

STUDI PERBANDINGAN PONDASI TIANG PANCANG DAN TIANG BOR DITINJAU DARI BIAYA DAN PRODUKTIVITAS TENAGA KERJA

Sri Aliane Rahayu Ningsih¹, Agustinus Agus Setiawan², Rizka Arbaningrum³

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pembangunan Jaya
Email: Srialiane@gmail.com

^{2*} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pembangunan Jaya
Email: agustinus@upj.ac.id (Corresponding Author)

³Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pembangunan Jaya
Email: rizka.arbaningrum@upj.ac.id

Masuk: 29-05-2023, revisi: 29-09-2023, diterima untuk diterbitkan: 30-10-2023

ABSTRAK

Pondasi merupakan unsur struktur bawah dari suatu konstruksi yang memiliki fungsi menyalurkan beban struktur atas ke lapisan tanah keras. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektifitas dari pondasi tiang pancang dan tiang bor ditinjau dari segi biaya dan produktivitas tenaga kerja. Sebagai bahan studi kasus, obyek penelitian diambil dari pelaksanaan struktur pondasi Rumah Sakit "X" di Jakarta Selatan. Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan pemilihan jenis pondasi, antara pondasi tiang pancang D40 cm dengan panjang 18m, pondasi tiang bor D60, dan D80 yang masing-masing memiliki panjang 20m. Berdasarkan analisis biaya dan waktu konstruksi diperoleh hasil bahwa pelaksanaan pondasi tiang pancang D40 cm adalah yang paling ekonomis dengan biaya sebesar Rp. 5.211.225.400,00 dengan durasi pekerjaan selama 53 hari, pondasi tiang bor untuk D60 membutuhkan biaya sebesar Rp. 6.116.965.139,00 (lebih tinggi 17,38%) dengan durasi pekerjaan selama 86 hari, dan pondasi tiang bor D80 membutuhkan biaya sebesar Rp. 6.935.678.499,00 (lebih tinggi 33,1% dari tiang pancang) dengan durasi pekerjaan selama 98 hari. Dari segi produktivitas tenaga kerja, fondasi tiang pancang lebih rendah dibandingkan dengan fondasi tiang bor.

Kata Kunci: Biaya; Produktivitas; Tenaga Kerja; Tiang Pancang; Tiang Bor

ABSTRACT

The foundation is a sub structure element of a construction which has the function of distributing the load of the upper structure to the hard soil layer. This research has an objective to analyze the effectiveness of pile and drilled pile foundations in terms of costs and labor productivity. As a case study, the research object was taken from the implementation of the foundation structure of "X" Hospital in South Jakarta. In this research, a comparison was made regarding the choice of foundation types, between D40 cm pile foundations with a length of 18m, drilled pile foundations D60, and D80, each with a length of 20m. Based on the analysis of construction costs and time, the results show that the implementation of a D40 cm pile foundation is the most economical at a cost of Rp. 5,211,225,400.00 with a work duration of 53 days, drilled pile foundations for D60 require a cost of Rp. 6,116,965,139.00 (17.38% higher) with a work duration of 86 days, and the D80 drilled pile foundation requires a cost of Rp. 6,935,678,499.00 (33.1% higher than piles) with a work duration of 98 days. In terms of labor productivity, pile foundations are lower than drilled pile foundations.

Keywords: budget; productivity; labor; pile foundation; bored pile

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pondasi merupakan salah satu bagian dari elemen struktur bangunan yang memiliki fungsi utama sebagai penyalur beban dari struktur atas ke lapisan tanah keras di bawahnya, sehingga mencegah terjadinya penurunan/*settlement* pada sistem struktur (Gunawan, 1991; Das, 1983). Pada proses desain pondasi, umumnya harus mempertimbangkan beberapa hal seperti jenis

