

Analisis Tiang Bor Pada Struktur Pylon Jembatan Menggunakan Midas GTS NX (Studi Kasus: Jembatan Ir. Soekarno Manado)

Christiano A. Susantyo^{#1}, Fabian J. Manoppo^{#2}, Lanny D. K. Manaroinsong^{#3}

[#]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi

Jl. Kampus UNSRAT Kelurahan Bahu, Manado, Indonesia, 95115

¹christantonio12@gmail.com; ²fabian_jm@unsrat.ac.id; ³lannymanaroinsong@gmail.com

Abstrak

Jembatan Ir. Soekarno Manado merupakan jembatan tipe *cable-stayed* terpanjang di Provinsi Sulawesi Utara. Pada jembatan tipe *cable-stayed*, pylon (menara) jembatanlah yang berfungsi menyalurkan beban dari struktur atas ke struktur fondasi. Fondasi yang digunakan pada pylon jembatan ini ialah fondasi tiang bor. Untuk memikul beban yang besar dari jembatan tersebut dibutuhkan analisis fondasi terhadap daya dukungnya, kemungkinan *settlement* yang terjadi, serta besar defleksi lateral yang terjadi. Dalam menganalisis daya dukung, *settlement*, serta defleksi lateral, dapat digunakan analisis secara teoritis dan metode numerik atau metode elemen hingga dengan bantuan program Midas GTS NX. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan hasil analisis daya dukung, *settlement*, serta defleksi lateral antara analisis secara teoritis dengan hasil analisis dari Midas GTS NX. Pemodelan tanah pada Midas GTS NX menggunakan model Mohr-Coulomb dan *Hardening Soil*. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, model Mohr-Coulomb memberikan hasil yang lebih mendekati hasil analisis secara teoritis. Daya dukung aksial dari Midas GTS NX menggunakan model Mohr-Coulomb lebih kecil 14,11% dari hasil analisis teoritis, sedangkan model *Hardening Soil* 14,39% lebih kecil dari hasil analisis teoritis. Daya dukung lateral dari model Mohr-Coulomb lebih besar 14,05% dari hasil analisis teoritis, sedangkan model *Hardening Soil* 54,46% lebih besar dari hasil analisis teoritis. *Settlement* dari model Mohr-Coulomb 13,85% lebih kecil dari hasil analisis teoritis, sedangkan model *Hardening Soil* 32,67% lebih kecil dari hasil analisis teoritis. Untuk defleksi lateral, model Mohr-Coulomb memberikan hasil defleksi lateral 43% lebih besar dari hasil analisis teoritis, sedangkan model *Hardening Soil* 49,64% lebih besar dari hasil analisis teoritis.

Kata kunci – Midas GTS NX, tiang bor, pylon jembatan, daya dukung, *settlement*, defleksi lateral, *Hardening Soil*

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Jembatan Ir. Soekarno Manado merupakan jembatan bertipe *cable-stayed* terpanjang di Provinsi Sulawesi Utara dengan panjang 1.127 km. Pada jembatan bentang panjang seperti Jembatan Ir. Soekarno Manado, dibutuhkan pilar (*pier*) sebagai struktur pendukung bangunan atas jembatan. Untuk jembatan tipe *cable-stayed*, pylon (menara) jembatanlah yang berfungsi untuk menyalurkan beban dari struktur atas ke struktur fondasi. Untuk menahan beban yang besar seperti pada jembatan, fondasi harus dirancang untuk memiliki daya dukung yang besar, tidak mengalami penurunan berlebihan, dan defleksi berada dalam batas yang diijinkan

Perhitungan daya dukung, *settlement* dan *displacement* dari fondasi dapat dilakukan melalui metode teoritis atau metode konvensional. Metode teoritis dapat menggunakan pendekatan-pendekatan empiris yang telah dikemukakan oleh para ahli. Namun, kondisi di lapangan kadang mengakibatkan metode perhitungan secara teoritis kurang cocok untuk diimplementasikan. Banyak permasalahan kompleks yang memerlukan metode yang akurat untuk mengatasinya. Salah satu metode yang dapat digunakan ialah metode elemen hingga (*Finite Element Method*). Seiring berkembangnya jaman, muncul *software-software* seperti *Plaxis3D* dan *Midas GTS NX* yang dapat membantu perhitungan Metode FEM. Dalam penelitian – penelitian sebelumnya, *software* yang paling umum digunakan dalam metode FEM ialah *Plaxis3D*, sedangkan program lain seperti *Midas GTS NX* sangat jarang digunakan. Maka dari itu, pada penelitian ini digunakan *Midas GTS NX* sebagai alternatif *software* lain dalam analisis fondasi menggunakan metode FEM.

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana perbandingan antara hasil perhitungan teoritis dan metode FEM yang menggunakan program *Midas GTS NX* dalam menganalisis tiang bor pada pylon jembatan.

C. Batasan Penelitian

Batasan – batasan masalah yang dibutuhkan untuk membatasi permasalahan dalam penelitian ini:

- Data tanah yang digunakan merupakan data N-SPT pada lokasi studi kasus
- Fondasi tiang bor menggunakan desain awal rencana
- Digunakan *software Midas GTS NX* dalam metode FEM
- Perhitungan dilakukan dalam kondisi statis, tidak terjadi eksentrisitas dan beban hanya ditinjau pada arah aksial dan lateral
- Tidak dilakukan desain alternatif baru

D. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

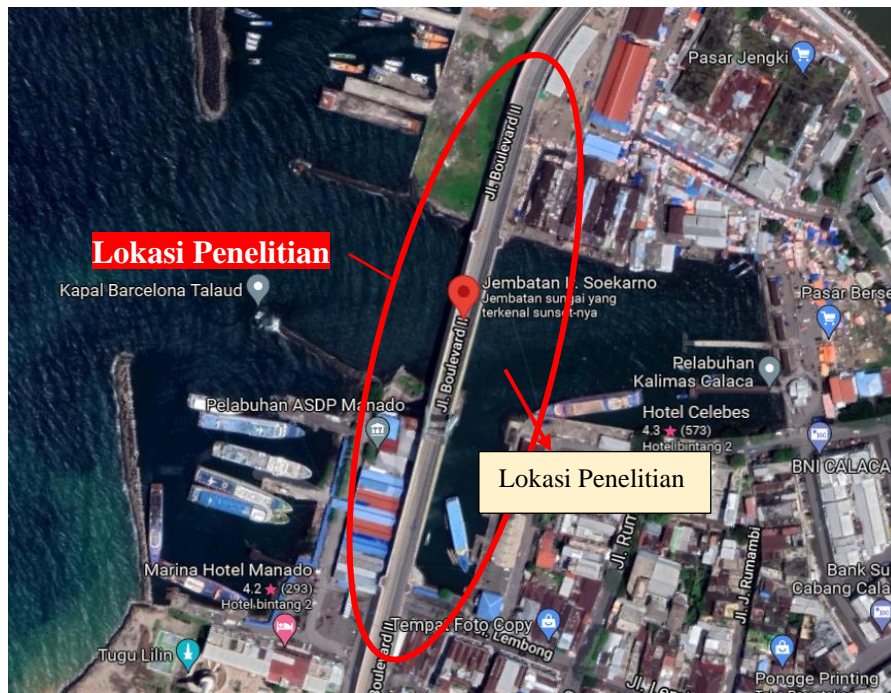
- Membandingkan hasil perhitungan daya dukung aksial fondasi tiang bor pada struktur *pylon* Jembatan Ir. Soekarno Manado secara teoritis dan *Midas GTS NX*
- Membandingkan hasil perhitungan daya dukung lateral fondasi tiang bor pada struktur *pylon* Jembatan Ir. Soekarno Manado secara teoritis dan *Midas GTS NX*

- Membandingkan hasil perhitungan settlement tanah pada struktur *pylon* Jembatan Ir. Soekarno Manado secara teoritis dan *Midas GTS NX*
- Membandingkan hasil perhitungan defleksi lateral fondasi tiang bor pada struktur *pylon* Jembatan Ir. Soekarno Manado secara teoritis dan *Midas GTS NX*.

