

PENGARUH TINGGI RIB TERHADAP DEFORMASI PADA KOMBINASI FONDASI SARANG LABA-LABA DAN TIANG BOR DENGAN PENDEKATAN ELEMEN HINGGA TIGA DIMENSI

Indra Noer Hamdhan¹ dan Yasmin Jihan Fahira Sahib²

¹Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Jl.PH.H. Mustofa 23, Bandung
E-mail: indranh@itenas.ac.id

²Alumni Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Jl.PH.H. Mustofa 23, Bandung
E-mail: yasminjfs27@gmail.com

Abstrak: Konstruksi Sarang Laba-Laba (KSLL) merupakan fondasi berupa plat beton pipih yang diperkaku dengan rib tegak dan perbaikan tanah diantara rib. KSLL dan tiang bor dikombinasikan untuk mendapatkan fondasi dengan kekakuan struktur yang tinggi. Penelitian ini meninjau besarnya deformasi yang terjadi pada model fondasi dengan variasi tinggi rib KSLL 1 m, 1,5 m, dan 2 m yang divariasikan dengan 10 tiang bor berdiameter 0,6 m secara zig-zag pada struktur dengan model tanah *Mohr-Coulomb* dan *Hardening Soil*. Pada model tanah *Mohr-Coulomb* batas keadaan tegangan dijelaskan dengan menggunakan sudut gesekan (ϕ), kohesi (c) dan sudut dilatasi (ψ). Pada model *Hardening Soil* kekakuan tanah dijelaskan jauh lebih akurat dengan menggunakan tiga kekakuan yang berbeda yaitu kekakuan triaksial E_{50} , kekakuan *unloading/reloading* E_{ur} dan kekakuan *oedometer* E_{oed} . Berbeda dengan model *Mohr-Coulomb*, model *Hardening Soil* memperhitungkan ketergantungan moduli kekakuan. Ini berarti bahwa semua kekakuan meningkat dengan tekanan. Pemodelan pada PLAXIS 3D menunjukkan deformasi yang paling efektif terjadi pada fondasi dengan tebal rib 0,15 dengan 10 tiang bor dan tinggi rib 1,5 m. Hasil pemodelan menunjukkan nilai deformasi yang terjadi pada model tanah *Hardening Soil* dengan tinggi rib 1 m adalah sebesar 17,91 cm, tereduksi 31,491% menjadi 12,27 cm saat ketebalan rib ditambahkan menjadi 1,5 m. Sedangkan pada model tanah *Mohr-Coulomb*, deformasi yang terjadi pada fondasi dengan ketinggian rib 1 m sebesar 25,43 cm dan tereduksi 48,997% menjadi 12,97 cm saat ketinggian rib ditambahkan menjadi 1,5 m.

Kata Kunci: Konstruksi sarang laba-laba, tiang bor, deformasi, PLAXIS 3D.

Abstract: *Spiders Nest Construction (SNC) is the foundation in the form of flat concrete plates which are reinforced with upright ribs and soil repair between ribs. The KSLL and bored pile are combined to obtain a foundation with high structural rigidity. This study reviews the magnitude of deformation that occurs in the foundation model with a variation of rib height KSLL 1 m, 1.5 m, and 2 m which are varied with 10 bored pile with diameter of 0.6 m in zig-zag configuration with the soil model Mohr-Coulomb and Hardening Soil. In the Mohr-Coulomb soil model the stress state limits are explained using friction angles (ϕ), cohesion (c) and dilatation angles (ψ). In the Hardening Soil model the soil stiffness is explained much more accurately by using three different stiffnesses namely E_{50} triaxial stiffness, E_{ur} unloading / reloading stiffness and E_{oed} oedometer stiffness. In contrast to the Mohr-Coulomb model, the Hardening Soil model takes into account modulei dependence on rigidity. This means that all rigidity increases with pressure. Modeling on PLAXIS 3D shows that the most effective deformation occurs on a foundation with a rib thickness of 0.15 with 10 bored pile and a rib height of 1.5 m. The modeling results show the deformation value that occurs in the Hardening Soil soil model with a rib height of 1 m is 17.91 cm, reduced by 31.491% to 12.27 cm when the thickness of the rib is added to 1.5 m. Whereas in the Mohr-Coulomb soil model, the deformation that occurred on the foundation with a rib height of 1 m was 25.43 cm and reduced 48.997% to 12.97 cm when the rib height was added to 1.5 m.*

