

Penerapan *Termination Criteria* Untuk Control Energi Pada Pekerjaan Pemancangan Menggunakan Diesel *Hammer* Pada Manyar Smelter Project PT. Freeport Indonesia

Ari Aditya^{1*}, Yanto^{1,2}

¹Prodi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya Jakarta Jalan Jendral Sudirman 51 Jakarta 12930

²Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya Jakarta Jalan Raya Cisauk-Lapan No. 10, Sampora, Cisauk, Tangerang, Banten 15345

Article Info

Article history:

Received
11 December 2024

Accepted
21 December 2024

Keywords:

Installation, diesel hammer, termination criteria, smelter project

Abstract

This article aims to present one of the engineering practice activities carried out in the installation of spun piles using a diesel hammer, by applying termination criteria. This approach was applied on the hammer fall height to control the energy transfer during the driving of the spun pile at the smelter project in Manyar, PT Freeport Indonesia. Essentially, pile driving is the process of embedding piles into the ground until they reach a firm soil layer. During the pile driving process, a certain amount of energy is required to drive the pile into the ground. The amount of energy has a significant impact on the pile's bearing capacity. The application of termination criteria was used to confirm the energy level achieved during the driving process, especially when taking the calendaring measurements.

Info Artikel

Histori Artikel:

Diterima:
11 Desember 2024

Disetujui:
21 Desember 2024

Kata Kunci:

Pemancangan, diesel hammer, termination criteria, proyek smelter

Abstrak

Artikel ini bertujuan untuk menyajikan salah satu kegiatan praktik keinsinyuran yang dilakukan dalam pekerjaan pemancangan spunpile menggunakan diesel *hammer* dengan menerapkan *termination criteria*. Pendekatan ini diterapkan pada tinggi jatuh *hammer* untuk mengontrol transfer energi dalam proses pemancangan spun pile pada proyek smelter Manyar di PT Freeport Indonesia. Pekerjaan pemancangan adalah proses penanaman tiang pancang hingga mencapai lapisan tanah yang keras. Pada saat proses pemancangan, diperlukan besaran energi tertentu yang harus tercapai untuk menanamkan tiang pancang ke dalam tanah. Besaran energi ini memiliki dampak yang sangat besar terhadap daya dukung tiang pancang. Penerapan *termination criteria* adalah untuk mengonfirmasi besaran energi yang tercapai selama proses pemancangan, terutama saat pengambilan kalendering.

1. PENDAHULUAN

Makalah ini menyajikan kegiatan praktik keinsinyuran mengenai pekerjaan pemancangan *Spunpile* menggunakan Diesel *Hammer* dengan menerapkan *termination criteria* untuk kontrol energi pada Proyek Smelter Manyar yang berada di Kawasan Ekonomi Khusus JIPE Manyar Rejo Gresik, Jawa Timur. Sesuai dengan standard *DIN EN 12699 8.5. Equipment and method*, mensyaratkan tiang pancang dipasang pada selubung atau tabung dorong dan dipasangkan dengan *hammer* yang sesuai. Hal ini untuk memungkinkan penetrasi hingga kedalaman yang ditentukan atau mencapai resistensi yang diperlukan tanpa menyebabkan kerusakan, dengan gangguan lingkungan yang minimal.

*Corresponding author. Ari Aditya
Email address: aditya.arie95.aa@gmail.com

Pabrik peleburan PT. Freeport Indonesia (PT. FI) yang dibangun di Kawasan Industri Terpadu Jawa (JIPE) di Gresik, Jawa Timur, berdiri di atas lahan seluas 100 hektar, merupakan fasilitas pemurnian dan pengolahan konsentrat tembaga kedua milik PT. FI. Kegiatan yang dilakukan dan disajikan pada makalah ini mencakup area C-E dengan luas area 26 hektar. Area C dan E merupakan fasilitas *waste water treatment, Common gas cleaning, acid plant* serta Storage shelter. Jumlah tiang pancang pada area C dan E adalah 3100 titik dengan berbagai konfigurasi. Pembangunan Manyar Smelter Project ini dimulai tahun 2020 sebagai wujud komitmen PT. FI untuk mematuhi persyaratan yang terdapat dalam IUPK.

