

ANALISIS PILE DRIVABILITY STRUKTUR JACKET PLATFORM 3 KAKI

Regita Prisca¹ dan Ricky Lukman Tawekal²

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan

Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

¹regita.prisca@gmail.com dan ²ricky@ocean.itb.ac.id

ABSTRAK

Kegiatan eksploitasi minyak di Indonesia masih terfokus pada kawasan perairan dangkal, karena itu, jenis bangunan lepas pantai yang paling banyak dibangun di Indonesia adalah *fixed-leg structure* dengan fondasi tiang pancang. Dalam instalasi tiang pancang dibutuhkan keakuratan agar tidak terjadi kegagalan dalam pemancangan, seperti pembengkokan pile atau kegagalan penetrasi.

Kegagalan tersebut tentu saja merugikan bagi perusahaan pemilik struktur. Untuk menghindari terjadinya kegagalan-kegagalan tersebut, dibutuhkan analisis khusus untuk pemancangan *pile*, yang biasa disebut dengan analisis pemancangan atau *pile drivability analysis*.

Dalam analisis *pile drivability* dilakukan beberapa langkah analisis, yaitu analisis in-place, analisis daya dukung statik *pile*, analisis daya dukung *pile* saat pemancangan atau *Soil Resistance to Driving*, analisis *stick-up*, dan analisis pemancangan menggunakan perangkat lunak berbasis persamaan gelombang. Dalam analisis in-place, diperoleh desain awal panjang *pile* dan ketebalannya. Pada analisis daya dukung statik *pile* dan daya dukung saat pemancang, diperoleh *output* kapasitas *ultimate* tanah terhadap *pile* saat kondisi statik dan saat pemancangan. Dalam analisis *stick up*, dilakukan perhitungan *stress static* pada *pile* akibat beban aksial dan *bendingnya* untuk menghasilkan dimensi *pile* yang akan dimasukkan ke dalam analisis pemancangan. Dalam analisis pemancangan, didapatkan *output* jumlah pukulan *hammer* dan *stress* pada *pile* akibat pemancangan.

Bila analisis *pile drivability* telah dilakukan, kegagalan pemancangan pile dapat dikurangi atau bahkan dihindari, sehingga struktur dapat berdiri dengan kokoh dan perusahaan pemilik struktur dapat membangun struktur anjungan lepas pantai dengan efektif dan efisien.

Kata kunci: *pile drivability, pile stick-up, hammer, blowcount, fixed leg platform, axial stress, bending stress, Soil Resistance to Driving.*

PENDAHULUAN

Saat ini kegiatan eksploitasi minyak di Indonesia masih terfokus pada kawasan perairan dangkal, walaupun ada beberapa perusahaan yang sudah mengembangkan teknologi eksploitasi di laut dalam. Karena itu, jenis bangunan lepas pantai yang paling banyak dibangun di Indonesia adalah *fixed-leg structure* dengan fondasi tiang pancang.

Fondasi yang digunakan untuk bangunan lepas pantai di Indonesia biasanya berupa pipa baja yang dipancang sampai pada kedalaman tertentu di bawah dasar laut dengan melalui kaki jacket. Fondasi yang disebut tiang pancang atau *pile* ini diinstalasi di tengah laut. Untuk proses instalasi, *pile* dibawa menggunakan *barge*, diangkat menggunakan *crane*, dan dipancarkan menggunakan *hammer* dengan kekuatan tertentu. Setiap proses tersebut memiliki resiko yang dapat membuat instalasi *pile* mengalami kegagalan.

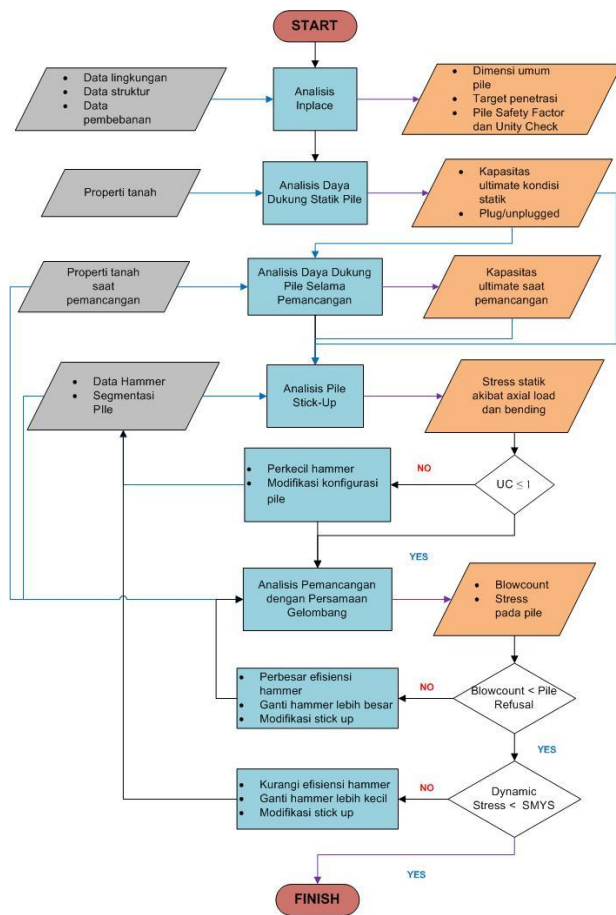
Dalam instalasi *pile*, khususnya saat proses pemancangan tidak jarang terjadi kegagalan yang dapat menyebabkan proyek mengalami keterlambatan. Salah satu kegagalan yang kerap terjadi adalah pembengkokan *pile* atau *pile buckling*, akibat *stress* pada *pile* yang berlebihan.