E. Manfaat Penelitian

Berdasarkan dari latar belakang dan tujuan penelitian di atas, maka diharapkan pihak pembaca dapat memperoleh manfaat sebagai berikut:

- Mengetahui besaran daya dukung tiang bor, besaran penurunan, dan defleksi lateral fondasi tiang pada struktur *pylon* Jembatan Ir. Soekarno Manado.
- Menambah wawasan pemanfaatan *software* di bidang geoteknik, khususnya *software Midas GTS NX*.
- Memahami perbandingan hasil perhitungan teoritis dengan Metode FEM dalam menganalisis fondasi tiang bor.
- Untuk dijadikan pembandingan dalam menganalisis daya dukung tiang bor, khususnya pada struktur *pylon* jembatan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

II. METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi penelitian berada di Jembatan Ir. Soekarno Manado, Kota Manado, Sulawesi Utara. Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Prosedur penelitian yang dilakukan akan digambarkan pada Gambar 2.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

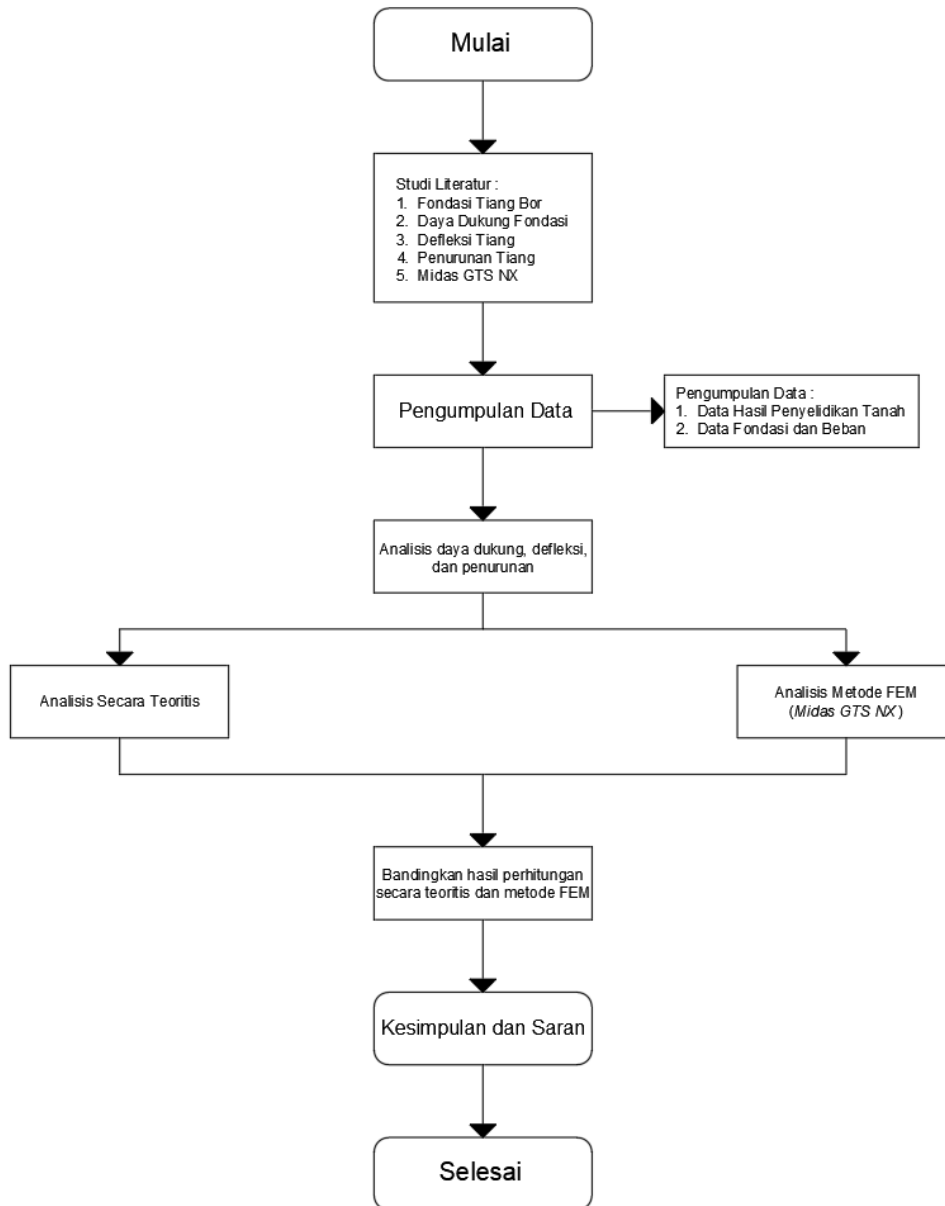
A. Data Penelitian

Data tanah dalam lokasi penyelidikan diperoleh melalui pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) di 3 titik pengeboran. Fondasi yang ditinjau ialah fondasi

yang menopang *pylon* utama Jembatan Ir. Soekarno Manado, dan tanahnya berada pada lokasi pengeboran BH3. Desain fondasi yang dianalisis menggunakan desain awal perencanaan pada Jembatan Ir. Soekarno Manado. Adapun data hasil SPT ditampilkan pada Gambar 3 dan Tabel 1, desain fondasi kelompok pada Gambar 4, dan pembebanan pada Gambar 5.

B. Pengolahan Data N-SPT

Data *N-SPT* perlu dikoreksi terlebih dulu sebelum digunakan. Pengoreksian dan korelasi data *N-SPT* menggunakan bantuan program *NovoSPT*. Hasil koreksi data *N-SPT* akan ditampilkan pada Tabel 2. Adapun hasil korelasi *N-SPT* menggunakan *NovoSPT* akan ditampilkan pada Tabel 3.



Gambar 2. Bagan Alur Penelitian

C. Analisis Daya Dukung Tiang Tunggal

Daya dukung fondasi dianalisis terhadap kemampuan fondasi menahan beban aksial dan beban lateral.

1. Analisis Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal

Daya dukung aksial tiang tunggal dianalisa dengan menggunakan 3 metode, yaitu metode Meyerhof

(1956), metode Quiros Reese (1977), & metode Reese & Wright (1977). Hasil analisis akan ditampilkan pada Tabel 4.

2. Analisis Daya Dukung Lateral Tiang Tunggal

Daya dukung lateral tiang tunggal dianalisis dengan menggunakan Metode Broms (1964). Dalam metode

ini, tiang harus diasumsikan berada pada tanah homogen. Parameter tiang dan tanah dalam analisis metode Broms ini akan ditampilkan pada Tabel 5. Analisis daya dukung lateral akan ditampilkan pada Tabel 6.