Smelter PT. Freeport Indonesia dirancang untuk memiliki kapasitas pengolahan konsentrat tembaga sebesar 2 juta ton per tahun, yang menjadikan smelter ini sebagai tempat pengolahan tembaga terbesar di dunia. Hasil pengolahan smelter PT. Freeport Indonesia akan ditambahkan dengan kapasitas pengolahan smelter yang telah beroperasi, yaitu PT. Smelting, dengan kapasitas pengolahan 1 juta ton konsentrat tembaga setiap tahun. Dengan demikian, setelah smelter beroperasi, PT. FI akan mampu mengolah 3 juta ton konsentrat tembaga per tahun. Ke depannya, PT. FI dan Pemerintah Indonesia akan terus bahu membahu, agar Smelter PT. Freeport Indonesia dapat mendistribusikan manfaat tembaga ke seluruh dunia karena tembaga adalah logam masa depan, yang akan menghantarkan manusia menuju kehidupan yang lebih baik.

Manyar Smelter Project memiliki persyaratan teknis yang cukup tinggi terutama untuk pekerjaan pondasi. Dari spesifikasi teknis pada kontrak, memiliki persyaratan bahwa daya dukung tiang pancang diameter 600mm adalah 5000kN. Untuk mencapai persyaratan tersebut, di dalam spesifikasi teknis juga mensyaratkan untuk besaran transfer *energy* pada *final settlement* adalah 70kN yang mana hal tersebut harus dikonfirmasi terhadap kapasitas tiang pancang itu sendiri.

Termination criteria adalah indikator yang dibuat sebagai pembatas tinggi jatuh *hammer* minimum dan tinggi jatuh *hammer* maksimum untuk memastikan bahwa transfer energi yang digunakan pada saat pemancangan tidak kurang dari syarat yang ditentukan pada spesifikasi teknis karena akan berdampak pada daya dukung tiang pancang, serta tidak melebihi dari kapasitas tiang pancang sehingga mengakibatkan kerusakan pada tiang pancang. Untuk membuat *termination criteria* diperlukan kajian pada saat *Driving Test pile* dengan menggunakan alat *pile driving analyzer*. Tujuan utama penerapan *termination criteria* ini pada pekerjaan pemancangan adalah sebagai panduan pada saat *kalendering* atau pengambilan pengambilan *final settlement*. Besaran energi pada *hammer rig* meskipun dengan kapasitas yang sama akan memiliki besaran transfer energi yang berbeda-beda. Dengan demikian, penerapan terminasi kriteria ini bermanfaat untuk memastikan besaran transfer energi pada saat kalendering atau pengambilan *final settlement* sehingga daya dukung tiang pancang rencana sesuai *design* dapat tercapai.

2. METODE PELAKSANAAN

2.1 Persyaratan teknis pekerjaan pemancangan

Berdasarkan spesifikasi teknis proyek, ada beberapa ketentuan yang harus dipenuhi saat pelaksanaan pemancangan. Dari sisi material, penggunaan material tiang pancang memiliki spesifikasi: (1) *PC Spun piles shall be manufactured in accordance with JIS A5335* (JIS, 1987), (2) *steel pipe pile shall be manufactured in accordance with ASTM A252* (ASTM, 2007), dan (3) *pile Shoe Type for PC Spun piles shall be "MAMIRA" shoe* (CEN, 2000).

2.2 Pemancangan dan target daya dukung tiang pancang

Pada proses pemancangan ada beberapa syarat yang harus dipenuhi seperti syarat besaran transfer *energy* untuk memastikan daya dukung tiang pancang tercapai sesuai

desain. Kemudian *marking* tiang pancang untuk *monitoring settlement* dan juga target daya dukung tiang pancang sesuai *statement* spesifikasi yang telah ditentukan. Beberapa persyaratan proses pemancangan yang tertera pada spesifikasi yang ditentukan harus diakomodir untuk memastikan persyaratan mampu di penuhi tanpa mengalami kegagalan pemancangan yang diakibatkan dari kerusakan tiang pancang (BSN, 2023; JIS, 1987; ASTM, 2007; CEN, 2000).