pondasi yang akan digunakan, kondisi lapisan tanah tempat bertumpunya pondasi, biaya pelaksanaan konstruksi pondasi, masa atau lama konstruksi dilaksanakan serta metode konstruksi yang akan digunakan dalam pembuatan pondasi. Pada umumnya dengan melakukan pemilihan jenis pondasi yang tepat tentunya akan memberikan hasil perancangan yang lebih baik dan efisien. Pondasi dengan kedalaman lebih dari dua meter, umumnya dapat diklasifikasikan sebagai pondasi dalam. Jenis pondasi dalam sendiri ada dua pilihan, yakni pondasi tiang pancang dan pondasi tiang bor (*bored pile*). Dalam pekerjaan pondasi tiang pancang metode pemancangan harus dipilih sehingga mampu untuk memancang hingga kedalaman tanah keras yang diinginkan dengan cara dipukul maupun diberikan tekanan. HSPD (*Hydraulic Static Pile Driver*) merupakan salah satu jenis alat berat yang kerap digunakan dalam pekerjaan pemancangan tiang pancang. Metode kerja dari HSPD adalah dengan menekan tiang menggunakan kekuatan sistem hidrolis yang timbul dari reaksi pembebanan akibat *counterweight*. Sementara itu pondasi tiang bor (*bored pile*) menggunakan metode konstruksi yang berbeda dari pondasi tiang pancang. Pada pondasi tiang bor, lapisan tanah dibor hingga kedalaman tanah keras yang diinginkan, selanjutnya ke dalam lubang pengeboran dipasang tulangan-tulangan baja untuk kemudian dilanjutkan dengan pekerjaan pengecoran pada lubang bor tersebut.

Konstruksi pondasi pada Proyek Rumah Sakit “X” di Jakarta Selatan didesain menggunakan konstruksi pondasi tiang pancang (*spun pile*) yang dilaksanakan dengan menggunakan alat pancang HSPD. Dengan pertimbangan bahwa lokasi proyek konstruksi berada di area pemukiman yang padat, serta untuk mengurangi dampak lingkungan akibat kebisingan pada proses pemancangan serta getaran yang ditimbulkannya, maka, penggunaan alat HSPD ini merupakan alternatif yang paling cocok untuk dipilih pada pelaksanaan pekerjaan pondasi proyek Rumah Sakit “X” di Jakarta Selatan.

Mayangsari (2018), telah melakukan penelitian yang menganalisis perbandingan antara tiang pancang dan tiang bor pada proses pekerjaan konstruksi pondasi Rumah Sakit Gigi dan Mulut Universitas Brawijaya. Hasil penelitiannya menyatakan bahwa pondasi tiang pancang menghasilkan pekerjaan yang lebih efisien dan ekonomis apabila dibandingkan dengan pondasi tiang bor, meskipun dari segi waktu konstruksi pondasi tiang bor lebih cepat dibandingkan tiang pancang. Sementara itu Muluk, M. (2020) melakukan kajian terhadap nilai proyek konstruksi dengan melakukan perbandingan antara pondasi tiang pancang dengan tiang bor, dengan studi kasus pada pelaksanaan proyek konstruksi Tower Grand Kamala Lagoon-Bekasi. Penelitian tersebut memberikan simpulan bahwa pada pelaksanaan proyek Tower Grand Kamala Lagoon-Bekasi, pondasi tiang bor menghasilkan nilai proyek konstruksi yang lebih rendah hingga 9,33% daripada pondasi jenis tiang pancang. Beberapa penelitian tentang produktivitas tenaga kerja dilakukan oleh Basari (2014) dan Fitriyandi (2017). Sementara itu penelitian tentang optimasi biaya dan waktu pada proyek konstruksi juga dilakukan oleh Arvianto (2016), Fardila (2021) dan Putra (2018). Sementara itu Fajar, M. (2022). melakukan analisis perbandingan harga konstruksidengan membandingkan antara SNI 2016 Dengan SNI 2018.

Berdasarkan studi terdahulu, penulis menemukan bahwa belum terdapat kajian yang membandingkan efisiensi biaya dan produktivitas tenaga dalam pelaksanaan pekerjaan pondasi tiang pancang D40 dan tiang bor D60 dan 80. Oleh karena itu, penelitian yang dilakukan oleh penulis bertujuan untuk melakukan optimasi dari segi biaya dan waktu serta jumlah tenaga kerja, sehingga dapat dilakukan perbandingan efektifitas pondasi tiang pancang dan tiang bor ditinjau dari sisi biaya konstruksi dan produktivitas tenaga kerja.

