phase Pemasangan Pile	105
Gambar 5.29	Hasil analisis pada Phase Pembebanan Pile	105
Gambar 5.30	Hasil analisis pada Phase Konsolidasi	106
Gambar 5.31	Permodelan Kondisi Lapisan Tanah Menggunakan Tiang Kelompok	107
Gambar 5.32	<i>General Meshing</i> Dengan Perkuatan Tiang Kelompok	107
Gambar 5.33	Tahapan Kalkulasi Struktur Box Culvert Dengan Tiang Kelompok	108
Gambar 5.34	Hasil Kalkulasi Safety Factor phase Σ - Msf	109
Gambar 5.35	Axial Forces	109
Gambar 5.36	Hasil analisis pada Phase Galian 1,5 m	110
Gambar 5.37	Hasil analisis pada Phase Pemasangan Pile	110
Gambar 5.38	Hasil analisis pada Phase Konstruksi Struktur Box Culvert	111
Gambar 5.39	Hasil analisis pada Phase Timbunan	111
Gambar 5.40	Hasil analisis pada Phase Pembebanan	112
Gambar 5.41	Hasil analisis pada Setelah Konsolidasi 1 Tahun	112
Gambar 5.42	Grafik Perbandingan Kapasitas Dukung Ujung (End Bearing)	114

Gambar 5.43	Grafik Perbandingan Kapasitas Dukung Selimut (Friction)	114
Gambar 5.44	Grafik Perbandingan Kapasitas Dukung Ultimate Tiang	115
Gambar 5.45	Perbandingan Kapasitas Dukung Ultimate dengan Metode Empiris dan Software Plaxis 2D	116
Gambar 5.46	Perbandingan Hasil Penurunan Pondasi Tiang Kelompok Dengan Metode Vesic dan Plaxis 2D	117
Gambar 5.47	Nilai SF dari Metode Reese dan O'neil dan Software Plaxis 2D	118

DAFTAR NOTASI

A_P = Luas penampang ujung tiang (m^2)

A_s = Luas selimut tiang (m^2)

B_g = Lebar blok (m)

c = Kohesi tanah (t/m^2)

C_p = Koefisien empiris

C_u = Kohesi tanah undrained (t/m^2)

d = Diameter tiang (m)

E_g = Efisiensi kelompok tiang

E_p = Modulus elastisitas tiang (kg/cm^2)

E_s = Modulus elastisitas tanah (kg/cm^2)

f = Gesekan selimut (t/m^2)

H = Tebal lapisan tanah yang ditinjau (m)

I_{ws} = Faktor pengaruh

K = Koefisien tekanan tanah

L = Panjang tiang (m)

L_g = Panjang blok (m)

L_n = Tinggi blok (m)

m = Jumlah baris tiang

n = Jumlah tiang dalam satu baris

N = Harga rata - rata N - SPT pada kedalaman $\pm B_g$ dibawah ujung fondasi tiang

N_q = Faktor kapasitas dukung

N_c = Faktor kapasitas dukung tanah pada ujung tiang

OCR = Over Consolidation Ratio

P = Beban yang bekerja (t)

p = Keliling tiang (m)

Q_a = Kapasitas dukung ijin tiang (t)

Q_g = Beban maksimum kelompok tiang (t)

Q_p = Kapasitas dukung ujung tiang (t)

Q_s = Kapasitas dukung selimut tiang (t)

Q_u = Kapasitas dukung ultimit tiang (t)

q = Tekanan pada dasarfondasi (t/m²)

q_c = Nilai konus pada rata - rata kedalaman B_g (Kg/cm²)

q_p = Kapasitas dukung batas/unit tahanan ujung (t)

S = Penurunan total

s = Jarak pusat ke pusat tiang (m)

S_c = Penurunan konsolidasi primer (m)

S_i = Penurunan segera (m)

S_p = Penurunan dari ujung tiang (m)

S_{ps} = Penurunan tiang akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang. (m)

S_s = Penurunan akibat deformasi aksial tiang (m)

S_s = Penurunan konsolidasi sekunder (m)

W = Berat Tiang (t)

φ = Sudut gesek dalam tanah (derajat)

δ = Sudut gesek permukaan

λ = Konstanta

α = Faktor adhesi

θ = $\arctan d/s$ (derajat)

ΔL = Panjang segment tiang (m)

ABSTRAKSI

Pondasi sebagai struktur pendukung harus dirancang dan direncanakan secara aman untuk menahan beban struktur di atasnya. Jembatan Sei Alalak yang berada di kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan akan dibangun untuk menggantikan Jembatan Kayu Tangi 1 yang telah berusia 30 tahun dikarenakan mengalami kerusakan struktural sehingga berbahaya bagi pengguna jalan. Pada Jembatan Sei Alalak ini akan dibangun Struktur box culvert yang akan ditopang oleh pondasi tiang bor di atas tanah lempung untuk menahan beban struktur tersebut. Maka dari itu perlu tinjau daya dukung pondasi dan penurunan yang terjadi pada struktur tersebut.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis penulangan pada struktur box culvert dengan metode analitis. Dan juga dilakukan analisis perhitungan daya dukung pondasi kelompok maupun tunggal beserta penurunannya menggunakan metode Reese & Wright dan Meyerhoof. penelitian ini dilakukan dengan membandingkan nilai dari software Plaxis dengan metode analitis yang dilakukan oleh peneliti.

Hasil penelitian dengan menggunakan pondasi tiang bor pada kedalaman 40 m menunjukkan bahwa kapasitas dukung ultimate (Q_u) menggunakan metode *Meyerhoof* yaitu sebesar 2433,3 kN dan menggunakan metode *Reese & Wright* yaitu sebesar 2156,55 kN. Pada kapasitas dukung tiang kelompok (Q_g) menggunakan metode *Meyerhoof* sebesar 9693,2 kN dan metode Reese & Wright sebesar 8626,2 kN dimana hasil daya dukung lebih besar dari gaya yg bekerja yaitu sebesar 8269,44 kN. Penurunan yang terjadi dengan metode *Vessic* sebesar 0,208 m dan penurunan menggunakan Software Plaxis 2D sebesar 0,3783 m.

Kata Kunci : Pondasi Bor Pile, Penurunan Tanah, Kapasitas Dukung, Plaxis 2D connect

ABSTRACT

The foundation as a substructure must be designed and planned safely to withstand the load of the structure above it. The Sei Alalak Bridge located in the city of Banjarmasin, South Kalimantan will be built to replace the 30 year old Kayu Tangi 1 Bridge due to structural damage that is dangerous to road users. At the Sei Alalak Bridge, a box culvert structure will be built which will be supported by a bore pile foundation on clay soil to bear the load of the structure. Therefore it is necessary to review the bearing capacity of the foundation and the settlement that occurs in the structure.

In this research, reinforcement analysis on the box culvert structur will be carried out using analytical methods. And then analysis of the calculation of the bearing capacity of single or group pile and their settlement using the Reese & Wright And Meyerhoof Method. This research was conducted by comparing the value of the plaxis software with the analytical method carried out by the researcher.

The results using a bored pile foundation with a depth of 40 m showed that the bearing capacity (Q_u) using the Meyerhoof method is 2433,3 kN and using the Reese & Wright method is 2156.55 kN. In pile group the bearing capacity (Q_g) using the Meyerhoof method is 9693.2 kN and Reese & Wright method is 8626.2 kN where the resultant bearing capacity is greater than the working force is 8269.44 kN. The value of settlement using Vessic method is 0.208 m and settlement using Plaxis 2D software is 0.3783. Based on these results, it is necessary to analysis using other empirical methods or other software in order to get various results.

Keyword : *Bored Pile Foundation, Settlement, Bearing capacity, Plaxis 2D connect*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jembatan Sei Alalak yang berada di kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan dibangun untuk menggantikan Jembatan Kayu Tangi 1 yang telah berusia 30 tahun dikarenakan mengalami kerusakan struktural sehingga membahayakan bagi pengguna jalan. Jembatan Sei Alalak yang merupakan bagian dari jalur utama lintas selatan Trans Kalimantan akan menjadi akses kota Banjarmasin dengan berbagai wilayah di Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah.

Jembatan Sei Alalak dengan panjang keseluruhan 850 m dan lebar 20 m yang merupakan struktur atas ini membutuhkan perkuatan pada struktur bawahnya. Struktur bawah inilah yang disebut dengan pondasi yang meneruskan beban dari struktur di atasnya menuju ke arah lapisan tanah keras di bawahnya. Seperti yang kita ketahui bahwa keberadaan pondasi ini sangat menentukan kokohnya struktur bangunan yang berdiri di atasnya. Bangunan dikatakan stabil bila tanah pendukung mampu menerima beban yang diteruskan dari pondasi tersebut.

Pada proyek pembangunan Jembatan Sei Alalak akan di bangun struktur box culvert di bawahnya. Pada lokasi penelitian diketahui bahwa struktur berada di atas tanah lempung lunak dan tanah pasir cukup padat. Maka di butuhkan pondasi yang kuat untuk menopang struktur box culvert dengan panjang 20 m, lebar 12 m dan tinggi 5,5 m. Pondasi yang akan digunakan adalah jenis pondasi Tiang Bor dengan beton bertulang berdiameter 1 m dan panjang 40 m. Struktur box culvert sendiri di tujuan untuk memfasilitasi lalu lintas dan sebagai drainasi.

Pada penelitian ini akan di pelajari tentang dimensi box culvert dan penulangannya, berapa banyak jumlah pondasi Tiang Bor, diameter tiang, panjang dan formasi pondasi tiang yang mampu memikul beban yang bekerja pada struktur box culvert. Demikian juga dianalisis penurunan yang terjadi pada pondasi tiang.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana Penulangan struktur box culvert ?
2. Bagaimana Daya Dukung pondasi tiang tunggal dalam memikul struktur box culvert?
3. Bagaimana daya dukung pondasi tiang grup dalam memikul struktur box culvert ?
4. Bagaimana penurunan pondasi tiang yang akan terjadi ?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui penulangan struktur box culvert.
2. Mengetahui kapasitas dukung tiang tunggal dalam memikul struktur box culvert.
3. Mengetahui kapasitas dukung tiang grup dalam memikul struktur box culvert
4. Mengetahui besar penurunan tiang yang terjadi.

1.4. Manfaat Penelitian

1. Memberikan ilmu mengenai pondasi khususnya mengenai *bored pile* dalam pencarian daya dukung menggunakan metode elemen hingga.
2. Menjadi data acuan atau perbandingan bagi penelitian selanjutnya

1.5. Batasan Penelitian

Agar penelitian ini dapat mendapatkan hasil yang diinginkan, maka perlu diberikan batasan-batasan sebagai berikut ini.

1. Gambar dan data teknis didapatkan dari PT Wijaya Karya pada tahun 2019.
2. Penelitian ini meliputi pembatasan ruang lingkup wilayah Ruas Jalan Jembatan Sei Alalak khususnya pada sta 0 + 300 sampai dengan 0 + 350.
3. Data properties tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah hasil data bor log 04 yang berasal dari hasil uji lapangan dan uji lab oleh PT Pandji Bangun Persada pada tahun 2019.

4. Pembebanan sesuai dengan dengan SNI 1725:2016 mengenai pembebanan untuk jembatan.
5. Penulangan Struktur Box culvert menggunakan RSNI-T-12-2004 mengenai perencanaan struktur jembatan.
6. Metode analisis dilakukan menggunakan aplikasi plaxis 2D Connect.
7. Tidak memasukan faktor Gempa.
8. Tidak memperhitungkan analisis biaya dan waktu.
9. Analisis Kapasitas dukung pondasi *bored pile* menggunakan metode Meyerhof dan Reese & Wright (1977).

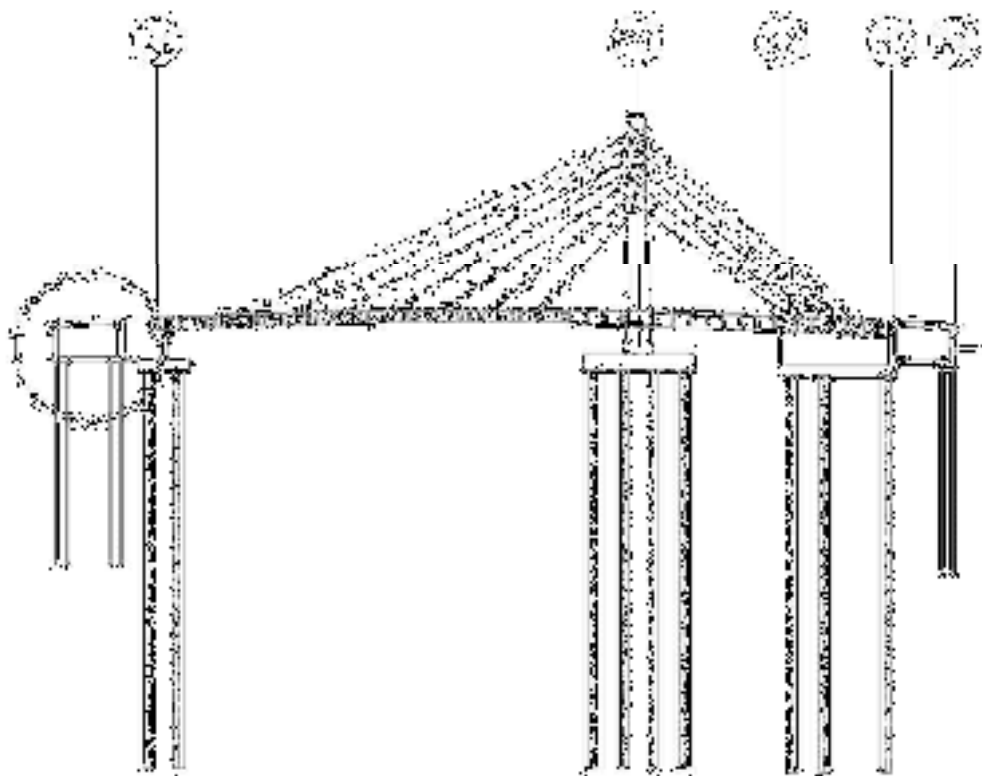
1.6. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah tempat suatu penelitian dilakukan. Dengan melakukan penetapan lokasi penelitian merupakan tahap awal yang sangat penting dalam melakukan penelitian, maka dari itu mempermudah peneliti untuk melakukan penelitian dengan objek dan tujuan yang akan di ambil.

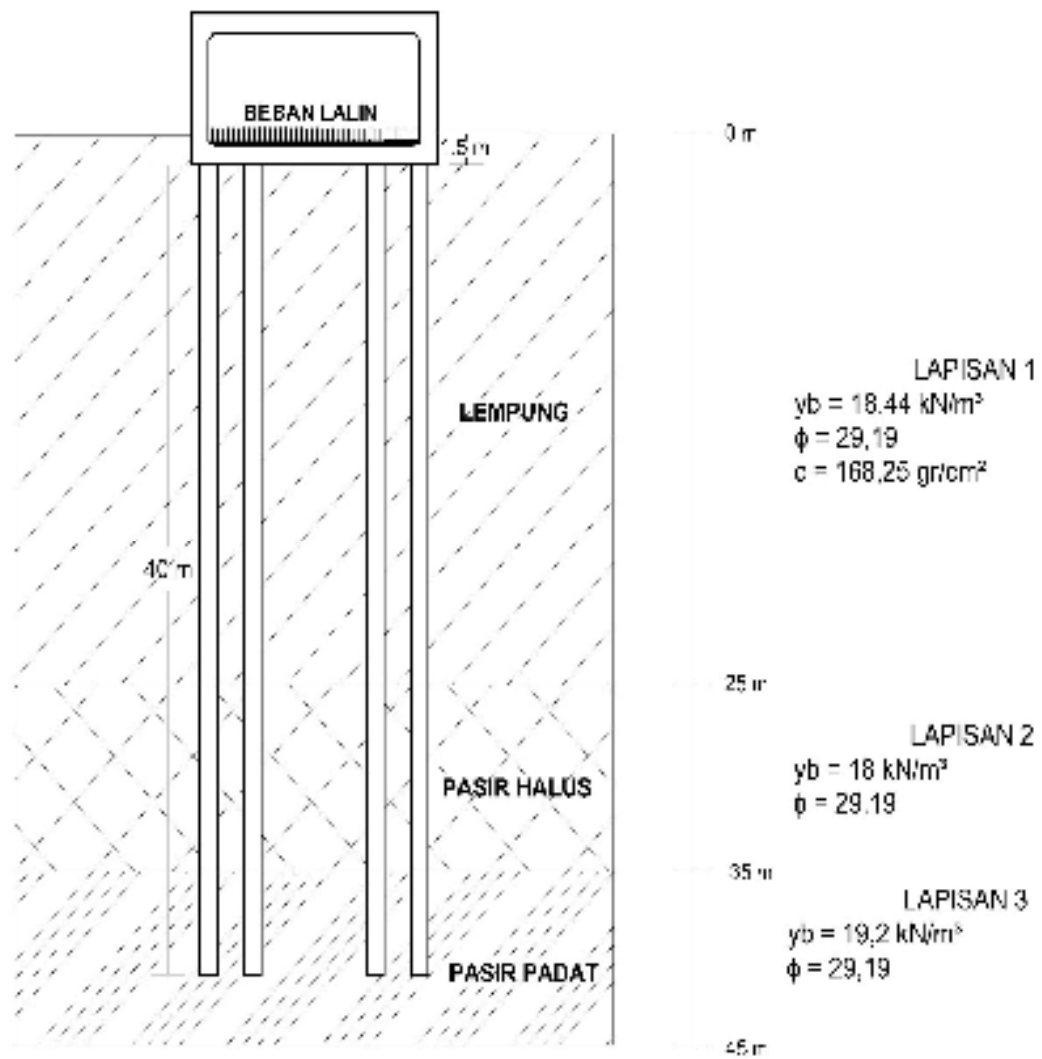
Lokasi penelitian ini dilakukan di alalak utara, Kecamatan Banjarmasin Utara, Kabupaten Banjarmasin, Kalimantan Selatan. Dalam penelitian ini, yang menjadi objek penelitian adalah Tiang Bor dan *Box culvert* yang di pasang pada segmen BH-04. Lokasi Penelitian dan potongan melintang dapat dilihat pada Gambar 1.1, Gambar 1,2 dan Gambar 1,3 berikut.



Gambar 1.1 Lokasi Pekerjaan Jembatan Sei Alalak



Gambar 1.2 Potongan Melintang Jembatan Sei Alalak



Gambar 1.3 Potongan Melintang Struktur Box Culvert

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Pada BAB sebelumnya telah dibahas mengenai latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian serta batasan masalah dari tugas akhir yang akan dilakukan kali ini. Pada BAB ini akan dilanjutkan dengan pemaparan berupa hasil penelitian yang serupa dengan penelitian ini dengan tujuan sebagai referensi penelitian dan juga agar terhindar dari plagiasi penelitian.

Idealnya tinjauan pustaka penelitian adalah yang mencakup evaluasi dan kutipan bidang yang diteliti, hubungan hasil karya yang ditinjau dengan penelitian itu sendiri, baik secara langsung maupun tidak langsung. Tinjauan pustaka juga memuat perbedaan dari pustaka yang ditinjau.

2.2 Penelitian Sebelumnya

Tinjauan pustaka ini dimaksudkan untuk memahami kerangka atau latar belakang teoritis dari permasalahan yang diteliti dengan menyertakan penelitian-penelitian terdahulu yang sejenis dan memiliki hubungan dengan topik yang sedang diteliti pada penelitian ini

2.2.1 Analisis Kapasitas Daya Dukung Pondasi Menggunakan Metode Meyerhoff

Dari Penelitian Agata dkk (2018) Yang Berjudul “Studi Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pada Pembangunan Gedung LP3M Universitas Kediri” melakukan analisis daya dukung tiang menggunakan diameter tiang dan jumlah tiang yang bervariasi dalam beberapa metode salah satunya metode Meyerhoff. Pada hasil analisis kapasitas dukung tiang kelompok didapatkan bahwa metode Meyerhoff memberikan hasil ekonomis dibandingkan metode lain yaitu menggunakan 6 tiang dengan besar kapasitas 134,64 ton.

Dari penelitian Santa dkk (2019) yang berjudul “Analisa Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancan Overpass Sei Semayang Sta. 0+350 Pada Proyek

Pembangunan Jalan Tol Medan-Binjai” dilakukan analisis menggunakan Metode Meyerhoff pada abutment 1 dan abutment 2. Hasil pada abutment 1 didapatkan sebesar 527,06 ton dan pada abutment 2 sebesar 502,36 ton dimana, perbedaan hasil daya dukung ini dipengaruhi oleh nilai N-SPT yang didapatkan.

2.2.2 Analisis Kapasitas Daya Dukung Pondasi Menggunakan Metode Reese & Wright

Penelitian Anbiyah (2019) yang berjudul “Analisis Daya Dukung Pondasi *Bored Pile*” Dengan Menggunakan Metode Analitis Dan Program Plaxis V.8.6” melakukan penelitian dengan membandingkan daya dukung menggunakan data SPT dengan metode Reese & Wright dan hasil PDA. Didapatkan bahwa menggunakan SPT dengan metode Reese & Wright hasil daya dukung yang didapatkan yaitu sebesar 1486,77 ton lebih besar dari hasil PDA yaitu sebesar 1197,63 ton.

Penelitian Livia dan Suhendra (2018) dengan judul “Studi Kapasitas Tiang Bor Berdasarkan Metode Pile Driving Analyzer (PDA) Dan Load Cell” melakukan analisis dengan berbagai metode yaitu Meyerhoff, Decourt, Kullhawy, Reese & Wright, Tomlinson dan PDA. Didapatkan nilai rata-rata persentase perbedaan daya dukung pondasi tiang bor antara perhitungan manual dengan hasil dari PDA untuk tanah kohesif dan non-kohesif yaitu paling besar menggunakan Metode Reese & Wright sebesar 36% dan 41% sedangkan yang paling kecil menggunakan metode Meyerhoff sebesar 18% dan 0,09%.

2.2.3 Analisis Penurunan Pondasi

Mansur dkk (2019) melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Tiang Bor Tunggal Akibat Beban Menggunakan Plaxis 2D” mengatakan bahwa batas penurunan maksimum yang disarankan oleh Skepton dan MacDonald untuk pondasi terpisah pada tanah pasir adalah 40 mm. Hasil penurunan tanpa adanya faktor beban gempa sebesar 23,86 mm sedangkan dengan memperhitungkan beban gempa 7 SR yaitu sebesar 234,64 mm.

Pada penelitian Anbiyah (2019) yang berjudul “Analisis Daya Dukung Pondasi Bored Pile Dengan Menggunakan Metode Analitis Dan Program Plaxis V.8.6” penurunan pondasi yang ditinjau dalam dua keadaan yaitu sebelum dan sesudah konsolidasi, namun untuk pondasi *bored pile* umumnya dalam 1 keadaan karena merupakan *nondisplacement pile*. Hasil penurunan bored pile yang diperoleh dengan metode penurunan elastis sebesar 13,12 mm sedangkan menggunakan Plaxis sebesar 58,4 mm.

2.2.4 Analisis Kapasitas Dukung Pondasi Menggunakan Plaxis

Pada penelitian Lubis (2019) yang berjudul “Analisa Daya Dukung Pondasi Bored Pile Dengan Program Software Plaxis Version 8.6” didapatkan hasil dari analisis daya dukung menggunakan Plaxis didapatkan sebesar 1.096,576 ton sebelum konsolidasi dan 1.101,008 ton sesudah konsolidasi, nilai ini tidak jauh berbeda dari hasil perhitungan menggunakan Reese & Wright yaitu sebesar 1.058,542 ton sehingga dapat digunakan sebagai pembandingan.

Pada penelitian Anbiyah (2019) yang berjudul “Analisis Daya Dukung Pondasi Bored Pile Dengan Menggunakan Metode Analitis Dan Program Plaxis V.8.6” melakukan perhitungan menggunakan data SPT dengan Metode Reese & Wright, PDA test dan program Plaxis. Hasil daya dukung menggunakan Reese & Wright yaitu sebesar 1486,77 ton, PDA test sebesar 1197,63 dan Plaxis sebesar 1308,06 ton.

2.3 Perbedaan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Sekarang

Untuk memenuhi unsur orisinalitas penelitian, maka diperlukan *compare and contrast* dengan penelitian terdahulu seperti yang sudah dipaparkan diatas. Terdapat beberapa perbedaan dari penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan diteliti. Perbedaan penelitian terdahulu dengan beberapa penelitian yang akan diteliti disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Nama Peneliti	Agata dkk (2018)	Anbiya Alfalah (2016)	Santa dkk (2018)	Mansur dkk (2019)	Muhammad Fadhil Lubis (2019)	Livia dkk (2018)	Haifa Yulda Misbahul Ma'ruf (2021)
Judul	Studi Analisis Daya dukung pondasi tiang pada pembangunan gedung LP3M Universitas Kediri	Analisis daya dukung pondasi <i>Bored Pile</i> dengan menggunakan metode analitis dan program plaxis v.8.6	Analisa perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang overpass Sei Semayang sta. 0+350	Analisis kapasitas daya dukung dan penurunan tiang bor tunggal akibat beban gempa dengan menggunakan plaxis 2D	Analisis daya dukung pondasi bored pile dengan program software plaxis version 8.6	Studi Kapasitas Tiang Bor Berdasarkan Metode Pile Driving Analyzer (PDA) dan Load Cell	Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Pada Struktur Box Culvert Menggunakan Metode Analitis Dan Metode Elemen Hingga
Tujuan Penelitian	Mengetahui daya dukung tiang strous dengan metode Trofimankove, Meyerhoff dan Bogeman	Membandingkan besar daya dukung pada pondasi dengan menggunakan metode analitis, PDA test dan program plaxis	Mengetahui daya dukung pondasi tiang dari hasil sondir dan menghitung kapasitas daya dukung izin pondasi	Mengetahui nilai displacement tiang bor tunggal akibat beban gempa	Mengetahui daya dukung pondasi bored pile berdasarkan data SPT dengan metode analitis dan PDA	Membandingkan hasil Perhitungan daya Dukung tiang bor dengan hasil dari PDA dan Load Cell	Mengetahui Daya dukung Pondasi Tiang bor berdasarkan data SPT dengan Metode Analitis dan Program Plaxis 2D

Lanjutan Tabel 2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Objek Penelitian	Pondasi Tiang Gedung LP3M Universitas Kediri	Pondasi bored Pile pada Fly Over Simpang Surabaya Kota Banda Aceh KM 0+525	Pondasi Tiang Pancang pada Overpass Sei Semayang	Pondasi Tiang bor pada Proyek pembangunan kampus baru UNG	Pondasi bored pile pada Abutment Jalan Layang Kereta Api Medan – Kualanamu Km 4+600	Pondasi Bored Pile pada Proyek Roxy Mas Business Center, Bintaro Icon dan Apartment Emerald Bintaro	Pondasi Tiang Bor pada struktur Box Culvert
Metode Penelitian	Metode yang digunakan adalah metode trofimankove, Meyerhoff dan Bogeman dalam mencari daya dukung tiang	Metode yang digunakan Reese & Wright dan Hasil test PDA	Metode yang digunakan Meyerhoff dan hasil test PDA	Metode yang digunakan adalah Meyerhoof dan Plaxis 2D	Metode yang digunakan adalah Reese & Wright SPT dan hasil test PDA, dan metode elemen hingga untuk perhitungan penurunan pondasi	Metode yang digunakan adalah metode PDA, Meyerhoff, Decourt, Kulhawy, Tomlinson dan Reese & Wright	Metode yang digunakan Reese & Wright, Meyerhoof dan Plaxis 2D

BAB III

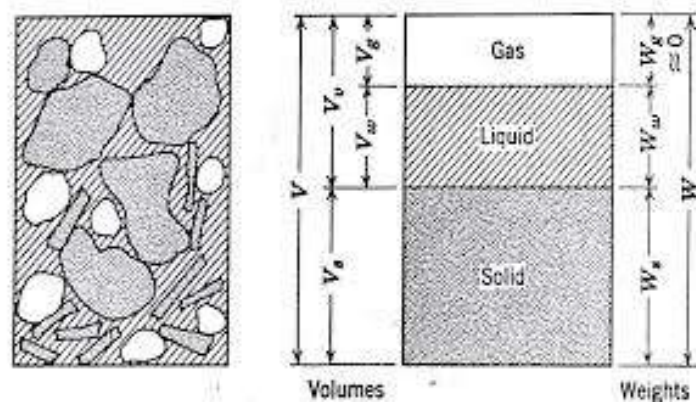
LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Tanah secara umum merupakan material bangunan yang berasal dari alam yang tersusun dari campuran butiran-butiran dengan ataupun tanpa bahan organik. Definisi umum tanah adalah kumpulan dari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat satu dengan yang lain (diantaranya mungkin material organik) rongga-rongga diantara material tersebut berisi udara dan air (Verhoef C, 1994). Tanah berguna sebagai bahan bangunan dalam berbagai macam pekerjaan teknik sipil. Fungsi paling utama dari tanah adalah sebagai pendukung pondasi dari sebuah bangunan. Fungsi tanah sebagai pendukung pondasi bangunan memerlukan kondisi tanah yang stabil, sehingga apabila ada sifat tanah yang kurang mampu mendukung bangunan harus diperbaiki terlebih dahulu agar mencapai daya dukung tanah yang diperlukan. Bangunan yang berdiri nantinya diharapkan akan kokoh, tidak rusak karena penurunan yang tidak merata ataupun bahkan longsor.

3.1.1 Properti Tanah

Tanah terdiri dari dua atau tiga bagian, yaitu butiran tanah, air dan udara. Tanah dalam keadaan kering hanya memiliki dua bagian tanah, yaitu butiran tanah dan pori-pori udara. Pada tanah dalam kondisi jenuh hanya terdapat dua bagian yaitu butiran tanah serta air pori. Sedangkan dalam kondisi tidak jenuh tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu butiran tanah, pori-pori udara, dan air pori. Hubungan antara bagian-bagian tanah digambarkan dalam bentuk diagram fase yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah

(Sumber : Lambe dan Whitman, 1969)

Berdasarkan Gambar 3.1 diatas, suatu tanah memiliki tiga elemen dalam setiap butirnya. Ada udara, air dan padatan. Dalam setiap elemen tersebut memiliki volume dan berat masing – masing. Mengacu pada diagram fase tanah maka dapat diketahui pada Persamaan 3.1 sampai dengan Persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$W = W_s + W_w \quad (3.1)$$

dan

$$V = V_s + V_w + V_a \quad (3.2)$$

$$V_v = V_w + V_a \quad (3.3)$$

Keterangan.

W = berat total

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

V = volume total

V_s = volume butiran padat

V_w = volume air

V_a = volume udara

V_v = volume rongga

1. Berat Volume Butiran Padat (γ_s)

Berat tanah butiran tanah kering dalam satu satuan volume butiran tanah atau

perbandingan antara berat butiran padat (W_s) dengan volume butiran padat (V_s) dan dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.4.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (3.4)$$

2. Berat volume tanah dalam keadaan jenuh air ($S=1$)

Berat volume tanah dalam keadaan jenuh air dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.5.