Selain pembengkokan *pile*, saat pemancangan *pile* juga dapat terjadi kegagalan dimana pemancangan *pile* tidak sampai pada kedalaman yang diinginkan, akibat kesalahan desain *pile* atau waktu *restart hammer* yang kurang tepat. Kegagalan ini tentu saja merugikan bagi perusahaan pemilik struktur. Untuk menghindari terjadinya kegagalan-kegagalan tersebut, dibutuhkan analisis khusus untuk pemancangan *pile*, yang biasa disebut dengan analisis pemancangan atau *pile drivability analysis*.

Dalam analisis *pile drivability* dilakukan beberapa langkah analisis, yaitu analisis in-place, analisis daya dukung statik *pile*, analisis daya dukung *pile* saat pemancangan, analisis *stick-up*, dan analisis pemancangan menggunakan perangkat lunak GRLWEAP 2005. Dalam analisis in-place, diperoleh desain awal panjang *pile* dan ketebalannya. Pada analisis daya dukung statik *pile* dan daya dukung saat pemancang, diperoleh *output* kapasitas *ultimate* tanah terhadap *pile* saat kondisi statik dan saat pemancangan. Dalam analisis *stick up*, dilakukan perhitungan stress statik pada *pile* akibat beban aksial dan bendingnya untuk menghasilkan dimensi *pile* yang akan dimasukkan ke dalam analisis pemancangan. Dalam analisis pemancangan, didapatkan *output* jumlah pukulan *hammer* dan *stress* pada *pile* akibat pemancangan.

TEORI DAN METODOLOGI

Gambar 1 berikut ini menunjukkan langkah-langkah umum yang dilakukan dalam analisis pemancangan *pile*.



Gambar 1 Diagram alir analisis pile drivability

Tanah merupakan faktor penting yang berpengaruh dalam analisis pemancangan pile. Dalam dunia struktur dikenal tiga jenis tanah, yaitu tanah kohesif, non-kohesif, dan batuan. Ketiga jenis tanah ini tentu membutuhkan perlakuan yang berbeda dalam analisis pemancangan pile.

Tanah menghasilkan daya dukung terhadap fondasi saat pemancangan. Daya dukung fondasi merupakan kombinasi dari kekuatan geseran tanah terhadap fondasi (tergantung pada jenis tanah, massa jenisnya, nilai kohesi adhesinya, kedalamannya, dan lainnya), kekuatan tanah dimana ujung fondasi itu berdiri, dan juga bahan fondasi itu sendiri. Berdasarkan API RP2A – WSD, kapasitas daya dukung ultimate pada fondasi tiang dapat dilihat pada persamaan (1).

$$Q_d = Q_f + Q_p = fA_s + qA_p \quad (1)$$

Nilai f dan q yang merupakan nilai unit tahanan geser dan unit tahanan ujung akan berbeda

pada tanah kohesif dan non-kohesif. Karena itu perhitungan kedua factor tersebut dilakukan terpisah. Persamaan (2) digunakan untuk menghitung unit tahanan geser tanah kohesif, sedangkan persamaan (3) untuk tanah non-kohesif. Persamaan (4) digunakan untuk menghitung unit tahanan ujung tanah kohesif, sedangkan persamaan (5) untuk tanah non-kohesif.

$$f = \alpha \times C_u \quad (2)$$

$$f = \beta P_o' \quad (3)$$

$$q_p = 9 C_u \quad (4)$$

$$q_p = P_o' \times N_q \quad (5)$$

Pada saat pemancangan, kapasitas ultimate tanah tidak akan sama dengan kondisi static atau kondisi saat tanah tidak terganggu. Karena itu perlu dilakukan perhitungan daya dukung pile saat pemancangan. Terdapat dua cara perhitungan kapasitas tanah saat pemancangan, yaitu dengan kriteria Smith yang ditunjukkan dalam persamaan (6) hingga (8) dan kriteria Rausche yang menghitung daya dukung tanah selama pemancangan dihitung dalam dua kondisi, yaitu pemancangan berlanjut (nilai *remoulded undrained shear strength* sebesar 0.3 dari *undrained shear strength*) dan kondisi set-up (nilai *remoulded undrained shear strength* sebesar 0.45 dari *undrained shear strength*).