2. METODE PENELITIAN

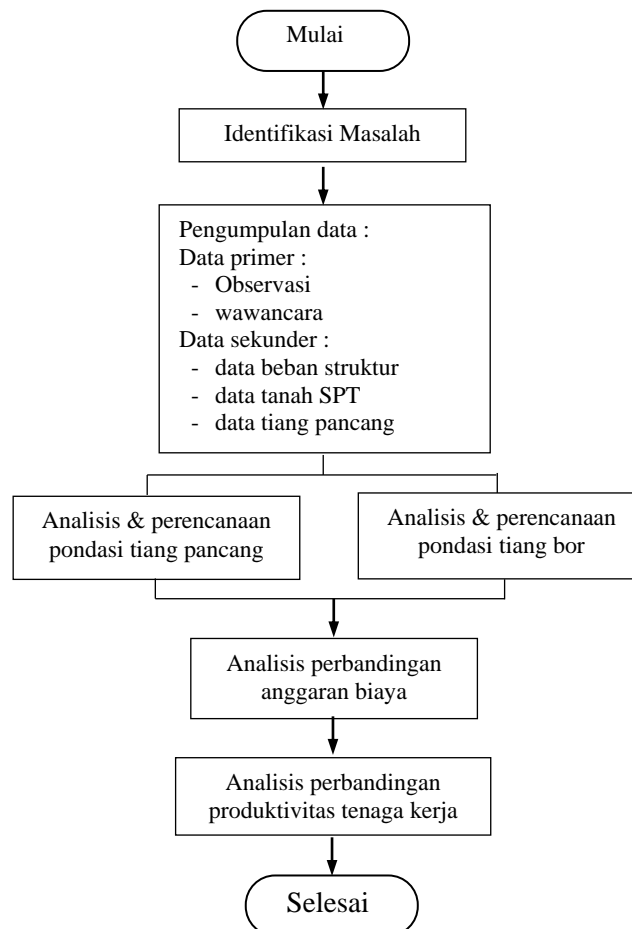
Lokasi Studi

Studi kasus pada penelitian ini diambil dari proyek konstruksi Rumah Sakit “X” – Jakarta Selatan, yang merupakan bangunan gedung rumah sakit 3 (tiga) lantai khusus untuk penanganan penyakit kanker. Sementara itu sebagai variable dalam penelitian ini adalah variabel biaya konstruksi fondasi serta variabel produktivitas tenaga kerja.

Analisis Data

Data yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh secara langsung oleh peneliti melalui kegiatan observasi di lapangan serta dengan melakukan tanya jawab dengan sejumlah narasumber. Sementara itu data sekunder diperoleh peneliti berdasarkan data-data yang sudah ada, antara lain berupa data perhitungan pembebanan pada struktur, data kondisi lapisan tanah yang berupa data hasil penyelidikan SPT dan CPT, dan dimensi tiang pancang dan tiang bor.

Dalam pengolahan data dilakukan penentuan dimensi tiang yang akan digunakan, dan memperhitungkan daya dukung fondasi yang dapat dihitung dengan menggunakan data SPT tanah. Kemudian, setelah didapat daya dukung dapat memperhitungkan biaya fondasi masing-masing tiang dan juga dapat memperhitungkan produktivitas tenaga kerja pada masing-masing pekerjaan. Diagram alir penelitian ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Alur tahapan penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai Daya Dukung Fondasi

Daya dukung pondasi dalam, baik pondasi tiang pancang maupun pondasi tiang bor, pada umumnya diperoleh dari jumlahan tahanan ujung (Q_p) dan jumlah tahanan friksi/gesek (Q_s). Tabel 1 menunjukkan perbandingan hasil perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang (D40), tiang bor (D60 dan D80). Nilai faktor keamanan (SF) diambil sebesar 2,5. Total tiang menunjukkan jumlah kebutuhan tiang pancang atau tiang bor untuk keseluruhan pekerjaan struktur pondasi pada RS-X.

Tabel 1. Hasil nilai daya dukung pondasi

	Panjang (m)	Q_p (ton)	ΣQ_s (ton)	Q_u (ton)	Q_a (ton)	Total Tiang
Tiang Pancang D40	18	84,4	91,4	175,8	70,33	421
Tiang Bor D60	20	59,26	174	233,262	116,63	314
Tiang Bor D80	20	105,35	232	337,35	168,67	226

Berdasarkan hasil perhitungan nilai daya dukung pondasi yang disajikan dalam Tabel 1, diketahui bahwa daya dukung tiang pancang D40 adalah sebesar 70,33 ton, tiang bor D60 adalah 116,3 ton, dan tiang bor D80 adalah sebesar 168,67 ton.

Rancangan Anggaran Biaya Fondasi

Rancangan anggaran biaya untuk ketiga jenis fondasi ditampilkan dalam Tabel 2 (untuk pondasi tiang pancang D40 cm), Tabel 3 untuk pondasi tiang bor diameter D60 cm, dan Tabel 4 untuk pondasi tiang bor diameter D80 cm. Gambar 2 menunjukkan grafik perbandingan anggaran biaya dari ketiga jenis fondasi yang dianalisis.