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w(G_s + e)}{1 + e} \quad (3.5)$$

3. Hubungan antara derajat kejenuhan, angka pori, kadar air dan berat jenis

Hubungan antara derajat kejenuhan, angka pori, kadar air dan berat jenis dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.6.

$$S_e = w G_s \quad (3.6)$$

Korelasi untuk menentukan berat jenis tanah (γ) dan berat jenis tanah jenuh (γ_{sat}) dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Nilai Berat Volume Tanah

No.	Jenis tanah	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)
1	Kerikil	20 - 22	15 – 17
2	Pasir	18 – 20	13 – 16
3	Lanau	18 – 20	14 – 18
4	Lempung	16 - 22	14 – 21

(Sumber : Bowles J. E, 2000)

4. Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan terjadinya aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir melewati rongga pori. Pori – pori pada tanah saling terhubung, sehingga air dapat mengalir dari tekanan tinggi menuju tekanan yang lebih rendah. Padatanah, permeabilitas artikan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga rongga pori tanah. Menurut Das (1983) pada buku Mekanika Tanah 1 Edisi Ke Enam untuk kisaran nilai permeabilitas pada jenis – jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Nilai Koefisien Permeabilitas

No.	Jenis Tanah	k (mm/detik)
1.	Butiran Kasar	$10 - 10^3$
2.	Kerikil halus, butiran kasar bercampur pasir sedang	$10^{-2} - 10$
3.	Pasir halus, lanau longgar	$10^{-4} - 10^{-2}$
4.	Lanau padat, lanau berlempung	$10^{-5} - 10^{-4}$
5.	Lempung berlanau, lempung	$10^{-8} - 10^{-5}$

(Sumber : H. C. Hardiyatmo, 2012)

5. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan nilai yang menunjukkan besarnya angka elastisitas tanah dari perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Perkiraan nilai ini dapat ditentukan dari jenis tanah seperti pada Tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

No.	Jenis Tanah	E (kN/m²)
1.	Lempung : Sangat lunak Lunak Sedang Keras Berpasir	300 – 3000 2000 – 4000 4500 – 9000 7000 – 20000 30000 - 42500
2.	Pasir : Berlanau Tidak padat Padat	5000 – 20000 10000 – 250000 50000 - 100000
3.	Pasir dan kerikil : Padat Tidak padat	80000 – 200000 50000 - 140000
4.	Lanau	2000 – 20000
5.	Loses	15000 – 60000
6.	Cadas	140000 - 1400000

(Sumber : Bowles, 1977)

6. Poisson Ratio

Nilai poisson ratio ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan pemuaian lateral. Nilai ini dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Hubungan Jenis Tanah dengan Angka Poisson

No	Jenis Tanah	<i>Poisson Ratio</i>
1	Lempung jenuh	0,4 – 0,5
2	Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
3	Lempung berpasir	0,2 – 0,3
4	Lanau	0,3 – 0,35
5	Pasir Padat	0,2 – 0,4
6	Pasir tidak padat	0,15
7	Pasir halus	0,25
8	Batu	0,1 – 0,4
9	Loess	0,1 – 0,3

(Sumber : Hardiyatmo, 2003)

3.1.2 Klasifikasi Tanah

Tujuan klasifikasi tanah adalah untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, serta untuk menginformasikan tentang keadaan tanah dari suatu daerah kepada daerah lainnya dalam bentuk berupa data dasar. seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1989).

Beberapa sistem klasifikasi tanah memperhitungkan distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas. Sistem-sistem tersebut ialah sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dan USCS (*Unified Soil Classification System*).

1. Klasifikasi Tanah AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *public Road Administration Classification System*. Sistem ini sudah mengalami beberapa perbaikan versi yang saat ini berlaku adalah yang diajukan oleh *Committee on Classification of Material For Subgrade and Granular Type Road of The Highway Research Board* pada tahun 1945 (ASTM Standard no D-3282, AASHTO metode M145).

Sistem klasifikasi tanah yang dipakai saat ini diberikan pada Tabel 3.1 pada sistem ini, tanah yang diklasifikasikan kedalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir dimana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Tanah dimana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6 dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria berikut ini.

a. Ukuran butir

Kerikil : bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75mm (3 in) dan yang tertahan pada ayakan No. 10 (2 mm)

Pasir : bagian tanah yang lolos Ayakan No. 10 (2 mm) dan tertahan pada ayakan No. 200 (0,075 mm)

Lanau dan lempung : bagian tanah yang lolos ayakan No. 200

b. Plastisitas

Nama Berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai plasticity Indeks (PI) sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung di pakai bilamana bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis 11 atau lebih.

- c. Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75mm) ditemukan di dalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Tetapi persentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

Apabila sistem klasifikasi AASHTO dipakai untuk mengklasifikasi tanah, maka data dari hasil uji dicocokkan dengan angka-angka yang diberikan dalam Tabel 3.5 dari kolom sebelah kiri ke kolom sebelah kanan hingga ditemukan angka-angka yang sesuai.

Tabel 3.5 Sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO

Klasifikasi Umum	Material Berbutir Kasar (35% atau kurang lolos saringan No. 200)						
Klasifikasi Group	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisa ayakan (% lolos) :							
No. 10	Max 50	-	-	-	-	-	-
No. 40	Max 30	Max 50	Min 51	-	-	-	-
No. 200	Max 15	Max 25	Max 10	Max 35	Max 35	Max 35	Max 35
Karakteristik fraksi lolos saringan No.40 :							

Lanjutan Tabel 3.5 Sistem Klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO

Batas Cair (LL)	-		Max 40	Min 41	Max 40	Min 41
Indeks Plastisitas (PI)	Max 6	N.P.	Max 10	Max 10	Min 11	Min 11
Jenis Material Pokok	Batu pecah, kerikil dan pasir	Pasir halus	Kerikil dan Pasir Kelanauan atau Kelempungan			
Tingkat kegunaan sebagai subgrade	Sangat baik hingga baik					
Klasifikasi Group	A-4	A-5	A-6	A-7		
				A-7-5		
				A-7-6		
Analisa Ayakan (% lolos) :						
No. 10	-	-	-	-		
No. 40	-	-	-	-		
No. 200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36		
Karakteristik fraksi lolos saringan No. 40 :						

(Sumber : H. C. Hardiyatmo, 2002)

Untuk mengevaluasi mutu (kualitas) dari suatu tanah sebagai bahan lapisan tanah dasar (subgrade) dari suatu angka yang dinamakan indeks grup (group indeks, GI) juga diperlukan selain kelompok dan subkelompok dari tanah yang bersangkutan. Harga GI ini dituliskan di dalam kurung setelah nama dan subkelompok dari tanah yang bersangkutan. Indeks grup dapat dihitung dengan memakai Persamaan 3.7 berikut.

$$GI = (F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15) (PI - 10) \quad (3.7)$$

Keterangan.

F = persentase butiran yang lolos ayakan No. 200

LL = batas cair (liquid limit)

PI = indeks plastisitas

Suku pertama Persamaan 3.7, yaitu $(F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)]$, adalah bagian dari indeks grup yang ditentukan dari batas cair (LL). Suku yang kedua, yaitu $0,01 (F - 15) (PI - 10)$, adalah bagian dari (indeks grup yang ditentukan dari

indeks plastisitas (PI). Berikut ini adalah aturan untuk menentukan harga dari indeks grup sebagai berikut.

- a. Apabila Persamaan (3.7) menghasilkan nilai GI yang negative, maka harga GI dianggap nol.
- b. Indeks grup yang dihitung dengan menggunakan Persamaan (3.7) dibulatkan ke angka yang paling dekat (sebagai contoh: GI= 3,4 dibulatkan menjadi 3,0; GI = 3,5 di bulatkan menjadi 4,0)
- c. Tidak ada batas atas untuk indeks grup
- d. Indeks grup untuk tanah yang masuk dalam kelompok A₁a, A-1b, A-2-4, A-2-5 dan A-3 selalu sama dengan nol.
- e. Untuk tanah yang masuk kelompok A-2-6 dan A-2-7, hanya bagian dari indeks grup untuk PI saja yang digunakan yang dapat dilihat pada Persamaan 3.8 berikut.

$$GI = 0,01 (F - 15) (PI - 10) \quad (3.8)$$

Pada umumnya, kualitas tanah yang digunakan untuk bahan tanah dasar dapat dinyatakan sebagai kebalikan dari harga indeks grup.

3 Klasifikasi Tanah USCS

Sistem ini pada mulanya diperkenalkan oleh Casagrande dalam tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh The army Corps Of Engineers selama perang dunia II. Dalam rangka kerja sama dengan Unites States Bureau of Reclamation pada tahun 1952, sistem ini disempurnakan. Pada masa kini, sistem klasifikasi tersebut digunakan oleh para ahli teknik. Sistem klasifikasi unified diberikan dalam Tabel 3.2. Sistem ini mengelompokan tanah ke dalam dua kelompok besar yaitu.

1. Tanah berbutir kasar (coarse-grained-soil), yaitu: tanah kerikil dan pasir diman kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G adalah untuk kerikil (gravel) atau tanah berkerikil, dan S adalah untuk pasir (sand) atau tanah berpasir.

2. Tanah berbutir halus (fine-grained-soil), yaitu tanah di mana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (silt) anorganik, C untuk lempung (clay) anorganik, dan O untuk lanau organik dan lempung organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (peat), muck dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.

Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi USCS adalah sebagai berikut.

W = well graded (tanah dengan gradasi baik)

P = poorly graded (tanah dengan gradasi buruk)

L = low plasticity (plastisitas rendah) ($LL < 50$)

H = high plasticity (plastisitas tinggi) ($LL > 50$)

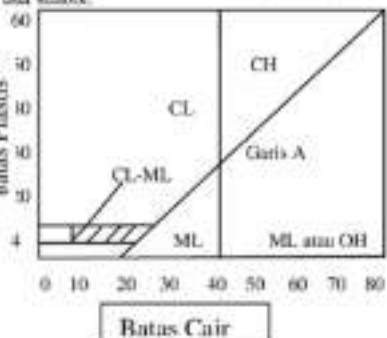
Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol kelompok seperti : GW, GP, GM, CC, SW, SP, SM dan SC. Untuk klasifikasi yang benar, faktor-faktor berikut ini perlu diperhatikan:

1. Persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 (ini adalah fraksi halus)
2. Persentase fraksi kasar yang lolos ayakan No. 40
3. Koefisien keseragaman (uniformity coefficient, C_u) dan koefisien gradasi (gradation coefficient, C_c) untuk tanah di mana 0 – 12% lolos ayakan No. 200.
4. Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) bagian tanah yang lolos ayakan No. 40 (untuk tanah di mana 5% atau lebih lolos ayakan No. 200)

Bilamana persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 adalah antara 5 sampai dengan 12%, simbol ganda seperti GW-GM, GP-GM, GW-GC, SW-SM, SW-SC, SP-SC dan SP-SC diperlukan. Rincian klasifikasi ini diberikan dalam Tabel 3.2.

Klasifikasi tanah berbutir halus dengan simbol ML, CL, OL, MH, CH dan OH didapat dengan cara menggambar batas cair dan indeks plastisitas tanah yang bersangkutan pada bagan plastisitas (Casagrande, 1948) yang diberikan dalam Tabel 3.6.

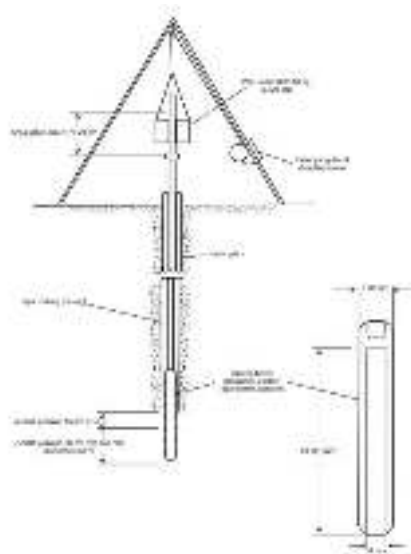
Tabel 3.6 Sistem klasifikasi Unified

Tanah berbutir kasar: 50% butiran terdahan saringan No. 200	Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Klasifikasi berdasarkan persentase butiran halus: Kurang dari 5% lolos saringan no.200: GM, GP, SW, SP. Lebih dari 12% lolos saringan no.200: GM, GC, SM, SC, 5% - 12% lolos saringan No.200: Batasan Klasifikasi yang mempunyai simbol double	Kriteria Klasifikasi	
	Kerikil 50% fraksi kasar terdahan saringan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		$C_u = \frac{D_{60}}{D_{30}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
		Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-halus		Batas-batas <i>Aterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	Bila batas <i>Aterberg</i> berada di daerah asir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		Batas-batas <i>Aterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$	
	Pasir 50% fraksi kasar lolos saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		$C_u = \frac{D_{60}}{D_{30}} > 6$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	
			SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau		Batas-batas <i>Aterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	Bila batas <i>Aterberg</i> berada di daerah asir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		Batas-batas <i>Aterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$	
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan lempung butas cair $\leq 50\%$	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung		<p>Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar, Batas <i>Aterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang di asir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.</p>  <p>Garis A : $PI = 0.73 (LL - 20)$</p>	
CL			Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung hepasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clay)				
OL			Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah				
Lanau dan lempung butas cair $\geq 50\%$		MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis				
		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clay)				
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi				
		Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT	<i>Peat</i> (gambut), <i>swack</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi		

(Sumber: Hardiyatmo, 1996)

3.2 *Standard Penetration Test (SPT)*

SPT adalah suatu metode penujian yang dilaksanakan untuk mengetahui besarnya daya dukung tanah serta jenis tanah pada setiap lapisannya. Pengujian SPT dilakukan secara bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui baik perlawanan dinamik tanah ataupun sampel tanah. Pengujian ini dilakukan dengan menjatuhkan pemukul ke arah bor yang ada dalam tanah, lalu dihitung jumlah pukulan yang diperlukan untuk memperdalam lubang bor. Semakin banyak pukulan semakin keras kondisi suatu lapisan tanah. berikut adalah sketsa pengujian SPT pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Penetrasi dengan SPT

(Sumber : SNI : 4153-2008)

Adapun pengamatan dan perhitungan SPT dilakukan sebagai berikut.

- Mula-mula tabung SPT dipukul ke dalam tanah sedalam 45 cm yaitu kedalaman yang diperkirakan akan terganggu oleh pengeboran.
- Kemudian untuk setiap kedalaman 15 cm dicatat jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk memasukkannya.
- Jumlah pukulan untuk memasukkan split spoon 15 cm pertama dicatat sebagai N1. Jumlah pukulan untuk memasukkan 15 cm kedua adalah N2 dan jumlah pukulan untuk memasukkan 15 cm ketiga adalah N3. Jadi total

kedalaman setelah pengujian SPT adalah 45 cm dan menghasilkan N1, N2, dan N3.

- d. Angka SPT ditetapkan dengan menjumlahkan 2 angka pukulan terakhir ($N_2 + N_3$) pada setiap interval pengujian dan dicatat pada lembaran Drilling Log.
- e. Setelah selesai pengujian, tabung SPT diangkat dari lubang bor ke permukaan tanah untuk diambil contoh tanahnya dan dimasukkan ke dalam kantong plastik untuk diamati di laboratorium.

Kemudian hasil dari pekerjaan bor dan SPT dituangkan dalam lembaran drilling log. Uji SPT dapat dihentikan jika jumlah pukulan melebihi 50 kali sebelum penetrasi 30 cm tercapai. Adapun tujuan dari SPT untuk menentukan kepadatan relatif dan sudut geser (ϕ) lapisan tanah tersebut dari pengambilan contoh tanah dengan tabung. Hubungan antara kepadatan relatif dan sudut geser dalam menurut peck dan mayerhoff dapat dilihat pada Tabel 3.7 berikut.

Tabel 3.7 Hubungan Dr, ϕ dan N dari Pasir (Peck, Mayerhoff)

Nilai N	Kepadatan Relatif (Dr)		Sudut Geser Dalam	
			Menurut Peck	Menurut Meyerhoff
0 – 4	0,00 – 0,20	Sangat Lepas	<28,5	<30
4 – 10	0,20 – 0,40	Lepas	28,5 – 30	30 – 35
10 – 30	0,40 – 0,60	Sedang	30 – 36	35 – 40
30 – 50	0,60 – 0,80	Padat	36 – 41	40 – 45
>50	0,80 – 1,00	Sangat Padat	>41	>45

(Sumber : Sosrodarsono, 2000)

Sedangkan untuk nilai Relative Density (Dr) menurut Terzaghi dapat dilihat pada Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3.8 Hubungan Dr ϕ dan N dari Pasir (Terzaghi)

Relative Density (Dr)	N
Very Soft / Sangat Lunak	<2
Soft / Lunak	2 – 4
Medium / Kenyal	4 – 8
Stiff / Sangat Kenyal	8 – 15
Hard / Keras	15 – 30
Padat	>30

(Sumber : Sosrodarsono, 2000)

3.3 Struktur Box Culvert

Struktur box culvert merupakan bangunan yang dibuat sebagai tempat drainase maupun untuk tempat melintasnya lalu lintas seperti underpass. Struktur box culvert dapat di bangun di jalan utama atau di atas perlintasan kereta api. Konstruksi box culvert dapat dibuat dalam beberapa bentuk, diantaranya bentuk box atau kotak, lingkaran dan setengah lingkaran. Umumnya struktur box culvert terbuat dari konstruksi beton bertulang.

3.3.1 Pembebanan struktur box culvert

Analisis pembebanan struktur box culvert dalam perhitungan struktur box culvert ketentuan dan besar pembebanannya disesuaikan dengan peraturan pembebanan jembatan RSNI-T-12-2004.

Beban-beban yang bekerja pada struktur box culvert adalah sebagai berikut.

1. Aksi dan beban tetap

- a. beban sendiri

Berat sendiri (self wight) dari bangunan yang dimaksud adalah berat dari bagian tersebut dan elemen-elemen struktural yang dipikulnya, atau berat sendiri adalah berat dari bagian jembatan yang merupakan elemen struktural ditambah dengan elemen non struktural yang dianggap tetap.

- b. beban mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural dan mungkin besarnya berubah selama umur rencana. Berat masing-masing bagian struktur dan elemen struktur yang ditetapkan dalam SNI-T-02-2005 dikalikan dengan besar volume yang membebaninya, semua beban mati harus dikalikan dengan faktor beban (R_i) masing-masing. Berat isi dari berbagai bahan dapat dilihat pada Tabel 3.9 berikut.

Tabel 3.9 berat isi untuk berat mati

No.	Bahan	Berat/Satuan Isi (kN/m ³)	Kecepatan Masa (kg/m ³)
1	Campuran aluminium	26.7	2720
2	Lapisan permukaan beraspal	22.0	2240
3	Besi tuang	71.0	7200
4	Timbunan tanah dipadatkan	17.2	1760
5	Kerikil dipadatkan	18.8-22.7	1920-2321
6	Aspal beton	22.0	2240
7	Beton ringan	12.25-19.6	1250-2000
8	Beton	22.5-25	2240-2560
9	Beton prategang	25.0-26.0	2560-2640
10	Beton bertulang	23.5-25.5	2400-2600
11	Timbal	111	11400
12	Lempung lepas	12.5	1280
13	Batu Pasangan	23.5	2400
14	Neoprin	11.3	1150
15	Pasir kering	15.7-17.2	1600-1760
16	Pasir basah	18.0-18.8	1840-1920
17	Lumpur lunak	17.2	1760
18	Baja	77.0	7850
19	Kayu (ringan)	7.8	800
20	Kayu (keras)	11.0	1120
21	Air murni	9.8	1000
22	Air garam	10.0	1025
23	Besi tempa	75.5	7680

(Sumber: SNI-T-02-2005)

2. beban lalu lintas

a. beban lajur “D”

beban lajur “D” sendiri terdiri dari 2 bagian yaitu sebagai berikut.

1) Beban terbagi rata (UDL)

Beban terbagi rata mempunyai intensitas q kPa, dengan q tergantung pada panjang yang dibebani total (L) pada Persamaan 3.11 dan 3.12 berikut.

$$q = 9 \text{ kPa untuk } L \leq 30 \text{ m} \quad (3.11)$$

$$q = 9.0 \left(0.5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa untuk } L > 30 \text{ m} \quad (3.12)$$

2) Beban Garis (KEL)

Beban garis (KEL) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49 kN/m/ pada bentang menerus, KEL ditempatkan dalam kedudukan lateral sama yaitu tegak lurus arah lalu lintas pada dua bentang agar momen lentur negatif menjadi maksimum.

3. beban truk “T”

beban hidup pada lantai jembatan berupa beban roda ganda truk (beban T). hanya satu truk yang harus ditempatkan dalam tiap lajur lalu lintas rencana untuk panjang penuh dari jembatan. Truk “T” harus ditempatkan di tengah lajur lalu lintas. Beban tekanan roda truk “T” adalah suatu beban suatu kendaraan berat dengan as roda yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana.

3.3.2 Penulangan Struktur Box culvert

Dalam merencanakan struktur beton bertulang untuk *box underpass* Cibubur ini disesuaikan berdasarkan peraturan perencanaan struktur beton untuk jembatan RSNI T-12-2004

1. Perhitungan Pelat

Berdasarkan RSNI-T-12-2004, kekuatan pelat lantai terhadap lentur harus ditentukan sesuai dengan perencanaan kekuatan balok terhadap lentur dan direncanakan dengan menggunakan Perencanaan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT).

Untuk perencanaan kekuatan pada penampang struktur beton terhadap semua pembebanan dan gaya dalam, yaitu momen lentur, geser, aksial, dan torsi, harus berdasarkan pada kekuatan rencana penampang, yang bisa dihitung dari kekuatan nominal (M_n) dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan (ϕ). Perhitungan momen ultimit dapat dilihat pada Persamaan 3.11 berikut.

$$M_u = \phi M_n \quad (3.11)$$

Keterangan.

M_u = Momen ultimit rencana

M_n = Momen nominal rencana

ϕ = Faktor reduksi kekuatan (digunakan 0,8)

Adapun faktor reduksi kekuatan menurut SNI T 12-2004 sebagai berikut.

- a. Lentur 0,80
- b. Geser dan Torsi 0,70
- c. Aksial tekan
 - dengan tulangan spiral 0,70
 - dengan sengkang biasa 0,65
- d. Tumpuan beton 0,70

Menghitung nilai R_n dengan Persamaan 3.12 berikut.

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \quad (3.12)$$

Dengan.

b = lebar pelat per meter panjang (mm)

d = tinggi efektif (mm)

Menghitung nilai m dengan Persamaan 3.13 berikut.

$$m = \frac{F_y}{0,85 \times f'c} \quad (3.13)$$

Mencari rasio penulangan (ρ) dengan Persamaan 3.14, 3.15 dan 3.16 berikut.

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times m \times Rn}{F_y} \right)} \right] \quad (3.14)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} \quad (3.15)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \times \rho_b \quad (3.16)$$

Dimana ρ_b dicari dengan Persamaan 3.17 berikut.

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'c}{F_y} \times \frac{600}{600 + F_y} \quad (3.17)$$

Dengan persyaratan rasio penulangan ($\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$)

Mencari Luas Tulangan yang dibutuhkan dapat menggunakan Persamaan 3.18.

$$As = \rho \times b \times d \quad (3.18)$$

3.3 Pondasi Tiang bor

Pondasi tiang digolongkan berdasarkan material, cara pelaksanaan, dan lain sebagainya. Berdasarkan material dibedakan menjadi empat yaitu tiang kayu, tiang baja, tiang beton, tiang komposit. Tiang beton dalam pembuatannya dibedakan menjadi tiang beton pracetak (Precast Concrete Pile) dan tiang beton cor di tempat (cast In Place).

Pembuatan beton dengan cara dicor ditempat (Cast In Place) yang sering disebut juga dengan bored pile atau tiang bor adalah suatu cara tiang dicetak pada lubang didalam tanah, berbentuk seperti tiang. Kemudian kedalam lubang tersebut dituangkan adukan beton. Fondasi tiang bor dibuat dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu kemudian mengisinya dengan tulangan dan dicor beton. Pondasi ini biasanya dipakai pada tanah yang stabil dan kaku, sehingga memungkinkan

untuk membentuk lubang yang stabil dengan alat bor. Jika tanah mengandung air, pipa besi dibutuhkan untuk menahan dinding lubang dan pipa ini ditarik keatas pada waktu pengecoran beton. Pada tanah yang keras atau batuan lunak, dasar tiang dapat dibesarkan untuk menambah kapasitas dukung ujung tiang. Kita mengenai dua kelompok tiang bor berdasarkan proses pengeborannya, yaitu pekerjaan tiang bor tanpa proteksi dan pekerjaan tiang bor dengan proteksi.

Pekerjaan tiang bor tanpa proteksi pada dasarnya pembuatan tiang bor selalu memerlukan proteksi dengan casing sementara (biasanya sekitar 3 - 6 m dari permukaan tanah) untuk mencegah runtuhnya lubang dibagian permukaan akibat desakan alat pengeboran. Pekerjaan tiang bor tanpa proteksi yang dimaksud disini ialah pembuatan tiang bor yang selama proses pengeborannya dinding tidak perlu dijaga dengan temporary casing ataupun slurry.

Keuntungan penggunaan tiang bor, antara lain.

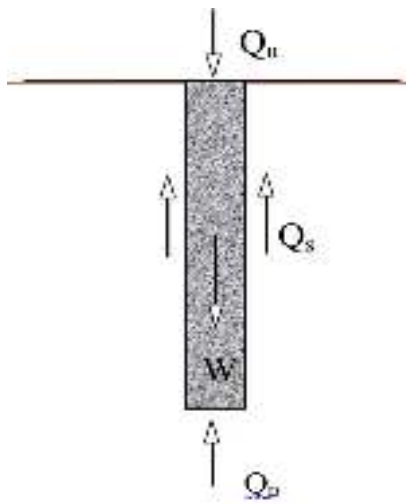
1. Tidak ada resiko kenaikan muka tanah.
2. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
3. Tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium.
4. Tiang dapat dipasang sampai kedalaman yang dalam, dengan diameter besar, dan dapat dilakukan pembesaran ujung bawahnya jika tanah dasar berupa lempung atau batu lunak.
5. Penulangan tidak dipengaruhi oleh tegangan pada waktu pengangkutan dan pemancangan.

Adapun kerugian penggunaan tiang bor antara lain.

1. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkerikil.
2. Pengecoran beton sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik.
3. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tanah terhadap tiang.
4. Pembesaran ujung bawah tiang tidak dapat dilakukan bila tanah berupa pasir.

3.4 Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Bor

Kapasitas dukung tiang adalah kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung suatu beban. Analisis kapasitas dukung pada tiang bor dilakukan dengan terlebih dahulu mengetahui data - data tanah, dimensi tiang, pile cap, jarak antara tiang, kedalaman fondasi, dan data pendukung seperti mutu beton.. Kapasitas dukung tiang terdiri dari kapasitas dukung ujung tiang (Q_p) dan kapasitas dukung selimut tiang (Q_s), yang dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Kapasitas Dukung Tiang Bor

(Sumber: Zesma R, 2007)

Daya dukung dapat di hitung menggunakan Persamaan 3.19 berikut.

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s \quad (3.19)$$

Keterangan.

Q_u = kapasitas dukung ultimit (ton)

Q_s = kapasitas dukung ujung tiang bor (ton)

Q_s = kapasitas dukung selimut tiang (ton)

3.4.1 Kapasitas Daya Dukung Ujung Tiang Berdasarkan data SPT

Daya dukung pondasi tiang bor dapat dihitung dengan berbagai metode tergantung dengan data-data yang tersedia pada proyek tersebut. Perhitungan sebaiknya dilakukan dengan menguji sampel di laboratorium untuk mendapatkan nilai parameter tanah secara akurat sehingga perhitungan juga akan mendekati

hasil yang sebenarnya. Namun jika data yang di dapat terbatas, perhitungan juga dapat dilakukan hanya dengan menggunakan salah satu data uji lapangan saja, misalnya data SPT saja jika hanya itu data yang tersedia. Kita lakukan pendekatan secara empiris untuk mengetahui nilai-nilai parameter lainnya, di antara beberapa metode untuk menghitung daya dukung berdasarkan data SPT adalah sebagai berikut.

1. Daya dukung Pondasi Tiang Bor dengan metode Meyerhof

a. Daya Dukung ujung Tiang Bor (end Bearing)

Perhitungan daya dukung ujung menggunakan metode Meyerhof dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.20 sebagai berikut.

1) Kondisi Tanah lempung / kohesif

$$Q_p = 9 \times c_u \times A_p \quad (3.20)$$

Dimana nilai C_u dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.21 berikut.

$$C_u = \frac{2}{3} \times N_{spt} \times 10 \quad (3.21)$$

Keterangan.

Q_p = tahanan ujung tiang (ton).

A_p = Luas penampang pondasi *bored pile* (m^2).

C_u = Kohesi tanah, (ton/ m^2)

2) Kondisi Tanah pasir / non-kohesif.

Pada kondisi tanah pasir perhitungan menggunakan metode Meyerhof dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.22 berikut.

$$Q_p = 40 \times N \times A_p \leq 400 \times N \times A_p \quad (3.22)$$

Keterangan.

Q_p = tahanan ujung tiang (ton).

A_p = Luas penampang pondasi *bored pile* (m^2).

N = Nilai rerata 8D diatas tiang sampai 4D dibawah tiang

b. Daya dukung selimut Tiang Bor (skin friction)

1) Kondisi Tanah lempung / kohesif

Daya dukung selimut pada kondisi tanah lempung dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.23 berikut.

$$Q_s = \alpha \times c_u \times L_i \times P \quad (3.23)$$

Keterangan.

Q_s = Daya dukung ultimate selimut tiang (ton)

L_i = Tebal lapisan tanah (m).

P = Keliling penampang tiang (m).

α = factor adhesi. (untuk tiang bor digunakan $\alpha = 0,5$)

C_u = Kohesi tanah, (ton/ m^2)

2) Kondisi Tanah pasir / non kohesif

Daya dukung selimut pada kondisi tanah pasir dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.24 berikut.

$$Q_s = 0,1 \times N_{spt} \times P \times L_i \quad (3.24)$$

Keterangan.

Q_s = Daya dukung ultimate selimut tiang (ton)

L_i = Tebal lapisan tanah (m).

P = Keliling penampang tiang (m).

2. Daya dukung Pondasi Tiang Bor dengan metode Resse & Wright (1977)

a. Daya dukung Ujung Tiang Bor (end Bearing)

1) Kondisi Tanah lempung / kohesif

Daya dukung ujung tiang menggunakan metode Reese & Wright pada tanah lempung dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.25 berikut.

$$Q_p = 9 \times c_u \times A_p \quad (3.25)$$

Dimana nilai C_u dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.26 berikut.

$$C_u = \frac{2}{3} \times N_{spt} \times 10 \quad (3.26)$$

Keterangan.

Q_p = tahanan ujung tiang (ton).

A_p = Luas penampang pondasi *bored pile* (m^2).

C_u = Kohesi tanah, (ton/ m^2)

2) Kondisi Tanah pasir / non-kohesif.