D. Analisis Daya Dukung Tiang Kelompok

1. Daya Dukung Aksial Tiang Kelompok

Analisis daya dukung aksial tiang kelompok dilakukan dengan konsep efisiensi tiang menggunakan metode Fled. Gambar interaksi antar tiang akan ditampilkan pada Gambar 6. Selain memperhitungkan dengan konsep efisiensi tiang, daya dukung aksial tiang kelompok juga perlu dibandingkan dengan jumlah daya dukung tiang tunggal dalam kelompok tersebut. Tabel 7 menampilkan hasil perhitungan daya dukung aksial tiang kelompok.

2. Daya Dukung Lateral Tiang Kelompok

Daya dukung lateral tiang kelompok juga dianalisis menggunakan konsep efisiensi grup yang dikutip dari buku Prakash & Sharma (1990). Analisis daya dukung lateral tiang kelompok akan ditampilkan pada Tabel 8.

E. Analisis Defleksi Lateral Tiang Bor

1. Defleksi Lateral Tiang Tunggal

Defleksi lateral tiang tunggal menggunakan metode Broms (1964). Hasil analisis ditampilkan pada Tabel 6.

2. Defleksi Lateral Tiang Kelompok

Defleksi lateral tiang kelompok menggunakan metode Broms (1964). Hasil analisis ditampilkan pada Tabel 8.

F. Analisis Penurunan (Settlement) Tiang Bor

1. Settlement tiang tunggal

Analisis *settlement* tiang tunggal menggunakan konsep penurunan elastis yang dikemukakan oleh Vesic (1977). Hasil Perhitungan ditampilkan pada Tabel 9.

2. Settlement Tiang Kelompok

Settlement tiang kelompok dianalisis dengan menggunakan persamaan empiris dari Vesic (1969),

dan Meyerhof (1976). Hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 10.

G. Analisis Metode FEM (Midas GTS NX)

Midas GTS NX merupakan perangkat lunak yang berbasis pendekatan elemen hingga (FEM) yang digunakan untuk menganalisis berbagai permasalahan geoteknik. Analisis dilakukan dengan menggunakan model keruntuhan tanah Mohr-Coulomb (MC) dan *Hardening Soil* (HS).

Parameter tanah dan tiang yang dimasukkan ke dalam program *Midas GTS NX* akan ditampilkan pada Tabel 11, Tabel 12, dan Tabel 13. Pemodelan geometri akan ditampilkan pada Gambar 7. Kurva *load vs settlement* model MC akan ditampilkan pada Gambar 8, sedangkan model HS akan ditampilkan pada Gambar 9. Keluaran (*output*) *settlement* model MC ditampilkan pada Gambar 10, dan model HS ditampilkan pada Gambar 11. Keluaran (*output*) defleksi pada *pile cap* ditampilkan pada Gambar 12 untuk model MC, dan Gambar 13 untuk model HS. Hasil analisis dari *Midas GTS NX* ditampilkan pada Tabel 14.

H. Perbandingan Hasil

Hasil perbandingan akan ditampilkan pada Tabel 15. Berdasarkan hasil perhitungan fondasi tiang bor pada struktur *pylon* Jembatan Ir. Soekarno Manado secara teoritis dan FEM, perhitungan menggunakan *Midas GTS NX* telah memberikan hasil yang cukup memuaskan dengan persentase selisih yang tidak terlalu besar (<50%). Pemodelan menggunakan keruntuhan Mohr-Coulomb memberikan hasil yang lebih mendekati dengan perhitungan teoritis dibandingkan model keruntuhan *Hardening Soil*.

Persentase selisih terbesar terdapat pada analisis defleksi *pile cap* (>40%). Hal ini mungkin disebabkan oleh 2 hal, yaitu (1) parameter *interface* tiang terhadap tanah yang dimasukkan pada *Midas GTS NX* belum tepat; (2) perhitungan dengan metode Broms (1964) menghasilkan daya dukung yang lebih kecil dibandingkan hasil *Midas GTS NX* yang mempengaruhi besar defleksi yang terjadi. Adapun parameter *interface* tiang sebaiknya didapatkan melalui hasil pengujian *static loading test*.

TABEL 1
Data Tanah & Klasifikasi Tanah SPT

Kedalaman (m)	Klasifikasi Tanah	Tebal (m)	N-SPT
0 - 10	Soft Clayey Sandy Silt	10	4
10 - 12	Medium Dense Silty Fine Sand	2	12
12 - 20	Very Dense Sand	8	38
20 - 32	Very Dense Silty Sand	12	50
32 - 50	Dense Silty Sand	18	35

Sumber: Hasil Analisis

TABEL 2
Hasil Koreksi N-SPT Dari *NovoSPT*

Kedalaman (m)	Klasifikasi Tanah	Tebal (m)	N-SPT	N ₆₀	C _N	(N ₁) ₆₀
0 - 10	Soft Clayey Sandy Silt	10	4	4	1.06	4
10 - 12	Medium Dense Silty Fine Sand	2	12	13	1.01	13
12 - 20	Very Dense Sand	8	38	40	0.82	33
20 - 32	Very Dense Silty Sand	12	50	52	0.65	34
32 - 50	Dense Silty Sand	18	35	37	0.49	18

Sumber: Hasil Analisis

TABEL 3
Hasil Korelasi N-SPT Terhadap Parameter Tanah (*NovoSPT*)

Depth (m)	Soil Behaviour	Length (m)	γ (kN/m ³)	s_u (kPa)	ϕ (°)	E_s	
						MPa	kPa
0 - 10	Soft Clayey Sandy Silt	10	17.95	26.5	0	10	10000
10 - 12	Medium Dense Silty Fine Sand	2	17.3	0	28.9	20.5	20500
12 - 20	Very Dense Sand	8	18.9	0	30.5	54.7	54700
20 - 32	Very Dense Silty Sand	12	19.6	0	31	70.4	70400
32 - 50	Dense Silty Sand	18	18.9	0	30.3	50.7	50700

Sumber: Hasil Analisis

TABEL 4
Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal

Metode	Q _s		Q _p		Q _{ult}		Q _{all} (FK = 2.5)	
	(ton)	(kN)	(ton)	(kN)	(ton)	(kN)	(ton)	(kN)
Meyerhof (1956)	254.97	2501.22	471.37	4624.10	726.33	7125.31	290.53	2850.12
Quiros & Reese (1977)	711.57	6980.54	59.18	580.57	770.75	7561.10	308.30	3024.44
Reese & Wright (1977)	800.65	7854.37	78.12	766.35	878.77	8620.72	351.51	3448.29

Sumber: Hasil Analisis

TABEL 5
Parameter Tanah dan Tiang Untuk Analisis Metode Broms

Properties Tanah		
Berat Jenis Rata-Rata (γ)	18.80	kN/m ³
Sudut Geser Dalam Rata-Rata (ϕ)	24.19	°
Modulus Elastisitas Tanah Rata-Rata (E_s)	45961.90	kPa
Koef. Tekanan Pasif (K_p)	2.39	
Properties Tiang		
Mutu Beton (f_c)	50	MPa
Diameter Tiang (d)	0.88	m
Panjang Tiang (L)	40.00	m
Modulus Elastisitas Tiang (E_p)	33234.02	MPa
	33234018.7	kPa
Momen Inersia Tiang (I_p)	0.0294	m ⁴
Section Modulus (S_x)	0.0669	m ³
Kuat Tarik Lentur (F_y)	5	MPa
	5000	kPa