2.3 Penggunaan *termination criteria*

Pada proses pekerjaan pemancangan memiliki beberapa tahapan dan persyaratan yang harus dipenuhi pada setiap tahapannya. Untuk memulai pekerjaan pemancangan diperlukan pekerjaan *survey* titik koordinat tiang pancang sesuai dengan gambar desain. Kemudian pada saat pemancangan *bottom section* tiang pancang diposisikan pada titik koordinat yang sudah ditentukan dan diukur terhadap kelurusan vertikalnya. Selanjutnya setelah dilakukan pengecekan posisi terhadap koordinat dan kelurusan arah vertikal bisa dilakukan pemancangan hingga hampir rata dengan tanah untuk dilakukan penyambungan menggunakan las.

Sebelum pekerjaan penyambungan harus dilakukan pengecekan kerataan permukaan plat sambung tiang pancang. Pengelasan harus dilakukan oleh tukang las yang bersertifikat, dan setiap pengelasan akan dilakukan inspeksi sebelum dilanjutkan pemancangan. Proses pemancangan harus dilakukan hati-hati sesuai dengan metode kerja yang ada, tinggi jatuh *hammer* harus ditentukan batasannya untuk memastikan pada saat pemancangan aman terhadap pekerja dan material tiang pancang. Pada proses akhir pekerjaan pemancangan harus dilakukan *kalendering* yaitu penentuan bahwa tiang pancang sudah mencapai lapisan tanah keras.

Termination criteria digunakan pada proses pemancangan yaitu untuk mengetahui batasan tinggi jatuh minimum dan maksimum *hammer* sehingga energi yang digunakan untuk pemancangan bisa terkontrol. Terutama untuk pelaksanaan *kalendering*, proses ini digunakan untuk menentukan bahwa tiang pancang sudah mencapai lapisan tanah keras sehingga besaran transfer energi harus sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Indikator *kalendering* adalah besaran *settlement* pada 10 tumbukan terakhir. Jika besaran transfer *energy* yang terjadi kurang dari yang disyaratkan bisa mengakibatkan daya dukung tiang pancang tidak tercapai. Begitupun sebaliknya jika besaran transfer energi lebih besar dari yang disyaratkan akan mengakibatkan tiang pancang pecah.

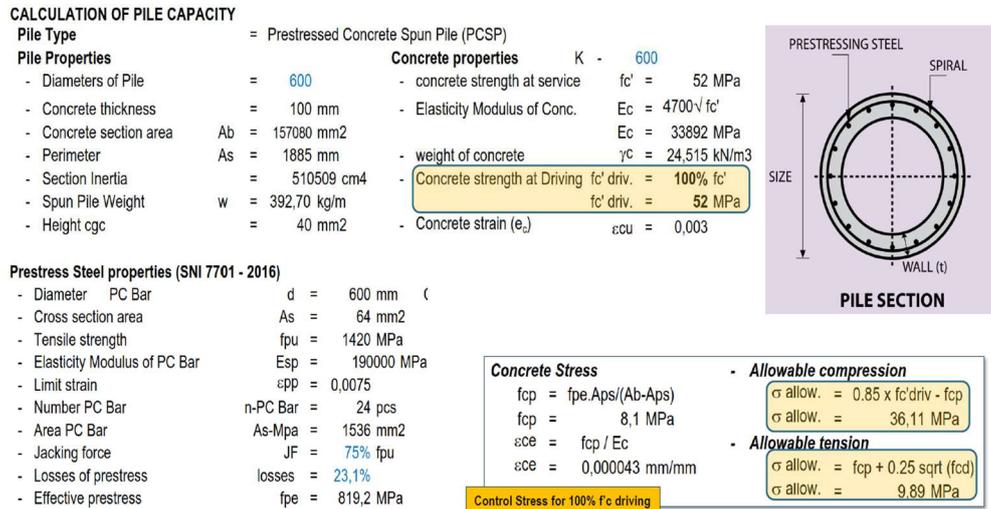
2.4 Metode penyusunan *termination criteria*

Untuk Menyusun *termination criteria* perlu dilakukan beberapa tahapan sebagai berikut:

- a. Analisa dan evaluasi kapasitas tiang pancang sesuai dengan produk manufacture terhadap persyaratan pada spesifikasi teknis. Analisa ini dilakukan untuk memastikan bahwa kapasitas dari produk tiang pancang masih mampu jika di aplikasikan persyaratan transfer energi 70kN dan daya dukung tiang pancang 5000kN. Analisa yang dilakukan adalah perhitungan kapasitas tension dan compression maksimum pada saat dilakukan *driving* tiang pancang (contoh pada Gambar 1).
- b. Proses selanjutnya yaitu pengambilan data menggunakan *pile driving analyzer* pada saat pelaksanaan test pile atau ketika *driving* tiang pancang. Beberapa tahapan pekerjaan sebagai berikut: (1) Persiapan *Tools* dan *Equipment*, (2) Pemasangan sensor *pile driving analyzer*, (3) Pengambilan data sampel, (4) Monitoring *settlement*, dan (5) pengumpulan dan pengolahan data.

Pada persiapan *tools* dan *equipments*, dilakukan persiapan rig dan *hammer* (DD105) dengan kapasitas *hammer* 10 Ton serta beberapa *tools* seperti *wire sling*, *welding machine*, habitat, *sachkle* dan beberapa alat lain yang diperlukan (ilustrasi

Gambar 2a). Untuk sensor, dipasang pada tiang pancang dari *section bottom, middle* maupun *upper* (ilustrasi pada Gambar 2b). Untuk pengambilan data sampel, pembacaan data dilakukan pada saat sensor sudah terpasang dan dimulai *driving spun pile*. Pembacaan data diambil setiap tumbukan, dengan data yang digunakan adalah tinggi jatuh *hammer* dari paling rendah hingga yang paling tinggi. Beberapa data yang diperlukan dan contoh data yang diambil disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 3.



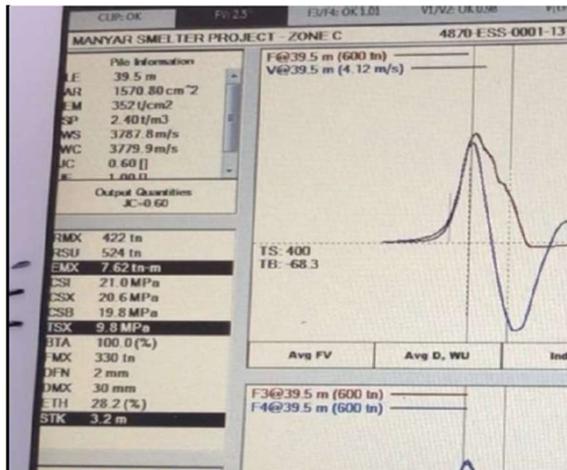
Gambar 1.
Perhitungan kapasitas tiang pancang



Gambar 2.
Persiapan pemancangan (a) dan pemasangan sensor *pile driving analyzer* (b)

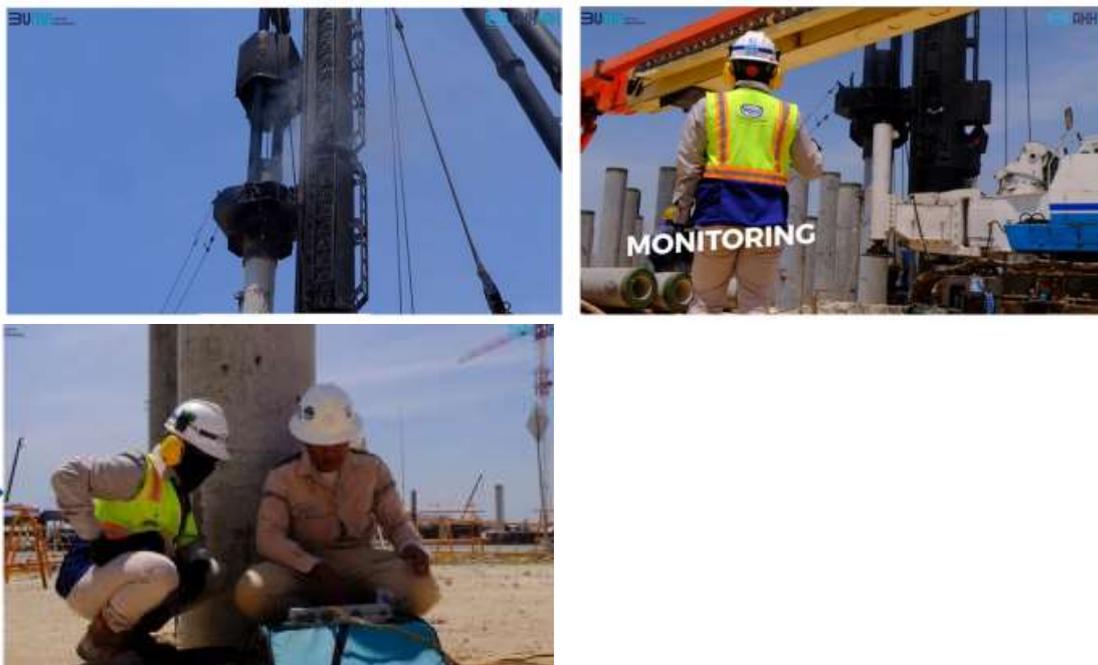
Tabel 1.
Output data *Pile driving analyzer*