$$Q_{\text{lower bound}} = 0.35 Q_s + Q_p \quad (6)$$

$$Q_{\text{upper bound}} = 0.66 Q_s + Q_p \quad (7)$$

$$Q_{\text{after delay}} = Q_s + Q_p \quad (8)$$

Selain melakukan perhitungan kapasitas tanah, dilakukan juga desain pile dengan menggunakan analisis pile stick-up. Dalam analisis pile stick up dilakukan perhitungan tegangan static pada pile berupa tegangan aksial dan lentur. Berdasarkan API RP2A – WSD, perhitungan tegangan aksial dilakukan menggunakan persamaan berikut.

a. Untuk $D/t \leq 60$

$$C_c = \left(\frac{2\pi E}{F_y} \right)^{1/2} \quad (9)$$

Untuk $Kl/r < C_c$, gunakan persamaan berikut ini.

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c^2} \right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} - \frac{(Kl/r)^3}{8C_c^3}} \quad (10)$$

Untuk $Kl/r \geq C_c$, gunakan persamaan berikut ini.

$$F_a = \frac{12 \pi^2 E}{23 (Kl/r)^2} \quad (11)$$

b. Untuk $60 \leq D/t \leq 300$

$$F_y = F_{xc} = \frac{2CEt}{D} \quad (12)$$

Pada kondisi stress di local buckling yang tidak elastis,

$$F_{xc} = F_y \left[1.64 - 0.23 \left(\frac{D}{t} \right)^{\frac{1}{4}} \right] \quad (13)$$

Sedangkan untuk tegangan lentur dilakukan menggunakan persamaan berikut.

a. Untuk $D/t \leq 10340/F_y$

$$F_b = 0.75 F_y \quad (14)$$

b. Untuk $10340/F_y \leq D/t \leq 20680/F_y$

$$F_b = \left[0.84 - 1.74 \frac{F_y D}{Et} \right] F_y \quad (15)$$

c. Untuk $20680/F_y \leq D/t \leq 300$

$$F_b = \left[0.72 - 0.58 \frac{F_y D}{Et} \right] F_y \quad (16)$$

Setelah tegangan aksial dan tegangan lentur dihitung, dilakukan pengecekan unity check ratio dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut.

a. Untuk $f_a/F_a > 0.15$

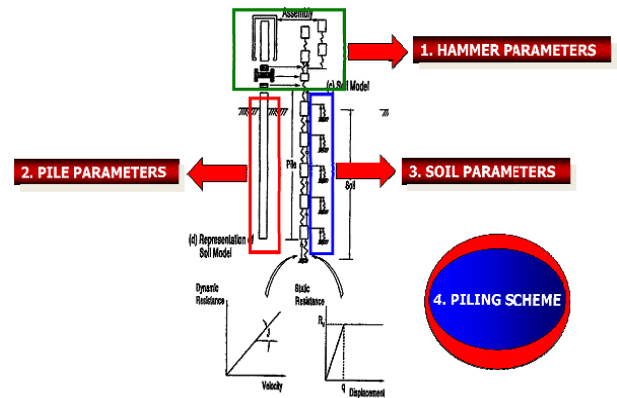
$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m f_b}{\left(1 - \frac{f_a}{F_e} \right) F_b} \leq 1 \quad (17)$$

$$\frac{f_a}{0.6 F_y} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1 \quad (18)$$

b. Untuk $f_a/F_a \leq 0.15$

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1 \quad (19)$$

Analisis pemancangan pile dilakukan menggunakan persamaan gelombang menghasilkan jumlah respon dinamik dari *pile* dan tanah selama pemancangan. Dalam *pile driveability*, terdapat sebuah metoda untuk menganalisis proses pemancangan yang ditunjukkan dengan gesekan dari *pile-tanah-hammer* sebagai faktor satu dimensi yang terdiri dari massa, pegas, dan redaman seperti pada Gambar 2 berikut ini, yang diambil dari *Pile Drivability Analysis Course*, Saipem Report 2007.



Gambar 2 Ilustrasi Pemodelan Pemancangan Pile berdasarkan Persamaan Gelombang Smith

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis pemancangan yang dilakukan ini menghasilkan beberapa hasil yang akan digunakan untuk instalasi pile di daerah Bukit Tua. Hasil pertama yang dibutuhkan dalam analisis adalah kedalaman penetrasi dan dimensi umum pile yang diperoleh dari analisis inplace. **Tabel 1** berikut merupakan rangkuman property pile yang didapat dari analisis inplace. Pile grup P01 merupakan grup pile B1/B2, sedangkan Pile grup P01 merupakan grup pile A3.

Tabel 1 Properti Umum Pile A3 dan B1/B2

Pile Grup	OD (cm)	WT (cm)	Panjang Pembagian Pile (m)
P01	121.92	4.45	13
	121.92	3.81	40
	121.92	5.08	57
P11	137.16	3.81	58
	137.16	4.45	41
	137.16	5.08	52
Target Penetrasi (m)			110

Selain property umum pile, analisis inplace juga menghasilkan besarnya safety factor pile dan unity check ratio dalam dua kondisi lingkungan, kondisi operasi dan kondisi badai.