Tabel 2. Anggaran biaya tiang pancang D40

Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan	Harga (Rp)
Tiang Pancang D40	m	7578	687.678,20	5.211.225.400

Tabel 3. Anggaran biaya tiang bor D60

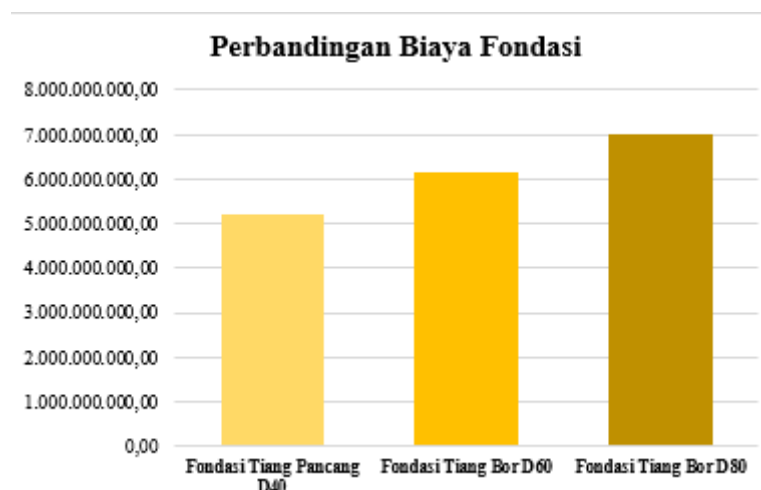
Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan	Harga (Rp)
Pengeboran	m	6280	153.397,20	963.334.416
Buang Lumpur	m ³	1774,73	83.926,15	148.946.256
Pembesian	kg	178047,42	17.498,47	3.115.557.437
Pengecoran	m ³	1060,378	1.781.560,00	1.889.127.030
				6.116.965.139

Tabel 4. Anggaran biaya tiang bor D80

Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan	Harga (Rp)
Pengeboran	m	4520	230.947,20	1.043.881.344
Buang Lumpur	m ³	2269,04	83.926,15	190.431.791
Pembesian	kg	137855,48	17.498,47	2.412.259.981
Pengecoran	m ³	1846,194	1.781.560,00	3.289.105.383
				6.935.678.499

Berdasarkan hasil perhitungan jumlah anggaran biaya konstruksi total untuk pekerjaan pondasi yang disajikan dalam Tabel 2, 3 dan 4, diperoleh besarnya biaya konstruksi tiang pancang pada proyek Rumah Sakit 'X' adalah sebesar Rp. 5.211.225.400,00. Sementara itu biaya konstruksi untuk pelaksanaan pondasi tiang bor berdiameter D60 adalah sebesar Rp. 6.116.965.139,00. Sedangkan besarnya biaya yang dibutuhkan untuk pelaksanaan konstruksi pondasi tiang bor berdiameter D80 adalah sebesar Rp. 6.935.678.499,00. Biaya konstruksi pondasi tiang bor diameter D80 menunjukkan nilai paling tinggi, yang berbeda hampir 13,38% dibandingkan biaya konstruksi pondasi tiang bor D60, dan lebih tinggi hingga 33,10% dibandingkan pondasi tiang pancang. Sementara itu biaya konstruksi pondasi tiang bor D60 menunjukkan nilai 17,38% lebih tinggi daripada biaya konstruksi pondasi tiang pancang.

Secara keseluruhan pondasi tiang pancang menunjukkan biaya konstruksi yang jauh lebih murah dibandingkan pondasi tiang bor. Hal ini dapat terjadi karena volume beton yang dibutuhkan pada pekerjaan pondasi tiang pancang jauh lebih sedikit apabila dibandingkan dengan pondasi tiang bor. Sementara itu perbandingan pondasi tiang bor dari segi ukuran diameter menunjukkan bahwa pondasi tiang bor dengan diameter 60 cm menunjukkan biaya konstruksi yang lebih rendah dibandingkan tiang bor berdiameter 80 cm, meskipun secara jumlah kebutuhan tiang bor D60 lebih banyak hampir 40% dibandingkan D80. Hal ini diakibatkan bahwa dari segi volume betonnya per satuan tiang bor, menunjukkan bahwa volume tiang bor D80 lebih tinggi hingga 77%.