Daya dukung ujung tiang menggunakan metode Reese & Wright pada tanah pasir dipengaruhi oleh nilai N-SPT dapat dilihat pada Persamaan 3.27 dan 3.28 berikut.

Untuk $N \leq 60$ maka,

$$Q_p = 7 \times N \times A_p < 400 \text{ (t/m}^2\text{)} \quad (3.27)$$

Untuk $N > 60$ maka,

$$Q_p = 400 \times A_p \text{ (t/m}^2\text{)} \quad (3.28)$$

Keterangan.

Q_p = tahanan ujung tiang (ton).

A_p = Luas penampang pondasi *bored pile* (m^2).

N = Nilai N-SPT

b. Daya dukung selimut *bored pile* (skin friction)

1) Kondisi Tanah lempung / kohesif

Daya dukung selimut pada kondisi tanah lempung dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.29 berikut.

$$Q_s = \alpha \times c_u \times L_i \times P \quad (3.29)$$

Keterangan.

Q_s = Daya dukung ultimate selimut tiang (ton)

L_i = Tebal lapisan tanah (m).

P = Keliling penampang tiang (m).

α = faktor adhesi. (untuk tiang bor digunakan $\alpha = 0,55$)

C_u = Kohesi tanah, (ton/m²)

2) Kondisi Tanah pasir /non kohesif

Daya dukung selimut pada kondisi tanah pasir dipengaruhi oleh nilai N-SPT dimana dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.30 dan 3.31 berikut.

Untuk $N \leq 53$ maka,

$$Q_s = 0,32 \times N \times L_i \times p \quad (3.30)$$

Untuk $53 < N \leq 100$ maka,

$$Q_s = \left(\frac{N-53}{450}\right) \times \left(\frac{1}{0,3048^2}\right) \times L_i \times p \quad (3.31)$$

Keterangan.

Q_s = Daya dukung ultimate selimut tiang (ton)

L_i = Tebal lapisan tanah (m).

P = Keliling penampang tiang (m).

N = Nilai N-SPT

3.4.2 Kapasitas Dukung Ijin Tiang Bor (allowable Capacity)

Berikut ini adalah rumus atau Persamaan yang digunakan dalam menghitung kapasitas dukung ijin tiang bor (*allowable capacity*) menggunakan faktor keamanan Reese dan O'Neill yang dapat dilihat pada Persamaan 3.32 dan Tabel 3.10 berikut.

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} \quad (3.32)$$

Keterangan.

Q_u = Kapasitas Dukung Ultimate

SF = Faktor aman

Tabel 3.10 Faktor Aman (Reese dan O'Neill, 1989)

Klasifikasi Struktur	Faktor Aman			
	Kontrol Baik	Kontrol Normal	Kontrol Jelek	Kontrol Sangat Jelek
Bangunan Monumental	2,3	3	3,5	4
Permananen	2	2,5	2,8	3,4
Sementara	1,4	2	2,3	2,8

(sumber : Hardiyatmo, 2002)

3.5 Kapasitas Kelompok dan Efisiensi Pondasi Tiang bor

Pada kelompok tiang yang dasarnya bertumpu pada lapisan lempung lunak, faktor aman terhadap keruntuhan blok harus diperhitungkan, terutama untuk jarak tiang – tiang yang dekat. Maka untuk menghitung nilai kapasitas dukung kelompok tiang ada beberapa hal yang harus diperhatikan dahulu, yaitu jumlah tiang dalam satu kelompok, jarak tiang, susunan tiang dan efisiensi kelompok tiang.

1. Jumlah tiang (n)

Untuk menentukan jumlah tiang yang akan dipasang didasarkan pada beban yang bekerja pada pondasi dan kapasitas dukung ijin tiang, dapat dilihat pada Persamaan 3.33 berikut.

$$n = \frac{p}{Q_{all}} \quad (3.33)$$

Dengan.

P = Beban yang bekerja

Q_{all} = Kapasitas dukung ijin tunggal

2. Jarak Tiang (S)

Jarak antar tiang dalam tiang kelompok sangat mempengaruhi perhitungan kapasitas dukung dari kelompok tiang tersebut. Menurut KIMPRASWIL Ditjen Binawarga jarak Tiang (s) ditentukan sebagai berikut.

$$2,5 D \geq S \geq 3 D$$

Dimana s maksimum = 2 m dan s minimumnya adalah 0,6 m

- a. Jarak antar tiang terlalu dekat $S < 2,5 D$.

Pergerakan tanah akan menyebabkan tiang yang lebih dahulu dipancang akan menjadi miring, terdesak oleh pergerakan tanah dari samping bahkan bisa terangkat.

- b. Jarak antar tiang terlalu jauh $S > 3,00 D$

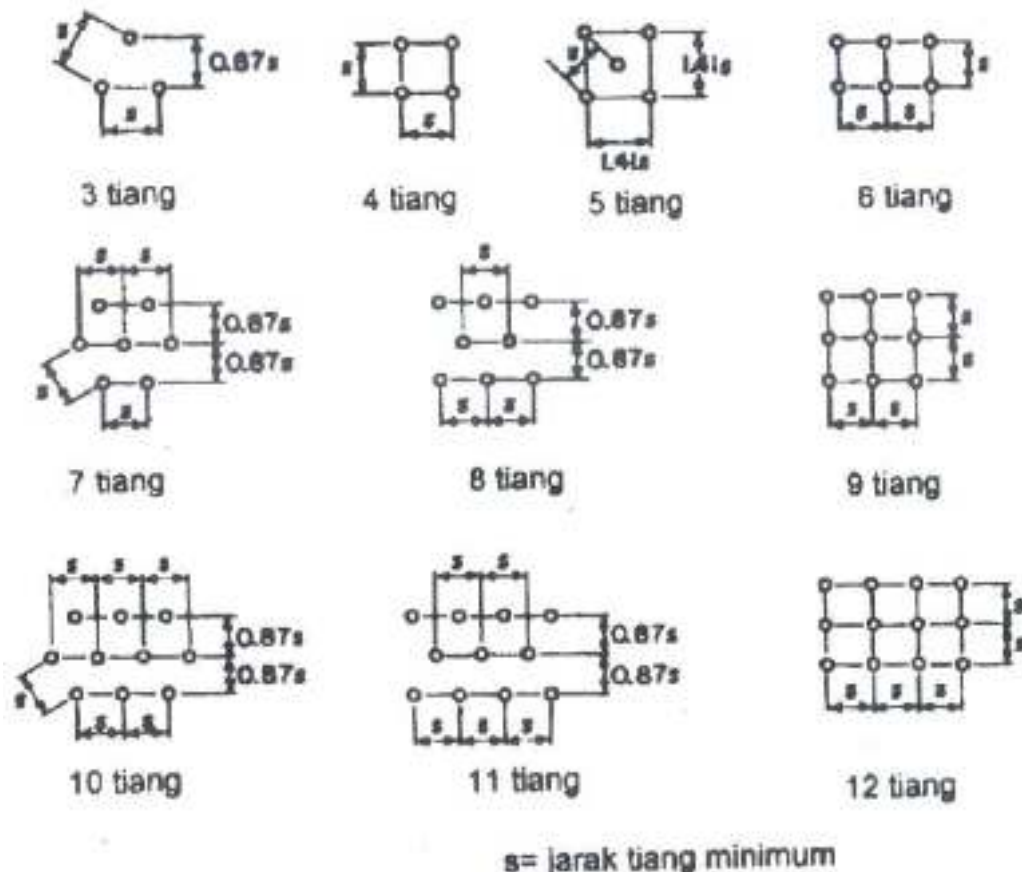
Bila jarak tiang terlalu jauh atau $S > 3,00 D$, maka komposisi tidak efektif dalam pengertian tiang tidak bekerja bersama-sama dalam mendukung beban, sehingga membutuhkan ukuran/dimensi yang lebih besare dan akibatnya menyebabkan konstruksi lebih mahal.

3. Susunan Tiang

Susunan Tiang sangat berpengaruh terhadap luas denah pile cap, yang secara tidak langsung tergantung dari jarak tiang. Bila jarak tiang kurang teratur atau terlalu lebar, maka luas denah pile cap akan bertambah besar dan berakibat

volume beton menjadi besar sehingga biaya konstruksi membengkak (K. Basah Suryolelono, 1994).

Beberapa metode didalam menyusun letak tiang didasarkan jumlah tiang yang digunakan dan jarak tiang, sehingga diperoleh susunan tiang yang ideal. Gambar 3.4 dibawah ini adalah contoh susunan tiang.



Gambar 3.4 Susunan Tiang Kelompok

4. Efisiensi Kelompok Tiang

Efisiensi kelompok tiang dibutuhkan karena adanya penyusutan kapasitas kelompok tiang (reduksi). Hal ini disebabkan adanya faktor penyebaran yang tumpang tindih (*overlapping*) dari tegangan – tegangan (*bulb of pressure*) yang terjadi di sekeliling pondasi di dalam tanah. Kejadian ini disebut efek efisiensi (*group action*), oleh sebab itu diperlukan nilai koreksi atau efisiensi terhadap daya dukung tersebut. Menurut coduto (1983), efisiensi tiang bergantung pada beberapa faktor yaitu sebagai berikut.

- Jumlah, panjang, diameter, susunan dan jarak tiang.

- b. Model transfer beban (tahanan gesek terhadap tahanan dukung ujung)
- c. Prosedur pelaksanaan pemasangan tiang
- d. Urutan pemasangan tiang.
- e. Macam tanah
- f. Waktu setelah pemasangan
- g. Interaksi antara pelat penutup tiang (pile cap) dengan tanah
- h. Arah dari beban yang bekerja

Persamaan untuk menghitung efisiensi kelompok tiang adalah sebagai berikut.

1) Metode *Converse-Labarre*

Efisiensi kelompok tiang (E_g) diperoleh dari Persamaan 3.34 berikut.

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \quad (3.34)$$

Dimana.

E_g = Efisiensi kelompok tiang (%)

m = Jumlah baris tiang

n = Jumlah tiang dalam 1 baris

θ = Arc tg D/S , dalam derajat

s = Jarak pusat ke pusat antara tiang (cm)

d = Diameter tiang (cm)

5. Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Pada Tanah Pasir

Pada pondasi tiang bor, tahanan gesek maupun tahanan ujung dengan $s \geq 3d$, maka kapasitas dukung kelompok tiang diambil sama besarnya dengan jumlah kapasitas dukung tiang tunggal ($E_g = 1$), dengan memakai Persamaan 3.35 sebagai berikut.

$$Q_g = n \times Q_a \quad (3.35)$$

Pada pondasi tiang bor, tahanan gesek dengan $s < 3d$ maka faktor efisiensi ikut menentukan seperti pada Persamaan 3.36 berikut.

$$Q_g = E_g \times n \times Q_a \quad (3.36)$$

Keterangan.

Q_g = Beban maksimum kelompok tiang yang mengakibatkan keruntuhan (kg)

E_g = Efisiensi kelompok tiang (%)

N = Jumlah tiang dalam kelompok

Q_a = Beban maksimum tiang tunggal (kN)

6. Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Pada Tanah Lempung

Kapasitas dukung kelompok tiang pada tanah lempung dihitung menggunakan Persamaan 3.37 dan 3.38 berikut.

a. Jumlah total kapasitas kelompok tiang

$$\begin{aligned} \sum Q_u &= m \times n \times (Q_p + Q_s) \\ &= m \times n \times (A_p \times 9 \times C_u + p \times \alpha \times C_u \times \Delta L) \end{aligned} \quad (3.37)$$

b. Kapasitas berdasarkan blok

$$\sum Q_u = L_g \times B_g \times N_c \times C_u + \sum 2 (L_g + B_g) \times C_u \times \Delta L \quad (3.38)$$

Keterangan.

L_g = Panjang blok

B_g = Lebar Blok

ΔL = Panjang segment tiang

3.6 Penurunan pondasi Tiang Bor

Pada waktu tiang dibebani, tiang akan mengalami konsolidasi dan tanah disekitarnya akan mengalami penurunan. Penurunan yang terjadi dalam tanah ini disebabkan oleh berubahnya susunan tanah maupun oleh pengurangan rongga pori atau air di dalam tanah tersebut. Penurunan Pondasi tiang bor dibedakan menjadi dua yaitu penurunan pada pondasi tiang tunggal dan penurunan pada pondasi tiang kelompok sebagai berikut.

3.6.1 Penurunan Tiang Tunggal

Untuk penurunan dapat digunakan dua cara yaitu metode semi empiris dan metode empiris.

a. Metode semi empiris

Untuk perhitungan metode semi empiris penurunan akan dihitung berdasarkan total penurunan akibat deformasi tiang, penurunan akibat beban ujung tiang dan penurunan akibat beban di sepanjang tiang pada Persamaan 3.40 berikut.

$$S = S_s + S_p + S_{ps} \quad (3.40)$$

Keterangan.

S = Penurunan Total

S_s = Penurunan akibat deformasi aksial tiang

S_p = Penurunan tiang akibat beban di ujung tiang

S_{ps} = Penurunan tiang akibat beban di sepanjang batang tiang

1. Penurunan akibat deformasi aksial

Perhitungan penurunan akibat deformasi dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.41 berikut.

$$S_s = \frac{(Q_p + \alpha \times Q_s) \times L}{A_p \times E_p} \quad (3.41)$$

Keterangan.

Q_p = kapasitas dukung ujung tiang

Q_s = kapasitas dukung selimut tiang

A_p = Luas penampang tiang (m²).

L = Panjang tiang (m).

E_p = Modulus elastisitas tiang (kN/m²).

α = koefisien yang tergantung pada distribusi gesekan selimut sepanjang tiang. Menurut Vesic (1977) $\alpha = 0,33 - 0,5$

2. Penurunan dari ujung tiang

Penurunan dari ujung tiang dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.42 sebagai berikut.

$$S_p = \frac{Q_p + C_p}{d \times q_p} \quad (3.42)$$

Keterangan.

Q_p = kapasitas dukung ujung tiang

C_p = Koefisien empiris.

d = Diameter Tiang (m).

q_p = Daya dukung *Ultimate* (kN).

Untuk nilai dari koefisien C_p akan bergantung pada jenis tanah yang berada disekeliling tiang bor, nilai koefisien dapat dilihat pada Tabel 3.11 berikut.

Tabel 3.11 Nilai Koefisien C_p

Jenis Tanah	Tiang Bor
Pasir	0,09 – 0,18
Lempung	0,03 – 0,06
Lanau	0,09 – 0,12

(sumber : Vesie, 1997)

3. Penurunan akibat beban di sepanjang tiang

Penurunan akibat beban di sepanjang tiang dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.43 berikut.

$$S_{ps} = \left(\frac{pt}{P \times L} \right) \times \frac{d}{E_s} (1 - V_s^2) \times I_{ws} \quad (3.43)$$

Keterangan.

$\frac{pt}{P \times L}$ = Gesekan rata – rata yang bekerja sepanjang tiang (m)

P = Keliling tiang (m)

L = Panjang tiang yang tertanam (m)

D = Diameter tiang (m)

E_s = Modulus elastis tanah

V_s = Poisson ratio

Adapun nilai I_{ws} dapat dicari melalui Persamaan (3.44) berikut.

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{d}} = \text{Faktor pengaruh} \quad (3.44)$$

Nilai dari modulus elastis tanah dan *poisson ratio* dalam perhitungan diatas dapat dilihat pada Tabel 3.12 dan Tabel 3.13 sebagai berikut.

Tabel 3.12 Modulus Elastisitas Tanah

Jenis Tanah	Modulus Elastis (kg/cm ²)
Lempung	
a. Lempung	3 – 10
b. Lunak	20 – 40
c. Sedang	45 – 90
d. Berpasir	300 – 425
Pasir	
a. Berlanau	50 – 200
b. Tidak Padat	100 – 250
c. Padat	500 – 1000
Pasir dan Kerikil	
a. Padat	800 – 2000
b. Tidak Padat	500 – 1400
Lanau	20 – 200
Looss	150 – 600
Serpih	1400 – 14000

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Tabel 3.13 Angka Poisson

Jenis Tanah	Angka Poisson
Lempung Lunak	0,4 – 0,5
Lempung Tak Jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir Padat	0,2 – 0,4
Pasir Kasar (e = 0,4 – 0,7)	0,15
Pasir Halus (e = 0,4 – 0,7)	0,25
Batu	0,1 – 0,4
Loess	0,1 – 0,3

b. Metode empiris

Sedangkan untuk metode empiris dalam perhitungan penurunan pondasi *bored pile* akan dinyatakan dalam Persamaan (3.45) berikut.

$$S = \frac{d}{100} + \frac{Q \times L}{A_p \times E_p} \quad (3.45)$$

Keterangan.

S = Penurunan total di kepala tiang (m)

D = Diameter tiang (m)

Q = Beban yang bekerja (m)

A_p = Luas penampang tiang (m²)

L = Panjang tiang (m)

E_p = Modulus elastis tiang

3.6.2 Penurunan Pondasi Tiang Kelompok

Dalam menghitung penurunan kelompok tiang kelompok akan digunakan metode Vesic (1977) sebagai berikut.

a. Metode *Vesic* (1977)

Penggunaan metode vesic dinyatakan dalam Persamaan (3.46) berikut.

$$S_g = S \sqrt{\frac{B_g}{d}} \quad (3.46)$$

Keterangan.

S = Penurunan pondasi tiang tunggal (m)

B_g = Lebar kelompok tiang (m)

S_g = Penurunan pondasi tiang kelompok (m)

d = Diameter tiang tunggal (m)

3.7 Plaxis 2D

Plaxis 2D adalah aplikasi komputer atau software yang dibuat dengan konsep metode elemen hingga (*finite element method*) yang digunakan untuk menganalisis *displacement*, deformasi dan stabilitas dari suatu konstruksi dibidang geoteknik, serta simulasi terhadap perilaku dari suatu kondisi tanah. Sebagai alat bantu untuk menganalisis, pengguna aplikasi ini sangat membantu praktisi dalam perhitungan menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*) non linier yang relatif lama, *Plaxis* 2D menjadi solusi untuk menjawab problematika tersebut dengan desain dan perancangan yang teoritik dan sistematis yang dikemas dalam kerangka logis yang mudah untuk digunakan. *Plaxis* dikembangkan pada tahun 1987 di *Technical University of Delft* yang merupakan hasil inisiatif dari Dutch Departement of Public Works and Water Management. *Plaxis* digunakan untuk menganalisis kekuatan tanggul – tanggul yang dibangun diatas tanah yang kurang stabil di Belanda.

Aplikasi ini dapat digunakan untuk menganalisis perhitungan axisymmetric ataupun plane – strain. Model axisymmetric digunakan untuk menganalisis struktur berbentuk lingkaran (*circular structures*) yang memiliki potongan berbentuk radial dan pembebanan berupa beban seragam terhadap pusat, sertategangan dan deformasi yang dianggap searah dengan radial. Model plane – strain digunakan untuk menganalisis struktur yang memiliki potongan melintang yang pembebanannya serta kondisi tegangan yang seragam, perpindahan atau deformasi searahnya dianggap nol. Ilustrasi dari model axisymmetric dan plane – strain.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan umum

Nugraheni (2018) menyatakan bahwa penelitian adalah proses yang sistematis untuk menemukan jawaban atas pertanyaan/permasalahan yang muncul, menggunakan metode ilmiah dan menuruti aturan-aturan yang berlaku.

Tahap metode pada penelitian ini memuat jenis penelitian yang digunakan, obyek dan subyek penelitian, pengumpulan data, lokasi pengumpulan data, dan waktu pengumpulan data.

Adapun jenis metode penelitian ini adalah metode penelitian kuantitatif. Metode penelitian kuantitatif merupakan salah satu jenis penelitian yang memiliki spesifikasi diantara lain adalah sistematis, terencana, dan terstruktur. Definisi lain menyebutkan bahwa penelitian kuantitatif adalah penelitian yang banyak menuntut penggunaan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap angka tersebut, serta penampilan dari hasil akhirnya. Demikian pula pada tahap kesimpulan, penelitian ini akan lebih baik bila disertai dengan Gambar, tabel, grafik atau tampilan lainnya (Burhanuddin, 2013) dalam (Rafi, 2016).

4.2 Persiapan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa persiapan sebelum dapat dilakukannya penelitian, yang terdiri dari penetapan lokasi, penentuan metode penelitian dan melakukan pengumpulan data primer maupun sekunder. Lokasi yang ditinjau pada penelitian ini adalah lokasi yang akan dipergunakan pemasangan Tiang Bor dan struktur box culvert sebagai perkuatan tanah pada Proyek Pembangunan Jembatan Alalak.

4.3 Tahap Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini perlu dilakukan beberapa tahapan yang jelas dan teratur, sehingga nantinya diperoleh hasil sesuai dengan harapan. Adapun tahapan pelaksanaan penelitian ini sebagai berikut.

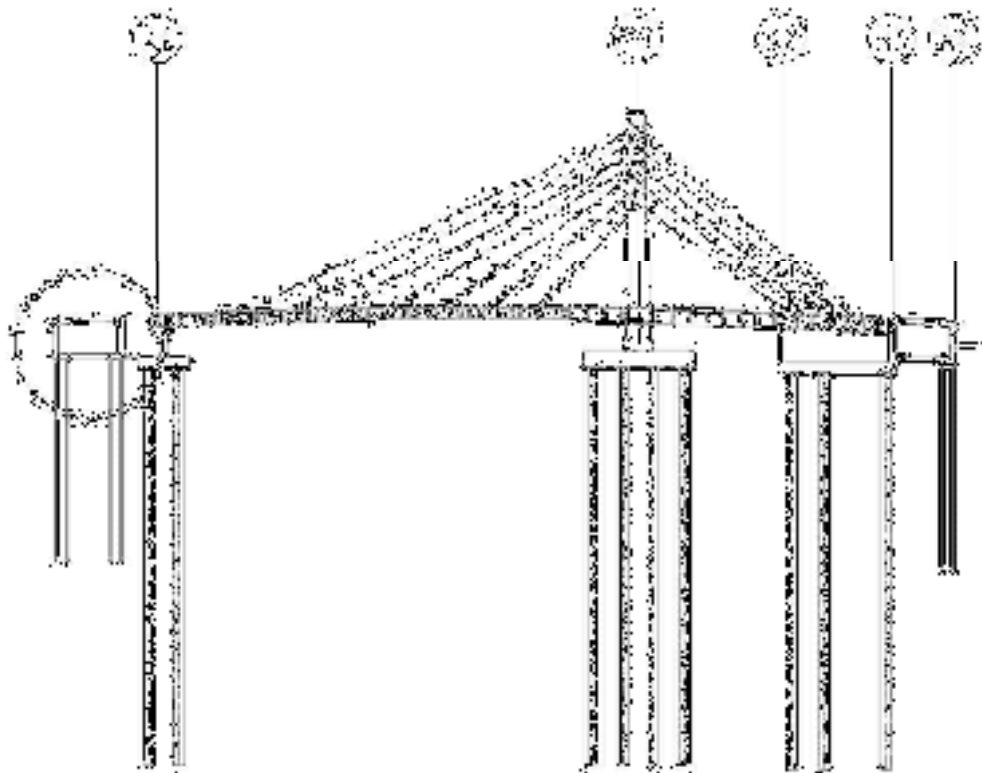
1. Tahap pengumpulan data yang meliputi tahap pengambilan data parameter tanah dan lereng timbunan baik yang berasal dari uji lapangan maupun uji laboratorium, data beban lalu lintas dan data potongan melintang jalan atau Gambar desain dari proyek Jembatan Alalak yang selanjutnya akan digunakan untuk analisis menggunakan aplikasi PLAXIS 2D.
2. Tahap pengolahan data menggunakan aplikasi PLAXIS 2D dan analisis menggunakan data parameter tanah yang telah didapatkan pada tahap sebelumnya. Data akan diolah menggunakan analisis stabilitas timbunan badan jalan dan perkuatan pondasi tiang yang akan di input kedalam software plaxis dengan variasi permodelan yaitu beban struktur box culvert dan beban struktur box culvert dengan perkuatan pondasi tiang.
3. Tahap pembahasan dan penarikan kesimpulan dengan melakukan penulisan pada laporan penelitian berupa hasil-hasil yang didapatkan mulai dari tahapan pengambilan data lalu melakukan analisis yang menghasilkan output berupa kesimpulan dan saran berdasarkan teori-teori yang digunakan.

4.4 Analisis Data

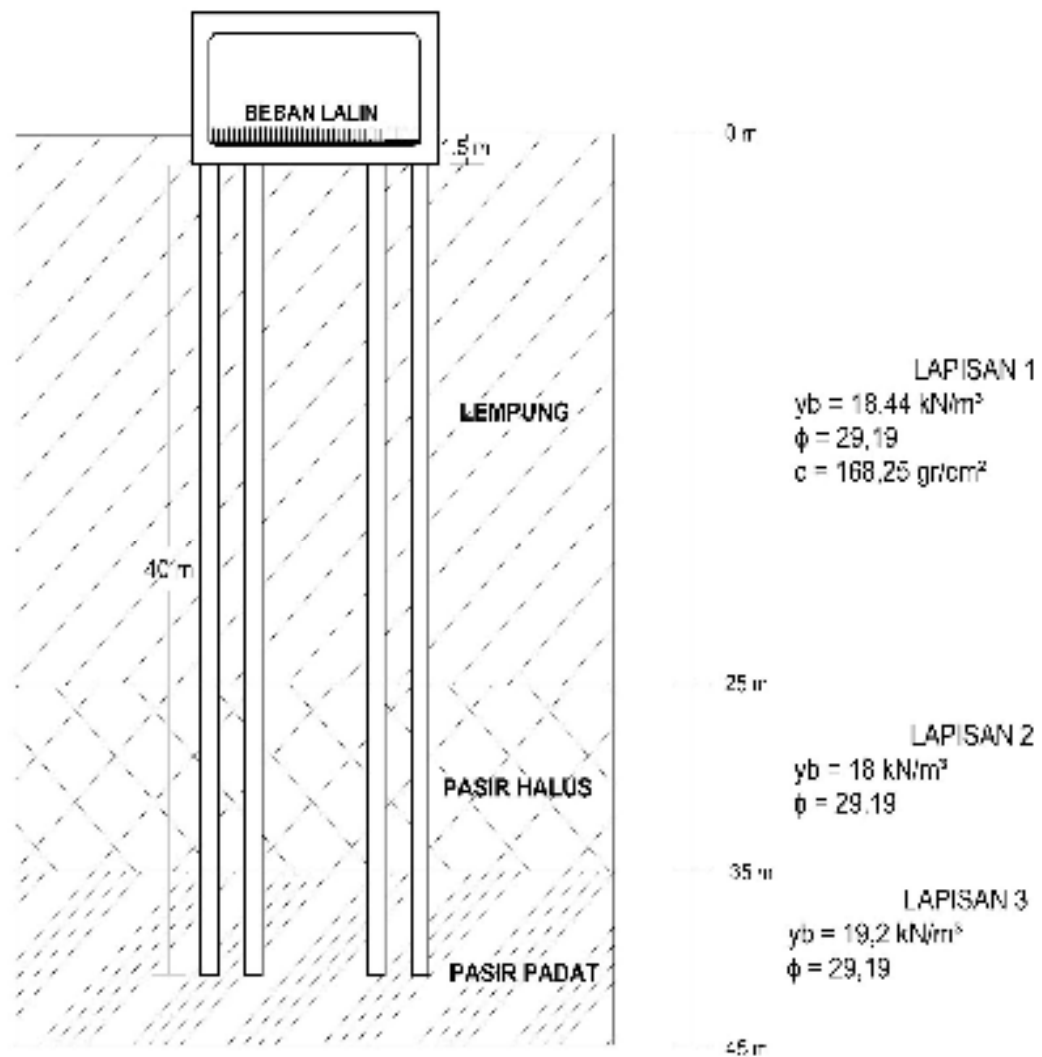
Analisis data adalah suatu cara yang digunakan untuk memudahkan dalam mengolah data yang diperoleh kemudian dianalisis berdasarkan tahap pengerjaannya. Data yang didapatkan adalah data hasil uji lapangan maupun uji laboratorium, beban dan data Gambar dari desain proyek Jembatan Alalak.

4.4.1 Potongan Melintang dan Parameter Tanah Asli

Mengacu pada data yang diperoleh dari PT Wijaya Karya tahun 2019 yang berupa data potongan Melintang Pada Gambar 4.1 dan 4.2 berikut.



Gambar 4.1 Potongan Melintang Jembatan Sei Alalak



Gambar 4.2 Potongan Melintang Struktur Box Culvert

Berikut ini adalah data mengenai parameter tanah sebelum di lakukan perkuatan yang didapat oleh PT. Wijaya Karya pada tahun 2019 sebelum dilakukan perkuatan dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Parameter Tanah Pada Bor log 04

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT	γ unsat (KN/m ³)	γ sat (KN/m ³)	Void ratio	w	Gs
0 -25	Lempung Lunak	2	14,61	18,44	0,64	100,14	2,453
25-35	Pasir Halus	6	16	18	0.51	88,45	2,660
35-45	Pasir Padat	21	16	19,2	0.51	91,67	2,667

(sumber : PT Wijaya Karya)

4.5 Tahap Pelaksanaan Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini perlu dilakukan beberapa tahapan yang jelas dan teratur, sehingga nantinya diperoleh hasil sesuai dengan harapan. Adapun tahapan pelaksanaan penelitian ini sebagai berikut.

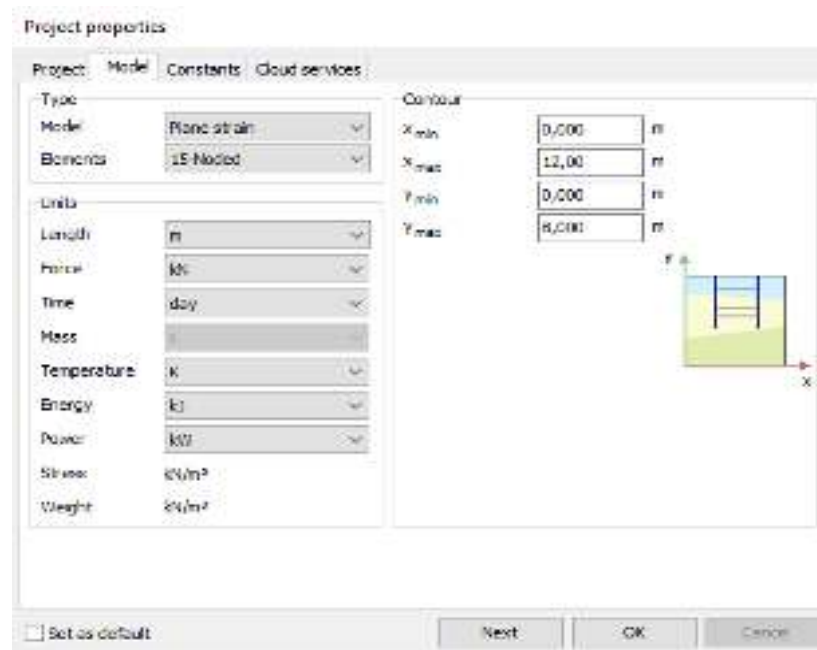
1. Tahap pengumpulan data yang meliputi tahap pengambilan data parameter tanah dan lereng timbunan baik yang berasal dari uji lapangan maupun uji laboratorium, data beban lalu lintas dan data potongan melintang jalan atau Gambar desain yang selanjutnya digunakan untuk analisis menggunakan aplikasi PLAXIS 2D.
2. Tahap pemodelan dan pengolahan data menggunakan aplikasi PLAXIS 2D dan analisis menggunakan data parameter tanah yang telah didapatkan pada tahap sebelumnya. Kemudian data diolah menggunakan analisis stabilitas lereng dan perkuatan dinding penahan tanah kantilever yang digunakan.
3. Tahap pembahasan dan penarikan kesimpulan dengan melakukan penulisan pada laporan penelitian berupa hasil-hasil yang didapatkan mulai dari tahapan pengambilan data lalu melakukan analisis yang menghasilkan output berupa kesimpulan dan saran berdasarkan teori-teori yang digunakan.