No	Deskripsi	Keterangan
1	RMX	Daya Dukung Tiang
2	RSU	Perkiraan Daya dukung ultimate
3	EMX	Max Transfer Energi
4	CSX	Kompresi
5	TSX	Tension
6	BTA	Keutuhan Tiang
7	FMX	Gaya tekan Max
8	DFN	Penurunan permanen
9	DMX	Penurunan max /pukulan
10	ETH	Efisiensi tranfer energy
11	STK	Tinggi jatuh



Gambar 3.
Pengambilan data pada *pile driving analyzer*

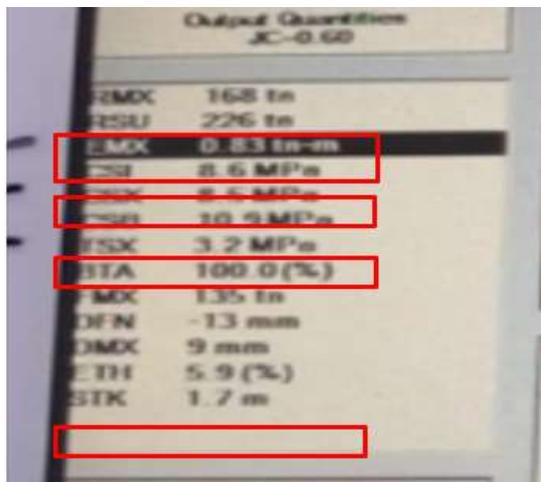
Untuk *monitoring settlement*, pada saat pelaksanaan *driving spun pile* selain mengambil data pada *pile driving analyzer*, dilakukan juga pengamatan pada *settlement* pada setiap tumbukan *hammer* (ilustrasi Gambar 4). Pengamatan ini bertujuan untuk melihat lapisan tanah disetiap layer nya. Semakin keras lapisan tanah diperlukan energi yang semakin besar untuk *driving spun pile* sehingga Ketika tinggi jatuh *hammer* di tingkatkan ketinggiannya maka akan didapatkan data tinggi jatuh dan energy maksimum dari *hammer* tersebut. Begitupun sebaliknya ketika tanah lunak maka dilakukan pengurangan tinggi jatuh *hammer*. Ketika pengamatan di *section upper* dan melihat penurunan setiap tumbukan dengan tinggi jatuh maksimum mengalami *settlement* yang kecil 25mm setiap 10 tumbukan, maka pelaksanaan pemancangan dihentikan sesuai dengan indikator *final settlement*.



Gambar 4.
Monitoring data pada *Pile driving analyzer*

Pada tahap pengumpulan data, beberapa data yang digunakan untuk membuat *termination criteria* antara lain: CSX (kompresi yang terjadi pada tiang pancang), TSX (tensi yang terjadi pada tiang pancang), EMX (transfer energi yang terjadi setiap tumbukan

pada tiang pancang), dan STK (tinggi jatuh *hammer*). Gambar 5 menyajikan contoh data pada *Pile driving analyzer*. Dari pengamatan pada saat pemancangan dari *bottom section*, *middle section* hingga *upper section* di ambil beberapa sampel yang mewakili tinggi jatuh *hammer* dan ditabulasi seperti yang tertera pada Tabel 2.