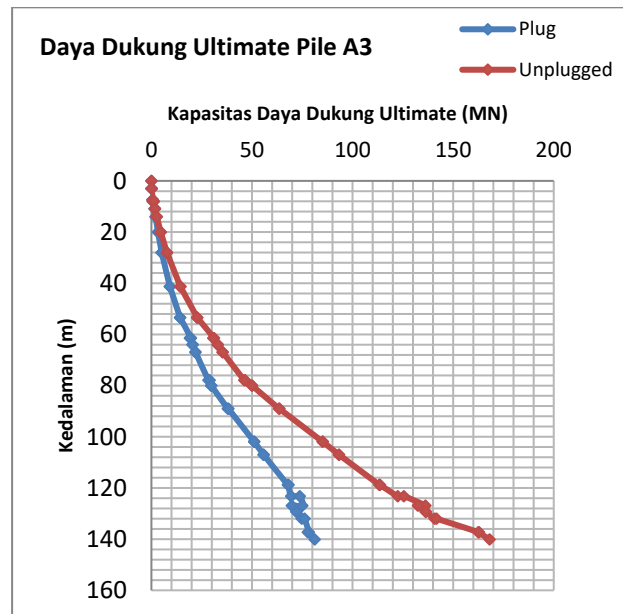
Tabel 2 Output Inplace Kondisi Operasi

Pile		Compression			Tension			Maximum	
Joint	Pile	Max. Load (kN)	LC	SF	Max. Load (kN)	LC	SF	UC	LC
1051	B1	16442.1	1208	3.58	0	1201	100	0.56	1208
1053	B2	13384.6	1212	4.4	0	1201	100	0.45	1212
1055	A3	13191.3	1204	6.17	0	1201	100	0.32	1204

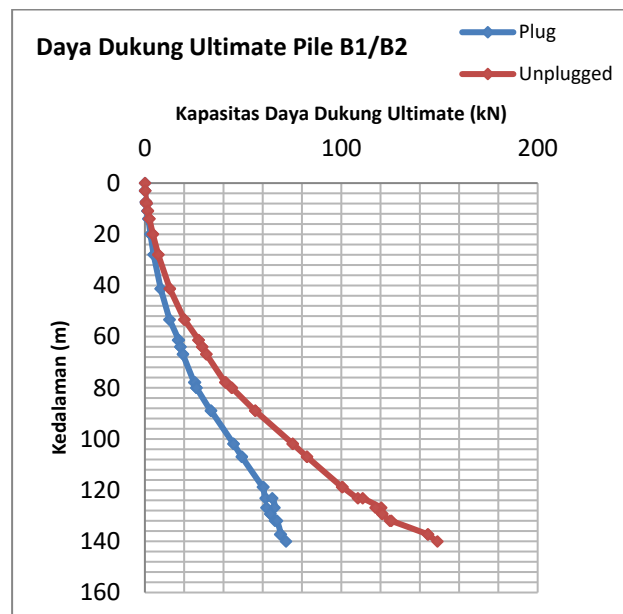
Tabel 3 Output Inplace Kondisi Badai

Pile		Compression			Tension			Maximum	
Joint	Pile	Max. Load (kN)	LC	SF	Max. Load (kN)	LC	SF	UC	LC
1051	B1	22486.1	2208	2.62	2658.7	2202	23.2	0.76	2208
1053	B2	20249	2212	2.91	5101.8	2206	12.09	0.69	2212
1055	A3	21966.9	2204	3.7	9131.2	2210	9.27	0.54	2204

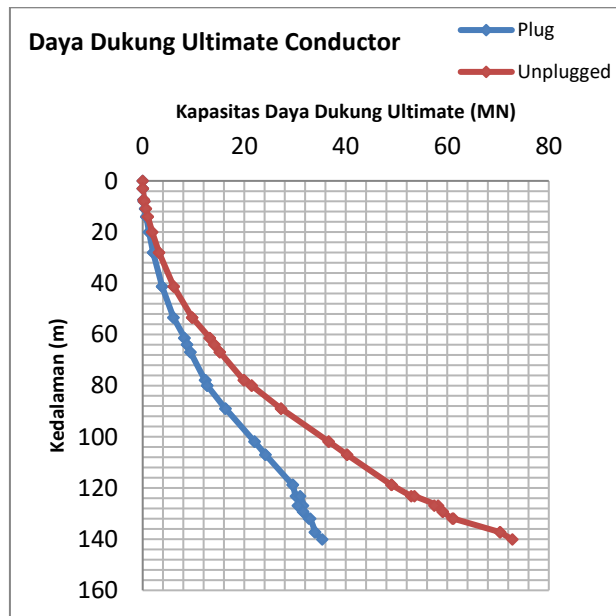
Setelah mengetahui property umum pile dan target penetrasi, dilakukan perhitungan daya dukung pile A3, B1/B2, dan conductor dengan Persamaan (1). Berikut ini grafik hasil perhitungan kapasitas ultimate tanah berdasarkan data tanah yang diketahui.