4.6 Pemodelan dan Input Data pada Plaxis 2D

Setelah mendapatkan data-data yang diperlukan maka dilakukan proses olah data menggunakan Program Plaxis. Adapun langkah-langkahnya dapat dilihat sebagai berikut.

4.6.1 Input Data Geometri

Dalam melakukan pekerjaan analisis menggunakan program Plaxis, tahap paling awal adalah input data umum melalui jendela *Project Properties* yang dibutuhkan untuk mengisi parameter-parameter permodelan umum yang dibutuhkan oleh program Plaxis. Tahapan input data umum pada program Plaxis dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4.3 Tampilan *Project Properties*

4.6.2 Tahap Analisis

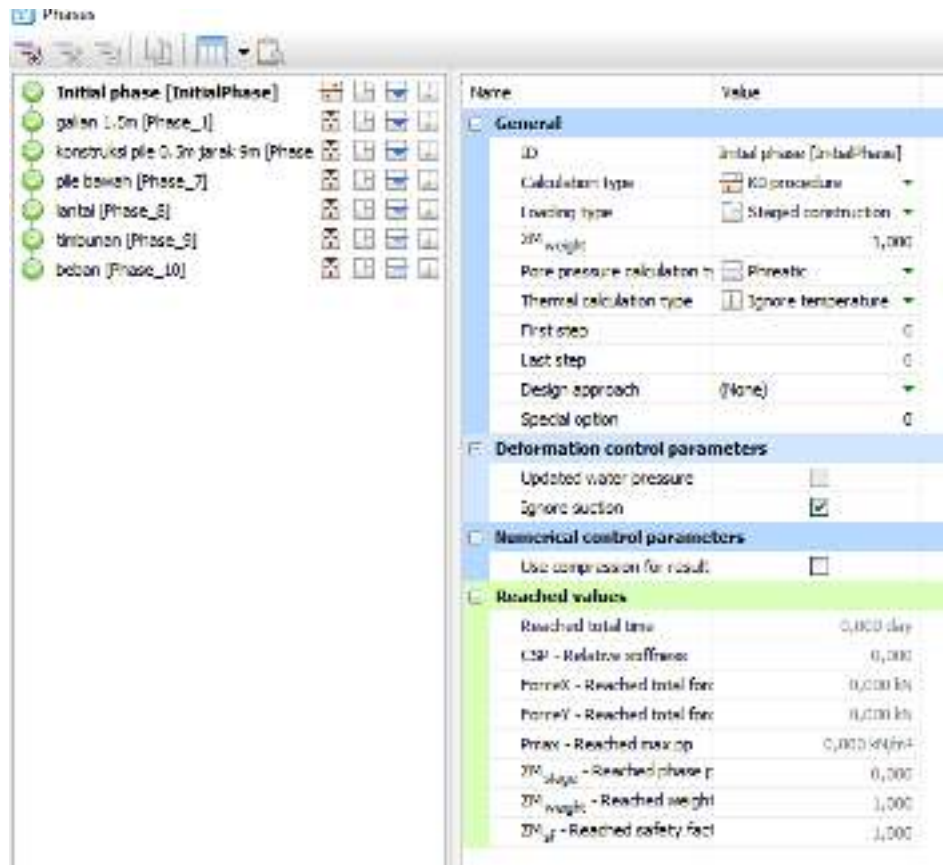
Secara umum dalam melakukan analisis perancangan dinding penahan tanah tipe kantilever, hal-hal yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. mendesain bentuk geometri dua dimensi penampang melintang tanah yang dianalisis,

2. menentukan kondisi batas (*Standard Fixities*) untuk menentukan batas luasan penampang yang dianalisis,
3. melakukan *Input* data material pada menu *Material Sets*,
4. mengaktifkan penyusunan jaring elemen (*Generate Mesh*),
5. mengaktifkan *Initial Conditions* dan *Initial Pore Pressure* untuk menentukan elevasi letak muka air tanah pada penampang,
6. mengaktifkan akibat dari tekanan muka air tanah dengan opsi *Generate Water Pressure* pada kondisi *Phreatic Level*,
7. mengaktifkan *Closed Consolidation Boundary* untuk menentukan batas luasan konsolidasi yang akan ditinjau pada penampang, dan
8. terakhir, memilih opsi *Calculate* untuk masuk kepada tahapan *Plaxis Calculation*.

4.6.3 Plaxis Calculations

Setelah proses input pada pekerjaan lereng yang dilakukan melalui tahap *Plaxis Input* telah selesai maka selanjutnya program Plaxis masuk kepada tahapan *Plaxis Calculations* atau tahapan kalkulasi. Tampilan jendela yang muncul setelah memilih opsi *Calculate* pada tahap akhir Plaxis Input dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut ini.



Gambar 4.4 Jendela Material Set

Dalam tahapan kalkulasi terdapat beberapa tujuan yang harus diperoleh dalam melakukan analisis terhadap lereng diantaranya adalah menentukan *Safety Factor* atau angka keamanan dan penurunan tanah yang terjadi akibat konsolidasi pada lereng sebelum dan setelah diperkuat menggunakan dinding penahan tanah kantilever.

Dalam mencari angka keamanan pada fase kalkulasi dipilih opsi *Phi/c Reduction* pada kolom *Calculation Type*, kemudian pada panel *control parameters* centang opsi *reset displacement to zero* dan *delete intermediate steps*, terakhir dipilih *Incremental Multipliers* pada loading input.

Dalam mencari angka penurunan yang terjadi pada struktur perkuatan pada fase kalkulasi dipilih opsi *Consolidation Analysis* pada kolom *Calculation Type*, kemudian pada panel *control parameters* centang opsi *delete intermediate steps*,

terakhir dipilih *Staged Construction* pada loading input dan diisi *time interval* 365 hari untuk mengetahui konsolidasi yang terjadi selama satu tahun.

Setelah semua fase dan parameter kalkulasi telah selesai dirancang maka selanjutnya adalah klik *point of curves* untuk menentukan titik-titik batasan yang ditinjau potensi kelongsorannya dan digambarkan pada tampilan berbentuk kurva. Kemudian klik *output* untuk menampilkan hasil akhir dari analisis.

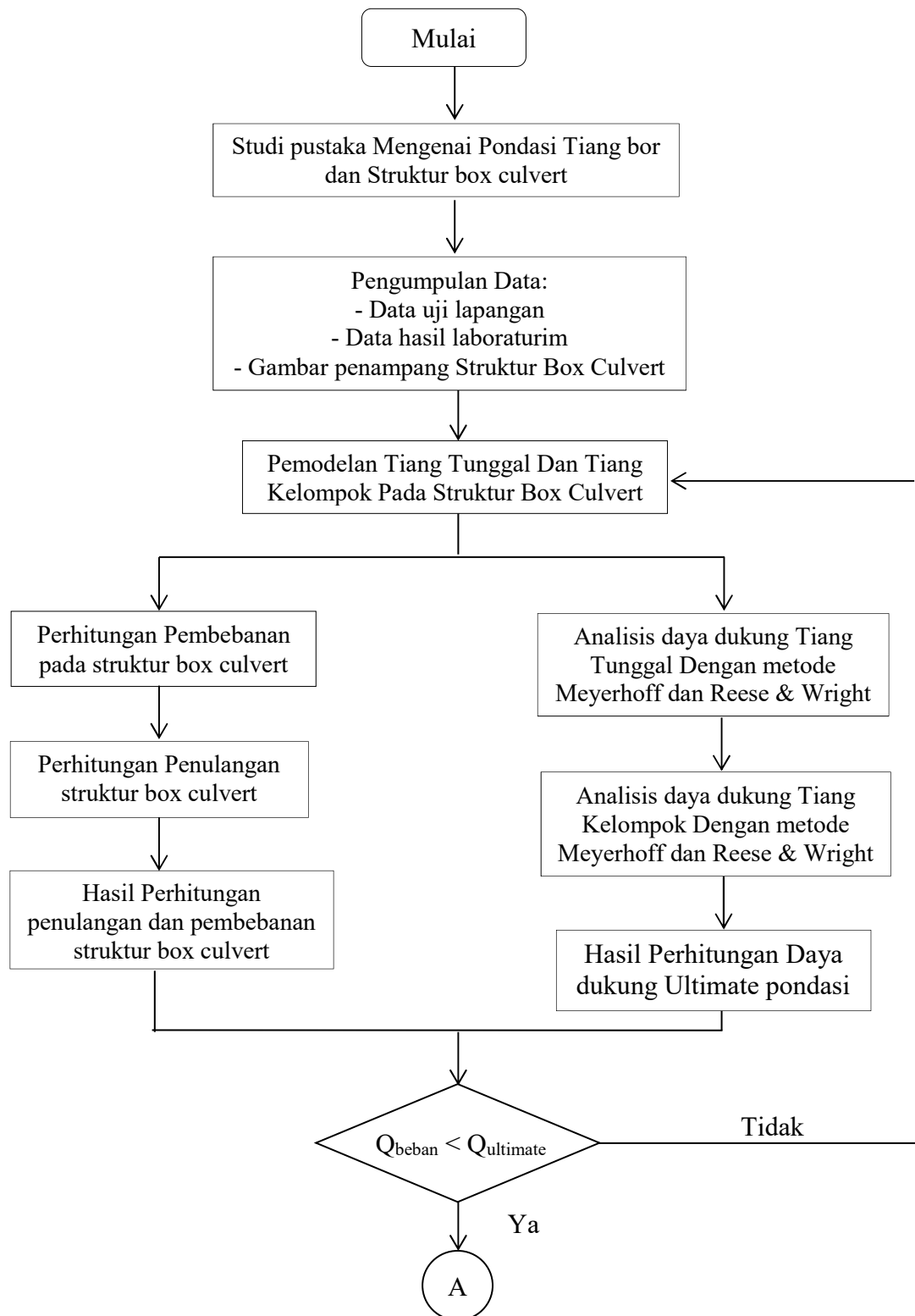
4.6.4 Plaxis Output

Jendela *Plaxis Output* dapat diakses setelah segala parameter input dan kalkulasi telah terpenuhi, *Plaxis Output* juga dapat dibuka kembali dengan klik *toolbar calculation result*. *Calculation result* digunakan untuk melihat tegangan yang terjadi pada tanah secara spesifik dan juga dapat digunakan untuk melihat gaya yang bekerja pada objek struktural.

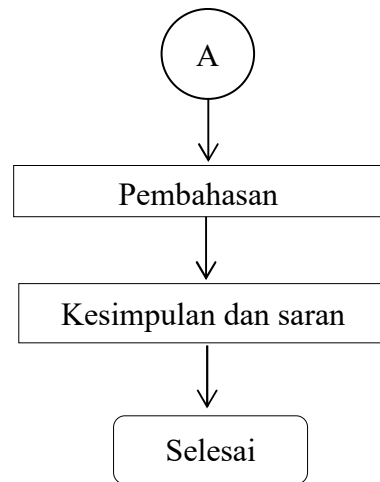
4.7 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir adalah sebuah *flowchart* yang menunjukkan aliran atau tahapan sebuah penelitian yang memberikan Gambaran singkat dan jelas setiap tahapan penelitian. Bagan alir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut ini.

DIAGRAM ALIR



Gambar 4.5 Bagan Aliran Penelitian



Gambar 4.6 Lanjutan Bagan Aliran Penelitian

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Perhitungan Penulangan Struktur *Box Culvert*

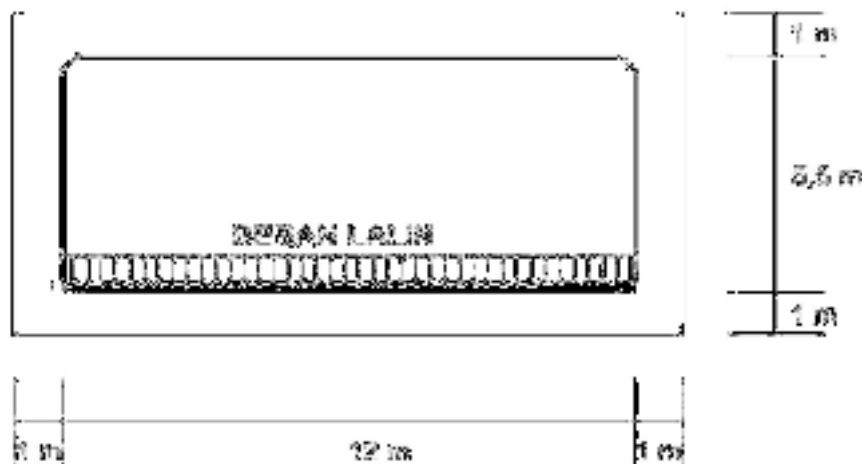
Tahap analisis penulangan Struktur *Box Culvert* meliputi analisis tulangan bagian dinding, analisis tulangan bagian atap dan analisis tulangan bagian lantai. Perhitungan manual terhadap kebutuhan tulangan struktur *box culvert* adalah sebagai berikut.

5.1.1 Data Dimensi dan Bahan Struktur *Box Culvert*

Struktur *Box culvert* yang direncanakan menggunakan dimensi dan spesifikasi mutu yang telah di tentukan sebagai berikut.

1. Data Dimensi Box Culvert
 - a. Tinggi Box Culvert (H) = 5.5 m
 - b. Lebar Box Culvert (L) = 12 m
 - c. Tebal Plat Atas (h2) = 1 m
 - d. Tebal Plat Dinding (h1) = 1 m
 - e. Tebal Plat Bawah (h3) = 1 m

Gambar kodefikasi dimensi Struktur Box Culvert dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 Gambar Dimensi Struktur Box Culvert

2. Data Bahan Struktur Beton Box Culvert

Berikut ini adalah data – data Struktur Box Culvert terkait proyek Jembatan Alalak yang dapat dilihat pada Tabel 5.1, Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.1 Data Mutu Beton Box culvert

Kuat Tekan Beton (f_c')	45	mPa
Modulus Elastis (E_c)	36056,5	mPa
Angka Poison (ν)	0,2	
Modulus geser (G)	15023.6	mPa
Koef Muai Panjang beton (α)	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$^{\circ}\text{C}$

(Sumber: SNI 1725:2016)

Tabel 5.2 Data Mutu Baja Box Culvert

Baja Tulangan Dengan $\phi > 12\text{mm}$	U-39	
Tegangan Leleh Baja (f_y)	390	Mpa
Baja Tulangan Dengan $\phi > 12\text{mm}$	U-24	
Tegangan Leleh Baja (f_y)	15023,6	Mpa

(Sumber : PT Wijaya Karya 2019)

Tabel 5.3 Data Berat Jenis Box Culvert

Berat Jenis Beton Bertulang (W_c)	25	kN/m^3
Berat Jenis Tanah Dipadatkan (W_s)	17,2	kN/m^3
Berat Jenis Air (W_w)	9,8	kN/m^3

(Sumber :SNI 1725:2016)

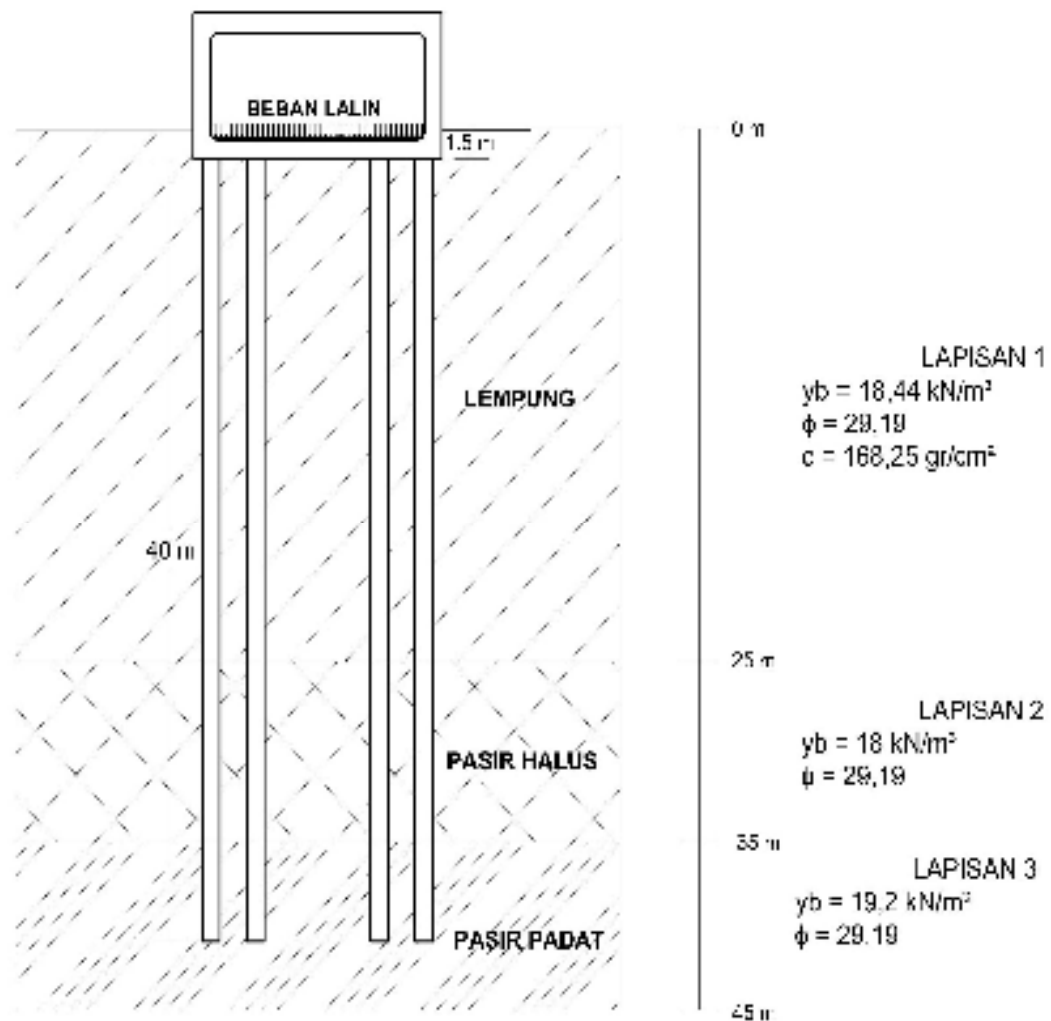
5.1.2 Data Tanah

Data Tanah ini berasal dari hasil penyelidikan tanah pada box culvert yang berada pada proyek Jembatan Alalak oleh PT Wijaya Karya. Kondisi data tanah diambil pada kedalaman 0 – 45 dan terbagi dalam 3 lapisan tanah, kondisi tanah dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Gambar 5.2 berikut.

Tabel 5.4 Data Properties Tanah

Lapisan Pertama 0 – 25 m (Tanah Lempung)	Berat isi tanah basah (γ_m)	=	18,44	gr/cm ³
	Berat isi tanah kering (γ_d)	=	14,61	gr/cm ³
	Berat Jenis Tanah (Gs)	=	2,453	
	Angka Pori (e)	=	0,647	
	Kohesi (c)	=	168,25	gr/cm ²
	Sudut geser dalam	=	29,19	(°)
Lapisan Kedua 25 – 35m (Tanah Pasir Halus)	Berat isi tanah basah (γ_m)	=	18	gr/cm ³
	Berat isi tanah kering (γ_d)	=	16	gr/cm ³
	Berat Jenis Tanah (Gs)	=	2,672	
	Angka Pori (e)	=	0,91	
	Sudut geser dalam	=	30	(°)
Lapisan Ketiga 35 – 45m (Tanah Pasir Padat)	Berat isi tanah basah (γ_m)	=	19,2	gr/cm ³
	Berat isi tanah kering (γ_d)	=	16	gr/cm ³
	Berat Jenis Tanah (Gs)	=	2,701	
	Angka Pori (e)	=	0,83	
	Sudut geser dalam	=	28	(°)

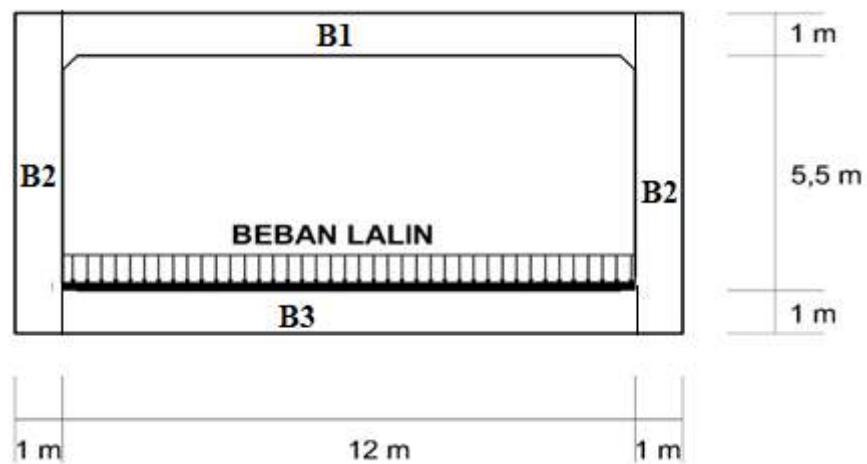
Berikut adalah sketsa kondisi tanah pada proyek Jembatan Sei Alalak yang dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2 Gambar Potongan Struktur Box Culvert

5.2 Analisa Pembebanan Stuktur Beton Box Culvert

Analisis perhitungan Pembebanan pada struktur box culvert dibagi menjadi 3 bagian yaitu B1, B2 dan B3 yang dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut ini.



Gambar 5.3 Sketsa Pembebanan Pada Struktur Box Culvert

5.2.1 Berat Sendiri Pelat Atas (B1)

Analisis perhitungan pelat atas dihitung dengan meninjau selebar 4 m (tegak lurus bidang Gambar). Perhitungan analisis pembebanan pelat atas sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Ditinjau struktur under pass selebar (b)} &= 4 \quad \text{m} \\
 \text{Tebal Plat (t1)} &= 1 \quad \text{m} \\
 \text{Berat beton bertulang (wc)} &= 25 \quad \text{kN/m}^3 \\
 \text{Berat sendiri plat atas (Q}_{MS1}\text{)} &= t1 \times wc \times b \\
 &= 1 \times 25 \times 4 \\
 &= 100 \quad \text{kN/m}
 \end{aligned}$$

5.2.2 Berat Sendiri Pelat Dinding

Analisis perhitungan pelat dinding dihitung dengan meninjau selebar 4 m (tegak lurus bidang Gambar). Perhitungan analisis pembebanan pelat dinding sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Ditinjau struktur under pass selebar (b)} &= 4 \quad \text{m} \\
 \text{Tebal Plat (t1)} &= 1 \quad \text{m} \\
 \text{Berat beton bertulang (wc)} &= 25 \quad \text{kN/m}^3 \\
 \text{Tinggi Plat Dinding (H)} &= 5,5 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat sendiri plat dinding (P}_{\text{MS1}}) &= wc \times b \times t1 \times H \\
 &= 25 \times 4 \times 1 \times 5,5 \\
 &= 550 \text{ kN/m} \\
 \text{Total Berat kedua dinding} &= 550 \times 2 \\
 &= 1100 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

5.2.3 Berat Sendiri Pelat Lantai Dasar

Analisis perhitungan pelat lantai dasar dihitung dengan meninjau selebar 4 m (tegak lurus bidang Gambar). Pembebanan pelat dinding sendiri terdiri atas beban lalu lintas dan beban mati yang bekerja di atasnya. Perhitungan beban pelat lantai dasar sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Ditinjau struktur under pass selebar (b)} &= 4 \text{ m} \\
 \text{Tebal Plat (t1)} &= 1 \text{ m} \\
 \text{Berat beton bertulang (wc)} &= 25 \text{ kN/m}^3 \\
 \text{Berat sendiri plat lantai (Q}_{\text{MS2}}) &= h1 \times wc \times b \\
 &= 1 \times 25 \times 4 \\
 &= 100 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

5.2.3.1 Beban Mati Pada Lantai Dasar

Beban mati (dead load), adalah berat seluruh bahan yang menimbulkan suatu beban yang bersifat pasif pada *Box Culvert*. Sehingga Struktur *Box culvert* dianalisis harus mampu memikul beban mati sebagai berikut.

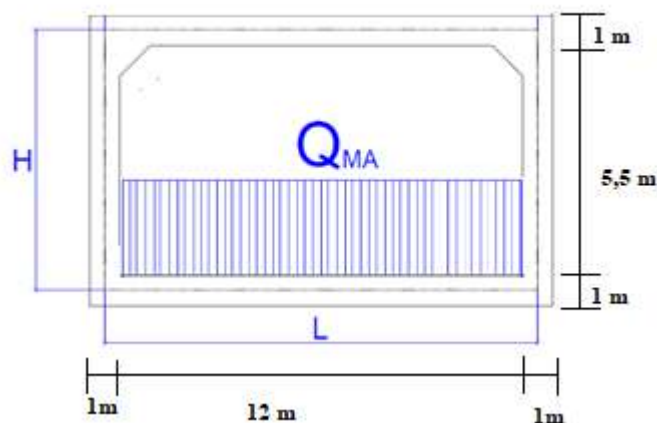
Tabel 5.5 Beban Mati

Jenis	Tebal (m)	Panjang (m)	Jumlah	Lebar (m)	Berat (kN/m ³)	Beban (kN/m)
Lapisan Aspal + overlay	0,1	12	1	4	22	105,6
Air Hujan	0.05	12	1	4	9.8	23,52

Total beban mati (Q_{MA}) adalah = beban perkerasan beton + beban genangan air

$$\begin{aligned}
 &= 105,6 + 23,52 \\
 &= 129,12 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Sketsa total pembebanan beban mati pada pelat lantai dasar dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.



Gambar 5.4 Gaya akibat beban mati

5.2.3.2 Beban Lalu Lintas Pada Pelat Lantai Dasar

a. Beban Lajur "D" (T_D)

Beban kendaraan yg berupa beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi rata (Uniformly Distributed Load) UDL dan beban garis (Knife Edge Load) KEL. UDL memiliki intensitas q (kPa), besarnya nilai q tersebut tergantung pada panjang jembatan yang dilalui beban lalu lintas dan sudah seperti pada Persamaan 3.11 sebelumnya, adapun data – data yang diketahui sebagai berikut.

Lebar box culvert (L) = 12 m

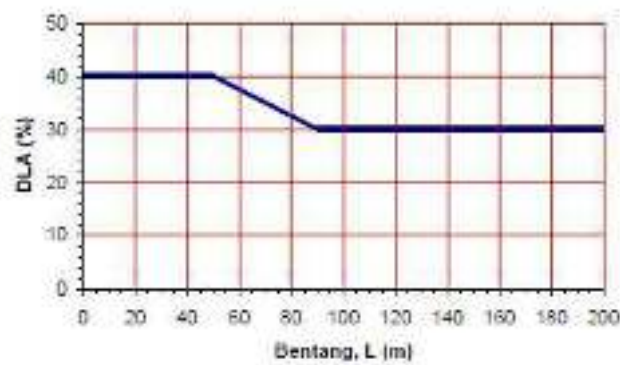
Lebar Jalur lalu lintas (B_1) = 4 m

$q = 9$ kPa untuk $L \leq 30$ m (sesuai dari Persamaan 3.11)

$p = 49,00$ kN/m

$q = 9$ kPa

DLA = 0.4 (berdasarkan Gambar 5.5 Faktor beban Dinamis berikut)



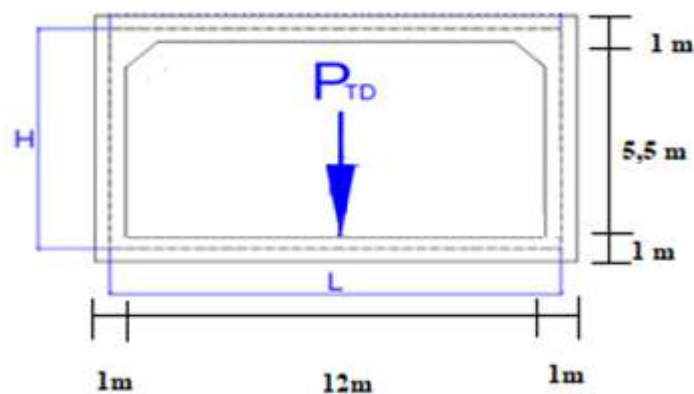
Gambar 5.5 Faktor Beban Dinamis (DLA)

(Sumber: SNI 1725:2016)

Dari data – data yang diperoleh pada analisis sebelumnya dapat di hitung Pembebanan Beban Lajur sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 PTD &= (1 + DLA) \times p \times L \\
 &= (1 + 0,4) \times 49 \times 12 \\
 &= 823,2 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dari hasil Perhitungan dapat dilihat skema Gaya akibat beban Lajur pada Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5.6 Gaya Akibat Beban Lajur “D”

b. Beban Truk “T” (T_T)

Beban hidup pada lantai jembatan berupa beban roda ganda oleh Truk (beban T) yang besarnya, $T = 100 \text{ kN}$. Diketahui sebelumnya faktor beban dinamis untuk pembebanan truk adalah $(DLA) = 0,40$.

Maka beban truk "T" (PTT) = $(1 + DLA) \times T = 140,00 \text{ kN}$

5.2.4 Rekapitulasi Beban

Sebelumnya telah dihitung beban – beban yang harus diampu oleh Struktur *Box Culvert*. Hasil rekapitulasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Pembebanan

Beban	Vertikal (kN)
Beban Pelat Atap (B1)	100
Beban Pelat Dinding (B2 = 2 buah)	1100
Beban Pelat Lantai Dasar (B3)	1186,32
JUMLAH	2386,32

5.3 Perhitungan Kebutuhan Penulangan Struktur Box Culvert

Penulangan struktur *Box Culvert* diperlukan agar dapat menahan beban dan gaya – gaya yang bekerja pada beton. Perhitungan penulangan pada Struktur *Box Culvert* ini meliputi 3 bagian yaitu pelat atas, pelat dinding dan pelat lantai. Perhitungan manual kebutuhan tulangan struktur *Box Culvert* adalah sebagai berikut

5.3.1 Kebutuhan Penulangan Pelat Atas

Analisis perhitungan kebutuhan tulangan pelat atas yang direncanakan menggunakan dimensi dan spesifikasi mutu yang telah ditentukan. Berat sendiri pelat atap = 110 kN/m sehingga didapat perhitungan Nilai Momen sebagai berikut.