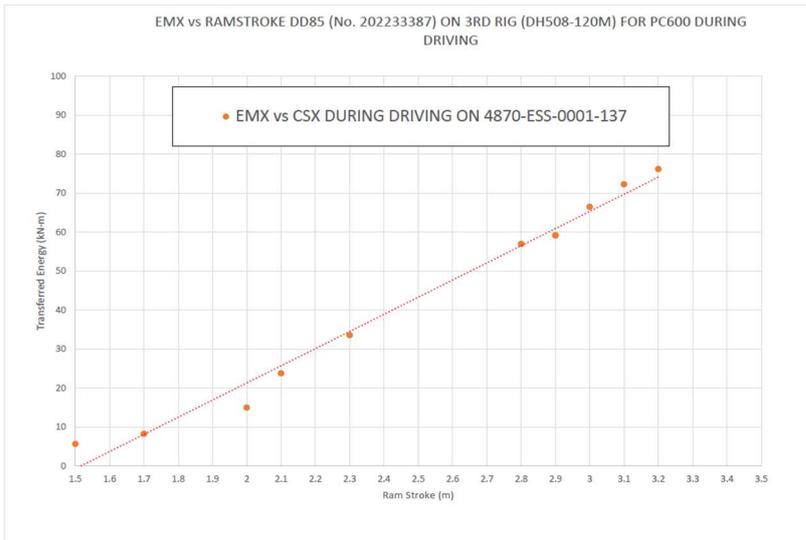


Gambar 5.
Contoh data pada *Pile driving analyzer*

Tabel 2.
Tabulasi beberapa sampel yang diambil

Mpa CSX	Mpa TSX	tn-m EMX	m STK
7.5	2.2	5.7	1.5
8.5	3.2	8.3	1.7
10.7	5.2	15	2
12.4	6	23.8	2.1
14.7	7.4	33.6	2.3
18.4	9	57	2.8
18.6	9	59.2	2.9
18.6	9	59.2	2.9
19.4	9.3	66.5	3
20.3	9.6	72.3	3.1
20.6	9.8	76.2	3.2

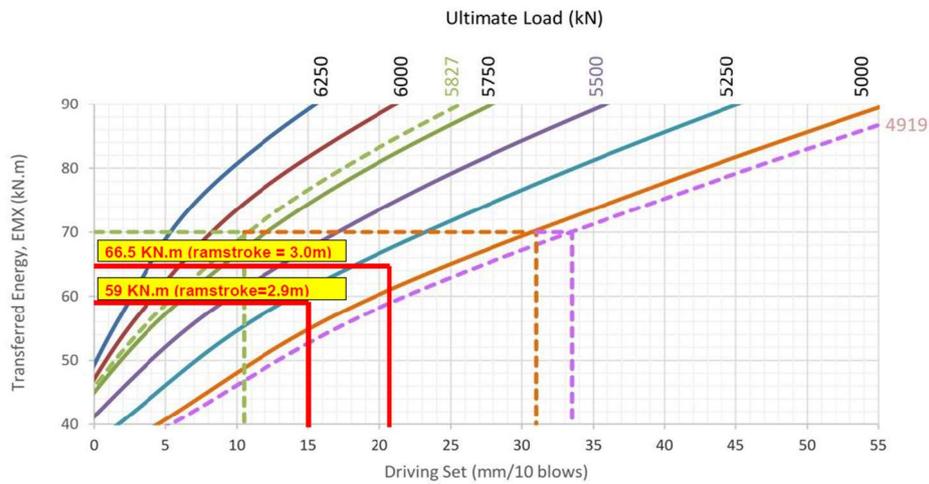
Dari hasil rekapitulasi data yang tertera, bisa dilihat besaran transfer energi, kompresi dan tensi yang terjadi pada tiang pancang pada setiap tinggi jatuh *hammer*. Kemudian, data besaran transfer energi dibuat dalam bentuk grafik korelasi antara tinggi jatuh *hammer* (*ramp stroke*) seperti yang terlihat pada Gambar 6. Setelah membuat grafik korelasi antara tinggi jatuh *hammer* terhadap besaran transfer energi, kemudian dibuat grafik korelasi tranfer *energy* terhadap kapasitas tensi dan kompresi maksimum tiang pancang sesuai dengan perhitungan yang sudah dilakukan pada langkah pertama. Grafik korelasi bisa dilihat pada Gambar 7. Grafik pada Gambar 7 adalah sebagai indikator besaran tinggi transfer energi yang diizinkan untuk bisa diterima oleh tiang pancang selama *driving*. Jika melebihi limit yang ditentukan (hasil perhitungan) maka akan berpotensi tiang pancang pecah. Kemudian setelah grafik indikator limit besaran *energy* yang mampu diterima oleh material spun pile maka kemudian membuat grafik *termination criteria*, yaitu grafik yang mengkorelasikan tinggi jatuh *hammer* terhadap besaran energi yang diterima *spun pile* dan besaran daya dukung *spun pile* ketika *final settlement* (Gambar 8). Kemudian dari beberapa grafik tersebut ditabulasi dan dijadikan sebagai acuan supervisor di lapangan pada saat pekerjaan pemancangan seperti pada Gambar 9.