Keywords: *Spiders Nest Construction, bored pile, deformation, PLAXIS 3D.*

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pekerjaan konstruksi umumnya dimulai dari pekerjaan struktur bawah. Salah satu pekerjaan struktur bawah adalah pekerjaan fondasi. Pemilihan jenis fondasi perlu memperhatikan besar beban yang akan didukung pada fondasi. Perencanaan pada fondasi perlu dilakukan secara teliti agar fondasi tidak mengalami kegagalan (*failure*) yang berupa penurunan (deformasi). Penurunan pada bangunan akan menyebabkan kestabilan suatu bangunan terganggu. Sehingga dapat menyebabkan kerusakan bangunan. Fondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba (KSSL) merupakan fondasi berupa plat beton pipih yang di bawahnya diperkaku dengan rib-rib tegak dengan sistem perbaikan tanah diantara rib-rib. Fondasi KSSL dapat meningkatkan keamanan karena fondasi KSSL memiliki tingkat kekakuan yang memadai. Fondasi *bored pile* dan konstruksi sarang laba-laba dapat dikombinasikan untuk mendapatkan fondasi dengan tingkat kekakuan dan ketahanan struktur yang lebih tinggi sehingga dapat meminimalisir besarnya deformasi pada bangunan. Semakin meningkatnya daya dukung fondasi maka kekuatan fondasi dan keamanan pada suatu konstruksi akan semakin meningkat. Penelitian ini meninjau besarnya deformasi yang dipengaruhi oleh tinggi rib pada fondasi KSSL. Selain itu, penelitian ini membandingkan deformasi yang dihasilkan dengan pemodelan tanah *Mohr Coulomb* dan *Hardening Soil*. Pada model tanah *Mohr-Coulomb* batas keadaan tegangan dijelaskan dengan menggunakan sudut gesekan (ϕ), kohesi (c) dan sudut dilatansi (ψ). Pada model *Hardening Soil* kekakuan tanah dijelaskan jauh lebih akurat dengan menggunakan tiga kekakuan yang berbeda yaitu kekakuan triaksial E_{50} , kekakuan *unloading/reloading* E_{ur} dan kekakuan *oedometer* E_{oed} . Berbeda dengan model *Mohr-Coulomb*, model *Hardening Soil*

memperhitungkan ketergantungan moduli kekakuan. Ini berarti bahwa semua kekakuan meningkat dengan tekanan.

2. PENDAHULUAN

Tinjauan Umum

Proyek konstruksi diawali dengan tahap perencanaan. Salah satu contoh dari tahap perencanaan adalah analisis terhadap struktur atas bangunan dalam proyek konstruksi. Peninjauan struktur atas ini perlu dilakukan untuk mengetahui pembebanan yang ada pada struktur. Pembebanan pada struktur ini selanjutnya akan dipakai untuk merancang fondasi sehingga fondasi mampu memikul beban struktur yang ada di atasnya. Selain pertimbangan pembebanan struktur atas, perancangan suatu fondasi perlu mempertimbangkan parameter tanah di sekitar proyek konstruksi sehingga struktur tidak mengalami keruntuhan.

Tanah

Tanah didefinisikan sebagai agregat kasar dari butiran mineral dan bahan organik dengan cairan dan gas pada ruang kosong di antara partikel padat. Tanah digunakan sebagai bahan konstruksi di berbagai proyek teknik sipil dan digunakan sebagai pendukung fondasi struktural. Pada pekerjaan konstruksi seperti pekerjaan fondasi perlu dilakukan penyelidikan tanah untuk mengetahui karakteristik dari tanah yang akan dipakai untuk pendukung fondasi yang akan memikul beban struktur yang ada di atasnya.

Parameter Tanah

Parameter tanah yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil korelasi melalui nilai SPT. Berikut merupakan tabel yang digunakan untuk korelasi beberapa parameter tanah.

Tabel 1. Korelasi N-SPT dengan Berat Jenis Tanah

<i>Cohesionless Soil</i>					
<i>N</i>	0 - 10	11 - 30	31 - 50	>50	
<i>Unit weight</i>	12 - 16	14 - 18	16 - 20	18 - 23	
<i>Angle of friction</i>	25 - 32	28 - 36	30 - 40	> 35	
<i>State</i>	<i>Loose</i>	<i>Medium</i>	<i>Dense</i>	<i>Very Dense</i>	
<i>Cohesive Soil</i>					
<i>N</i>	<4	4 - 6	6 - 15	16 - 25	>25

<i>Unit weight</i>	14 - 18	16 - 18	16 - 18	16 - 20	> 20
<i>qu</i>	<25	20 - 50	30 - 60	40 - 200	>100
<i>Consistency</i>	<i>Very Soft</i>	<i>Soft</i>	<i>Medium</i>	<i>Stiff</i>	<i>Hard</i>

Tabel 2. Korelasi Jenis Tanah dengan Nilai Sudut Geser Dalam

<i>Description</i>	<i>Relative density (Dr)</i>	<i>Corrected SPT – N (blows/300mm)</i>			<i>Strength</i>
		<i>Fine sand</i>	<i>Medium</i>	<i>Coarse sand</i>	
<i>Very loose</i>	<15%	$(N_0)_{60} \leq 3$	$(N_0)_{60} \leq 3$	$(N_0)_{60} \leq 3$	$\phi < 28^\circ$
<i>Loose</i>	15-35%	$(N_0)_{60} = 3-7$	$(N_0)_{60} = 3-8$	$(N_0)_{60} = 3-8$	$\phi = 28^\circ - 30^\circ$
<i>Med Dense</i>	35-65%	$(N_0)_{60} = 7-23$	$(N_0)_{60} = 8-25$	$(N_0)_{60} = 8-27$	$\phi = 30^\circ - 40^\circ$
<i>Dense</i>	65-85%	$(N_0)_{60} = 23-40$	$(N_0)_{60} = 25-43$	$(N_0)_{60} = 27-47$	$\phi = 40^\circ - 45^\circ$
<i>Very Dense</i>	>85%	$(N_0)_{60} > 40$	$(N_0)_{60} > 43$	$(N_0)_{60} > 47$	$\phi = 45^\circ - 50^\circ$
	100%	$(N_0)_{60} = 55$	$(N_0)_{60} = 60$	$(N_0)_{60} = 65$	$\phi = 50^\circ$