Grafik 1 Daya Dukung Ultimate A3



Grafik 2 Daya Dukung Ultimate B1/B2



Grafik 3 Daya Dukung Ultimate Conductor

Hasil perhitungan kapasitas ultimate dalam kondisi static tersebut kemudian digunakan untuk menghitung kapasitas ultimate saat pemancangan.

Property umum pile yang diperoleh dalam analisis inplace, sebelumnya, diolah untuk menghasilkan dimensi pile yang lebih detail. Sebelum pile disegmentasi menjadi beberapa bagian dengan panjang tertentu, dilakukan perhitungan kebutuhan panjang pile yang dirangkum dalam **Tabel 4** hingga **Tabel 6** berikut.

Tabel 4 Penentuan Panjang Total Pile A3

Nama Pile	:	A3
Kemiringan	:	1
Elevasi Mudline	:	-58.30 m
Target Penetrasi	:	110.00 m
Panjang Penetrasi Total	:	110.00 m
Elevasi Cut-off	:	8.50 m
Driving Head Allowance	:	4.00 m
Cut-off Izin	:	1.00 m
Jumlah Pile Cut-off	:	2.00
Panjang Pile di atas MSL	:	12.50 m
Panjang Pile Nett	:	168.30 m
Panjang Pile Gross	:	182.80 m

Tabel 5 Penentuan Panjang Total Pile B1/B2

Nama Pile	:	B1/B2
Kemiringan	:	1.005464
Elevasi Mudline	:	-58.30 m
Mudline-MSL	:	58.61 m
Target Penetrasi	:	110.00 m
Panjang Penetrasi Total	:	110.60 m
Elevasi Cut-off	:	6.75 m
Panjang Cut-off ujung	:	6.783 m
Driving Head Allowance	:	4.00 m
Cut-off Izin	:	1.00 m
Jumlah Pile Cut-off	:	2.00
Panjang Pile atas MSL	:	10.79 m
Panjang Pile Nett	:	169.22 m
Panjang Pile Gross	:	182.01 m

Tabel 6 Penentuan Panjang Total Conductor

Nama Pile	:	Cond
Kemiringan	:	1
Elevasi Mudline	:	-58.30 m
Target Penetrasi	:	103.00 m
Panjang Penetrasi Total	:	103.00 m
Elevasi Cut-off	:	37.50 m
Driving Head Allowance	:	2.50 m
Cut-off Izin	:	1.00 m
Jumlah Pile Cut-off	:	3.00
Panjang Pile di atas MSL	:	40.00 m
Panjang Pile Nett	:	161.30 m
Panjang Pile Gross	:	204.30 m

Setelah panjang kebutuhan pile diketahui, kemudian pile disegmentasi dengan panjang tertentu yang telah disesuaikan dengan kedalaman tanah dan analisis stick-up. Berikut ini rangkuman hasil segmentasi pile A3, B1/B2, dan conductor.

Tabel 7 Segmentasi Pile A3

Section	Properti Pile		Section Area (m^2)	Length (m)	Length/ section (m)
	OD (mm)	WT (mm)			
1	1371.6	50.8	0.211	2	45
	1371.6	50.8	0.211	43	
2	1371.6	50.8	0.211	7	49
	1371.6	44.45	0.185	41	
	1371.6	44.45	0.185	1	
3	1371.6	38.1	0.160	17	50
	1371.6	25.4	0.107	32	
	1371.6	25.4	0.107	1	
4	1371.6	25.4	0.107	21.3	38.8
	1371.6	25.4	0.107	13.5	
	1371.6	25.4	0.107	4	
Total				182.8	

Tabel 8 Segmentasi Pile B1/B2

Section	Properti Pile		Section Area	Length (m)	Length/section (m)
	OD (mm)	WT (mm)			
1	1219.2	50.8	0.186	2	57
	1219.2	50.8	0.186	55	
2	1219.2	38.1	0.141	40	46
	1219.2	44.45	0.164	5	
	1219.2	44.45	0.164	1	
3	1219.2	44.45	0.164	25.5	41.5
	1219.2	38.1	0.141	15	
	1219.2	25.4	0.095	1	
4	1219.2	25.4	0.095	5	37.5
	1219.2	25.4	0.095	28.5	
	1219.2	25.4	0.095	4	
Total				182	

Tabel 9 Segmentasi Conductor

Section	Properti Pile		Section Area (m^2)	Length (m)	Length/ section (m)
	OD (mm)	WT (mm)			
1	609.6	25.4	0.047	51	51
2	609.6	25.4	0.047	50	51
	609.6	25.4	0.047	1	
3	609.6	25.4	0.047	34	35
	609.6	25.4	0.047	1	
4	609.6	25.4	0.047	31.8	32.8
	609.6	25.4	0.047	1	
5	609.6	25.4	0.047	32	34.5
	609.6	25.4	0.047	2.5	
Total				204.3	

Berdasarkan analisis stick up yang dilakukan pada ketiga pile dengan konfigurasi seperti pada tabel-tabel diatas, diperoleh nilai unity check maksimum tiap segmen pile seperti pada tabel berikut.