1. Data Perencanaan

Diameter baja ($\emptyset$)	=	22 mm
Tebal pelat (T)	=	1000 mm
Selimut beton	=	25 mm
d eff tumpuan	=	$1000 - 25 - (0.5 \times 22)$

$$\begin{aligned}
 &= 964 \text{ mm} \\
 \text{Lebar Ditinjau (b)} &= 4000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

2. Daerah tumpuan

Analisis Perhitungan penulangan pelat dinding pada daerah tumpuan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 M_u &= 1662,50 \text{ kNm} \\
 &= 1662500000 \text{ Nmm} \\
 \Phi &= 0,8 \\
 R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d_{eff}^2} \\
 &= \frac{1662500000}{0,8 \times 4000 \times 964^2} \\
 &= 0,56 \text{ Mpa} \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\
 &= \frac{400}{0,85 \times 39} \\
 &= 12,21 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 39}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\
 &= 0,041756 \\
 \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,041756 \\
 &= 0,031317 \\
 \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{400} \\
 &= 0,00250 \\
 \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)
 \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{12,21} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,21 \times 0,56}{400}} \right)$$

$$= 0,001410$$

Sesuai persyaratan dimana $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$

Maka, ρ pakai adalah 0,00250

- a. Tulangan Tarik tumpuan (arah melintang/arah -x)

Luas tekan tumpuan yang dibutuhkan untuk per meter panjang (L) = 4000 mm

$$n = b/s + 1$$

$$= 4000/150 + 1$$

$$= 27 \text{ buah tulangan}$$

$$\text{As perlu} = \rho_{\text{pakai}} \times b \times d$$

$$= 0,00250 \times 4000 \times 964$$

$$= 9640 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan adalah D22-150 dengan jumlah tulangan per 4 meter panjang sebanyak 27 buah tulangan sehingga,

$$\text{As terpasang} = \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times n$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 27$$

$$= 10268 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 9640 \text{ mm}^2, \text{ maka tulangan terpasang cukup.}$$

- b. Tulangan tekan tumpuan (arah melintang/arah-x)

Luas tekan tumpuan yang dibutuhkan untuk per meter panjang (L) = 4000 mm

$$n = b/s + 1$$

$$= 4000/300 + 1$$

$$= 14 \text{ buah tulangan}$$

$$\text{As' perlu} = 50\% \times \text{As perlu}$$

$$= 0,5 \times 9640$$

$$= 4820 \text{ mm}^2$$

Tulangan yang digunakan adalah D22-300 dengan jumlah tulangan per 4 meter panjang sebanyak 14 buah tulangan sehingga,

$$\begin{aligned} \text{As terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times n \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 14 \\ &= 5324 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 4820 \text{ mm}^2, \text{ maka tulangan} \\ &\text{terpasang cukup.} \end{aligned}$$

c. Tulangan bagi tumpuan (arah melintang/arah-y)

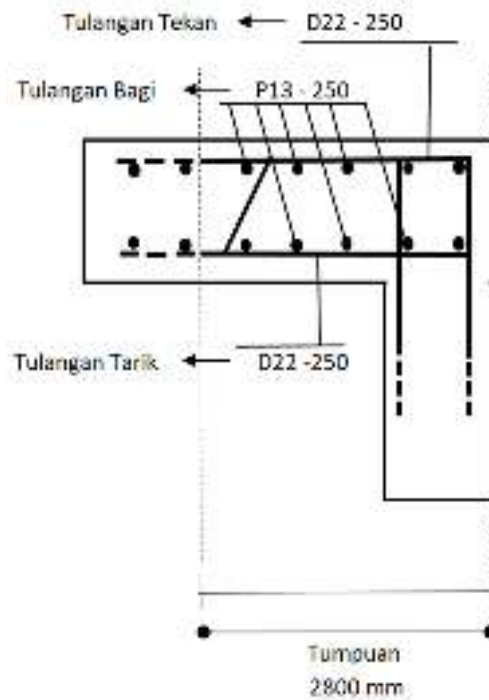
Luas tekan tumpuan yang dibutuhkan untuk per meter panjang (L) = 4000 mm

$$\begin{aligned} n &= b/s + 1 \\ &= 4000/150 + 1 \\ &= 26 \text{ buah tulangan} \\ \text{As' perlu} &= 30\% \times \text{As perlu} \\ &= 0,3 \times 9640 \\ &= 2892 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan adalah P13-150 dengan jumlah tulangan per 4 meter panjang sebanyak 26 buah tulangan sehingga,

$$\begin{aligned} \text{As terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times n \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 26 \\ &= 3452 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 2892 \text{ mm}^2, \text{ maka tulangan} \\ &\text{terpasang cukup.} \end{aligned}$$

Tulangan atap pada daerah tumpuan dapat dilihat pada gambar 5.7 berikut ini.



Gambar 5.7 Tulangan Atap Pada Daerah Tumpuan

2. Daerah lapangan

Analisis Perhitungan penulangan pelat dinding pada daerah lapangan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 M_u &= 3325,0 \text{ kNm} \\
 &= 3325000000 \text{ Nmm} \\
 \Phi &= 0,8 \\
 R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d_{eff}^2} \\
 &= \frac{3325000000}{0,8 \times 4000 \times 964^2} \\
 &= 1,12 \text{ Mpa} \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\
 &= \frac{400}{0,85 \times 39} \\
 &= 12,21 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,85 \times 0,85 \times 39}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\
&= 0,041756 \\
\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\
&= 0,75 \times 0,041756 \\
&= 0,031317 \\
\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
&= \frac{1,4}{400} \\
&= 0,00250 \\
\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
&= \frac{1}{12,21} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,21 \times 1,12}{400}} \right) \\
&= 0,02845
\end{aligned}$$

Sesuai persyaratan dimana $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$

Maka ρ pakai adalah 0,00250.

a. Tulangan Tarik tumpuan (arah melintang/arah -x)

Luas tarik tumpuan yang dibutuhkan untuk per meter panjang (L) = 4000 mm

$$\begin{aligned}
n &= b/s + 1 \\
&= 4000/125 + 1 \\
&= 33 \text{ buah tulangan} \\
\text{As perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \\
&= 0,002845 \times 4000 \times 964 \\
&= 10969 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan adalah D22-125 dengan jumlah tulangan per 4 meter panjang sebanyak 33 buah tulangan sehingga,

$$\begin{aligned}
\text{As terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times n \\
&= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 33
\end{aligned}$$

$$= 12549 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 10969 \text{ mm}^2, \text{ maka tulangan terpasang cukup.}$$

b. Tulangan tekan tumpuan (arah melintang/arah-x)

Luas tekan tumpuan yang dibutuhkan untuk per meter panjang (L) = 4000 mm

$$\begin{aligned} n &= b/s + 1 \\ &= 4000/250 + 1 \\ &= 17 \text{ buah tulangan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' perlu} &= 50\% \times \text{As perlu} \\ &= 0,5 \times 10969 \\ &= 5485 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan adalah D22-250 dengan jumlah tulangan per 4 meter panjang sebanyak 17 buah tulangan sehingga,

$$\begin{aligned} \text{As terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times n \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 17 \\ &= 6465 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 5485 \text{ mm}^2, \text{ maka tulangan terpasang cukup.} \end{aligned}$$

c. Tulangan bagi tumpuan (arah melintang/arah-y)

Luas tekan tumpuan yang dibutuhkan untuk per meter panjang (L) = 4000 mm

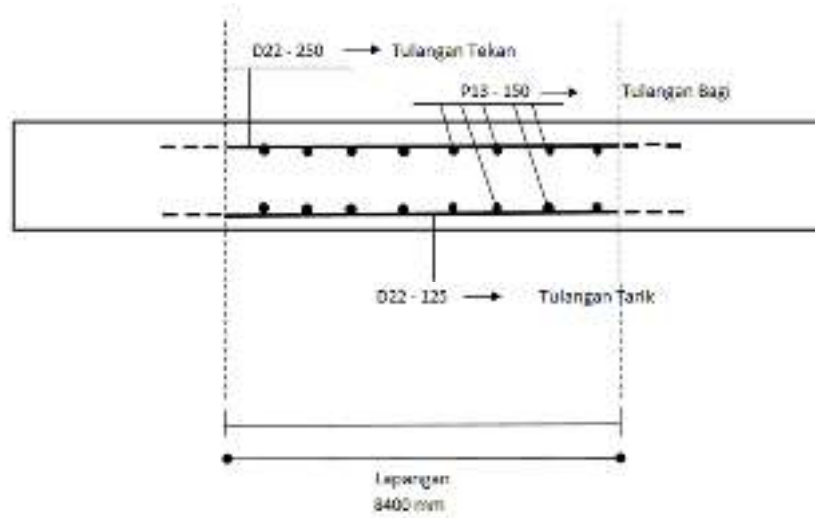
$$\begin{aligned} n &= b/s + 1 \\ &= 4000/150 + 1 \\ &= 27 \text{ buah tulangan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' perlu} &= 30\% \times \text{As perlu} \\ &= 0,3 \times 10969 \\ &= 3291 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

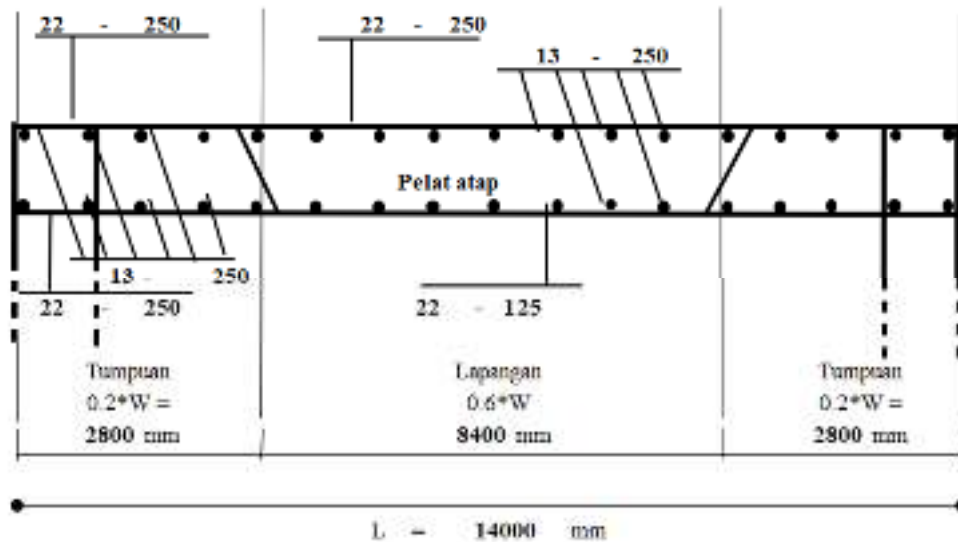
Tulangan yang digunakan adalah P13-150 dengan jumlah tulangan per 4 meter panjang sebanyak 27 buah tulangan sehingga,

$$\begin{aligned}
 \text{As terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 27 \\
 &= 3585 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 3291 \text{ mm}^2, \text{ maka tulangan} \\
 &\quad \text{terpasang cukup.}
 \end{aligned}$$

Berikut ini adalah kodefikasi penulangan pelat atap dan Penulangan atap pada daerah Lapangan yang dapat dilihat pada Gambar 5.8 dan 5.9 berikut ini.



Gambar 5.8 Penulangan Pelat Atap Pada Daerah Lapangan



Gambar 5.9 Kodefikasi Penulangan Pelat Atap

5.3.2 Kebutuhan Penulangan Plat Dinding

Analisis perhitungan kebutuhan tulangan pelat dinding yang direncanakan menggunakan dimensi dan spesifikasi mutu yang telah ditentukan sebagai berikut. Berat sendiri pelat dinding = 550 kN/m sehingga didapat perhitungan Nilai Momen sebagai berikut.

1. Daerah Tumpuan

Analisis Perhitungan penulangan pelat dinding pada daerah tumpuan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 M_u &= 507,18 \text{ kNm} \\
 &= 507177879,9 \text{ Nmm} \\
 \Phi &= 0,8 \\
 R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d_{eff}^2} \\
 &= \frac{461854750155859,9}{0,8 \times 4000 \times 939^2} \\
 &= 0,17 \text{ Mpa} \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\
 &= \frac{400}{0,85 \times 39} \\
 &= 12,21 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 39}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\
 &= 0,041756 \\
 \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,041756 \\
 &= 0,031317 \\
 \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{400} \\
 &= 0,00250
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{12,21} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,21 \times 0,17}{400}} \right) \\
 &= 0,000427
 \end{aligned}$$

Sesuai persyaratan dimana $\rho_{\min} < \rho \text{ perlu} < \rho_{\max}$

Maka ρ pakai adalah 0,00250

a. Tulangan Tarik tumpuan (arah melintang/arah -y)

Luas tarik tumpuan yang dibutuhkan untuk per meter panjang (L) = 4000 mm

$$\begin{aligned}
 n &= b/s + 1 \\
 &= 4000/150 + 1 \\
 &= 27 \text{ buah tulangan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times d \\
 &= 0,00250 \times 4000 \times 939 \\
 &= 9640 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan adalah D22-150 dengan jumlah tulangan per 4 meter panjang sebanyak 27 buah tulangan sehingga,

$$\begin{aligned}
 \text{As terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 27 \\
 &= 10268 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 9640 \text{ mm}^2, \text{ maka tulangan terpasang cukup.}
 \end{aligned}$$

b. Tulangan tekan tumpuan (arah melintang/arah-y)

Luas tekan tumpuan yang dibutuhkan untuk per meter panjang (L) = 4000 mm

$$\begin{aligned}
 n &= b/s + 1 \\
 &= 4000/300 + 1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 14 \text{ buah tulangan} \\
 \text{As' perlu} &= 50\% \times \text{As perlu} \\
 &= 0,5 \times 9640 \\
 &= 4820 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan adalah D22-300 dengan jumlah tulangan per 4 meter panjang sebanyak 13 buah tulangan sehingga,

$$\begin{aligned}
 \text{As terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 13 \\
 &= 5324 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 4820 \text{ mm}^2, \text{ maka tulangan} \\
 &\text{terpasang cukup.}
 \end{aligned}$$

c. Tulangan bagi tumpuan (arah melintang/arah-y)

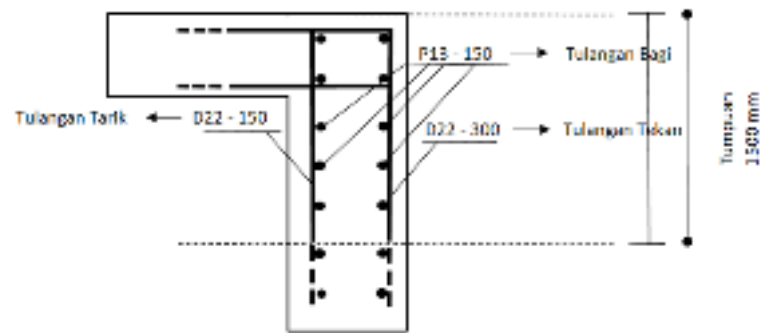
Luas tekan tumpuan yang dibutuhkan untuk per meter panjang (L) = 4000 mm

$$\begin{aligned}
 n &= b/s + 1 \\
 &= 4000/150 + 1 \\
 &= 26 \text{ buah tulangan} \\
 \text{As' perlu} &= 30\% \times \text{As perlu} \\
 &= 0,3 \times 9640 \\
 &= 2892 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan adalah P13-150 dengan jumlah tulangan per 4 meter panjang sebanyak 26 buah tulangan sehingga,

$$\begin{aligned}
 \text{As terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 27 \\
 &= 3452 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 2892 \text{ mm}^2, \text{ maka tulangan} \\
 &\text{terpasang cukup.}
 \end{aligned}$$

Tulangan pelat dinding pada daerah tumpuan dapat dilihat pada gambar 5.10 berikut ini.



Gambar 5.10 Tulangan Pelat Dinding Pada Daerah Tumpuan

2. Daerah lapangan

Analisis Perhitungan penulangan pelat dinding pada daerah lapangan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} M_u &= 1014,36 \text{ kNm} \\ &= 1014355760 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\Phi = 0,8$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d_{eff}^2} \\ &= \frac{1014355760}{0,8 \times 4000 \times 949^2} \\ &= 0,34 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times F'_c} \\ &= \frac{400}{0,85 \times 39} \\ &= 12,21 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 39}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,041756 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,041756 \\ &= 0,031317 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1,4}{400} \\
&= 0,00250 \\
\rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
&= \frac{1}{12,21} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,21 \times 1,12}{400}} \right) \\
&= 0,000858
\end{aligned}$$

Sesuai persyaratan dimana $\rho_{min} < \rho \text{ perlu} < \rho_{max}$

Maka ρ pakai adalah 0,000858

- a. Tulangan Tarik tumpuan (arah melintang/arah -x)

Luas tarik tumpuan yang dibutuhkan untuk per meter panjang (L) = 4000 mm

$$\begin{aligned}
n &= b/s + 1 \\
&= 4000/150 + 1 \\
&= 17 \text{ buah tulangan}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
As \text{ perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times d \\
&= 0,000858 \times 4000 \times 949 \\
&= 9640 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan adalah D22-150 dengan jumlah tulangan per 4 meter panjang sebanyak 17 buah tulangan sehingga,

$$\begin{aligned}
As \text{ terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times n \\
&= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 17 \\
&= 10268 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} = 9640 \text{ mm}^2, \text{ maka tulangan terpasang cukup.}
\end{aligned}$$

- b. Tulangan tekan tumpuan (arah melintang/arah-x)

Luas tekan tumpuan yang dibutuhkan untuk per meter panjang (L) = 4000 mm

$$\begin{aligned}
 n &= b/s + 1 \\
 &= 4000/250 + 1 \\
 &= 17 \text{ buah tulangan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s' \text{ perlu} &= 50\% \times A_s \text{ perlu} \\
 &= 0,5 \times 9640 \\
 &= 4820 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan adalah D22-250 dengan jumlah tulangan per 4 meter panjang sebanyak 16 buah tulangan sehingga,

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 17 \\
 &= 6465 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 4820 \text{ mm}^2, \text{ maka tulangan terpasang cukup.}
 \end{aligned}$$

c. Tulangan bagi tumpuan (arah melintang/arah-x)

Luas tekan tumpuan yang dibutuhkan untuk per meter panjang (L) = 4000 mm

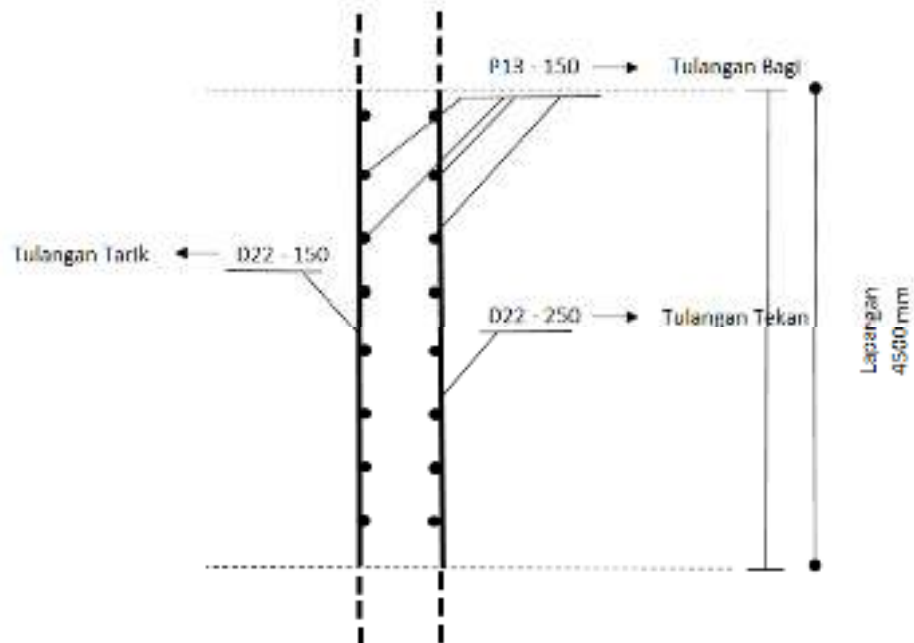
$$\begin{aligned}
 n &= b/s + 1 \\
 &= 4000/150 + 1 \\
 &= 27 \text{ buah tulangan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s' \text{ perlu} &= 30\% \times A_s \text{ perlu} \\
 &= 0,3 \times 2892 \\
 &= 2892 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

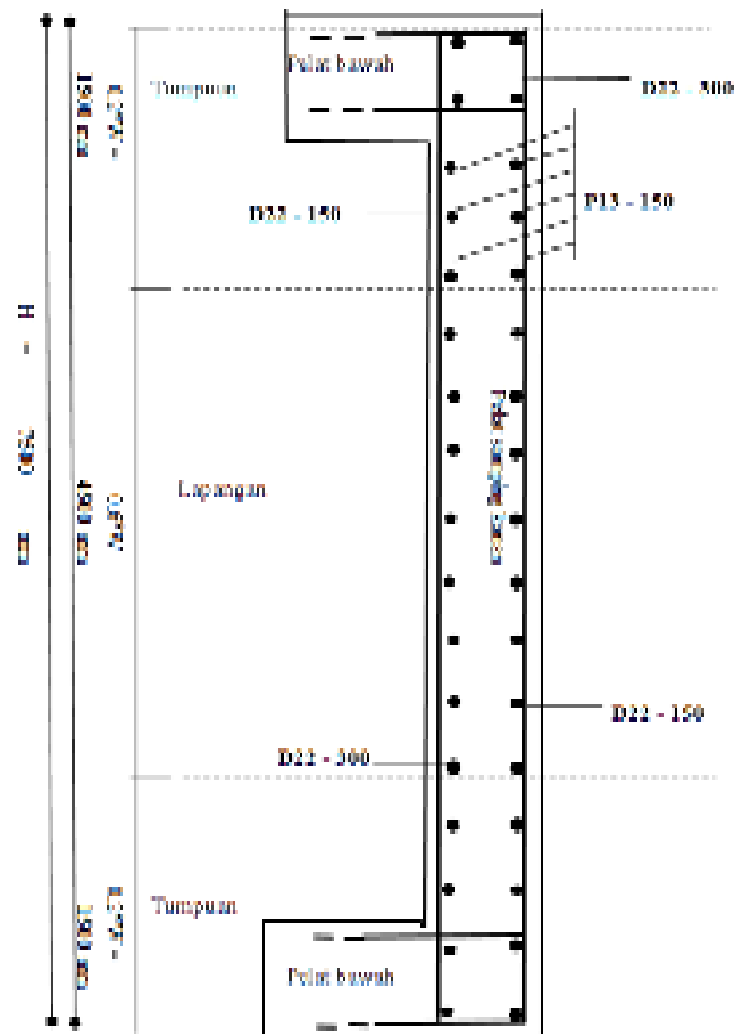
Tulangan yang digunakan adalah D13-250 dengan jumlah tulangan per 4 meter panjang sebanyak 16 buah tulangan sehingga,

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 27 \\
 &= 3585 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 2892 \text{ mm}^2, \text{ maka tulangan terpasang cukup.}
 \end{aligned}$$

Berikut ini adalah kodefikasi penulangan pelat dinding dan Penulangan pelat dinding pada daerah Lapangan yang dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan 5.12 berikut ini.



Gambar 5.11 Penulangan Pelat Dinding Pada Daerah Lapangan



Gambar 5.12 Sketsa Penulangan Pelat Dinding

5.3.3 Kebutuhan Penulangan Plat Bawah

Analisis perhitungan kebutuhan tulangan pelat bawah yang direncanakan menggunakan dimensi dan spesifikasi mutu yang telah ditentukan. Berat sendiri pelat Bawah = 110 kN/m sehingga didapat perhitungan Nilai Momen sebagai berikut

1. Daerah tumpuan

Analisis Perhitungan penulangan pelat dinding pada daerah tumpuan sebagai berikut.

$$M_u = 983,42825 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
&= 983428250 \text{ Nmm} \\
\Phi &= 0,8 \\
R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d_{eff}^2} \\
&= \frac{983428250}{0,8 \times 4000 \times 949^2} \\
&= 0,34 \text{ Mpa} \\
m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\
&= \frac{400}{0,85 \times 39} \\
&= 12,21 \\
\rho_b &= \frac{0,85 \times \beta \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
&= \frac{0,85 \times 0,85 \times 39}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\
&= 0,041756 \\
\rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\
&= 0,75 \times 0,041756 \\
&= 0,031317 \\
\rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
&= \frac{1,4}{400} \\
&= 0,00250 \\
\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
&= \frac{1}{12,21} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,21 \times 0,34}{400}} \right) \\
&= 0,000858
\end{aligned}$$

Sesuai persyaratan dimana $\rho_{min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{max}$

Maka ρ pakai adalah 0,000858

- a. Tulangan Tarik tumpuan (arah melintang/arah -x)

Luas tekan tumpuan yang dibutuhkan untuk per meter panjang (L) = 4000 mm

$$\begin{aligned}
 n &= b/s + 1 \\
 &= 4000/250 + 1 \\
 &= 21 \text{ buah tulangan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times d \\
 &= 0,00250 \times 4000 \times 949 \\
 &= 3255 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan adalah D22-250 dengan jumlah tulangan per 4 meter panjang sebanyak 17 buah tulangan sehingga,

$$\begin{aligned}
 \text{As terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 17 \\
 &= 6465 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 3255 \text{ mm}^2, \text{ maka tulangan} \\
 &\quad \text{terpasang cukup.}
 \end{aligned}$$

b. Tulangan tekan tumpuan (arah melintang/arah-x)

Luas tekan tumpuan yang dibutuhkan untuk per meter panjang (L) = 4000 mm

$$\begin{aligned}
 n &= b/s + 1 \\
 &= 4000/300 + 1 \\
 &= 14 \text{ buah tulangan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As' perlu} &= 50\% \times \text{As perlu} \\
 &= 0,5 \times 3255 \\
 &= 1628 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan adalah D22-300 dengan jumlah tulangan per 4 meter panjang sebanyak 14 buah tulangan sehingga,

$$\begin{aligned}
 \text{As terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 14 \\
 &= 5324 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 1628 \text{ mm}^2, \text{ maka tulangan} \\
 &\quad \text{terpasang cukup.}
 \end{aligned}$$

c. Tulangan bagi tumpuan (arah melintang/arah-x)

Luas tekan tumpuan yang dibutuhkan untuk per meter panjang (L) = 4000 mm

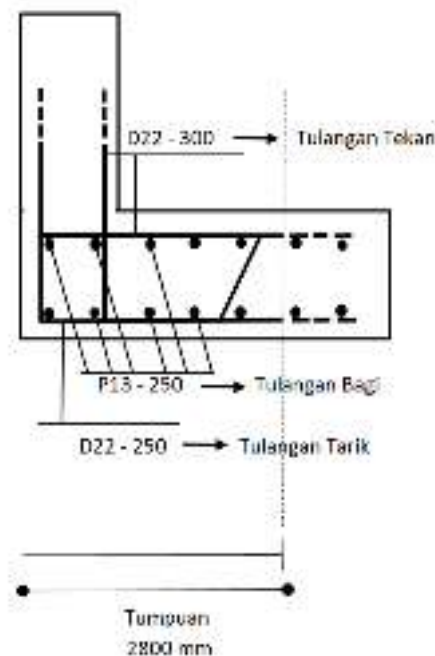
$$\begin{aligned} n &= b/s + 1 \\ &= 4000/250 + 1 \\ &= 16 \text{ buah tulangan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' \text{ perlu} &= 30\% \times A_s \text{ perlu} \\ &= 0,3 \times 3255 \\ &= 977 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan adalah P13-250 dengan jumlah tulangan per 4 meter panjang sebanyak 16 buah tulangan sehingga,

$$\begin{aligned} A_s \text{ terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \times n \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 16 \\ &= 2125 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 977 \text{ mm}^2, \text{ maka tulangan} \\ &\text{terpasang cukup.} \end{aligned}$$

Tulangan Pelat lantai pada daerah tumpuan dapat dilihat pada gambar 5.13 berikut ini.