Tabel 3. Korelasi Jenis Tanah dengan Nilai Sudut Geser Dalam dan Kohesi

<i>Type</i>	<i>Soil description</i>	<i>Effective cohesion</i>	<i>Friction angle</i>
		[kPa]	[degrees]
<i>Cohesive</i>	<i>Soft - Organic</i>	5 – 10	10 – 20
	<i>Soft – Non organic</i>	10 – 20	15 – 25
	<i>Stiff</i>	20 – 50	20 – 30
	<i>Hard</i>	50 - 100	25 - 30

Tabel 4. Korelasi Jenis Tanah dengan Nilai Modulus Elastisitas dan Poisson Ratio

<i>Soil type</i>	<i>Modulus of Elasticity (MN/m²)</i>	<i>Poisson's Ratio [v]</i>
<i>Loose sand</i>	10.35 – 24.15	0.20 – 0.40
<i>Medium dense sand</i>	17.25 – 27.60	0.25 – 0.40
<i>Dense sand</i>	34.50 – 55.20	0.30 – 0.45
<i>Silty sand</i>	10.35 – 17.25	0.20 – 0.40
<i>Sand and gravel</i>	69.00 – 172.50	0.15 – 0.35
<i>Soft clay</i>	3.1 – 20.7	
<i>Medium clay</i>	20.7 – 41.4	0.20 – 0.50
<i>Stiff clay</i>	41.4 – 96.6	

Fondasi Sarang Laba-Laba

Fondasi sarang laba-laba merupakan kombinasi konstruksi bangunan bawah yang merupakan perpaduan pelat beton tipis bermutu K-225 berukuran 10- 15 cm yang dibawahnya dikakukan oleh rib-rib tegak yang tipis dan relatif tinggi, biasanya, 50-150 cm dan sistem perbaikan tanah dengan cara pemadatan yang dilakukan diantara rib-rib. Penempatan rib-rib diatur sedemikian rupa sehingga dari atas kelihatan membentuk petak-petak segitiga, sedangkan rongga-rongga di bawah pelat dan diantara rib-rib diisi dengan tanah atau pasir yang dipadatkan lapis demi lapis.

Fondasi Tiang Bor

Fondasi tiang bor dibuat dengan melakukan pengeboran pada permukaan lalu mengisi lubang hasil pengeboran tersebut dengan beton. Terdapat 2 (dua) kategori fondasi tiang bor, yaitu fondasi tiang bor dengan *case* dan fondasi tiang bor tanpa *case*.

Deformasi

Apabila tanah dibebani maka tanah dibawahnya akan mengalami pemampatan. Pemampatan tersebut disebabkan adanya deformasi partikel tanah, keluarnya air dari dalam pori, dan sebab-sebab lainnya. Penurunan total terdiri atas penurunan langsung (seketika) dan penurunan konsolidasi. Penurunan segera (*immediated settlement*) akan terjadi saat beban diberikan dan penurunan jangka panjang/konsolidasi

(*long-term settlement*) mulai terjadi beberapa saat setelah pemberian beban.

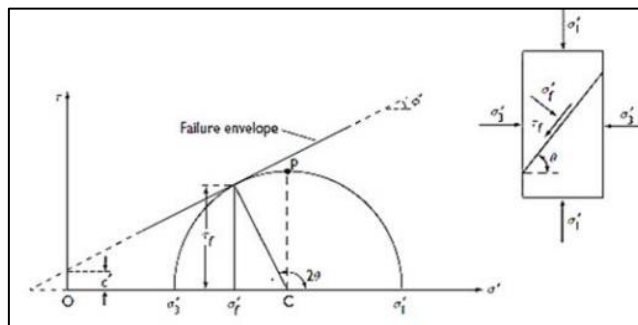
Teori Keruntuhan Mohr Coulomb

Mohr (1900) memperkenalkan sebuah teori tentang keruntuhan yang dikenal dengan teori keruntuhan Mohr Coulomb, yang menyatakan bahwa keruntuhan terjadi pada suatu material akibat kombinasi kritis antara tegangan normal

dan geser, bukan hanya akibat tegangan normal dan geser dalam kondisi maksimum saja . Persamaan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb yang dapat ditulis menjadi persamaan berikut ini :

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi$$

- Halmana :
- τ_f = tegangan geser [kN/m²]
 - c = kohesi [kN/m²]
 - σ = tegangan normal [kN/m²]
 - ϕ = sudut geser dalam [*degrees*]