TABEL 6
Analisis Lateral Tiang Tunggal Metode Broms

Daya Dukung & Defleksi Lateral Menurut Broms (1964)	
1. Pengecekan Prilaku Tiang	
Kriteria:	$K_r \geq 0.01$... Tiang Pendek (kaku)
	$K_r < 0.01$... Tiang Panjang (elastis)
	$K_r = \frac{E_p I_p}{E_h L^4} = 0.0000083 < 0.01$
Kesimpulan : Tiang berperilaku <u>tiang panjang</u>	
2. Cek Keruntuhan Tanah Akibat Beban Lateral	
	$M_{maks} = \gamma d L^3 K_p = 2529023 \text{ kN.m}$
	$M_y = S_x \times F_y = 334.52 \text{ kN.m}$
Kesimpulan: $M_{maks} > M_y$, maka tidak terjadi keruntuhan tanah, dan gaya lateral ultimit ditentukan kekuatan tiang dalam menahan beban	
3. Cek Keruntuhan Tiang Akibat Momen Lentur Maksimum Tiang	
	$f = 0.82 \sqrt{\frac{H_u}{d K_{py}}} = 0.13 \sqrt{H_u}$
	$H_u = \frac{2M_y}{e + \frac{2f}{3}} = 389.71 \text{ kN}$
Dari grafik, diperoleh $H_u = 397.82 \text{ kN}$	
4. Defleksi Lateral Tiang	
	$y_o = \frac{0.93 \times H}{(n_h)^{\frac{3}{5}} \times (E_p \times I_p)^{\frac{2}{5}}} = 0.002101 \text{ m} \approx 2.10 \text{ mm}$

TABEL 7
Daya Dukung Aksial Tiang Kelompok

Metode DD AKSIAL	Metode Fled		Asumsi $E_g = 1$	
	$Q_{g,ult}$	$Q_{g,all}$	$Q_{g,ult}$	$Q_{g,all}$
Meyerhof (1956)	277887.13	111154.85	320638.99	128255.60
Poulos & Davis	498670.90	199468.36	575389.50	230155.80
Quiros & Reese (1977)	294882.99	117953.20	340249.60	136099.84
Reese & Wright (1977)	336208.03	134483.21	387932.34	155172.94

Sumber: Hasil Analisis

TABEL 8
Daya Dukung & Defleksi Lateral Tiang Kelompok

Daya Dukung & Defleksi Tiang Kelompok	
1. Daya Dukung Lateral Tiang Kelompok	
S/B	$= \frac{1.14}{0.88} = 1.30 \dots$ digunakan nilai G_e untuk S/B terkecil = 0.5
H_u	$= 389.71$ kN (daya dukung lateral tiang tunggal)
$(H_u)_g$	$= G_e \times n \times H_u$ $= 8768.47$ kN
Dengan $SF = 2.5$, maka:	
$(H_u)_g$	$= \frac{(H_u)_g}{SF}$ $= 3507.39$ kN
2. Defleksi Lateral Tiang Kelompok	
y_o	$= \frac{0.93 \times H}{(n_h)^{\frac{3}{5}} \times (E_p \times I_p)^{\frac{2}{5}}} = 0.04727$ m ≈ 47.27 mm

TABEL 9
Settlement Tiang Tunggal

Settlement Metode Vesic (1977)	
1. Penurunan akibat deformasi tiang	
$S_{e(1)}$	$= \frac{(Q_{wp} + \xi \times Q_{ws}) \times L}{A_p \times E_p} = 0.00416$ m $= 4.16$ mm
2. Penurunan akibat beban pada ujung tiang	
$S_{e(2)}$	$= \frac{q_{wp} \times D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp} = 0.00513$ m $= 5.13$ mm
3. Penurunan akibat beban sepanjang tiang	
I_{ws}	$= 2 + 0.35 \sqrt{\frac{L}{D}} = 4.36$
$S_{e(3)}$	$= \left(\frac{Q_{ws}}{pL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} = 0.00174$ m $= 1.74$ mm

TABEL 10
Settlement Tiang Kelompok

Settlement Tiang Kelompok Metode Vesic (1969)	
$S_{g(e)}$	$= \sqrt{\frac{B_g}{D}} \times s_e$ $= 56.22$ mm
Metode Meyerhof (1976)	
q	$= \frac{Q_g}{B_g \times L_g}$ $= 400.26$ kPa
I	$= 1 - \frac{L}{8 \times B_g} \geq 0.5$ $= 0.78$
$S_{g(e)}$	$= \frac{0.96 \times q \times \sqrt{B_g \times I}}{N_{e0}}$ $= 38.82$ mm

TABEL 11
Material Tanah MC & Tiang

Name	Beton	Soft Clayey Sandy Silt	Medium Dense Silty Fine Sand	Very Dense Sand	Very Dense Silty Sand	Dense Silty Sand	Pile	Pile to Soil Interface
Material	Isotropic	Isotropic	Isotropic	Isotropic	Isotropic	Isotropic	Isotropic	Interface and Pile
Model Type	Elastic	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Elastic	Pile
General								
Elastic Modulus, E (kN/m ²)	33234018.7	10000	20500	54700	70400	50700	33234019	-
Poisson's Ratio ν	0.18	0.20	0.30	0.30	0.30	0.30	0.3	-
Unit Weight, γ (kN/m ³)	24	17.95	17.3	18.9	19.6	18.9	24	-
K_o		automatic	automatic	automatic	automatic	automatic	-	-
Non-Linear								
Cohesion, c (kN/m ²)	-	25	0	0	0	0	-	-
Frictional Angle, ϕ (°)	-	0	28.9	30.5	31	30.3	-	-
Ultimate Shear Force (kN/m ²)	-	-	-	-	-	-	-	174.51
Shear Stiffness Modulus (kN/m ³)	-	-	-	-	-	-	-	37876.30
Normal Stiffness Modulus (kN/m ³)	-	-	-	-	-	-	-	44446.68

TABEL 12
Material Tanah HS

Name	Soft Clayey Sandy Silt	Medium Dense Silty Fine Sand	Very Dense Sand	Very Dense Silty Sand	Dense Silty Sand
Material	Isotropic	Isotropic	Isotropic	Isotropic	Isotropic
Model Type	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil
General					
Elastic Modulus, E (kN/m ²)	10000	20500	54700	70400	50700
Poisson's Ratio ν	0.20	0.30	0.30	0.30	0.30
Unit Weight, γ (kN/m ³)	17.95	17.3	18.9	19.6	18.9
K_o	automatic	automatic	automatic	automatic	automatic
Non-Linear					
Secant Stiffness in Tri-Axial Test, E_{50ref} (kPa)	6000	8000	70800	85000	60000
Tangential Stiffness Primary Oedometer Test Loading, E_{oedref} (kPa)	6000	8000	70800	85000	60000
Unloading/Reloading Stiffness, E_{unref} (kPa)	18000	24000	212400	255000	180000
Failure Ratio, R_f	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Reference Pressure, P_{ref} (kPa)	100	100	100	100	100
Frictional Angle, ϕ (°)	0	28.9	30.5	31	30.3
Power of Stress Level Dependency, m	1	0.5	0.5	0.5	0.5
Dilatancy Angle, ψ (°)	0	0	0	5	0
Cohesion, c (kPa)	25	0	0	0	0
PreOverBurden Pressure, POP (kPa)	0	0	0	0	0