Gambar 6.
Grafik korelasi transfer energi dan tinggi jatuh *hammer*



Gambar 7.
Grafik *Tension & compression limit*



Gambar 8.
Grafik *termination criteria*

**Termination Criteria for PC600 long pile
Pile using HAMMER DD85 (No. 202233387)
ON 3RD RIG (DH608-120M) [MSP]
(as per 4-JUNE -2022)**

VARIATION	RAM STROKE (m)	FINAL SET (mm/10blow)	BLOWS /100mm	BLOWS /20mm
1 st Condition	3.2	30	40	8
2 nd Condition	3.0	25	48	10
3 rd Condition	2.9	18	52	16

Note:
When high rebound occurred, start counting blows/20mm and take calendering to avoid pile damage

Gambar 9.

Hasil *Termination criteria*

Dari Gambar 9, bisa dilihat bahwa untuk penggunaan *termination criteria* yang memiliki 3 (tiga) kondisi yaitu dengan tinggi jatuh *hammer* yang berbeda dengan tujuan untuk memberikan beberapa pilihan sesuai kondisi ketika pelaksanaan pemancangan. Secara garis besar, tahapan pekerjaan pemancangan dirangkum pada Gambar 10. Sedangkan Gambar 11 menyajikan dokumentasi pekerjaan kalendering yang dilakukan.



Gambar 10.

Tahapan pekerjaan pemancangan



Gambar 11.

Pekerjaan *Kalendering*

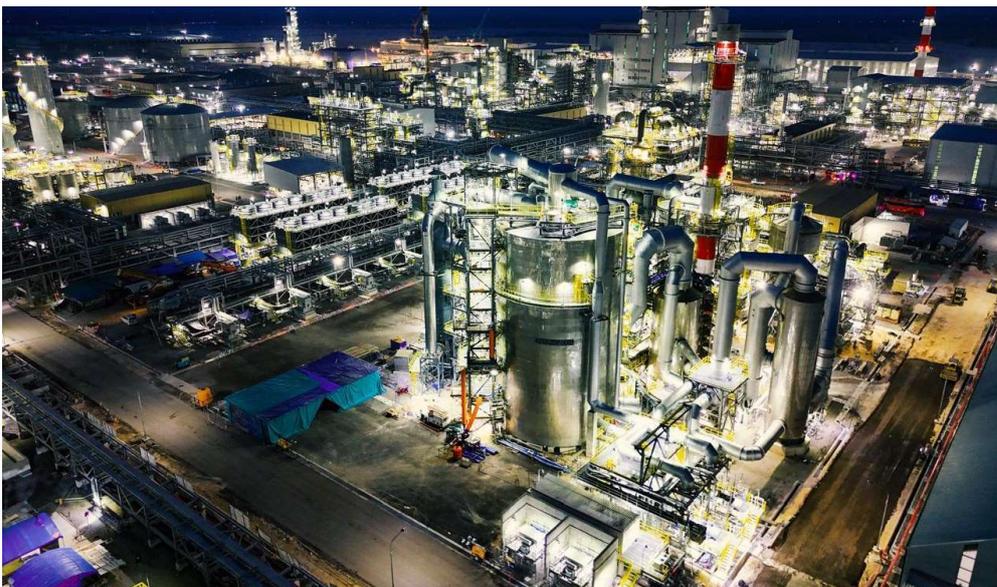
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari kegiatan pekerjaan ini adalah berhasilnya penerapan *termination criteria* untuk pekerjaan pemancangan *Spunpile* pada Proyek Smelter Manyar PT. Freeport Indonesia yang berlokasi di Manyarejo. Hasil penerapan *termination criteria* memiliki dampak yang cukup baik terutama untuk menghindari potensi kegagalan pemancangan. Kemudian untuk target daya dukung tiang pancang yang disyaratkan pada spesifikasi teknis yaitu 5000kN untuk diameter 600mm setelah dikonfirmasi dengan pengetesan PDA re-strike semua tercapai. Gambar 12 menyajikan ilustrasi aktivitas pekerjaan pemancangan.