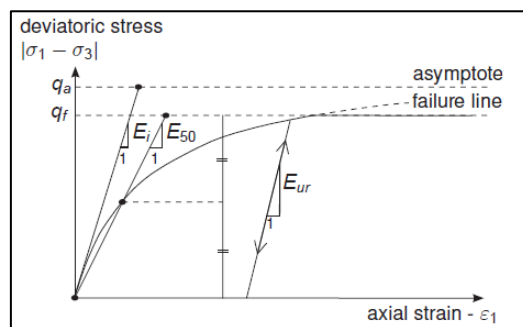
Gambar 1. Keruntuhan Mohr Coulomb

Teori Hardening Soil

Model *Hardening soil* didirikan pada tahun 1999 oleh (Schanz et al., 1999) dalam rangka teori elastisitas. Dalam model ini, *strain* (elastis dan plastik) dihitung berdasarkan kekerasan dari tegangan permukaan dan kekerasan ini berbeda untuk pemuatan awal dan pembongkaran / pemuatan (Obrzud, 2010). Beberapa karakteristik dasar model berdasarkan PLAXIS:

1. Kekakuan tergantung tegangan menurut parameter (m). Kekakuan m umumnya 0.5 untuk pasir, dan 1.0 untuk lempung dan lanau.
2. Regangan plastis saat pembebanan deviator primer (E_{50}^{ref}).

3. Regangan plastis saat tekanan primer (E_{oed}^{ref}). $E_{oed}^{ref} = 0,8 E_{50}^{ref}$ atau dalam hal kurangnya data uji oedometrik, modulus oedometrik kira-kira dapat diambil sebagai $E_{oed}^{ref} = E_{50}^{ref}$.
4. Elastis *unloading/reloading* (E_{ur}^{ref} , v_{ur}). Dapat diambil $\frac{E_{ur}^{ref}}{E_{50}^{ref}} = 2$ sampai 6.
5. Kegagalan sesuai parameter kriteria Mohr Coulomb (c, Ψ, ϕ).



Gambar 2. Hubungan hiperbolik tegangan regangan primer untuk uji triaksial *drained standard*

3. METODE PENELITIAN

Pengumpulan Data

Pada tahap ini peneliti mengumpulkan data yang diperlukan untuk penelitian. Data yang diperlukan antara lain adalah data parameter tanah dan data pembebanan struktur. Parameter tanah pada

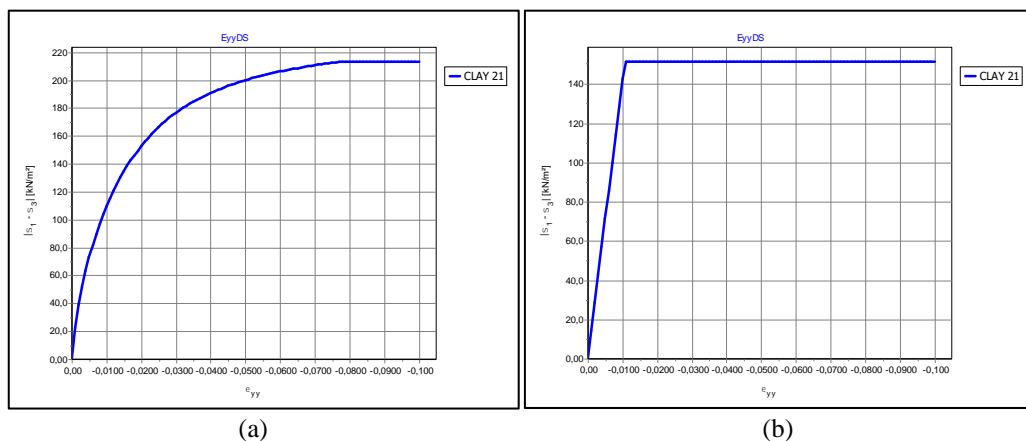
pemodelan diperoleh melalui korelasi jenis tanah dan nilai SPT pada hasil penyelidikan tanah yang telah dilakukan pada kawasan Bumi Serpong Damai (BSD). Nilai N-SPT dikorelasikan menjadi 2 (dua) jenis parameter sesuai dengan pemodelannya yaitu *Mohr-Coulomb* dan *Hardening Soil*. Parameter tanah untuk model tanah *Mohr-Coulomb* ditunjukkan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Data Parameter Tanah *Mohr-Coulomb*