TABEL 13
Property Tanah & Tiang

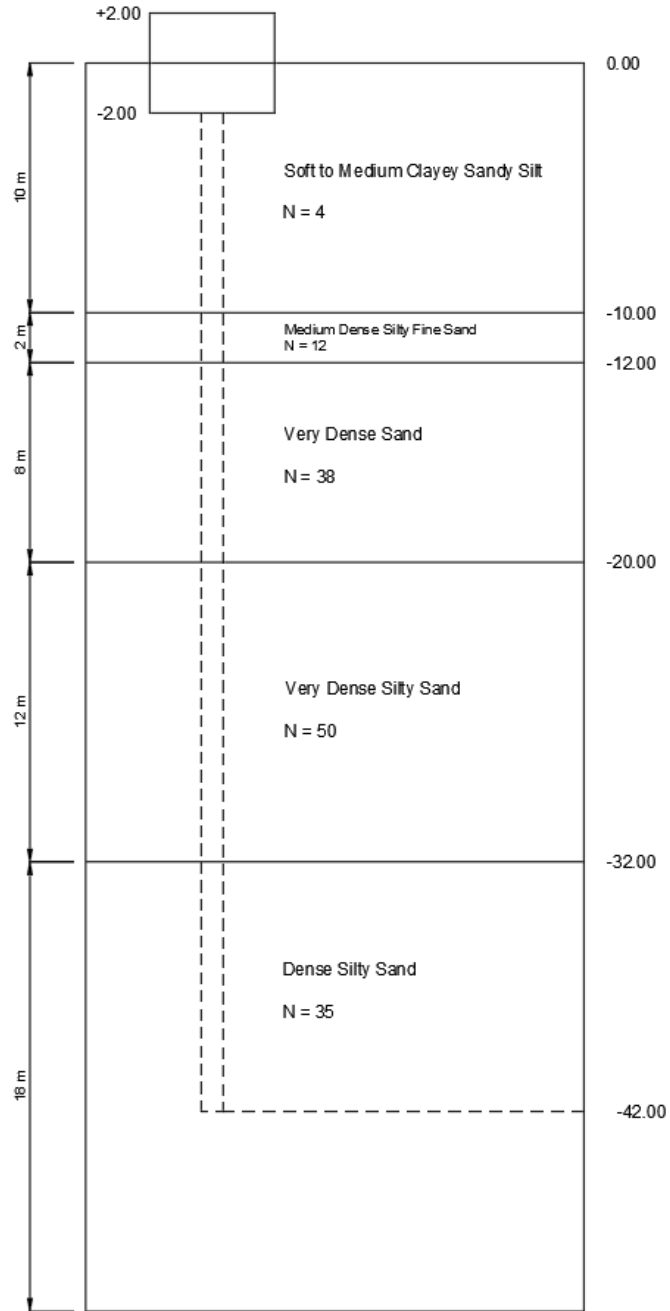
Name	Beton	Soft Clayey Sandy Silt	Medium Dense Silty Fine Sand	Very Dense Sand	Very Dense Silty Sand	Dense Silty Sand	Pile	Pile (Interface)	Pile Tip	Pile to Concrete
Type	3D	3D	3D	3D	3D	3D	1D	1D	Other	1D
Model Type	Beton	Soft Clayey Sandy Silt	Medium Dense Silty Fine Sand	Very Dense Sand	Very Dense Silty Sand	Dense Silty Sand	Beam	-	Pile Tip	-
Material	-	-	-	-	-	-	Pile	Pile	-	-
Section	-	-	-	-	-	-	Solid Round	-	-	-
Section Size (m)	-	-	-	-	-	-	0.88	-	-	-
Thickness (m)	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1
Tip Bearing Capacity (kN)	-	-	-	-	-	-	0.88	-	580.57	-
Tip Spring Stiffness (kN/m)	-	-	-	-	-	-	-	1	11611.32645	1

TABEL 14
Hasil Analisis Midas GTS NX

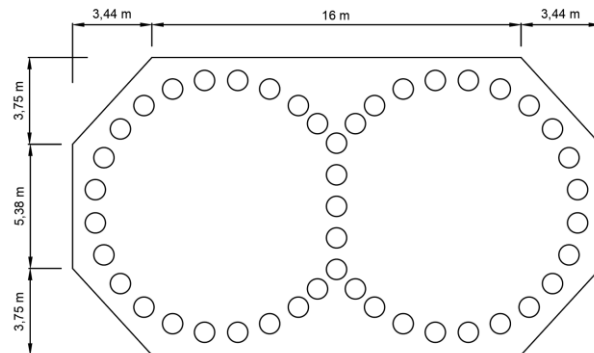
	Model MC	Model HS
Daya Dukung Aksial (kN)	277058.48	276159.45
Daya Dukung Lateral (kN)	10202.13	19253.75
Settlement (mm)	33.44	26.14
Defleksi (mm)	82.94	93.88

TABEL 15
Perbandingan Hasil

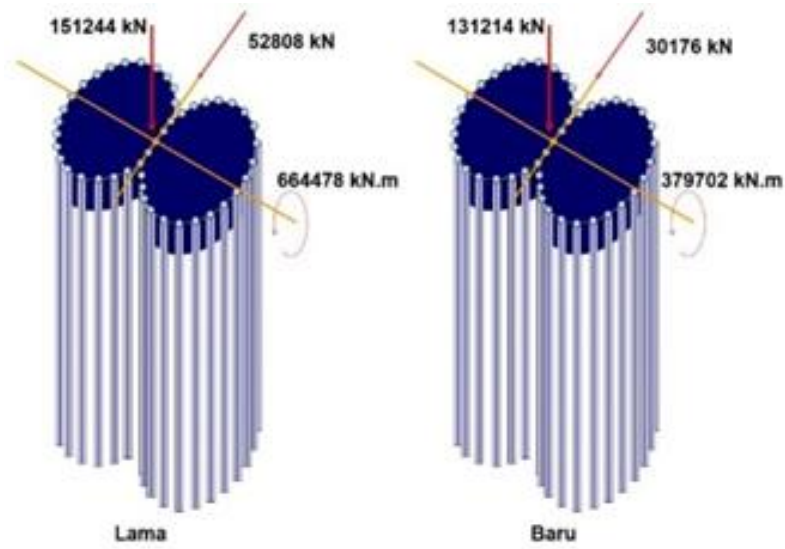
DAYA DUKUNG AKSIAL ULTIMIT								
MIDAS GTS NX			TEORITIS					
			Efisiensi Tiang Metode Fled			Jumlah DD Tiang Tunggal		
MC	HS		Daya (kN)	Selisih (%)		Daya (kN)	Selisih (%)	
				MC	HS		MC	HS
277058.48	276159.45	Meyerhof (1956)	277887.13	0.30	0.62	320638.99	13.59	13.87
		Quiros & Reese (1977)	294882.99	6.04	6.35	340249.60	18.57	18.84
		Reese & Wright (1977)	336208.03	17.59	17.86	387932.34	28.58	28.81
DAYA DUKUNG LATERAL ULTIMIT								
MIDAS GTS NX		TEORITIS	Selisih (%)					
MC	HS	Daya Dukung (kN)	MC			HS		
10202.13	19253.75	8768.47	14.05			54.46		
SETTLEMENT								
MIDAS GTS NX			Teoritis	Selisih (%)				
MC	HS		Settlement (mm)	MC		HS		
33.44	26.14	Vesic (1969)	56.22	40.52		53.51		
		Meyerhof (1976)	38.82	13.85		32.67		
DEFLEKSI LATERAL								
MIDAS GTS NX		TEORITIS	Selisih (%)					
MC	HS	Defleksi (mm)	MC			HS		
82.94	93.88	47.27	43.00			49.64		