Gambar 5.13 Tulangan Pelat Lantai Daerah Tumpuan

2. Daerah lapangan

Analisis Perhitungan penulangan pelat dinding pada daerah lapangan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \mu &= 983,42825 \text{ kNm} \\
 &= 983428250 \text{ Nmm} \\
 \phi &= 0,8 \\
 R_n &= \frac{\mu}{\phi \times b \times d_{eff}^2} \\
 &= \frac{983428250}{0,8 \times 4000 \times 949^2} \\
 &= 0,34 \text{ Mpa} \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\
 &= \frac{400}{0,85 \times 39} \\
 &= 12,21 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 39}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\
 &= 0,041756 \\
 \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,041756 \\
 &= 0,031317 \\
 \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{400} \\
 &= 0,00250 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{12,21} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,21 \times 1,12}{400}} \right) \\
 &= 0,000858
 \end{aligned}$$

Sesuai persyaratan dimana $\rho_{min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{max}$

Maka ρ pakai adalah 0,000858

a. Tulangan Tarik tumpuan (arah melintang/arah -x)

Luas tarik tumpuan yang dibutuhkan untuk per meter panjang (L) = 4000 mm

$$\begin{aligned} n &= b/s + 1 \\ &= 4000/250 + 1 \\ &= 16 \text{ buah tulangan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times d \\ &= 0,000858 \times 4000 \times 949 \\ &= 6085 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan adalah D22-250 dengan jumlah tulangan per 4 meter panjang sebanyak 16 buah tulangan sehingga,

$$\begin{aligned} \text{As terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times n \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 16 \\ &= 6085 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 3225 \text{ mm}^2, \text{ maka tulangan terpasang cukup.} \end{aligned}$$

b. Tulangan tekan tumpuan (arah melintang/arah-x)

Luas tekan tumpuan yang dibutuhkan untuk per meter panjang (L) = 4000 mm

$$\begin{aligned} n &= b/s + 1 \\ &= 4000/250 + 1 \\ &= 17 \text{ buah tulangan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' perlu} &= 50\% \times \text{As perlu} \\ &= 0,5 \times 3225 \\ &= 1628 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan adalah D22-250 dengan jumlah tulangan per 4 meter panjang sebanyak 16 buah tulangan sehingga,

$$\begin{aligned}
 \text{As terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \times 16 \\
 &= 6085 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 1628 \text{ mm}^2, \text{ maka tulangan} \\
 &\quad \text{terpasang cukup.}
 \end{aligned}$$

c. Tulangan bagi tumpuan (arah melintang/arah-x)

Luas tekan tumpuan yang dibutuhkan untuk per meter panjang (L) = 4000 mm

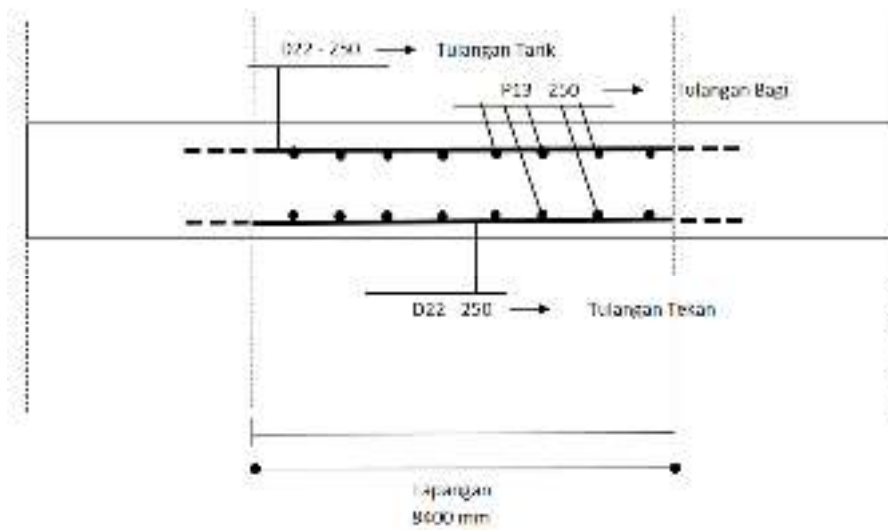
$$\begin{aligned}
 n &= b/s + 1 \\
 &= 4000/150 + 1 \\
 &= 27 \text{ buah tulangan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As' perlu} &= 30\% \times \text{As perlu} \\
 &= 0,3 \times 3225 \\
 &= 977 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

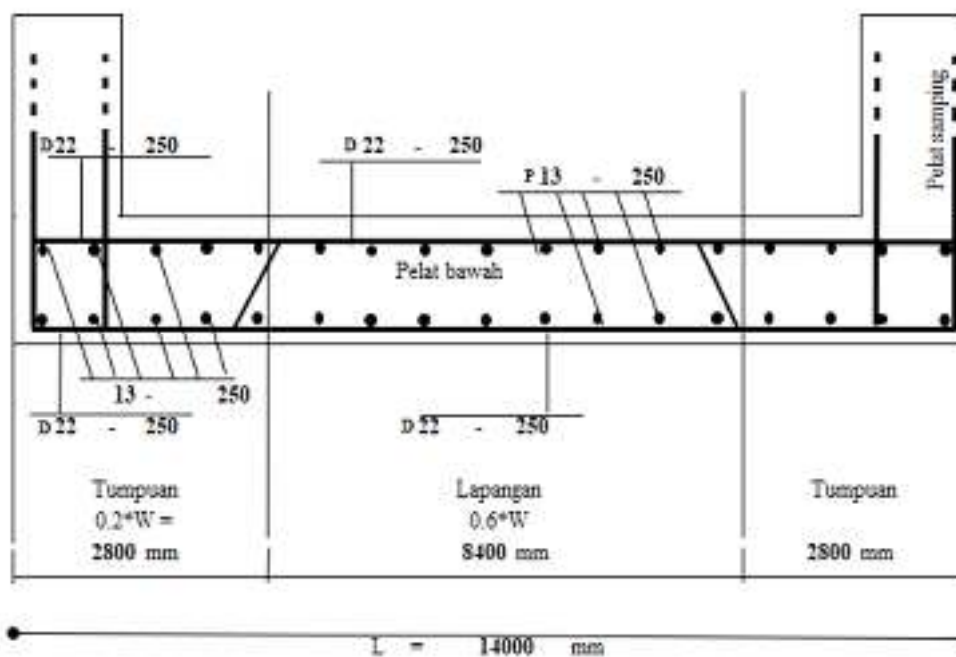
Tulangan yang digunakan adalah P13-250 dengan jumlah tulangan per 4 meter panjang sebanyak 16 buah tulangan sehingga,

$$\begin{aligned}
 \text{As terpasang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \emptyset^2 \times n \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 16 \\
 &= 2125 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 977 \text{ mm}^2, \text{ maka tulangan} \\
 &\quad \text{terpasang cukup.}
 \end{aligned}$$

Berikut ini adalah kodefikasi penulangan pelat dinding dan Penulangan pelat dinding pada daerah Lapangan yang dapat dilihat pada Gambar 5.14 dan 5.15 berikut ini.



Gambar 5.14 Tulangan Pelat Atas Pada Daerah Lapangan



Gambar 5.15 Sketsa Penulangan Pelat Bawah

5.3.4 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Struktur Box culvert

Rekapitulasi keseluruhan hasil perhitungan kebutuhan tulangan struktur *Box Culvert* dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan 5.8 berikut ini.

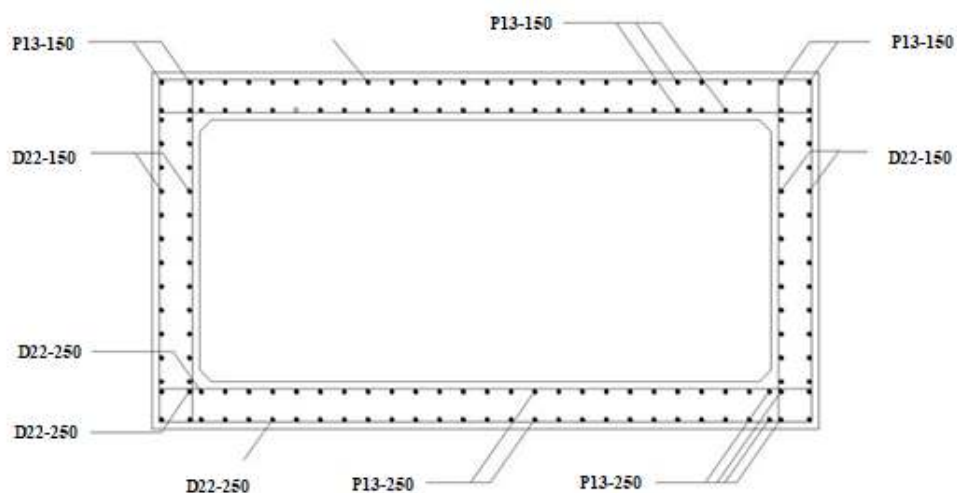
Tabel 5.7 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Daerah Tumpuan Pada Struktur Box Culvert

	Tulangan Plat Atas (mm)	Tulangan Plat dinding (mm)	Tulangan Plat Bawah (mm)
Tulangan Tarik	D22-150	D22-150	D22-250
Tulangan Tekan	D22-300	D22-300	D22-300
Tulangan Bagi	P13-150	P13-150	P13-250

Tabel 5.8 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Daerah Lapangan Pada Struktur Box Culvert

	Tulangan Plat Atas (mm)	Tulangan Plat dinding (mm)	Tulangan Plat Bawah (mm)
Tulangan Tarik	D22-125	D22-150	D22-250
Tulangan Tekan	D22-250	D22-250	D22-250
Tulangan Bagi	P13-150	P13-150	P13-250

Berdasarkan keseluruhan perhitungan manual kebutuhan tulangan struktur *Box Culvert* yang telah dilakukan sebelumnya maka dapat didesain sketsa penulangan dinding penahan tanah yang dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut ini.

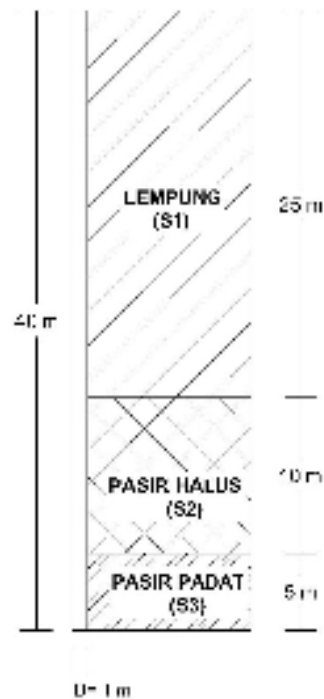


Gambar 5.16 Sketsa Penulangan Struktur Box Culvert Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang

5.3.5 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Tiang Bor Metode Meyerhof

5.3.5.1 Analisis Daya Pondasi Tiang Tunggal

Perhitungan kapasitas daya dukung *bored pile* dari data N-SPT memakai metode *Meyerhof* menggunakan data SPT pada titik BH-04. Sketsa Lapisan tanah dapat dilihat pada gambar 5.17 berikut.



Gambar 5.17 Sketsa Lapisan Tanah

Data *Bored Pile* :

$$\text{Diameter Bored Pile (d)} = 1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Keliling Bored Pile (p)} &= \pi \times d \\ &= 3,14 \times 1 \\ &= 3,14 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas bored pile} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 \\ &= 0,785 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Berat Bored Pile (wp)} = 3,14 \times r^2 \times t \times wc$$

$$= 3,14 \times 0,5^2 \times 40 \times 25$$

$$= 715,39 \text{ kN}$$

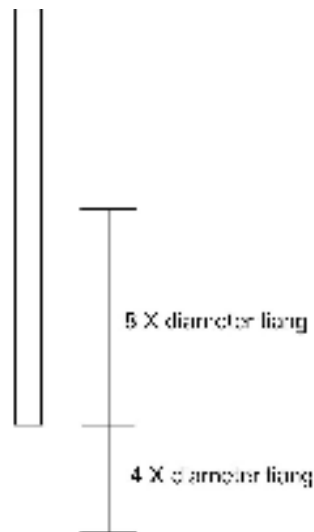
1. Kapasitas Ujung Tiang

Kondisi tanah pada ujung tiang merupakan tanah pasir, sehingga analisis perhitungan kapasitas dukung tiang dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.23 dari *Meyerhof* sebagai berikut.

$$Q_p = q_p \times A_p$$

$$Q_p = 40 \times N \times A_p \leq A_p \times 400N$$

Dimana Nilai N adalah nilai rerata 8D dan 4D dapat dilihat pada gambar 5. 18 berikut.



Gambar 5.18 Sketsa Nilai Rerata 8D dan 4D

$$N \text{ untuk } 8D = \frac{17+29+28+28+32}{8} = 16,75$$

$$N \text{ untuk } 4D = \frac{32+32+35}{4} = 24,75$$

$$\text{Maka, Nilai } N = \frac{11,25+23,5}{2} = 20,75$$

$$40 \times 20,75 \times 0,785$$

$$545,56 \text{ kN}$$

2. Kapasitas Dukung Selimut Tiang

Kondisi tanah pada selimut tiang terdiri dari 3 lapisan dimana lapisan pertama merupakan tanah lempung, lapisan kedua merupakan pasir halus dan lapisan ketiga adalah pasir padat. Sehingga analisis perhitungan dapat di hitung menggunakan Persamaan 3.24 dan 3.25 sebagai berikut.

- Lapisan pertama Kedalaman (0 – 25 m) adalah tanah lempung

$$\begin{aligned}
 Q_{s1} &= \alpha \times cu \times p \times Li \\
 cu &= \frac{2}{3} \times N_{spt} \times 10 \\
 &= \frac{2}{3} \times \left(\frac{2 + 5 + 8 + 8 + 12 + 12 + 15 + 18 + 17 + 29 + 18 + 27 + 28}{25} \right) \\
 &\quad \times 10 \\
 &= 54,1
 \end{aligned}$$

$$Q_{s1} = 0,5 \times 54,1 \times 3,14 \times 25$$

$$Q_{s1} = 2123,42 \text{ kN}$$

Sehingga didapat nilai $Q_{s1} = 2123,43 \text{ kN}$

- Lapisan kedua kedalaman (25 – 35 m) adalah pasir halus

$$\begin{aligned}
 Q_{s2} &= 0,1 \times N_{spt} \times p \times Li \\
 Q_{s2} &= 0,1 \times \frac{28 + 27 + 27 + 17 + 29 + 28}{10} \times 3,14 \times 10 \\
 Q_{s2} &= 48,98 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Sehingga didapat nilai $Q_{s2} = 48,98 \text{ kN}$

- Lapisan ketiga kedalaman (35 – 40 m) adalah pasir padat

$$\begin{aligned}
 Q_{s3} &= 0,1 \times N_{spt} \times p \times Li \\
 Q_{s3} &= 0,1 \times \frac{28 + 28 + 32}{5} \times 3,14 \times 5 \\
 Q_{s3} &= 27,63 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Sehingga didapat nilai $Q_{s3} = 27,63 \text{ kN}$

Dari Hasil analisis perhitungan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa nilai $Q_{s_{total}}$ sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Q_{s_{total}} &= Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} \\ &= 2123,42 + 48,98 + 27,63 = 2200,03 \text{ kN} \end{aligned}$$

3. Kapasitas Dukung Ultimate Tiang

Kapasitas dukung ultimate tiang dihitung berdasarkan Persamaan 3.21 berikut ini.

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_s + Q_p - W_p \\ Q_u &= 2200,03 + 545,56 - 715,39 \\ &= 2030,21 \text{ kN} \end{aligned}$$

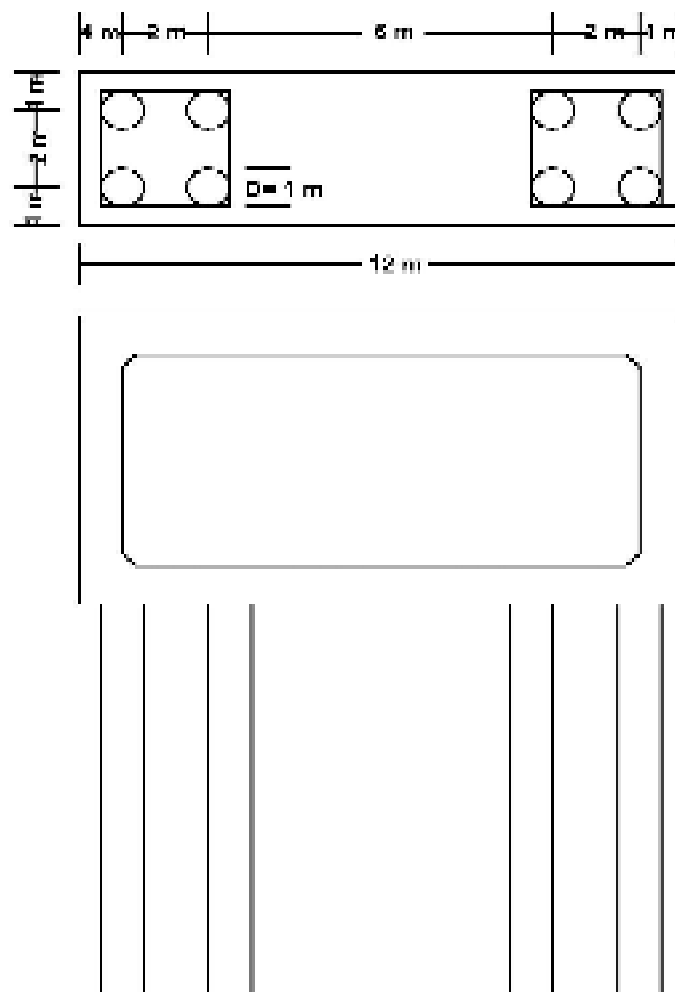
4. Kapasitas Dukung Ijin Tiang

Kapasitas dukung Ijin dihitung berdasarkan Persamaan 3.22 dimana nilai SF yang digunakan sesuai SNI.

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_u}{SF} \\ Q_{all} &= \frac{2030,21}{2} \\ Q_{all} &= 1015,12 \text{ kN} \end{aligned}$$

5.3.5.2 Analisis Kapasitas Dukung Tiang Kelompok

Analisis kapasitas dukung pondasi kelompok tidak jauh berbeda dengan analisis pondasi tiang tunggal, hal ini yang membedakan hanya pengalihan dengan faktor efisiensi kelompok (E_g) dan jumlah pondasi yang digunakan (n). Dalam studi kasus jembatan Sei Alalak ini dihitung menjadi 2 blok tiang grup yang dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut.



Gambar 5.19 Sketsa Konfigurasi Kelompok Tiang Bor existing

$$Q_{all} = 1015,12 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah tiang (n)} = \frac{(2386,32)}{1015,12} = 2,35 \text{ tiang} \approx 3 \text{ tiang}$$

$$m = 2$$

$$n = 2$$

$$s = 2 \text{ m}$$

$$L_g = 3$$

$$B_g = 3$$

$$E_g = 1$$

$$Q_{gall \ 1} \text{ (blok)} = (2 \times 2 \times 1015,12) \\ = 4060,48 \text{ kN}$$

$$Q_{gall \ 2} \text{ (blok)} = 3 \times 3 \times 18 \times 9 + \sum 2 \times (3 + 3) \times 18 \times 40$$

$$= 10098 \text{ kN}$$

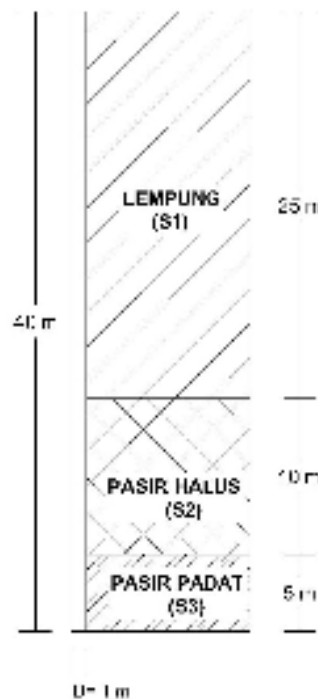
Berdasarkan perhitungan dari kapasitas dukung pondasi kelompok (Q_g) tersebut maka diambil yang paling kecil sebagai dasar untuk analisis pondasi, yaitu sebesar $2 \times 4060,48 \text{ kN} = 8120,96 \text{ kN}$

$$\begin{aligned} Q \text{ (yang bekerja)} &= 2386,32 \text{ kN} + (8 \times 715,39 \text{ kN}) \\ &= 8109,44 \text{ kN} < 8120,96 \text{ kN} \end{aligned}$$

5.3.6 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Tiang Bor metode Reese & Wright

5.3.6.1 Analisis Daya Dukung Tiang Tunggal

Perhitungan kapasitas daya dukung *bored pile* dari data N-SPT memakai metode *Reese & Wright* menggunakan data SPT pada titik BH-04. Adapun data – data yang diketahui dapat dilihat pada gambar 5.20 berikut.



Gambar 5.20 Sketsa Lapisan Tanah

Data *Bored Pile* :

$$\text{Diameter Bored Pile (d)} = 1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
\text{Keliling Bored Pile (p)} &= \pi \times d \\
&= 3,14 \times 1 \\
&= 3,14 \text{ m} \\
\text{Luas bored pile} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
&= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 \\
&= 0,785 \text{ m}^2 \\
\text{Berat Bored Pile (wp)} &= 3,14 \times r^2 \times t \times wc \\
&= 3,14 \times 0,5^2 \times 40 \times 25 \\
&= 715,39 \text{ kN}
\end{aligned}$$

1. Kapasitas Ujung Tiang

Jenis tanah pada ujung tiang adalah tanah pasir, maka kapasitas dukung tiang dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.26 dari *Reese & Wright* sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
Q_p &= q_p \times A_p \\
Q_p &= 7 \times N \times A_p \\
Q_p &= 7 \times 32 \times 0,785 \\
&= 175,84 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\text{Maka, } Q_p = 175,84 \text{ kN}$$

2. Kapasitas Dukung Selimut Tiang

Kondisi tanah pada selimut tiang terbagi atas 3 lapisan dimana lapisan pertama adalah tanah lempung, lapisan kedua tanah pasir halus dan lapisan ketiga pasir padat. Sehingga analisis perhitungan dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.26 dan 3.30 sebagai berikut.

- Lapisan pertama kedalaman (0 – 25 m) adalah tanah lempung

$$Q_{s1} = \alpha \times cu \times p \times Li$$

$$cu = \frac{2}{3} \times \left(\frac{2 + 5 + 8 + 8 + 12 + 12 + 15 + 18 + 17 + 29 + 18 + 27 + 28}{25} \right) \times 10$$

$$= 54,1$$

$$Q_{s1} = 0,55 \times 54,1 \times 3,14 \times 25$$

$$Q_{s1} = 2335,77 \text{ kN}$$

$$\text{Maka, } Q_{s1} = 2335,77 \text{ kN}$$

- Lapisan kedua kedalaman (25 – 35 m) adalah pasir lunak

$$Q_{s2} = 0,32 \times N_{spt} \times p \times Li$$

$$Q_{s2} = 0,32 \times \frac{28 + 27 + 27 + 17 + 29 + 28}{10} \times 3,14 \times 10$$

$$Q_{s2} = 156,74 \text{ kN}$$

$$\text{Maka, } Q_{s2} = 156,74 \text{ kN}$$

- Lapisan ketiga kedalaman (35 – 40 m) adalah pasir padat

$$Q_{s3} = 0,32 \times N_{spt} \times p \times Li$$

$$Q_{s3} = 0,32 \times \frac{28 + 28 + 32}{5} \times 3,14 \times 5$$

$$Q_{s3} = 88,42 \text{ kN}$$

$$\text{Maka, } Q_{s3} = 88,42 \text{ kN}$$

$$Q_{s\text{total}} = Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3}$$

$$= 2335,77 + 156,74 + 88,42 = 2580,93 \text{ kN}$$

3. Kapasitas Dukung Ultimate Tiang

Kapasitas Dukung ultimate tiang dihitung berdasarkan Persamaan 3.21 berikut ini.

$$Qu = Q_s + Q_p - wp$$

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 2580,93 + 175,84 - 715,39 \\
 &= 2041,38 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4. Kapasitas Dukung Ijin Tiang

Kapasitas dukung ijin tiang dihitung berdasarkan Persamaan 3.22 dimana nilai SF yang digunakan sesuai SNI.

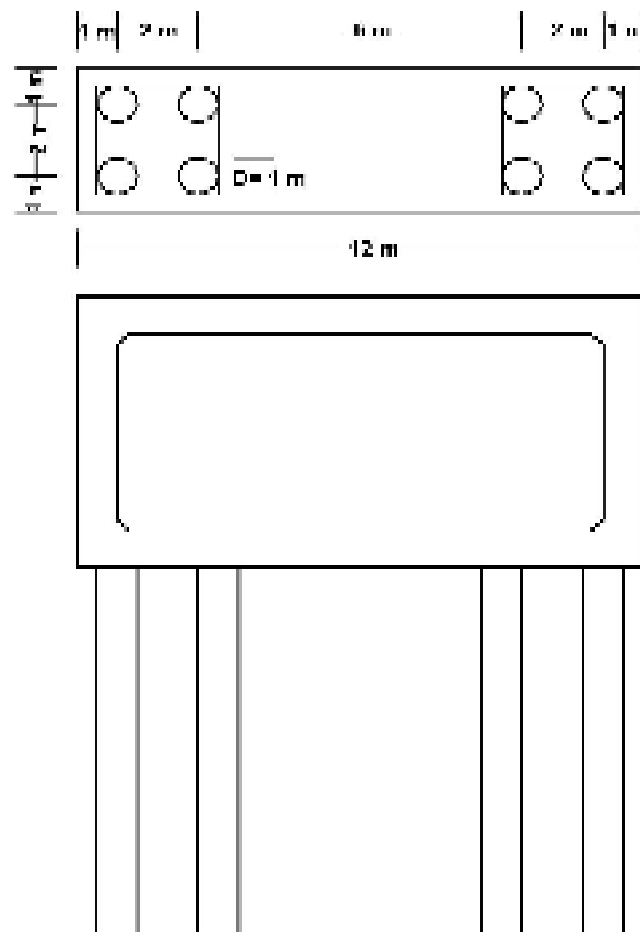
$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$Q_{all} = \frac{2041,38}{2}$$

$$Q_{all} = 1020,69 \text{ kN}$$

5.3.6.2 Analisis Daya Dukung Tiang Kelompok

Analisis kapasitas dukung pondasi kelompok tidak jauh berbeda dengan analisis pondasi tiang tunggal, hal ini yang membedakan hanya pengalihan dengan faktor efisiensi kelompok (E_g) dan jumlah pondasi yang digunakan (n). Dalam studi kasus jembatan Sei Alalak ini dihitung menjadi 2 blok tiang grup yang dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut.



Gambar 5.21 Sketsa Konfigurasi Kelompok Tiang Bor existing

$$Q_{all} = 1020,69 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah tiang (n)} = \frac{(2386,32)}{1020,69} = 2,21 \text{ tiang} \approx 3 \text{ tiang}$$

$$m = 2$$

$$n = 2$$

$$s = 2 \text{ m}$$

$$L_g = 3$$

$$B_g = 3$$

$$E_g = 1$$

$$Q_{g_{all} 1} (\text{blok}) = (2 \times 2 \times 1020,69)$$

$$= 4082,76 \text{ kN}$$

$$Q_{g_{all} 2} (\text{blok}) = 3 \times 3 \times 18 \times 9 + \sum 2 \times (3 + 3) \times 18 \times 40$$

$$= 10098 \text{ kN}$$

Berdasarkan perhitungan dari kapasitas dukung pondasi kelompok (Q_g) tersebut maka diambil yang paling kecil sebagai dasar untuk analisis pondasi, yaitu sebesar $2 \times 4082,76 \text{ kN} = 8165,52 \text{ kN}$

$$\begin{aligned} Q \text{ (yang bekerja)} &= 2386,32 \text{ kN} + (8 \times 715,39 \text{ kN}) \\ &= 8109,44 \text{ kN} < 8165,52 \text{ kN} \end{aligned}$$

5.4 Analisis Penurunan Pada Tiang Bor

Penurunan pondasi dapat ditinjau dalam dua keadaan yakni sebelum dan sesudah konsolidasi, namun untuk pondasi tiang bor umumnya hanya satu keadaan karena merupakan nondisplacement pile. Saat tiang baru selesai dicor mulai terjadi penurunan sehingga harus ditunggu terlebih dahulu selesai proses penurunannya barulah struktur di atas pondasi dapat dibangun. Setelah proses konsolidasi selesai, partikel tanah telah menjadi rapat, air serta udara telah keluar sehingga terjadi penurunan yang terjadi akan lebih kecil daripada sebelum konsolidasi.

5.4.1 Analisis Penurunan Pada Tiang Tunggal

Analisis penurunan pondasi dilakukan untuk mengantisipasi penurunan pondasi yang berlebihan sehingga dapat mencegah terjadinya kegagalan struktur bangunan yang diakibatkan beban yang berlebih. Berikut penurunan tiang tunggal yang dihitung berdasarkan metode semi empiris dan metode empiris.

1. Metode semi empiris

Penurunan pondasi tiang tunggal dengan metode semi empiris dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.14, 3.16 dan 3.17 berikut ini.

Dengan.

$$\begin{aligned} S_s &= \frac{(Q_p + \alpha \times Q_s) \times L}{A_p \times E_p} \\ S_s &= \frac{(175,84 + 0,5 \times 545,56) \times 40}{0,785 \times 21,83 \times 10^6} \\ S_s &= 0,0011 \text{ m} \end{aligned}$$

$$S_p = \frac{Q_p + C_p}{d \times q_p}$$

$$S_p = \frac{175,84 + 0,02}{1 \times 2041,38}$$

$$S_p = 0,086 \text{ m}$$

$$S_{ps} = \left(\frac{pt}{P \times L} \right) \times \frac{d}{E_s} (1 - V_s^2) \times I_{ws}$$

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{40}{1}} = 4,21$$

$$S_{ps} = \left(\frac{3206,32}{0,785 \times 40} \right) \times \frac{1}{8000} (1 - 0,3^2) \times 4,21$$

$$S_{ps} = 0,0489 \text{ m}$$

Sehingga penurunan total tiang tunggal adalah sebagai berikut.

$$S = 0,0011 + 0,086 + 0,0489$$

$$S = 0,1361 \text{ m}$$

2. Metode empiris

Penurunan pondasi tiang tunggal dengan metode empiris dapat menggunakan Persamaan 3.21 berikut.

$$S = \frac{d}{100} + \frac{Q \times L}{A_p \times E_p}$$

$$S = \frac{1}{100} + \frac{2386,32 \times 40}{0,785 \times 21,83 \times 10^6}$$

$$S = 0,0155 \text{ m}$$

5.4.2 Analisis Penurunan Pada Tiang Kelompok

Perhitungan penurunan tiang kelompok menggunakan metode *Vessic, 1977* dengan Persamaan (3.22) sebagai berikut.

$$S_g = S \times \sqrt{\frac{B_g}{D}}$$

$$S_g = 0,0155 \times \sqrt{\frac{3}{1}}$$

$$S_g = 0,026 \text{ m}$$

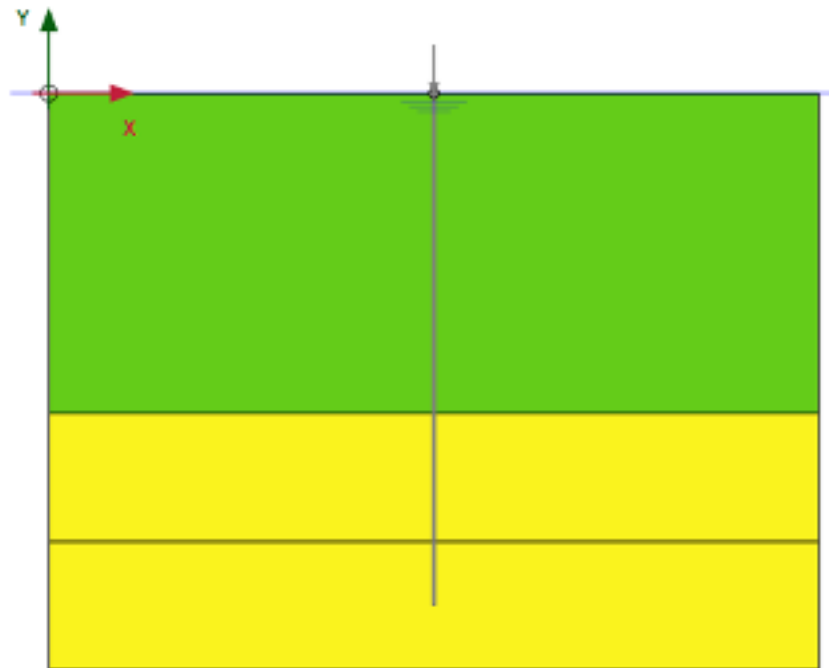
5.5 Analisis Daya Dukung Menggunakan Plaxis 2D

5.5.1 Analisis Daya Dukung Menggunakan Plaxis 2D Pada Tiang Tunggal

Tahap analisis daya dukung tiang tunggal dilakukan setelah mendapat hasil dari perhitungan dari *Box Culvert*. Analisis terlebih dahulu dilakukan dengan menggunakan program plaxis 2D. Tahapan analisis dibagi menjadi 3 yaitu tahapan *Input* atau memasukan data-data yang diperlukan, selanjutnya tahapan *Calculation* atau kalkulasi yang berarti plaxis mulai mengolah data data yang telah dimasukan pada tahapan sebelumnya dan terakhir adalah tahapan *Output* dimana hasil akhir dari analisis telah dapat dicermati.