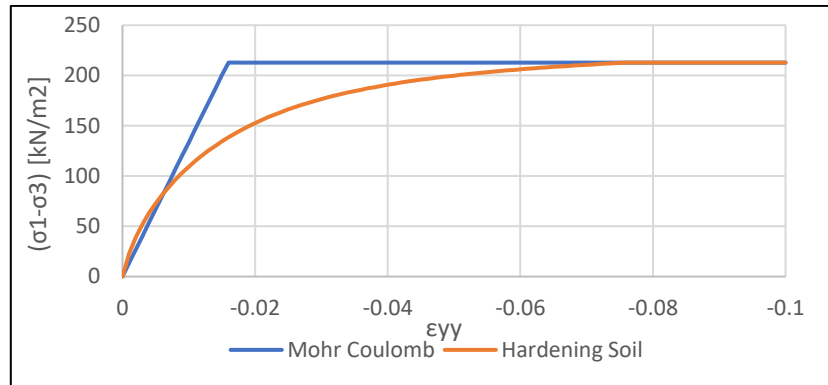
Jenis Tanah	Kedalaman (m di bawah permukaan tanah)	γ_d [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	Modulus Elastisitas [kN/m ²]	c' [kPa]	ϕ [degrees]	Poisson Ratio [ν]
Lempung	0 – 6	17,7	19,2	13370	28	23	0,4
Lempung	6 – 11	16,8	18,3	8400	23	21	0,4
Lempung	11 – 15	17,6	19,1	28580	42	28	0,4
Pasir	15 – 22,5	21	23	38300	5	50	0,4
Pasir	22,5 – 25	18	22,3	70000	7	45	0,4
Pasir	25 - 40	21	23	100000	10	50	0,4
Tanah Timbunan (<i>dense sand</i>)	0 – 1						
	0 – 1,5	18	19,5	30000	5	35	0,4
	0 – 2						

Parameter tanah *Hardening Soil* didapatkan melalui rumus yang telah disebutkan pada bab sebelumnya. Terdapat 3 jenis nilai modulus elastisitas pada pemodelan tanah *hardening soil* yaitu E_{50} , E_{ur} , dan E_{oed} . Sebelum nilai modulus ini dipakai pada pemodelan, regangan dan tegangan pada nilai modulus elastisitas ini perlu dibandingkan dengan nilai regangan tegangan yang ada pada model Mohr Coulomb. Hal ini dilakukan agar sifat dari parameter yang dipakai

pada pemodelan *hardening soil* tidak berbeda dengan sifat dari parameter yang dipakai pada pemodelan Mohr Coulomb. **Gambar 3 (a)** dan **Gambar 3 (b)** menunjukkan hasil pengujian triaxial pada tanah lempung lapis pertama yang dilakukan dengan aplikasi PLAXIS 3D. Pada pengujian triaxial ini didapatkan nilai puncak tegangan pada kedua model yaitu model Mohr-Coulomb dan *hardening soil* adalah sama yaitu 212,869 kN/m².



Gambar 3 (a) Grafik tegangan dan regangan pada model tanah *hardening soil* pada tanah clay1 (b) Grafik tegangan dan regangan pada model tanah Mohr Coulomb pada tanah clay1



Gambar 4. Grafik perbandingan regangan tegangan model tanah *hardening soil* dan *Mohr Coulomb* pada tanah *clay1*

Grafik yang disajikan pada **Gambar 4** menunjukkan contoh perbandingan regangan dan tegangan pada tanah lempung lapis pertama yang diperoleh berdasarkan uji triaxial dari kedua model tanah. Melalui grafik pada **Gambar 4** dapat

dilihat nilai tegangan dan regangan antara kedua parameter tanah memiliki besar yang sama. **Tabel 6** menunjukkan nilai parameter tanah *Hardening Soil*.

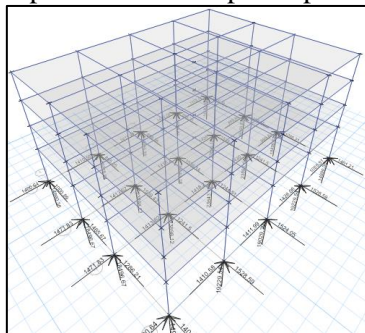
Tabel 6. Data Parameter Tanah *Hardening Soil*

Jenis Tanah	Kedalaman (m di bawah permukaan tanah)	γ_d [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ [degrees]	E_{50}^{ref} [kN/m ²]	E_{oed}^{ref} [kN/m ²]	E_{ur}^{ref} [kN/m ²]
Lempung	0 – 6	17,7	19,2	28	23	13370	13370	33950
Lempung	6 – 11	16,8	18,3	23	21	8400	6720	16800
Lempung	11 – 15	17,6	19,1	42	28	28580	22864	65734
Pasir	15 – 22,5	21	23	5	50	38300	30640	114900
Pasir	22,5 – 25	18	22,3	7	45	70000	56000	210000
Pasir	25 - 40	21	23	10	50	100000	80000	300000
Tanah Timbunan (<i>dense sand</i>)	0 – 1							
	0 – 1,5	18	19,5	5	35	30000	24000	90000
	0 – 2							

Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur yang dimasukkan pada pemodelan PLAXIS 3D diperoleh berdasarkan pemodelan struktur bangunan 4 (empat) lantai sederhana yang dimodelkan dengan menggunakan aplikasi ETABS 2016 seperti yang dapat dilihat

pada **Gambar 4**. Struktur bangunan yang dimodelkan pada aplikasi ETABS 2016 berfungsi sebagai kantor dengan beban hidup yang di-*input*-kan adalah 2,4 kN/m² Data pembebanan yang diperoleh pada setiap kolom ditunjukkan pada **Tabel 7**, beban tersebut selanjutnya di-*input*-kan pada aplikasi PLAXIS 3D.