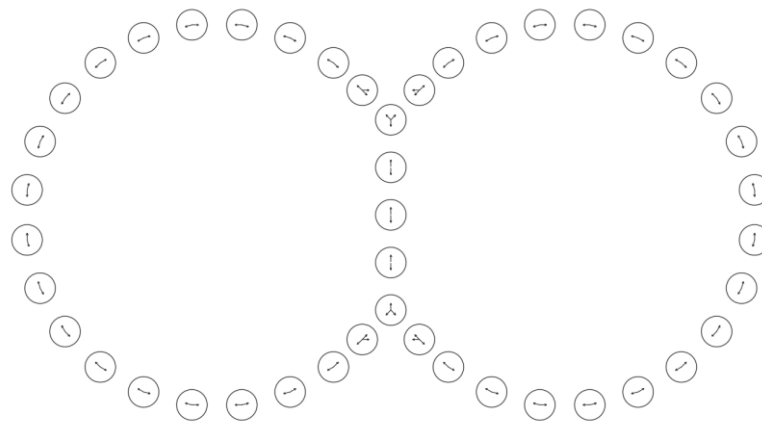
Gambar 3. Lapisan Tanah di Bawah Pylon



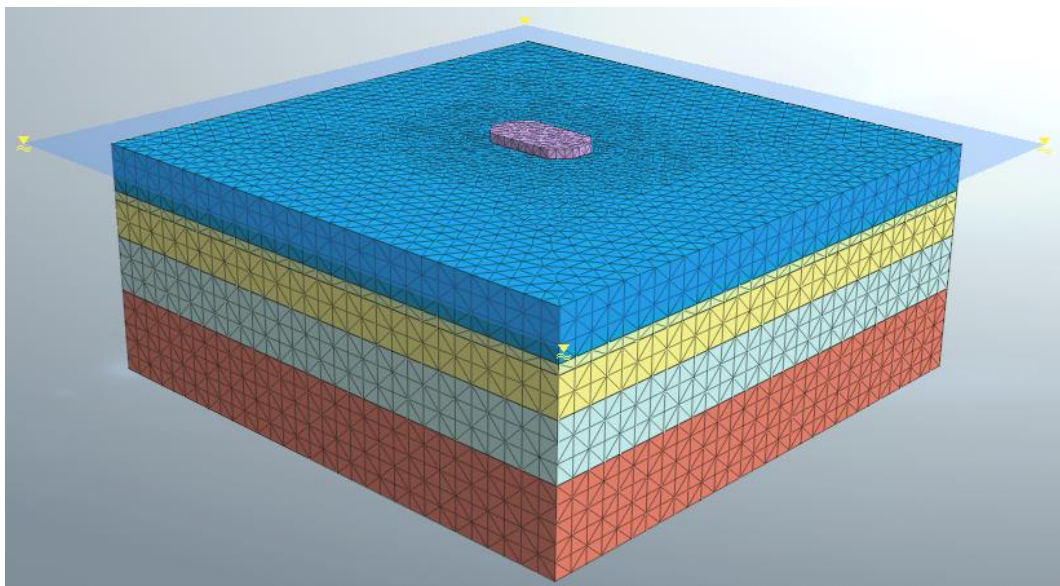
Gambar 4. Desain Awal Perencanaan Fondasi



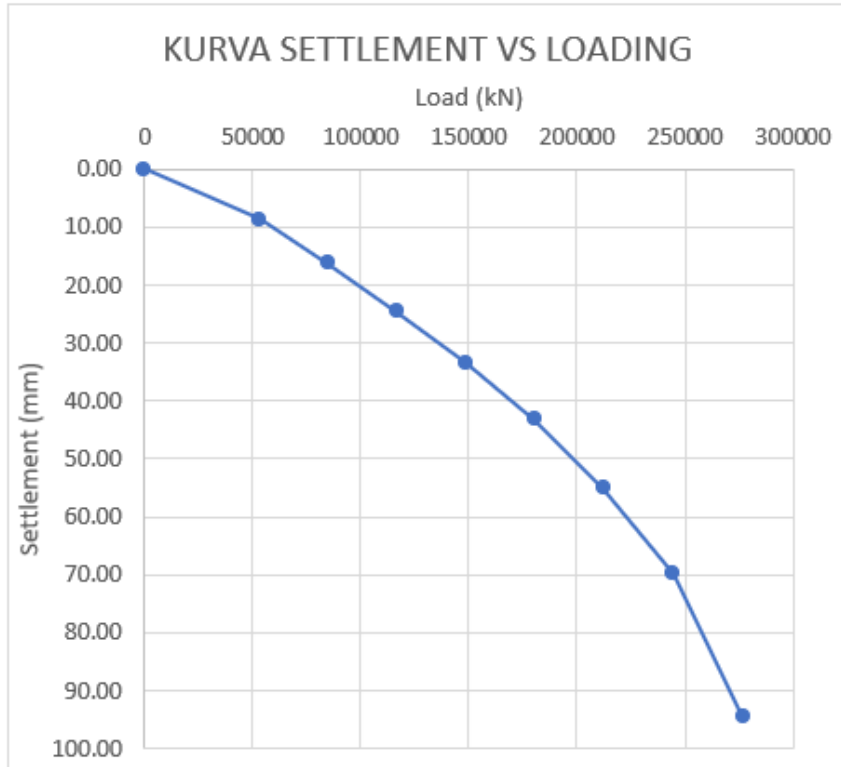
Gambar 5. Beban Rencana



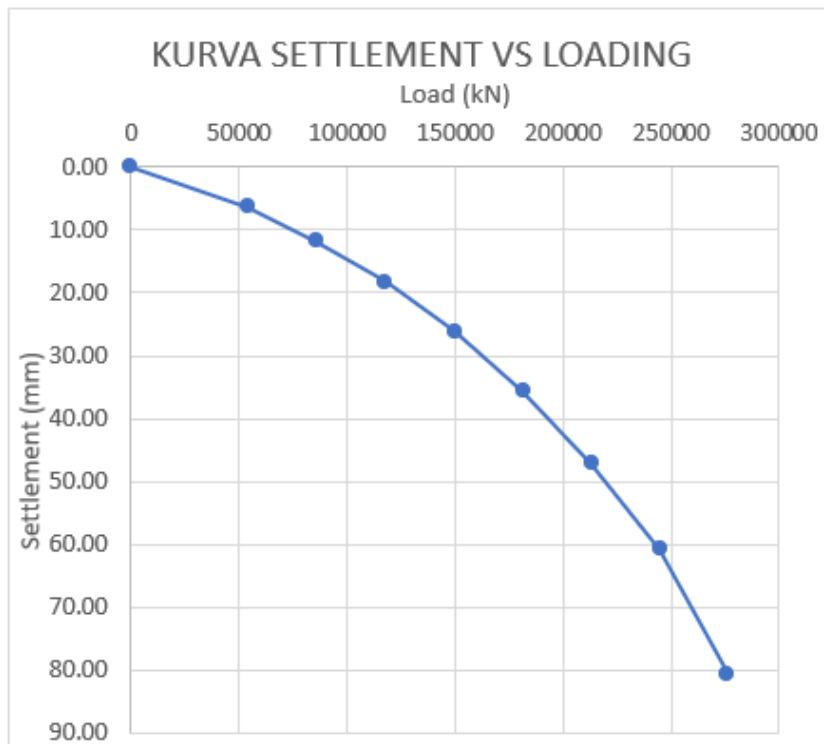
Gambar 6. Interaksi Antar Tiang Metode Fled