Gambar 12.
Aktivitas pekerjaan pemancangan

Dari total pekerjaan pemancangan yang berjumlah 3100 titik terjadi kegagalan pemancangan berjumlah 4 titik yang diakibatkan *human error* yaitu tidak mengikuti langkah pekerjaan sesuai dengan metode kerja yang ada. Dengan perbandingan jumlah titik dan jumlah kegagalan tiang pancang bisa disimpulkan bahwa penerapan *termination criteria* merupakan metode kerja yang efektif secara teknis dan komersial untuk mencapai mutu pekerjaan yang baik dan Tingkat keamanan yang tinggi. Gambar 13 menyajikan Smelter yang telah selesai dikonstruksi.



Gambar 13.
Smelter selesai dikonstruksi

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Melalui kegiatan ini, sebanyak 3100 titik tiang pancang telah berhasil dipasang sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan, yang menunjukkan keberhasilan dalam mencapai target proyek dengan standar kualitas yang tinggi. Penggunaan *termination criteria* dalam proses pemancangan memberikan manfaat yang sangat signifikan, terutama dalam mengoptimalkan efisiensi dan keselamatan kerja. Dengan penerapan kriteria ini, proses pemancangan dapat dikendalikan secara lebih presisi, yang memastikan bahwa energi yang ditransfer selama pemancangan terkontrol dengan baik. Hal ini sangat penting untuk memastikan bahwa daya dukung tiang pancang yang tinggi, yaitu mencapai 5000 kN, dapat tercapai dengan aman dan efektif tanpa risiko kerusakan pada tiang pancang ataupun tanah di sekitarnya.

Termination criteria berfungsi sebagai panduan untuk mengontrol tinggi *ramp stroke* sesuai dengan terminasi yang sudah ditentukan, sehingga mengurangi kemungkinan over energy ketika pekerjaan penanaman tiang. Dengan cara ini, energi yang diterapkan pada setiap tiang pancang dapat dipantau dengan ketat, memastikan bahwa tiang pancang tidak hanya mencapai kedalaman yang diinginkan, tetapi juga memiliki daya dukung yang sesuai dengan desain struktural. Secara keseluruhan, penerapan teknik ini tidak hanya menjamin hasil yang lebih akurat dan dapat diandalkan, tetapi juga meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi waktu yang dibutuhkan dalam proses pemancangan, yang pada akhirnya mempercepat penyelesaian proyek secara keseluruhan.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. ASTM International. (2007). *ASTM D1143/D1143M-07: Standard test method for deep foundations under static axial compression load*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
2. ASTM International. (2007). *ASTM D3966/D3966M-07: Standard test method for deep foundations under lateral load*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
3. Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2023). *SNI 9156:2023: Spesifikasi teknis tiang pancang beton pracetak*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
4. European Committee for Standardization (CEN). (2000). *EN 12699:2000: driving of piles with diesel hammers*. Brussels: European Committee for Standardization.
5. Hardiyatmo, H.C. (2020). *Analisa dan Perancangan Fondasi I*. Yogyakarta: Penerbit Gadjah Mada University Press
6. Japanese Industrial Standards (JIS). (1987). *JIS A 5335-1987: Standard for spun pile concrete pile*. Tokyo: Japanese Standards Association.
7. Pamungkas, A. & Hariati, E. (2013). *Desain Pondasi Tahan Gempa*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.