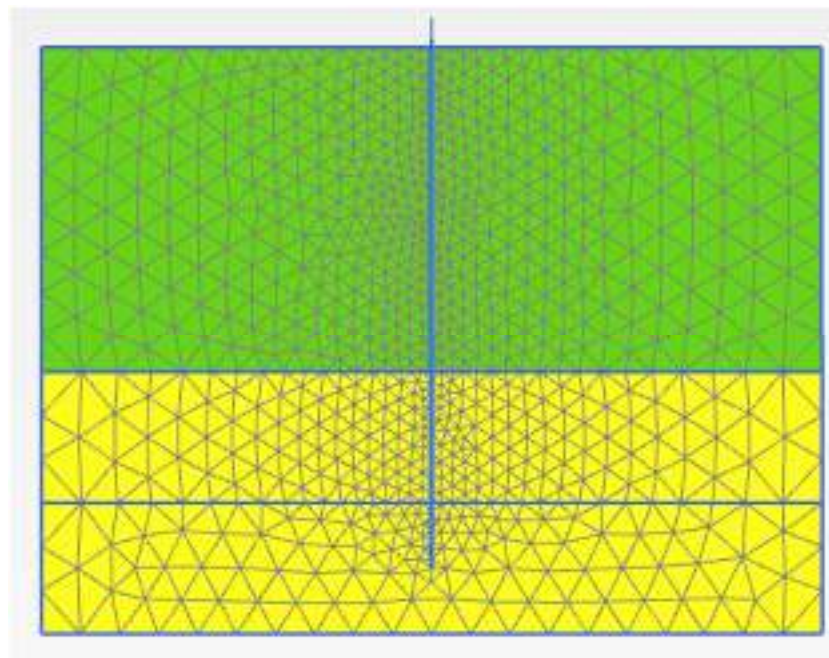
1. Tahapan input pada analisis daya dukung tiang Tunggal

Pada tahapan input hal pertama yang dilakukan adalah melakukan permodelan awal atau tahapan *input geometry* lapisan tanah Menggunakan tiang tunggal. Hasil penggambaran geometri dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut ini.



Gambar 5.22 Permodelan Kondisi Lapisan Tanah Menggunakan Tiang Tunggal

Selanjutnya adalah melakukan penggambaran *meshing* dengan tingkat ketelitian *meshing* yang dapat digunakan adalah pada tingkat *fine*. Hasil penggambaran *general meshing* dapat dilihat pada Gambar 5.23.



Gambar 5.23 General Meshing Dengan Perkuatan Tiang Tunggal

2. Tahapan kalkulasi pada Daya dukung Tiang Tunggal

Setelah semua data telah dimasukan dan semua permodelan telah digambar pada tahapan *Input*, maka selanjutnya dilakukan tahap kalkulasi. Dengan merencanakan beberapa fase analisis sebagai berikut, Fase pertama yaitu pemasangan pile, kedua pembebanan, ketiga konsolidasi. Hasil dari tahapan kalkulasi dapat dilihat pada Gambar 5.24 berikut ini.



Gambar 5.24 Tahapan Kalkulasi Struktur Box Culvert Dengan Tiang Tunggal

3. Tahapan *Output* dan *Curves* pada daya dukung tiang tunggal

Setelah perhitungan selesai akan menampilkan hasil jaring elemen terderformasi pada kondisi setelah pemasangan struktur box culvert, pemasangan pondasi dan pembebanan.

Berdasarkan hasil analisis software Plaxis 2D didapat hasil faktor aman (Safety factor) Σ - Msf sebesar 2,453. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.25 berikut ini.

Reached total time	0.000 day
CSP - Relative stiffness	0.06644
ForceX - Reached total force X	0.000 kN
ForceY - Reached total force Y	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	897.9 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase proportion	0.000
ΣM_{weight} - Reached weight proportion	1.000
ΣM_{sf} - Reached safety factor	2.453

Gambar 5.25 Hasil Kalkulasi Safety Factor phase Σ - Msf

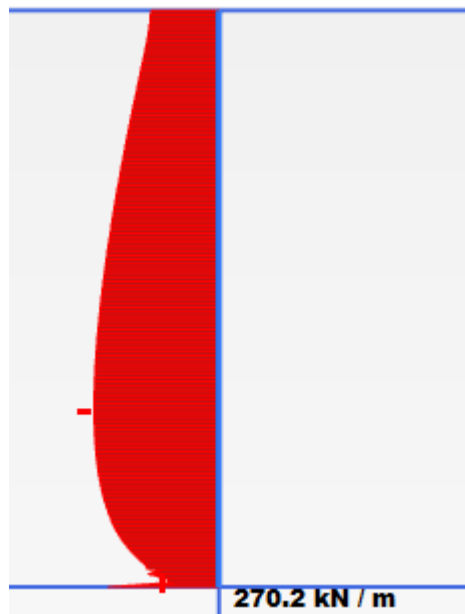
Berikut adalah analisis perhitungan kapasitas dukung berdasarkan analisis safety factor dari software plaxis 2D.

$$Q_a = P_{\text{allowable}} = \frac{Q_u}{\sum -M_{sf}}$$

$$Q_u = 270,2 \times 2,453$$

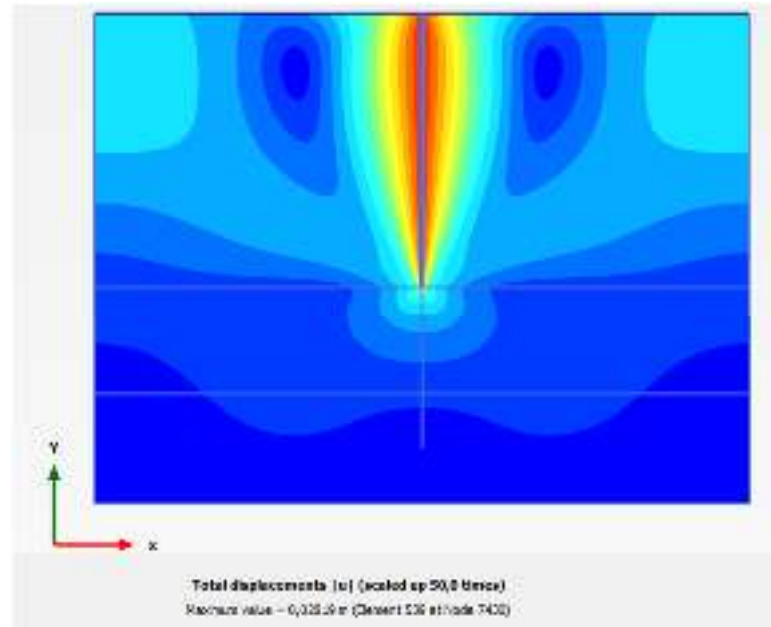
$$= 662,80 \text{ kN}$$

Kapasitas dukung tiang tunggal dapat dilihat pada software plaxis 2D dengan cara *double click* pada tiang lalu pilih menu *forces* dan *click axial forces* untuk melihat tegangan maksimum yang dapat diberikan. Berdasarkan hasil analisis tersebut, didapat hasil *axial forces* yang diperoleh sebesar 662,8 kN/m, hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 5.26 berikut ini.

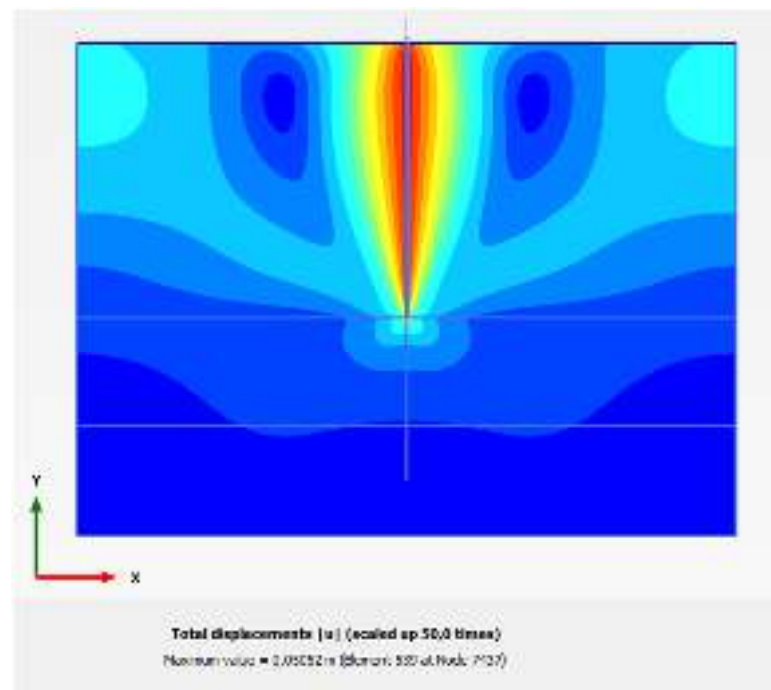


Gambar 5.26 Axial Forces

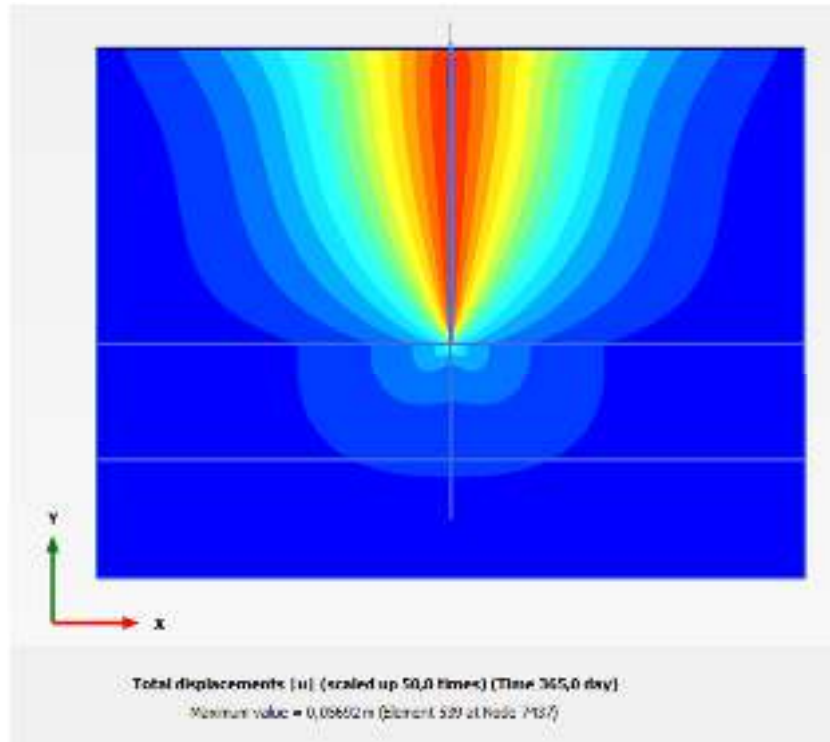
Berikut ini adalah hasil analisis menggunakan program plaxis 2D yang dapat dilihat pada Gambar 5.27 sampai dengan Gambar 5.29 Berikut ini.



Gambar 5.27 Hasil analisis pada Phase Pemasangan Pile



Gambar 5.28 Hasil analisis pada Phase Pembebanan Pile



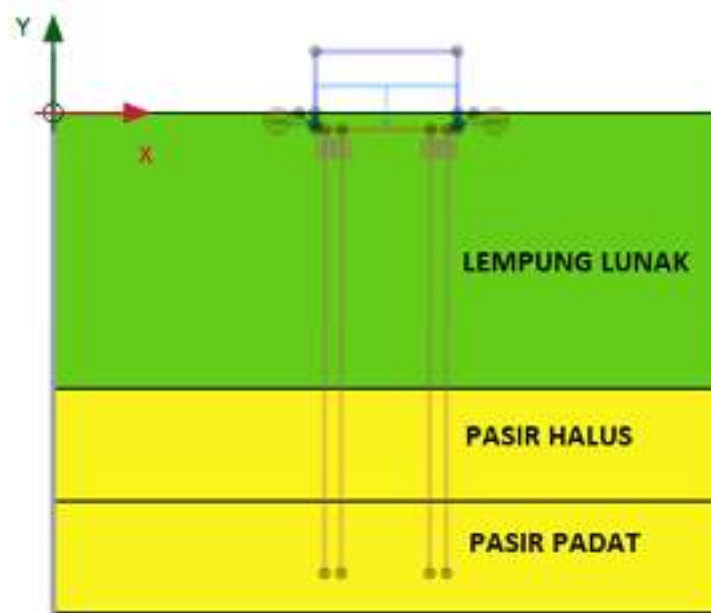
Gambar 5.29 Hasil analisis pada Phase Konsolidasi

5.5.2 Analisis Daya Dukung Menggunakan Plaxis 2D Pada Tiang Kelompok

Tahap analisis daya dukung tiang kelompok dilakukan setelah mendapat hasil dari perhitungan dari *Box Culvert*. Analisis terlebih dahulu dilakukan dengan menggunakan program plaxis 2D. Tahapan analisis dibagi menjadi 3 yaitu tahapan *Input* atau memasukkan data-data yang diperlukan, selanjutnya tahapan *Calculation* atau kalkulasi yang berarti plaxis mulai mengolah data data yang telah dimasukan pada tahapan sebelumnya dan terakhir adalah tahapan *Output* dimana hasil akhir dari analisis telah dapat dicermati.

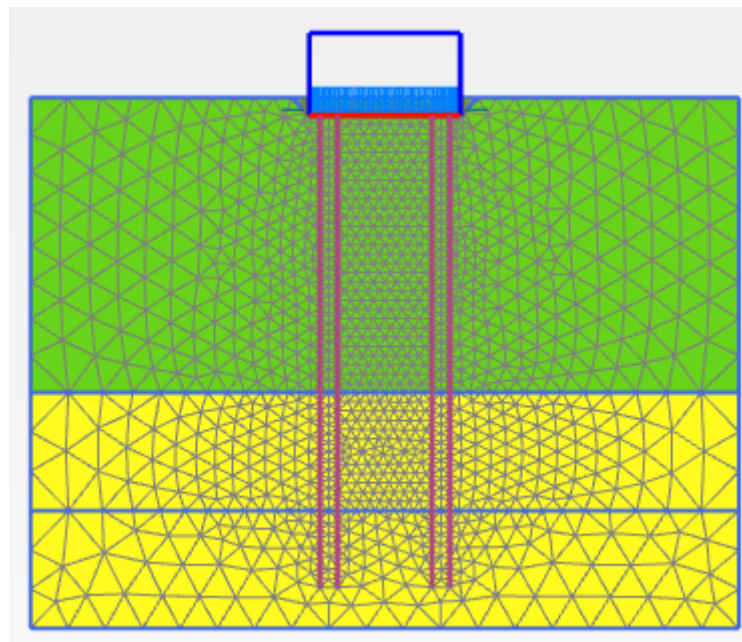
1. Tahapan input pada analisis daya dukung tiang kelompok

Pada tahapan input hal pertama yang dilakukan adalah melakukan permodelan awal atau tahapan *input geometry* lapisan tanah Menggunakan tiang kelompok. Hasil penggambaran geometri dapat dilihat pada Gambar 5.31 berikut ini.



Gambar 5.30 Permodelan Kondisi Lapisan Tanah Menggunakan Tiang Kelompok

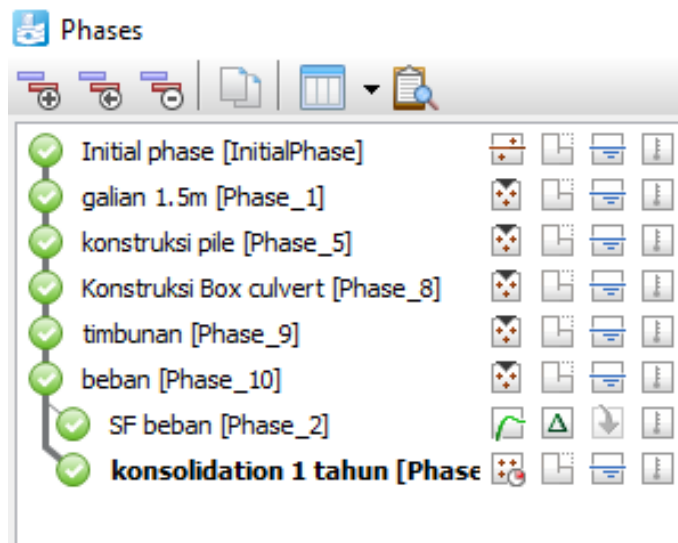
Selanjutnya adalah melakukan penggambaran *meshing* dengan tingkat ketelitian *meshing* yang dapat digunakan adalah pada tingkat *fine*. Hasil penggambaran *general meshing* dapat dilihat pada Gambar 5.31.



Gambar 5.31 General Meshing Dengan Perkuatan Tiang Kelompok

2. Tahapan kalkulasi pada Daya dukung Tiang Kelompok

Setelah semua data telah dimasukan dan semua permodelan telah digambar pada tahapan *Input*, maka selanjutnya dilakukan tahap kalkulasi. Dengan merencanakan beberapa fase analisis sebagai berikut, Fase pertama yaitu galian 1.5m, kedua konstruksi pile, ketiga konstruksi box culvert, keempat timbunan, kelima pembebanan dan yang keenam konsolidasi. Hasil dari tahapan kalkulasi dapat dilihat pada Gambar 5.32 berikut ini.



Gambar 5.32 Tahapan Kalkulasi Struktur Box Culvert Dengan Tiang Kelompok

3. Tahapan *Output* dan *Curves* pada daya dukung tiang kelompok

Setelah perhitungan selesai akan menampilkan hasil jaring elemen terderformasi pada kondisi setelah pemasangan struktur box culvert, pemasangan pondasi dan pembebanan.

Berdasarkan hasil analisis software Plaxis 2D didapat hasil faktor aman (Safety factor) Σ - Msf sebesar 1,924. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.33 berikut ini.

Reached total time	0.000 day
CSP - Relative stiffness	0.05277
ForceX - Reached total force X	0.000 kN
ForceY - Reached total force Y	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	1310 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase proportion	0.000
ΣM_{weight} - Reached weight proportion	1.000
ΣM_{sf} - Reached safety factor	1.924

Gambar 5.33 Hasil Kalkulasi Safety Factor phase Σ - Msf

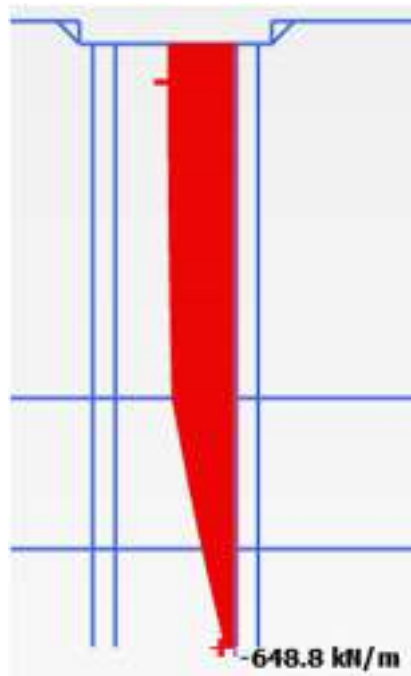
Berikut adalah analisis perhitungan kapasitas dukung berdasarkan analisis safety factor dari software plaxis 2D.

$$Q_a = P_{\text{allowable}} = \frac{Q_u}{\Sigma - Msf}$$

$$Q_u = 2595,2 \times 1,924$$

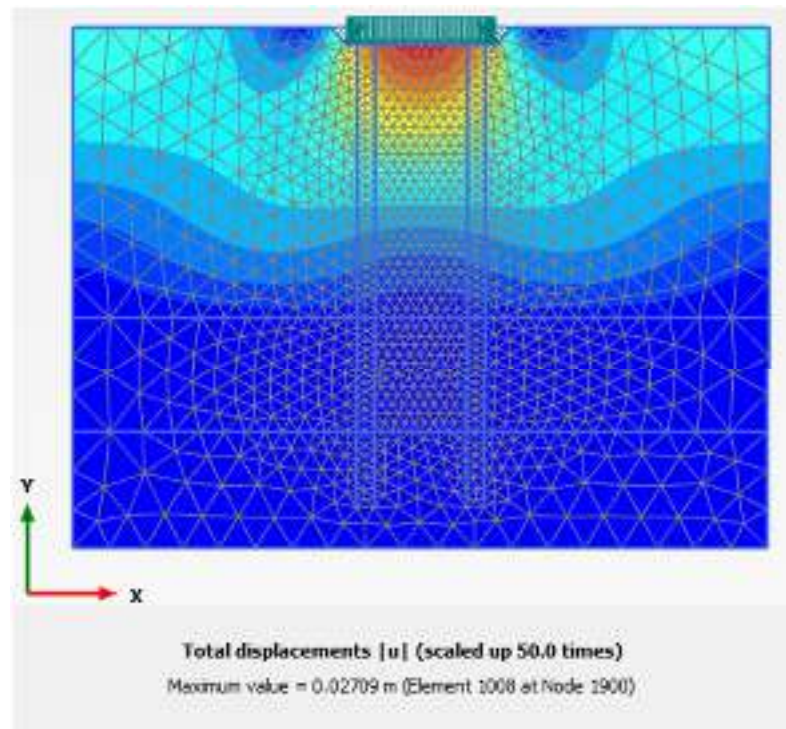
$$= 4993,16 \text{ kN}$$

Kapasitas dukung tiang kelompok dapat dilihat pada software plaxis 2D dengan cara *double click* pada tiang lalu pilih menu *forces* dan *click axial forces* untuk melihat tegangan maksimum yang dapat diberikan. Berdasarkan hasil analisis tersebut, didapat hasil *axial forces* yang diperoleh sebesar 648,8 kN/m, hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 5.34 berikut ini.

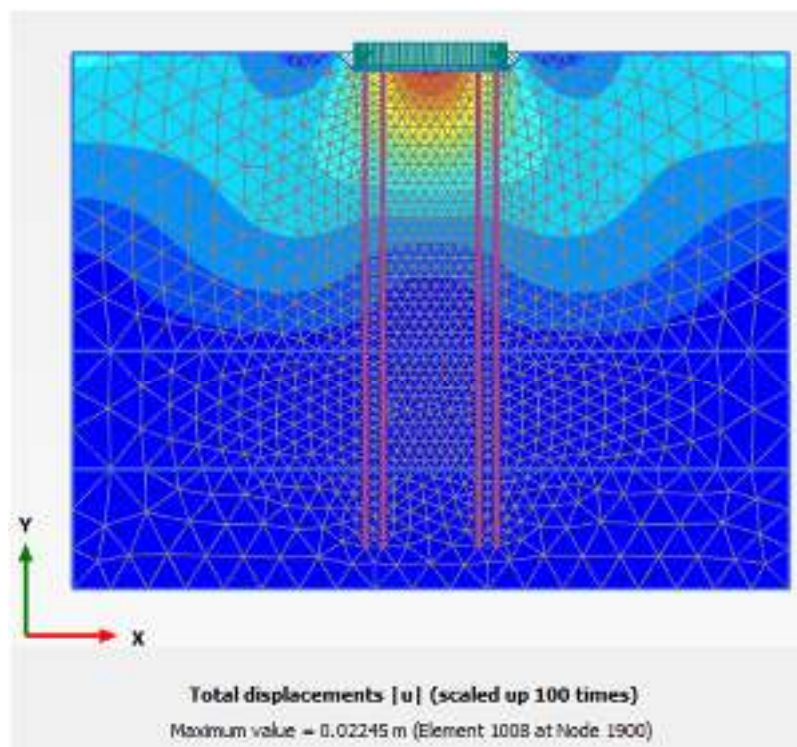


Gambar 5.34 Axial Forces

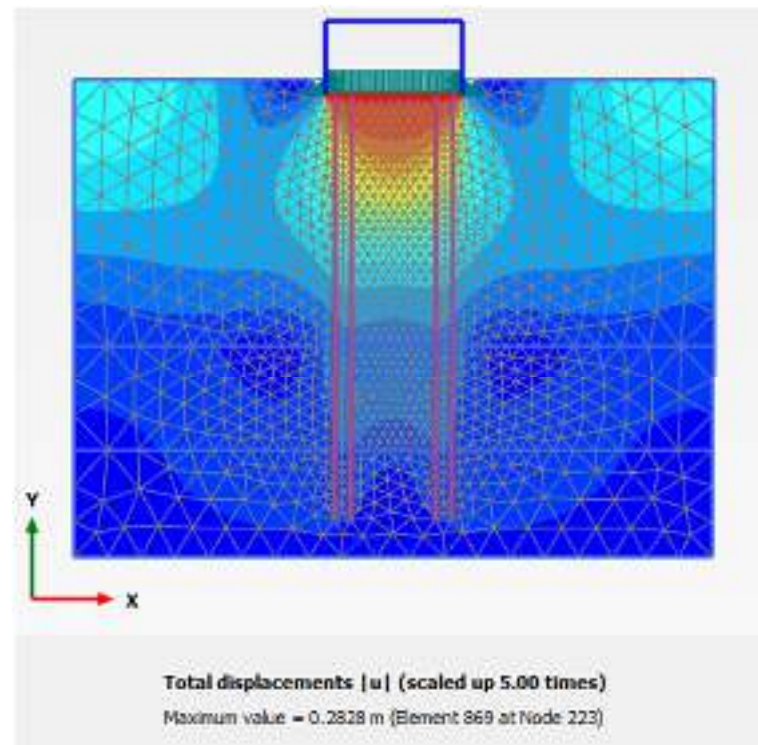
Berikut ini adalah hasil analisis menggunakan program plaxis 2D yang dapat dilihat pada Gambar 5.35 sampai dengan Gambar 5.40 Berikut ini.



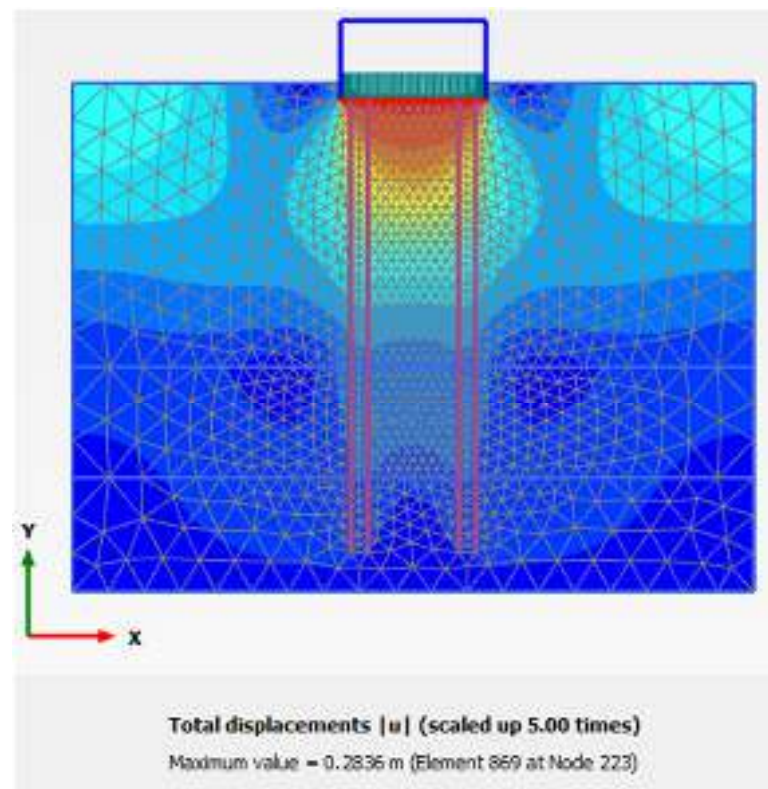
Gambar 5.35 Hasil analisis pada Phase Galian 1,5 m



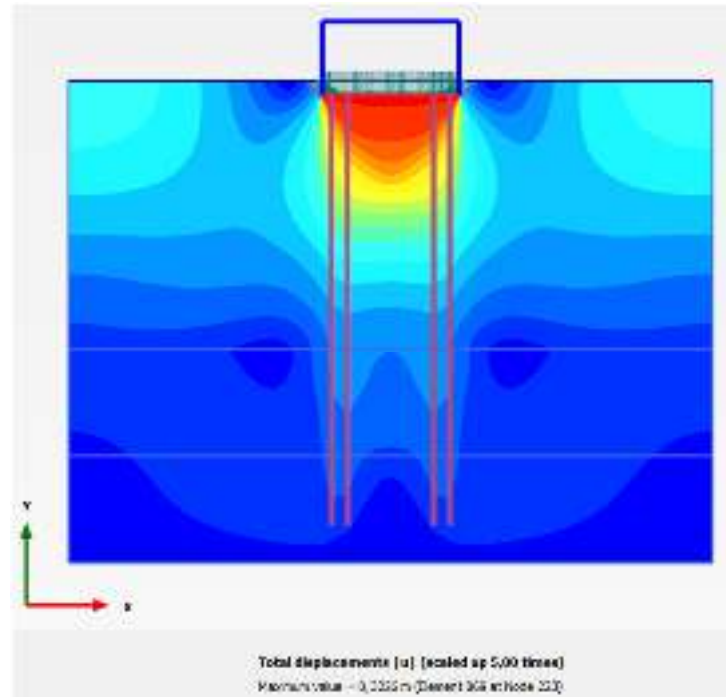
Gambar 5.36 Hasil analisis pada Phase Pemasangan Pile



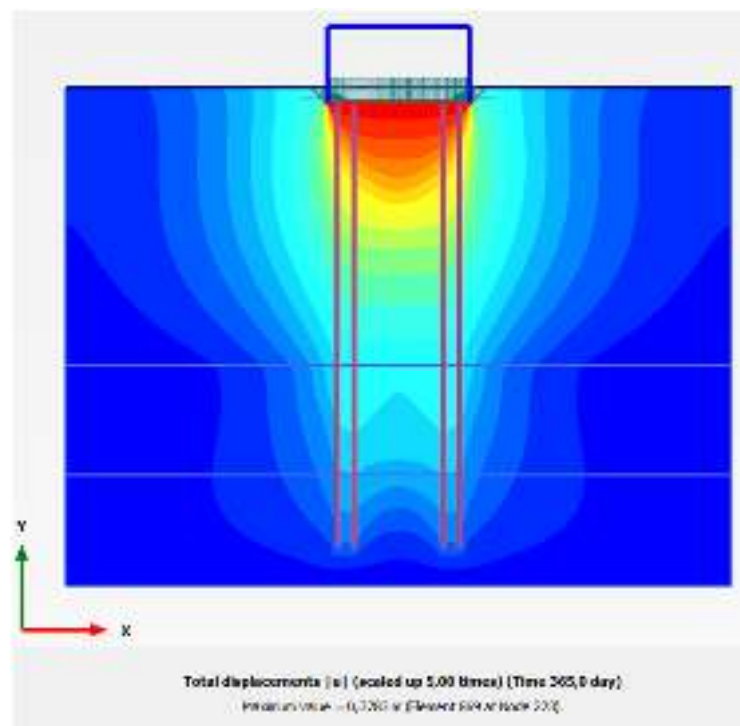
Gambar 5.37 Hasil analisis pada Phase Konstruksi Struktur Box Culvert



Gambar 5.38 Hasil analisis pada Phase Timbunan



Gambar 5.39 Hasil analisis pada Phase Pembebanan



Gambar 5.40 Hasil analisis pada Setelah Konsolidasi 1 Tahun

5.6 Pembahasan

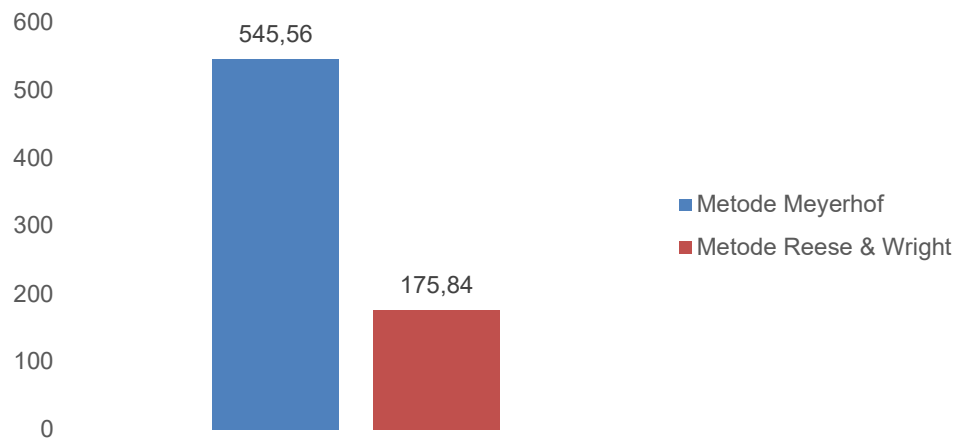
Perencanaan sebuah struktur bangunan pasti membutuhkan sebuah dukungan struktur bawah yang kuat, agar dapat mengampu bahan struktur atas tersebut. Struktur bawah atau pondasi berfungsi untuk perletakan bangunan yang meneruskan beban yang ditopang tersebut ke lapisan tanah yang keras, serta dapat menahan gaya – gaya yang terjadi seperti beban mati (dead load) dan beban hidup (live load). Pondasi tersebut harus mampu menahan penurunan maupun kerusakan sesuai batas yang ditentukan.