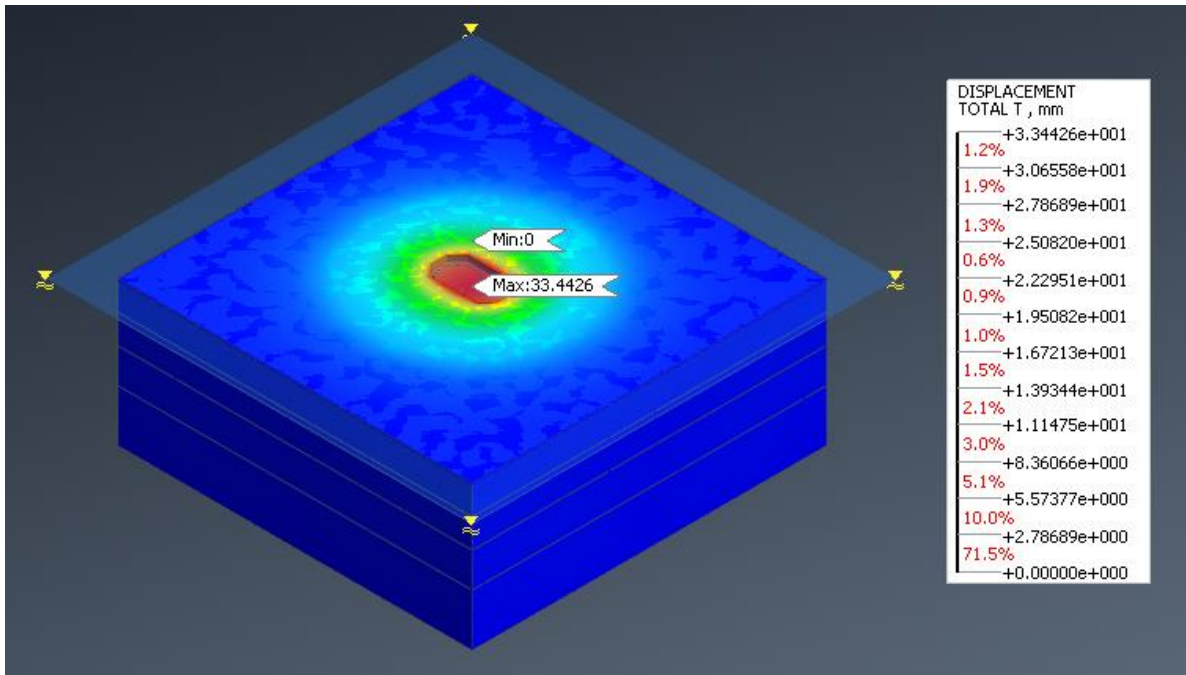
Gambar 7. Pemodelan Geometri



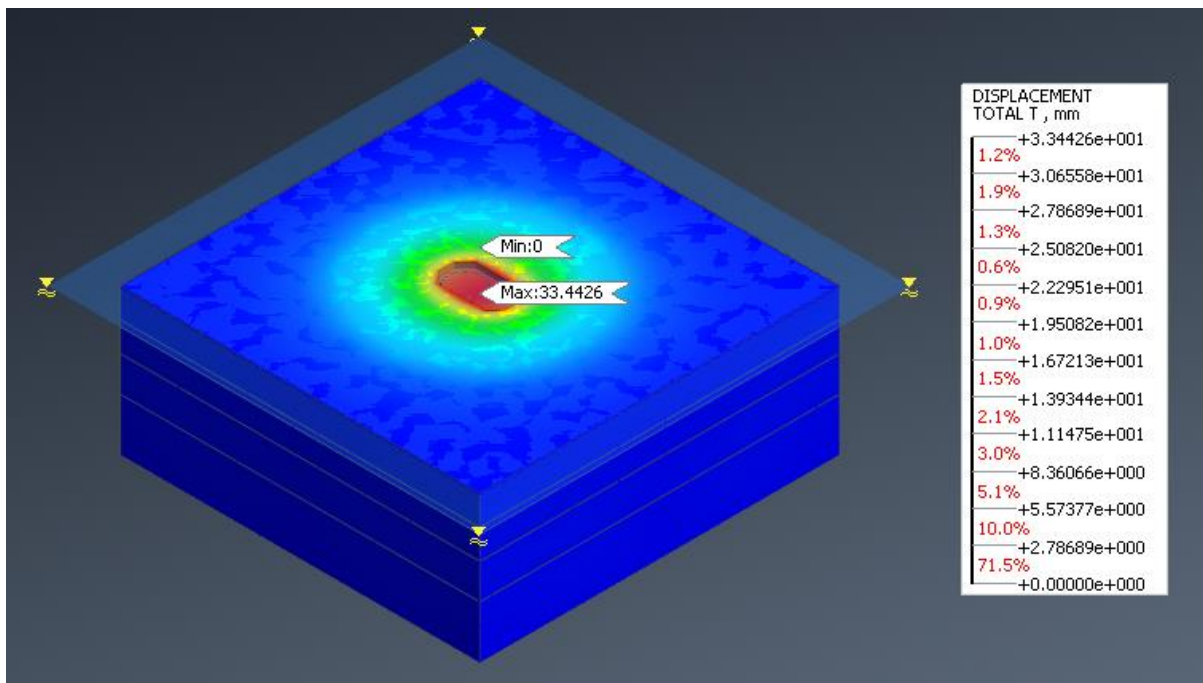
Gambar 8. Kurva Load vs Settlement Model MC



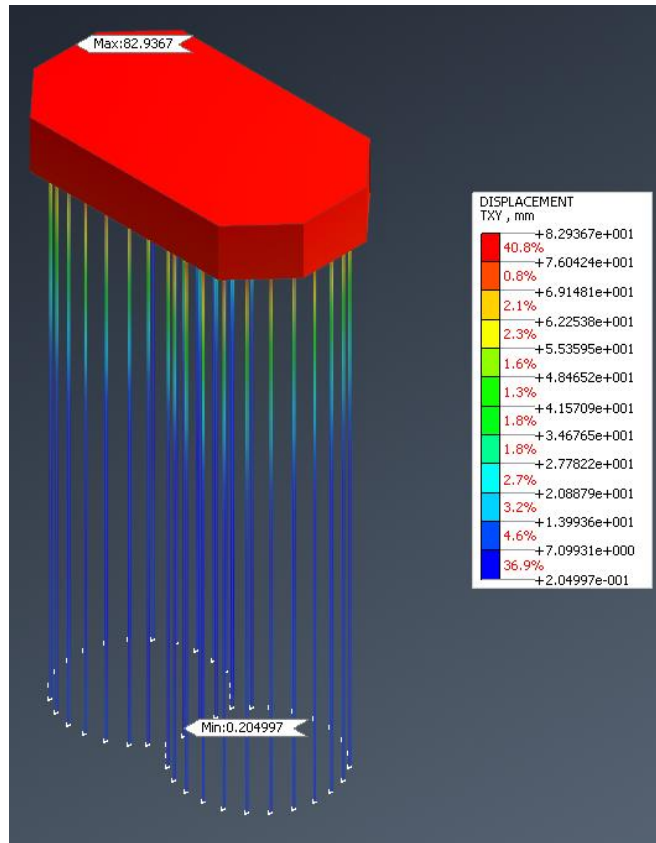
Gambar 9. Kurva Load vs Settlement Model HS