Gambar 4. Pemodelan struktur pada ETABS 2016

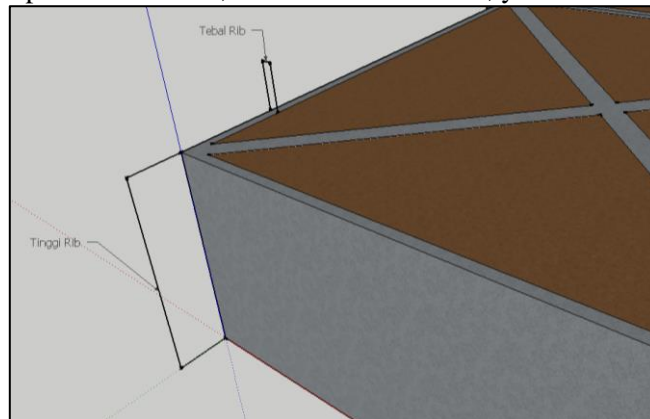
Tabel 7. Output Pembebanan dari ETABS 2016

Story	Joint Label	FZ [kN]	Story	Joint Label	FZ [kN]
Base	1	14990,36	Base	11	23643,18
Base	2	18496,67	Base	12	19029,39
Base	3	18496,67	Base	13	19229,55
Base	4	14990,36	Base	14	23898,12
Base	5	19229,55	Base	15	23898,12
Base	6	23898,12	Base	16	19229,55
Base	7	23898,12	Base	17	14990,36
Base	8	19229,55	Base	18	18496,67
Base	9	19029,39	Base	19	18496,67
Base	10	23643,18	Base	20	14990,36

Parameter Rib Fondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba

Rib dan pelat pada PLAXIS 3D dimodelkan sebagai *plates* dengan nilai modulus elastisitas rib $20,486 \times 10^6$ kN/m² dengan menggunakan mutu beton K-225 atau $f'c$ 19 Mpa. Sedangkan modulus elastisitas untuk pelat sebesar $30,459 \times$

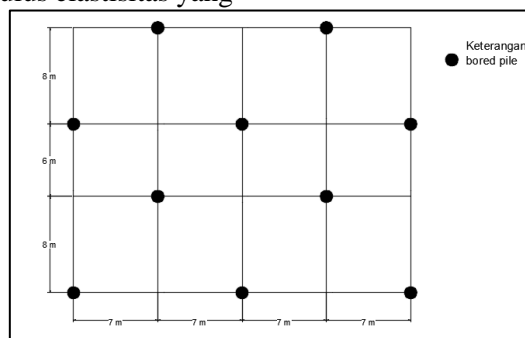
10^6 kN/m² dengan mutu beton yang dipakai adalah K-500 atau $f'c$ 42 Mpa. Tebal rib yang dipakai bervariasi antara 10-20 cm sedangkan tebal pelat yang dipakai adalah 10 cm sama untuk setiap variasi model. Berat jenis beton yang digunakan pada *plate* sebesar 25 kN/m³. **Gambar 5** menunjukkan detail dari komponen fondasi sarang kaba-laba, yaitu tebal rib dan tinggi rib.

**Gambar 5.** Detail keterangan komponen pada fondasi sarang laba-laba

Parameter Tiang Bor

Tiang bor pada PLAXIS 3D dimodelkan dengan menggunakan *embeded beam* dengan diameter 0,6 m dan panjang 15 m. Modulus elastisitas yang

di-input-kan pada PLAXIS 3D adalah $30,459 \times 10^6$ kN/m². Mutu beton yang dipakai adalah 42 Mpa. Berat jenis beton yang digunakan pada *embeded beam* sebesar 25 kN/m³.

**Gambar 6.** Penempatan *bored pile* pada pemodelan

4. PEMBAHASAN

Pemodelan diawali dengan meng-*inputkan* material-material yang ada pada pemodelan seperti tanah, pelat, dan tiang bor. Tanah di-*inputkan* pada model dengan cara meng-*inputkan* *borehole* pada *toolbar soil*. Pada peng-*inputan* ini dimasukan 6 (enam) lapis tanah. Setelah material tanah selesai dimasukan, pemodelan dilanjutkan dengan membuat struktur fondasi sarang laba-laba dan *bored pile* pada *toolbar structures*. Fondasi laba-laba dimodelkan dengan menggunakan material pelat sedangkan komponen *bored pile* dimodelkan dengan menggunakan *embedded beams*. Selanjutnya, masukan pembebanan yang terjadi pada struktur dengan cara menginputkan point load pada titik-titik kolom di atas fondasi sarang laba-laba. Jika pemodelan sudah selesai selanjutnya struktur dimesh. *Element distribution* yang dipakai pada tahap *mesh* ini adalah *medium*. Hasil dari pemodelan ini diperoleh melalui *running program* yang terdiri dari 7 (tujuh) fase konstruksi diantaranya :

1. Tahap awal (*Initial Phase*)

Tahap ini meliputi tanah yang telah eksisting yang telah di-*inputkan* pada *borehole*.