Pada proyek pembangunan Jembatan Sei Alalak yang mempunyai bentang panjang 850 m dan lebar 20 m akan di bangun struktur box culvert di bawahnya. Pada lokasi penelitian diketahui bahwa struktur berada di atas tanah lempung lunak dan tanah pasir cukup padat. Maka di butuhkan pondasi yang kuat untuk menopang struktur box culvert dengan panjang 20 m, lebar 12 m dan tinggi 5,5 m. Pondasi yang akan digunakan adalah jenis Tiang Bor dengan beton bertulang berdiameter 1 m dan panjang 40 m. Struktur box culvert sendiri di tujukan untuk memfasilitasi lalu lintas, penempatan jaringan kabel listrik dan sebagai drainasi.

5.6.1 Hasil Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal

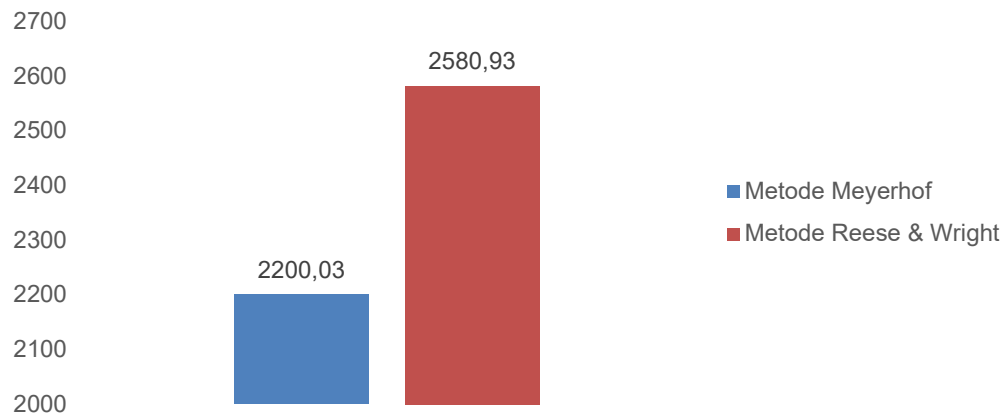
Telah dilakukan kapasitas dukung pondasi dengan metode Meyerhof dan Reese & Wright dengan menggunakan data SPT. Analisis yang dilakukan adalah analisis terkait kapasitas dukung ujung (end bearing) serta analisis kapasitas dukung selimut (friction) tersebut diinterpretasikan dalam grafik pada Gambar 5.41, Gambar 5.42 dan Gambar 5.43 berikut ini.

GRAFIK PERBANDINGAN TAHANAN UJUNG TIANG



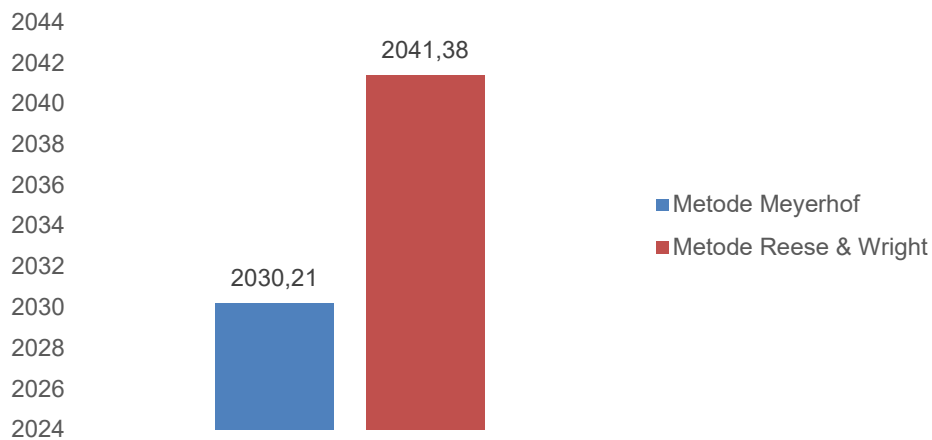
Gambar 5.41 Grafik Perbandingan Kapasitas Dukung Ujung (End Bearing)

GRAFIK PERBANDINGAN DAYA DUKUNG SELIMUT TIANG



Gambar 5.42 Grafik Perbandingan Kapasitas Dukung Selimut (Friction)

GRAFIK PERBANDINGAN DAYA DUKUNG ULTIMATE



Gambar 5.43 Grafik Perbandingan Kapasitas Dukung Ultimate Tiang

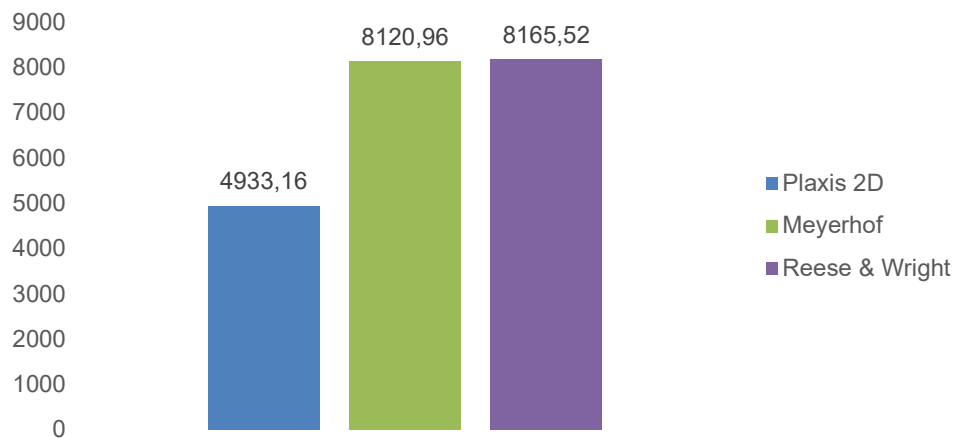
Berdasarkan hasil analisis tersebut, terdapat beberapa variasi data yang diperoleh dari berbagai metode yang digunakan, pada metode Reese & Wright tahanan ujung yang bekerja sangat kecil sedangkan daya dukung selimut yang bekerja sangat besar sehingga dapat memungkinkan bahwa tahanan ujung pada pondasi masih dapat menahan beban lagi. Pada metode meyerhof daya dukung selimut dan tahanan ujung tiang tidak berbeda jauh. Hasil perhitungan daya dukung ultimate menggunakan metode Meyerhof sebesar 2030,21 kN sedangkan metode Reese & Wright 2041,38 kN, maka diambil nilai terkecil sebagai dasar perencanaan yaitu metode Meyerhof sebesar 2030,21 kN.

5.6.2 Hasil Perhitungan Daya Dukung Tiang Kelompok

Kajian kapasitas dukung pondasi menggunakan data N-SPT dan software plaxis 2D sebagai alat bantu hitung dan permodelan sehingga dihasilkan hasil yang berbeda sebagai pembanding.

Berdasarkan hasil analisis software plaxis 2D didapat kapasitas dukung ultimate pondasi tiang bor sebesar 4933,169 kN. Untuk metode Reese & Wright dan Meyerhof didapat hasil sebesar 8165,52 kN dan 8120,96 kN. Perbandingan daya dukung ultimate tiang kelompok dapat dilihat pada Gambar 5.44 berikut.

GRAFIK PERBANDINGAN DAYA DUKUNG ULTIMATE TIANG KELOMPOK



Gambar 5.44 Perbandingan Kapasitas Dukung Ultimate dengan Metode Empiris dan Software Plaxis 2D

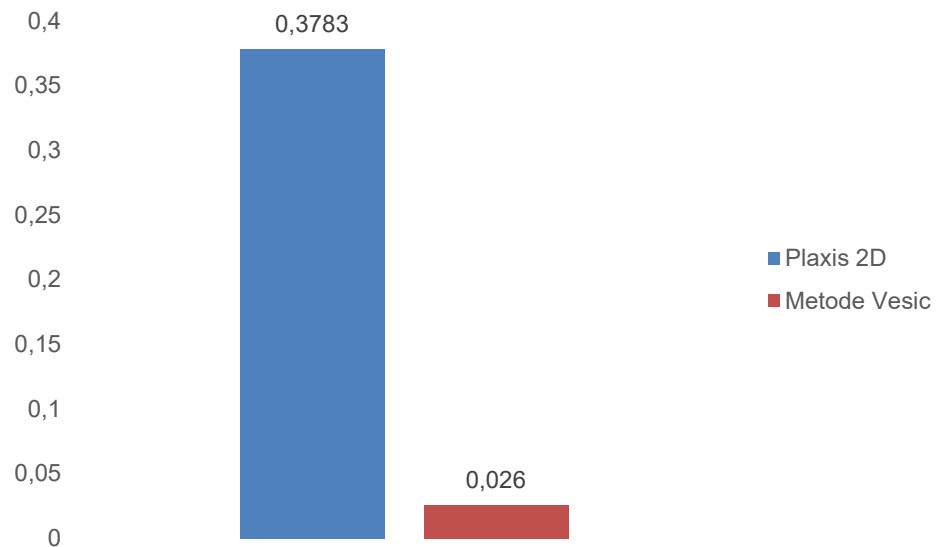
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kapasitas dukung pondasi akibat beban yang terjadi dengan menggunakan metode empiris maupun menggunakan software Plaxis 2D. Dalam Perhitungan menggunakan plaxis hasil yang didapatkan lebih kecil dari gaya yang bekerja pada struktur box culvert sebesar 8109,44 kN. Hal ini akibat pemodelan pondasi pada plaxis 2D menjadi embedded beam row sehingga pembebanan yang di hitung hanya berat dari struktur box culvert dan hasil perhitungan dari plaxis menjadi aman.

5.6.3 Penurunan yang terjadi

Pondasi berfungsi untuk menempatkan bangunann serta menentukan beban yang berada di atasnya menuju lapisan tanah keras tanpa terjadi perubahan ataupun kerusakan tanah, selain itu penurunan struktur masih diperbolehkan namun tidak melebihi syarat yang ditentukan yaitu 1 inch atau 2,5 cm.

Penelitian ini menggunakan metode vesic (1977) untuk menganalisis penurunan yang terjadi pada pondasi, diperoleh hasil sebesar 0,1704 m. Hasil penurunan menggunakan software plaxis 2D menunjukan terjadi penurunan 0,3783 m. Pada hasil pengujian menggunakan Plaxis tidak sesuai dengan syarat penurunan yang ditetapkan yaitu sebesar 1 inch atau 2,5 cm. Dikarenakan ujung

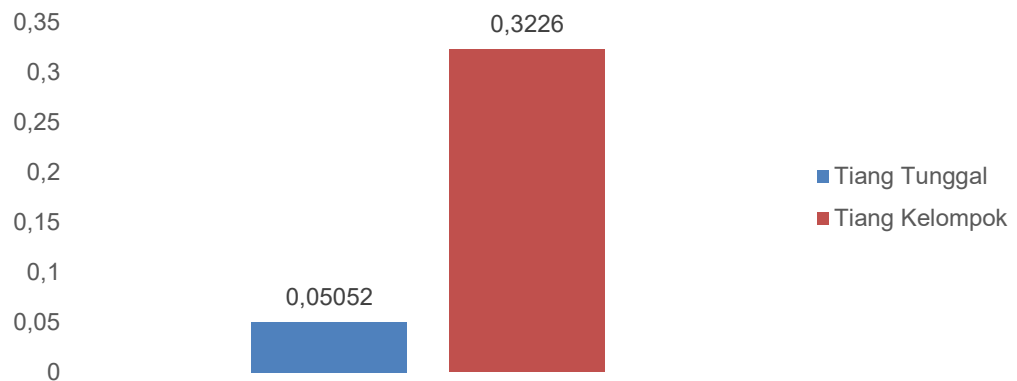
pondasi berada di lapisan tanah keras maka penurunan dapat dianggap sama dengan 0 cm. Berikut ini adalah perbandingan hasil penurunan yang dapat dilihat pada Gambar 5.45.



Gambar 5.45 Perbandingan Hasil Penurunan Pondasi Tiang Kelompok Dengan Metode Vesic dan Plaxis 2D

Penelitian ini melakukan hasil penurunan menggunakan software Plaxis 2D pada kondisi menggunakan tiang tunggal dan tiang kelompok. Pada kondisi tiang tunggal dilakukan dengan beban yang bekerja sebesar 298,3 kN didapatkan penurunan yang terjadi sebesar 0,05052 m. Pada kondisi tiang kelompok dilakukan pembebanan dengan beban sebesar 2385,32 kN didapatkan penurunan yang terjadi sebesar 0,3226 m. Berikut ini adalah perbandingan penurunan tiang kelompok dan tiang tunggal menggunakan Plaxis 2D yang dapat dilihat pada Gambar 5.46.

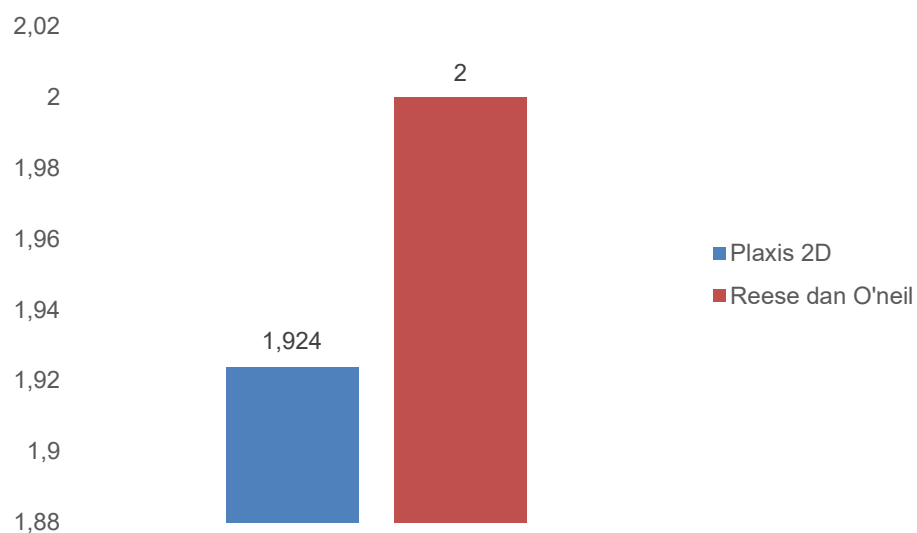
GRAFIK PERBANDINGAN PENURUNAN TIANG MENGGUNAKAN PLAXIS 2D



Gambar 5.46 Perbandingan Hasil Penurunan Tiang Menggunakan Plaxis 2D

5.6.4 Faktor Keamanan (safety Factor)

Seperti pada Gambar 5.16, hasil analisis software Plaxis 2D didapat nilai faktor aman (safety factor) Σ - msf sebesar 1,924, sedangkan safety faktor yang digunakan pada metode empiris merujuk pada faktor aman Reese dan O'neil (1989) yakni sebesar 2,0 dengan kontrol terhadap bangunan baik. Hal ini telah memenuhi syarat pada pondasi *bored pile* dan struktur atas bangunan gedung. Perbandingan kedua nilai SF tersebut disajikan dalam bentuk grafik batang yang dapat dilihat pada Gambar 5.47 berikut ini.



Gambar 5.47 Nilai SF dari Metode Reese dan O'neil dan Software Plaxis 2D

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis daya dukung Tiang Bor pada struktur box culvert dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan perhitungan manual kebutuhan penulangan struktur box culvert diperoleh untuk Penulangan Pelat Bagian Atap Tulangan Pokok digunakan D22-300 dan tulangan bagi P13-150, Penulangan Pelat Bagian dinding Tulangan pokok digunakan D22-300 dan tulangan bagi P13-250 dan Penulangan Pelat Bagian Bawah Tulangan pokok digunakan D22-300 dan tulangan bagi P13-250.
2. Kapasitas dukung pondasi tiang bor berdasarkan metode Meyerhoff $Q_u = 2041,38$ kN dan berdasarkan metode Reese & Wright $Q_u = 2030,21$ kN.
3. Kapasitas dukung pondasi kelompok tiang bor berdasarkan Metode Meyerhoff $Q_{gall} = 8120,96$ kN dan berdasarkan metode Reese & Wright $Q_{gall} = 8165,52$ kN.
4. Penurunan kelompok Tiang berdasarkan Metode Vessic (1997) = 0,026 cm dan berdasarkan Software Plaxis 2D = 0,3783 cm.

6.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan modifikasi jenis pondasi yang lain.
2. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menggunakan software yang lain seperti *All Pile*, *Geo Studio*, *Slope W* dan *Plaxis 3D*.

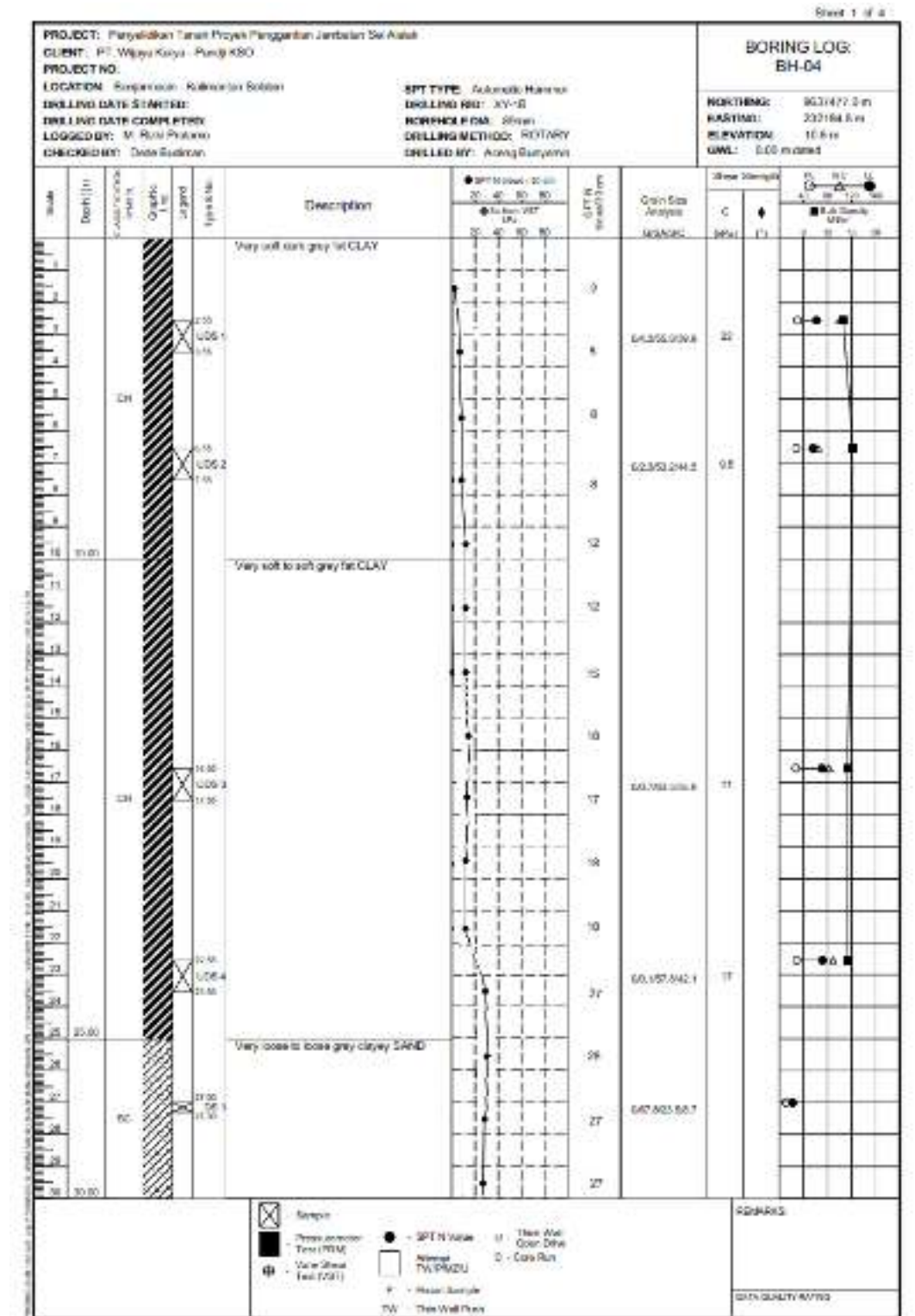
DAFTAR PUSTAKA

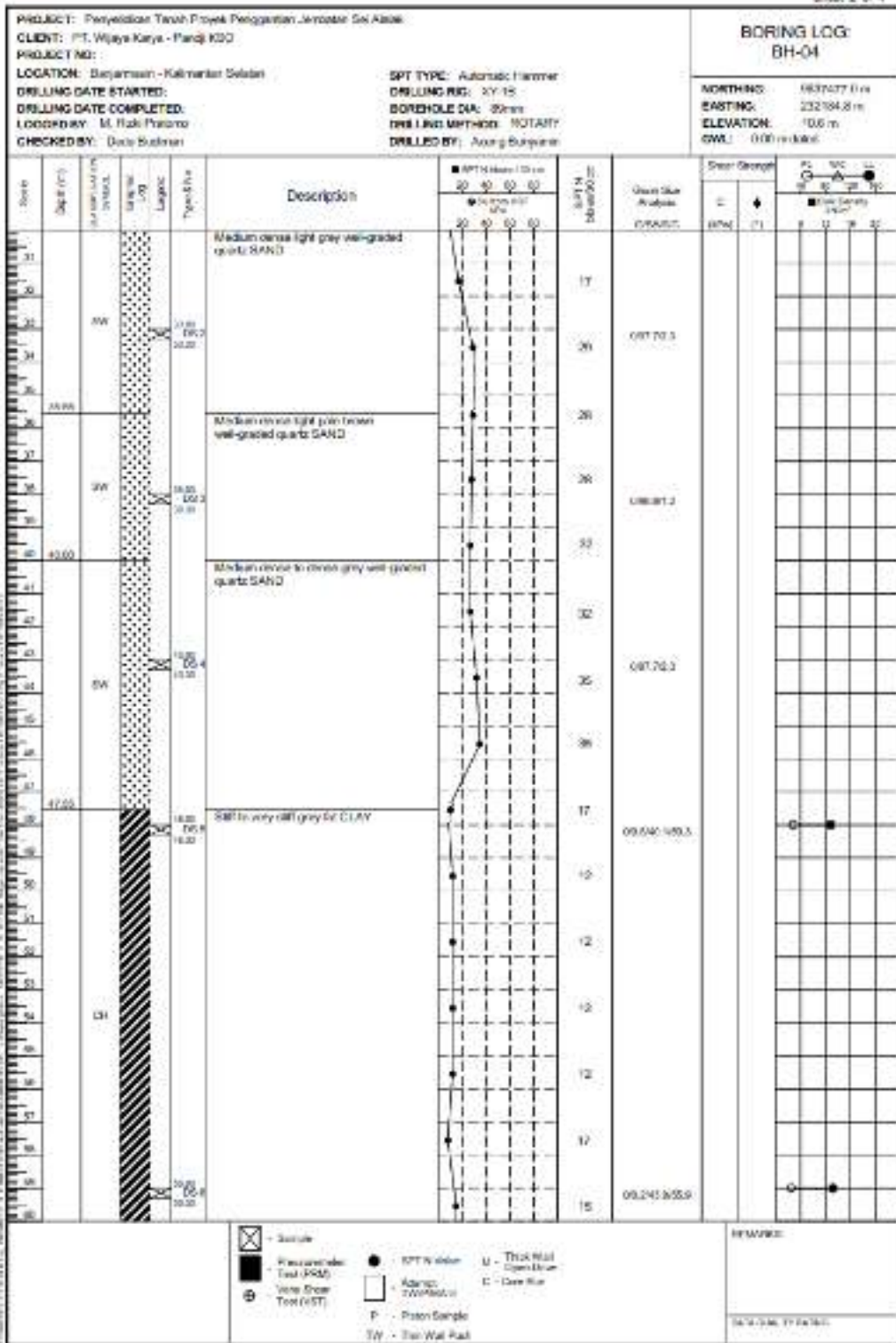
- Aghata, M. N. (2017). Perencanaan Sheet Pile Dengan menggunakan Plaxis. *Fakultas Teknik, Universitas Lampung*, 24-28.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. Cara Uji Penetrasi Lapangan Dengan SPT. SNI No. 4153:2008. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. Pembebanan Untuk Jembatan. SNI No. 1725:2016. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Bowles, J. E. 1986. *Analisa dan Desain Pondasi Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, J. E. 1986. *Analisa dan Desain Pondasi Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, J.E., 2000, Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah Edisi Kedua, Jakarta: Erlangga
- Craig, R. F. 1986. *Mekanika Tanah edisi keempat*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M. 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M. (1993). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Bandung: Erlangga.
- Fahriani, F. dan Apriyanti, Y. 2015. Analisis Daya Dukung Tanah dan Penurunan Pondasi pada Daerah Pesisir Pantai Utara Kabupaten Bangka. *Jurnal Tropil*. Vol. 3 Nomor 2 Juli – Desember 2015. Bangka Belitung.
- Hardiyatmo, H. C. 2002. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. 2003. *Mekanika Tanah 2*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. 2003. *Analisis dan Perancangan Fondasi 2*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Lambe T.W. dan R.V. Whitman. 1969. *Soil Mechanics. John Wiley and Sons. New York*
- Plaxis 2D. 2017. *Material Models Manual version 8.6. Netherland*

- Poulos, H.G. dan E.H. Davis. 1980. *Pile Foundation Analysis And Design*. John Wiley and Sons. New York
- Putra, Hendri Gusti. 2008. Jurnal Rekayasa Sipil : Pertimbangan Dalam Pemilihan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Dengan Beberapa Metoda (Statik,Dinamik,Tes PDA) . Vol 4 no.2 : 37-48.
- Rhamadani, A. 2019. Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi Kaison Pada Abutment Bagian Bentang 20 M Jembatan Lemah Abang. *Fakultas Teknik, Universitas Islam Indonesia*.
- Surjandari, N. S.. 2008. Studi Perbandingan Perhitungan Daya Dukung Aksial Pondasi Tiang Bor Menggunakan Uji Beban Statik dan Metode Dinamik. Media Teknik Sipil. Juli 2008 : 77 – 84. Surakarta.
- Soedarmo, G. D., & Purnomo, S. J. (1993). *Mekanika Tanah I*. Malang: Kanisius.
- Sosrodarsono, Suyono. 2005. Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi. Jakarta : Pradnya Paramita.

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Data N-SPT Bor Log 4





Lampiran 2 : Data Hasil Uji Laboratorium

SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULTS													
PROJECT LOCATION CLIENT				:	Pekerjaan Penyelidikan Tanah Proyek Penggantian Jembatan Sei Alalak								
				:	Banjarmasin - Kalimantan Selatan								
				:	PT. Wijaya Karya - Pandji KSO								
No	Location of Sample	Depth of Sample (Meter)	Sample Type	USCS SOIL CLASS.	INDEX PROPERTIES	CLASSIFICATION							
					Determination of Specific Gravity	Liquid & Plastic Limit Determination			GRAIN SIZE ANALYSIS				
					Specific Gravity	WL (%)	WP (%)	IP (%)	GRAVEL (%)	SAND (%)	SILT (%)	CLAY (%)	% finer by Wt. Passing no. 200 sieve
1	BH - 04	27.00 - 27.30	DS	SC	2.660	21.86	10.65	11.21	0.00	67.79	23.53	8.69	32.22
2	BH - 04	33.00 - 33.30	DS	SW	2.667	-	-	-	0.00	97.74	2.27		2.27
3	BH - 04	38.00 - 38.30	DS	SW	2.678	-	-	-	0.00	98.84	1.17		1.17
4	BH - 04	43.00 - 43.30	DS	SW	2.677	-	-	-	0.00	97.68	2.33		2.33
5	BH - 04	48.00 - 48.30	DS	CH	2.617	88.45	27.35	61.09	0.00	0.56	40.10	59.35	99.45
6	BH - 04	59.00 - 59.30	DS	CH	2.653	91.59	24.47	67.13	0.00	0.20	43.86	55.93	99.80
7	BH - 04	73.00 - 73.30	DS	CH	2.590	99.62	27.27	72.35	0.00	0.16	54.31	45.53	99.85
8	BH - 04	93.00 - 93.30	DS	CH	2.642	99.16	25.00	74.16	0.00	0.13	48.79	51.09	99.88

SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULTS													
PROJECT LOCATION CLIENT				:	Pekerjaan Penyelidikan Tanah Proyek Penggantian Jembatan Sei Alalak								
				:	Banjarmasin - Kalimantan Selatan								
				:	PT. Wijaya Karya - Pandji KSO								
No	Location of Sample	Depth of Sample (Meter)	Sample Type	USCS SOIL CLASS.	INDEX PROPERTIES	CLASSIFICATION							
					Determination of Specific Gravity	Liquid & Plastic Limit Determination			GRAIN SIZE ANALYSIS				
					Specific Gravity	WL (%)	WP (%)	IP (%)	GRAVEL (%)	SAND (%)	SILT (%)	CLAY (%)	% finer by Wt. Passing no. 200 sieve
1	BH - 04	27.00 - 27.30	DS	SC	2.660	21.86	10.65	11.21	0.00	67.79	23.53	8.69	32.22
2	BH - 04	33.00 - 33.30	DS	SW	2.667	-	-	-	0.00	97.74	2.27		2.27
3	BH - 04	38.00 - 38.30	DS	SW	2.678	-	-	-	0.00	98.84	1.17		1.17
4	BH - 04	43.00 - 43.30	DS	SW	2.677	-	-	-	0.00	97.68	2.33		2.33
5	BH - 04	48.00 - 48.30	DS	CH	2.617	88.45	27.35	61.09	0.00	0.56	40.10	59.35	99.45