Tabel 10 Rangkuman Unity Check Pile A3

Segmen	Panjang (m)	UC Maks
1	45	0.144
2	49	0.153
3	50	0.528
4	38.8	0.349

Tabel 11 Rangkuman Unity Check Pile B1/B2

Segmen	Panjang (m)	UC Maks
1	57	0.340
2	46	0.179
3	41.5	0.672
4	37.5	0.651

Tabel 12 Rangkuman Unity Check Conductor

Segmen	Panjang (m)	UC Maks
1	51	0.981
2	51	0.981
3	35	0.815
4	32.8	0.845
5	34.5	0.785

Langkah terakhir yang dilakukan dalam analisis pemancangan pile adalah analisis pemancangan dengan persamaan gelombang. Analisis ini tidak dilakukan secara manual, melainkan menggunakan perangkat lunak GRLWeap 2005. Dengan menginput data tanah, data pile, dan data hammer, dapat dilakukan perhitungan jumlah pukulan hammer dan perhitungan stress dinamik pile. Hasil dari analisis ini harus memenuhi kriteria yang disyaratkan API RP2A – WSD, yaitu jumlah pukulan tidak melebihi 300 blows per 0.3 m berturut-turut selama 1.5 meter penetrasi atau 800 blows per 0.3 meter penetrasi. Untuk stress dinamik, nilai stress yang diterima pile akibat pemancangan tidak boleh melebihi 80-90% SMYS.

Tabel berikut menunjukkan rangkuman pengecekan blowcount pada setiap kondisi pemancangan.

Berdasarkan **Tabel 13**, dapat disimpulkan bahwa pemancangan pile A3 dan B1/B2 yang paling optimum dari segi pemakaian hammer bila pemancangan dilakukan dengan hammer MHU 1200S pada efisiensi hammer 90%. Jumlah pukulan yang semakin sedikit akan membuat pile lebih aman dari kerusakan saat pemukulan hammer. Namun, selain mempertimbangkan jumlah pukulan, pemilihan hammer ini juga harus mempertimbangkan stress pada pile, karena semakin besar efisiensi hammer, semakin sedikit pukulannya namun semakin besar stress yang dihasilkan pada pile. Pemenuhan kriteria stress dinamik dapat dilihat pada **Tabel 14**.

Berbeda dengan kondisi pada pile A3 dan B1/B2 yang memenuhi kriteria pile refusal, pemancangan conductor dengan IHC-S150 efisiensi 90% sebenarnya tidak memenuhi kriteria refusal. Kondisi tersebut terjadi karena jumlah pukulan yang dihasilkan saat kondisi set-up lebih besar dari 300. Untuk menanggulangi masalah pile refusal sebenarnya dapat dilakukan beberapa cara, seperti pengubahan dimensi pile (diameter, ketebalan pile), ataupun penggantian hammer

yang digunakan. Namun pada kasus conductor, kedua metode ini tidak dapat dilakukan karena dimensi conductor yang sudah tertentu berdasarkan analisis divisi proses dan analisis stick-up conductor tidak memungkinkan pemakaian hammer yang lebih berat. Karena itu, kondisi pada conductor tersebut masih dapat diaplikasikan dengan syarat kondisi tersebut terjadi hanya pada saat set-up dan jumlah pukulannya tidak melebihi 800.

Tabel 13 Rangkuman Pengecekan Blowcount

Jenis Pile	Jenis Hammer	Efisiensi (%)	Blowcount Maksimum		Pengecekan Kriteria Refusal	
			Continuous	Set-Up	Continuous	Set-Up
A3	IHC - S1200	70	84.2	1213.7	ok	refusal
	MHU - 1200S	70	73.8	671.1	ok	refusal
	IHC - S1200	80	69.1	542.8	ok	refusal
	MHU - 1200S	80	61.2	368.7	ok	refusal
	IHC - S1200	90	58.9	329.8	ok	refusal
	MHU - 1200S	90	52.6	245.4	ok	ok
B1/B2	IHC - S1200	70	59.3	372.3	ok	refusal
	MHU - 1200S	70	51.6	252.2	ok	ok
	IHC - S1200	80	50.2	226.2	ok	ok
	MHU - 1200S	80	44.1	166.3	ok	ok
	IHC - S1200	90	43.8	159.6	ok	ok
	MHU - 1200S	90	38.7	123	ok	ok
Conductor	IHC - S150	70	234.1	1673.3	ok	refusal
	IHC - S150	80	194.1	1047.6	ok	refusal
	IHC - S150	90	165.6	752.9	ok	refusal