2. Fase 1 (Galian)

Tahap konstruksi pertama pada fondasi sarang laba-laba adalah galian. Tanah digali sedalam tinggi rib yang direncanakan.

3. Fase 2 (Pemasangan *bored pile*)

Pada tahap ini, struktur fondasi *bored pile* diaktifkan.

4. Fase 3 (Pemasangan fondasi sarang laba-laba)

Pada tahap ini, fondasi sarang laba-laba diaktifkan dengan menceklis *plates* pada *toolbar*.

5. Fase 4 (Timbunan)

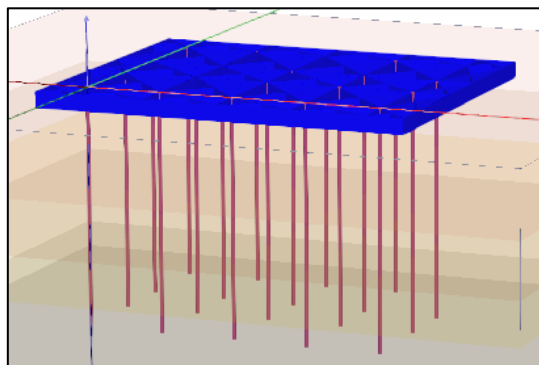
Setelah pelat selesai dipasang, tanah ditimbun kembali dengan cara dipadatkan setebal tinggi rib.

6. Fase 5 (Pemasangan Pelat)

Setelah fase pemasangan fondasi sarang laba-laba, fase selanjutnya yaitu pemasangan pelat di atas fondasi sarang laba-laba.

7. Fase 6 (Pembebanan)

Pembebanan pada fondasi diasumsikan untuk mendapatkan kurva antara deformasi dan beban. Pembebanan pada struktur diaktifkan pada tahap ini.



Gambar 7. Fondasi sarang laba-laba dan *bored pile*

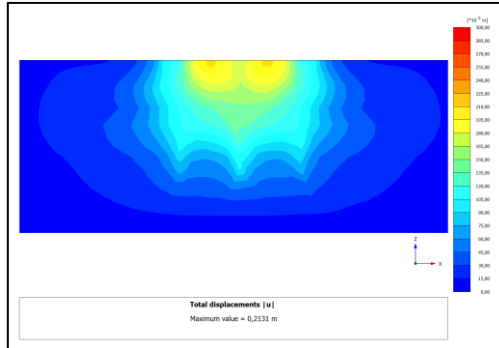
Hasil pemodelan pada kombinasi fondasi sarang laba-laba dan tiang bor dengan model Mohr

Coulomb dan *Hardening Soil* menghasilkan nilai deformasi yang disajikan pada **Tabel 8**.

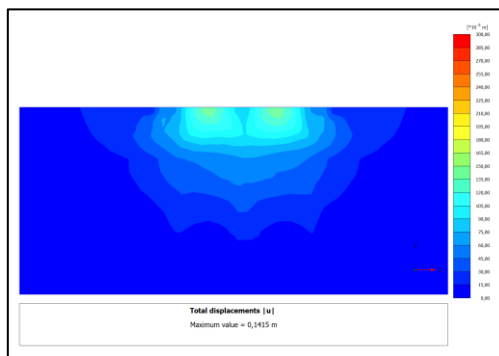
Tabel 8. Hasil Pemodelan Kombinasi Fondasi KSSL dan Tiang Bor

No.	Tebal Rib [m]	Tinggi Rib [m]	Jumlah Tiang Bor	Mohr-Coulomb			Hardening Soil		
				u [cm]	uz+ [cm]	uz- [cm]	u [cm]	uz+ [cm]	uz- [cm]
1.	0,1	1	10	25,94	0,6881	-25,94	18,8	2,373	-18,8
2.	0,1	1,5	10	13,41	0,7563	-13,41	12,86	1,102	-12,86
3.	0,1	2	10	14,43	0,7199	-14,43	13,15	0,8579	-13,15
4.	0,15	1	10	25,43	0,6742	-25,43	17,91	1,988	-17,9
5.	0,15	1,5	10	12,97	0,7238	-12,97	12,27	0,09488	-12,27

6.	0,15	2	10	14,07	0,6908	-14,07	12,72	0,0717	-12,72
7.	0,2	1	10	25,06	0,6648	-25,06	17,25	1,719	-17,24
8.	0,2	1,5	10	12,81	0,7089	-12,81	12,02	0,8855	-12,02
9.	0,2	2	10	13,82	0,6731	-13,82	12,49	0,6503	-12,49