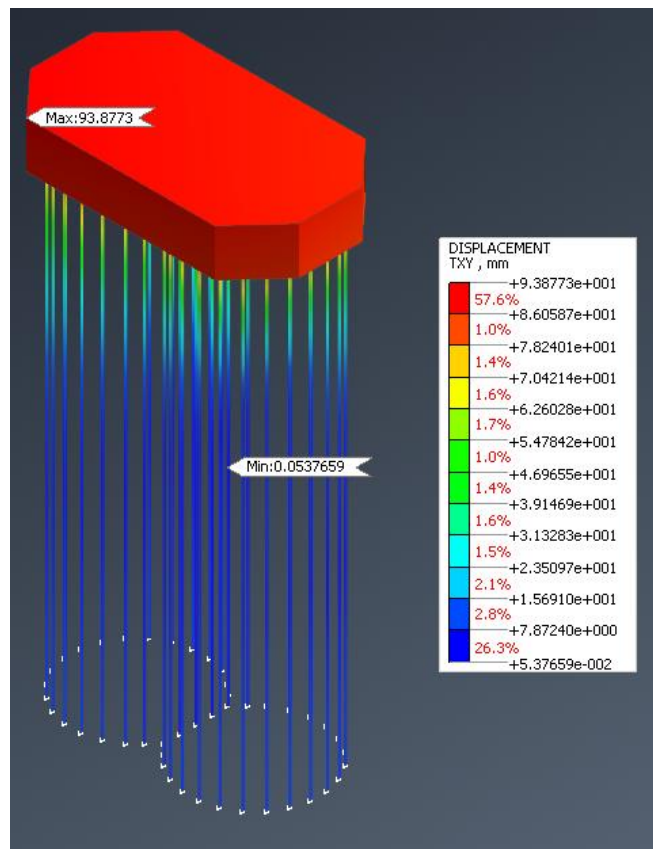
Gambar 10. Total Settlement Model MC



Gambar 11. Total Settlement Model HS



Gambar 12. Defleksi Pada *Pile Cap* Model MC



Gambar 13. Defleksi Pada *Pile Cap* Model HS

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil analisis fondasi tiang bor pada struktur *pylon* Jembatan Ir. Soekarno Manado secara teoritis maupun menggunakan *Midas GTS NX* dengan pemodelan Mohr-Coulomb (MC) dan *Hardening Soil* (HS), dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Daya dukung aksial dari *Midas GTS NX* menggunakan model Mohr-Coulomb 14.11% lebih kecil terhadap perhitungan teoritis dan model *Hardening Soil* 14.39% lebih kecil terhadap perhitungan teoritis.
2. Perhitungan daya dukung lateral dari *Midas GTS NX* menggunakan model Mohr-Coulomb dengan persentase selisih 14.05% lebih besar terhadap perhitungan teoritis (metode Broms, 1964). Penggunaan model *Hardening Soil* berbeda cukup besar dengan persentase selisih 54.46% lebih besar dari perhitungan teoritis.
3. Perhitungan *settlement* tanah dari *Midas GTS NX* lebih mendekati hasil perhitungan *settlement* metode Meyerhof (1976), dengan persentase selisih terhadap model Mohr-Coulomb sebesar 13.85% lebih kecil, dan terhadap *Hardening Soil* sebesar 32.67% lebih kecil. Sedangkan selisih terhadap metode Vesic (1969) cukup besar, yaitu hasil dari pemodelan Mohr-Coulomb lebih kecil 40.52% dari metode Vesic (1969), dan *Hardening Soil* lebih kecil 53.51% dari metode Vesic (1969).
4. *Midas GTS NX* memberikan hasil perhitungan defleksi lateral lebih besar dibandingkan metode Broms (1964). Dengan persentase selisih terhadap model Mohr-Coulomb sebesar 43%, dan terhadap model *Hardening Soil* sebesar 49.64%.

B. Saran

1. Perlu adanya hasil uji laboratorium untuk mendapatkan parameter tanah yang sesuai dalam pemodelan *Hardening Soil* pada *Midas GTS NX*.
2. Diperlukan hasil pengujian tiang seperti *static loading test* sebagai acuan parameter tiang pada program *Midas GTS NX*.

3. Dalam analisis defleksi lateral, perlu dipertimbangkan menggunakan metode lain.
4. Hasil perhitungan sebaiknya dibandingkan juga dengan hasil pengujian di lapangan.
5. Dapat dilakukan penelitian lebih lanjut dengan mempertimbangkan program metode elemen hingga lain.

KUTIPAN

- [1] Brinkgreve, R. B. J., & PLAXIS BV (Ed.). (1999). Beyond 2000 in computational geotechnics: Ten years of PLAXIS International; proceedings of the International Symposium Beyond 2000 in Computational Geotechnics, Amsterdam, the Netherlands, 18 - 20 March 1999. Balkema.
- [2] Broms, B. B. (1964a). The Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soil, *Journal of The Soil Mechanics Division*. ASCE, 90(2), 123–156.
- [3] Coduto, D. P., Kitch, W. A., & Yeung, M. R. (2016). *Foundation design: Principles and practices* (Third edition). Pearson.
- [4] Das, B. M. (1995a). *Mekanika Tanah (Prinsip—Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1* (N. E. Mochtar & I. B. Mochtar, Penerj.; Vol. 1). Erlangga.
- [5] Das, B. M. (1995b). *Mekanika Tanah (Prinsip—Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2* (N. E. Mochtar & I. B. Mochtar, Penerj.; Vol. 2). Erlangga.
- [6] Das, B. M. (2017). *Principles of foundation engineering 9e* (SI edition). Cengage.
- [7] Hardiyatmo, H. C. (2008). *Teknik Pondasi 2 Edisi ke-4*. Beta Offset.
- [8] Harsanto, C., Manoppo, F. J., & Sumampouw, J. R. (2015). ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG BOR (BORED PILE) PADA STRUKTUR PYLON JEMBATAN SOEKARNO DENGAN PLAXIS 3D. 6.
- [9] Manual *Midas GTS NX* (2021).
- [10] Poulos, H. G., & Davis, E. H. (1980). *Pile Foundation Analysis and Design*. John Wiley & Sons Inc.
- [11] Prakash, S., & Sharma, H. D. (1990). *Pile Foundations in Engineering Practice*. Wiley.
- [12] Prilia, R., Manoppo, F. J., & Manarainsong, L. D. K. (2021). Analisis Fondasi Tiang Bor Dengan PLAXIS 3D (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Fakultas Teknik Unsrat Jurusan Sipil). 19, 12.
- [13] Rahardjo, P. P. (2000). *Manual Pondasi Tiang*. Program Pasca Sarjana Teknik Sipil, Universitas Khatolik Parahyangan.
- [14] Tomlinson, M. J., & Boorman, R. (2001). *Foundation design and construction* (7. ed). Prentice Hall.