Tabel 14 Rangkuman Pengecekan Stress Dinamik Pile

Jenis Pile	Jenis Hammer	Efisiensi (%)	Stress Maksimum (MPa)		Pengecekan Stress Dinamik	
			Continuous	Set-Up	Continuous	Set-Up
A3	IHC - S1200	70	174.85	174.854	ok	ok
	MHU - 1200S	70	178.493	178.497	ok	ok
	IHC - S1200	80	186.557	186.561	ok	ok
	MHU - 1200S	80	190.446	190.45	ok	ok
	IHC - S1200	90	197.547	197.551	ok	ok
	MHU - 1200S	90	201.668	201.673	ok	ok
B1/B2	IHC - S1200	70	174.088	174.093	ok	ok
	MHU - 1200S	70	177.823	177.829	ok	ok
	IHC - S1200	80	185.751	185.757	ok	ok
	MHU - 1200S	80	189.737	189.744	ok	ok
	IHC - S1200	90	196.664	196.67	ok	ok
	MHU - 1200S	90	200.923	200.93	ok	ok
Conductor	IHC - S150	70	197.343	197.715	ok	ok
	IHC - S150	80	210.852	211.278	ok	ok
	IHC - S150	90	223.596	224.027	ok	ok

Setelah dilakukan pengecekan, semua kondisi baik dari segi stress dinamik, karena nilai stress yang dihasilkan lebih kecil dari 80% SMYS, atau kurang dari 276 MPa.

Dari kedua pengecekan tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa pemilihan hammer MHU 1200S untuk pemancangan pile A3 dan B1/B2 sudah tepat. Untuk pemancangan conductor, hammer IHC 150 sudah baik, namun perlu perlakuan khusus saat kondisi set-up.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan perhitungan dan analisis pemancangan yang telah dilakukan dalam karya tulis ini, diperoleh beberapa kesimpulan yang mengenai desain pile dan pemilihan hammer yang digunakan untuk pemancangan pile. Berikut ini kesimpulan dari analisis yang dilakukan.

1. Untuk mampu menahan beban struktur dan lingkungan, pile A3 dan B1/B2 harus berpenetrasi ke dalam tanah hingga kedalaman 110 meter di bawah mudline.

Kedalaman penetrasi diperoleh dari analisis inplace.

2. Berdasarkan analisis stick up, pile A3 didesain menjadi empat segmen dengan panjang total 182.8 meter dengan panjang segmen sebesar 45 meter untuk segmen 1, 49 meter untuk segmen 2, 50 meter untuk segmen 3, dan 38.8 untuk segmen 4. Pile B1/B2 juga terdiri dari empat segmen dengan panjang total 182 meter dan masing-masing segmen sepanjang 57 meter untuk segmen 1, 46 meter untuk segmen 2, 41.5 meter untuk segmen 3, dan 37.5 meter untuk segmen terakhir. Untuk conductor, segmentasi yang dilakukan menghasilkan 5 segmen conductor yaitu, 51 meter untuk segmen 1 dan 2, 35 meter untuk segmen 3, 32.8 meter untuk segmen 4, dan 34.5 meter untuk segmen terakhir. Panjang total conductor mencapai 204.3 meter.
3. Berdasarkan analisis pemancangan dengan menggunakan persamaan gelombang, diperoleh hammer optimum untuk memancang ketiga jenis pile. Untuk pile A3 dan B1/B2, digunakan hammer Menck MHU 1200S dengan efisiensi 90%. Dengan

menggunakan hammer tersebut, pemancangan pile A3 membutuhkan pukulan sebanyak 53 pukulan dan 245 pukulan dalam kondisi pemancangan kontinu dan set-up. Pemancangan pile B1/B2 membutuhkan pukulan sebanyak 39 pukulan dan 123 pukulan dalam kondisi pemancangan kontinu dan set-up. Untuk pemancangan conductor digunakan hammer IHC S150 dengan efisiensi 90% dan jumlah pukulan yang dihasilkan sebesar 165.5 untuk kondisi pemancangan kontinu dan 753 untuk kondisi set-up.

4. Hammer yang telah dipilih untuk pemancangan pile A3, B1/B2, dan conductor telah sesuai dengan kriteria pile refusal dan stress dinamik pile dimana jumlah pukulan pile kurang dari 300 dan stress dinamik pile kurang dari 80% SMYS.

Adapun saran penulis setelah melakukan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan daya dukung pile static dan selama pemancangan sebaiknya dilakukan lebih akurat agar input data tanah saat melakukan analisis pemancangan lebih akurat dan hasil jumlah pukulan hammer dan stressnya lebih efisien.
2. Analisis pemancangan untuk tiang miring, sebaiknya digunakan menggunakan perangkat lunak GRLWeap edisi terbaru yang telah ditambahkan dengan fitur untuk tiang miring dan pemancangan di dalam laut, sehingga hasil analisis pemancangan lebih akurat.
3. Sebaiknya, dilakukan pengumpulan katalog hammer yang lebih banyak untuk memberikan alternative hammer yang lebih banyak untuk instalasi pile.