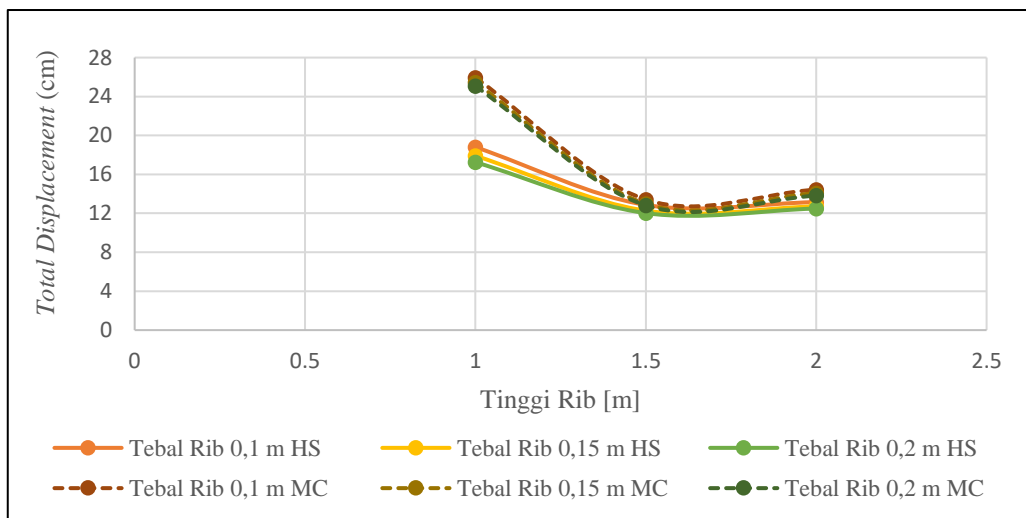
Gambar 8. Penyebaran tegangan pada fondasi dengan pemodelan Mohr-Coulomb



Gambar 9. Penyebaran tegangan pada fondasi dengan pemodelan Hardening Soil

Perbandingan deformasi pada model fondasi antara model Mohr-Coulomb dan *Hardening Soil*

dapat dilihat pada grafik yang disajikan pada gambar di bawah ini.



Gambar 9. Grafik perbandingan hubungan tinggi rib dan penurunan pada fondasi dengan 10 *bored pile* pada model Mohr Coulomb dan *Hardening Soil*

Melalui pemodelan pada PLAXIS 3D didapatkan nilai deformasi yang dihasilkan pada pemodelan pada model *hardening soil* pada fondasi dengan

kombinasi *bored pile* dengan berbagai variasi ketebalan dan ketinggian rib memiliki nilai deformasi yang lebih kecil dibandingkan dengan

pemodelan dengan model tanah Mohr Coulomb. Hal ini dapat terjadi karena pada pemodelan tanah menggunakan model tanah *hardening soil* terdapat 3 (tiga) parameter kekakuan/modulus elastisitas yang dimasukkan pada PLAXIS 3D yaitu E_{50} , E_{oed} , dan E_{ur} yang artinya kekakuan yang dipakai pada tanah akan berbeda-beda. Model *hardening soil* lebih menggambarkan perilaku tanah yang terjadi di lapangan. Pada semakin dalam lapis permukaan tanah maka akan semakin tinggi kekakuannya. Berbeda halnya dengan pemodelan tanah menggunakan model tanah Mohr Coulomb, parameter kekakuan yang dipakai pada pemodelan hanya 1 (satu) nilai kekakuan saja yang berarti kekakuan yang dipakai pada setiap kedalaman pada setiap kondisi perlapisan tanah akan sama.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan ketebalan rib pada setiap variasi pemodelan akan meminimalisir nilai deformasi yang terjadi.
2. Penambahan ketinggian rib pada setiap variasi memiliki nilai deformasi yang paling minimum pada saat ketinggian rib 1,5 m untuk fondasi yang dikombinasikan dengan bored pile.
3. Pemodelan Hardening Soil memiliki nilai deformasi yang lebih rendah daripada pemodelan dengan Mohr Coulomb pada pemodelan fondasi yang dikombinasikan dengan tiang bor.

Saran

Berdasarkan hasil pemodelan diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Perlunya kelengkapan data tanah untuk lebih memudahkan dalam menentukan nilai parameter tanah yang dipakai.
2. Pembebanan yang dipakai pada struktur perlu memperhatikan peruntukan fondasi untuk menghindari kegagalan pada fondasi. Fondasi sarang laba-laba didesain untuk gedung *mid structure*.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2017. SNI 8740:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik.
- Burt G. Look. 2007. *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. Taylor & Francis/Balkema, Netherland.
- Das, Braja M. 2011. *Principles of Foundation Engineering 7th Edition*, Cengage Learning, Stamford.
- Das, Braja. M. 1988. *Mekanika Tanah*. Surabaya : Erlangga.
- Donal P. Coduto. 2001. *Foundation Design, Principles and Practices, Second Edition*. Prentice Hall, New Jersey.
- GOUW Tjie-Liong. 2014. *Common Mistakes on the Application of Plaxis 2D in Analyzing Excavation Problems*. *International Journal of Applied Engineering Research : Volume 9, Number 21*.
- Hadi Pratomo, Winarni. 2005. *Metode Elemen Hingga*. PT. Danamartha Sejahtera Utama : Bandung.
- PLAXIS. 2018. *PLAXIS Material Models CONNECT Edition V20*.
- Rafa F. Obrzud, Andrzej Truty. 2018. *The Hardening Soil Model - a Practical Guidebook*. Zace Services Ltd, *Software engineering* : Switzerland.
- V. N. S. Murthy. 2002 . *Geotechnical Engineering, Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Marcel Dekker, Inc, New York