KETERANGAN SIMBOL

Q_d	: Kapasitas ultimate tiang terhadap beban aksial (kN)
Q_f	: Tahanan geser sekeliling <i>pile</i> (<i>skin friction</i>) (kN)
Q_p	: Total tahanan ujung (<i>end bearing</i>) (kN)
f	: Unit tahanan geser <i>pile</i> (kPa)
A_s	: Luas selimut <i>pile</i> (m ²)
q	: Unit tahanan ujung <i>pile</i> (kPa)
q_p	: Unit tahanan ujung <i>pile</i> (kPa)
A_p	: Luas ujung <i>pile</i> (m ²)
P	: Perimeter atau keliling tiang (m)
ΔL	: Panjang segmen tiang (m)
C_u	: <i>undrained shear strength</i> pada titik yang ditinjau
α	: factor adhesi, tanpa dimensi
$\alpha = 0.5\psi^{-0.5}$ untuk $\psi \leq 1$	
$\alpha = 0.5\psi^{-0.25}$ untuk $\psi > 1$	
ψ	: rasio kekuatan tanah = $\frac{c}{p'o}$
$p'o$	: tegangan <i>overburden</i> efektif (kPa)
β	: factor gesekan <i>pile</i> (tanpa dimensi) yang diperoleh dari API RP2A – WSD.
N_c, N_q	: faktor-faktor daya dukung fondasi.
δ	: sudut geser antara <i>pile</i> dan pasir
E	: Modulus elastisitas Young (MPa)
K	: Faktor panjang efektif, diperoleh dari

Tabel 15.

Tabel 15 Penentuan Faktor Panjang Efektif

Situation	Effective Length Factor K	Reduction Factor $C_m^{(1)}$
Superstructure Legs		
Braced	1.0	(a)
Portal (unbraced)	$K^{(2)}$	(a)
Jacket Legs and Piling		
Grouted Composite Section	1.0	(c)
Ungouted Jacket Legs	1.0	(c)
Ungouted Piling Between Shim Points	1.0	(b)
Deck Truss Web Members		
In-Plane Action	0.8	(b)
Out-of-plane Action	1.0	(a) or (b) ⁽⁴⁾
Jacket Braces		
Face-to-face length of Main Diagonals	0.8	(b) or (c) ⁽⁴⁾
Face of leg to Centerline of Joint Length of K Braces ⁽³⁾	0.8	(c)
Longer Segment Length of X Braces ⁽³⁾	0.9	(c)
Secondary Horizontals	0.7	(c)
Deck Truss Chord Members	1.0	(a), (b) or (c) ⁽⁴⁾

(1) Defined in Section 3.3.1.e.

(2) Use Effective Length Alignment Chart in Commentary of AISC. This may be modified to account for conditions different from those assumed in developing the chart.

(3) At least one pair of members framing into a joint must be in tension if the joint is not braced out of plane.

(4) Whichever is more applicable to a specific situation.

l : Panjang *pile* tanpa *brace* (m)

r : Radius putar (m)

F_y : Yield strength (MPa)

D : Diameter *pile* (m)

t : Tebal *pile* (m)

C : Koefisien buckling elastis kritis, nilai yang direkomendasikan adalah sebesar 0.3.

C_m : Faktor reduksi minimum = 1

K : Faktor panjang efektif = 2.1

$$F_e' = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl/r)^2}$$

DAFTAR PUSTAKA

Ahmadi, Febriari. 2009. Analisis Pile Driveability Pada Struktur Lepas Pantai. Bandung: Program Studi Teknik Kelautan, Institut Teknologi Bandung.

American Petroleum Institute. 2000. Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Working Stress Design Twenty-First edition. American Petroleum Institute.

Braja M Das. 2006. *Principles of Geotechnical Engineering Fifth Edition*. California : Thomson.

Paramita, Vidya. 2010. Analisis Pile Driveability Pada Instalasi *Wellhead Platform* di Laut Natuna. Bandung: Program Studi Teknik Kelautan, Institut Teknologi Bandung.

PC Ketapang II LTD. 2007. *Geotechnical Site Survey Minimum Facility Platform Site Bukit Tua Field Development Ketapang Block, Offshore East Java Indonesia*. Jakarta. PT Fugro Indonesia.

PC Ketapang II LTD. 2012. Pile and Conductor Drivability Report WHP. Jakarta. PT PAL Indonesia.

PC Ketapang II LTD. 2012. WHP Substructure Inplace Analysis Report. Jakarta. PT PAL Indonesia.

PC Ketapang II LTD. 2012. WHP Topside Inplace Analysis Report. Jakarta. PT PAL Indonesia.

Saipem. 2007. Pile Driveability Analysis Course. Jakarta. PT Saipem Indonesia.

Tawekal, Ricky Lukman. 2010. “Diktat Kuliah KL4121 Bangunan Lepas Pantai I”. Bandung: Penerbit ITB.

Tomlinson, M. J. 1994. *Pile Design and Construction Service*. London: An imprint of Chapman & Hall.