Gambar 2. Perbandingan biaya pondasi

Sementara itu dari pertimbangan waktu pelaksanaan konstruksi diperoleh hasil bahwa durasi pekerjaan pondasi tiang pancang (dengan 421 titik pancang) memerlukan waktu konstruksi selama 53 hari. Waktu konstruksi tiang pancang ini jauh lebih singkat dibandingkan waktu pelaksanaan pondasi tiang bor, dengan waktu pekerjaan tiang bor D60 (341 tiang) selama 86 hari, dan pondasi tiang bor D80 (226 tiang) memerlukan waktu selama 98 hari.

Hasil yang diperoleh ini menunjukkan kesamaan dengan penelitian yang dilakukan oleh Mayangsari (2018), yang menyatakan bahwa pekerjaan fondasi tiang pancang lebih murah dibandingkan pekerjaan tiang bor hingga 25,19%. Mayangsari (2018) juga menyebutkan bahwa waktu konstruksi untuk pondasi tiang bor lebih cepat karena hanya membutuhkan 157 tiang dibandingkan fondasi tiang pancang, karena secara jumlah titik tiangnya pondasi tiang pancang

lebih banyak hingga lebih dari dua kali lipat. Sedangkan hasil sedikit berbeda ditemukan oleh Arifin (2008), yang menyatakan bahwa pekerjaan pondasi tiang pancang lebih mahal daripada pondasi tiang bor sekitar 21,59% dengan selisih biaya pelaksanaan konstruksi sebesar Rp. 1.077.392.726,00.

Produktivitas Tenaga Kerja

Tabel 5 menunjukkan perhitungan produktivitas tenaga kerja untuk pelaksanaan pekerjaan tiang pancang. Perhitungan produktivitas menurut SNI 7394-2008 dihitung berdasarkan waktu 5 jam kerja, angka dalam Tabel 5 didapat setelah dilakukan konversi jam kerja menjadi 7 jam per hari.

Tabel 5. Produktivitas tenaga kerja tiang pancang

Tenaga Kerja	satuan	koefisien	Produktivitas/hari (m/Orang)
Pekerja	OH	0,052	26,9
Tukang	OH	0,0104	134,6
Mandor	OH	0,0052	269,23
Operator Crane	OH	0,0104	134,6
Pembantu Operator	OH	0,0104	134,6
Produktivitas Rata-Rata			139,986

(Sumber : SNI 7394-2008)

Dengan menggunakan perhitungan produktivitas pekerjaan tiang pancang yang dituliskan pada Tabel 5, diperoleh rata-rata produktivitas harian pekerjaan tiang pancang adalah sebesar 139,986 m/orang dengan komposisi tenaga kerja yang terdiri dari 1 orang pekerja, 1 orang tukang, 1 orang mandor, 1 orang operator crane, dan 1 orang pembantu operator.

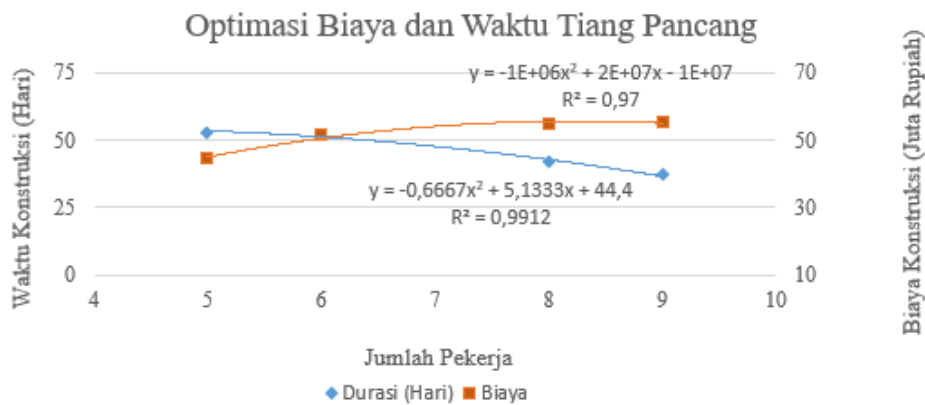
Sementara itu Tabel 6 menunjukkan produktivitas per hari pada pekerjaan tiang bor, produktivitas diukur terhadap 4 (empat) jenis pekerjaan, yaitu pekerjaan pengeboran, pembuangan lumpur, pembesian serta pekerjaan pengecoran.

Tabel 6. Produktivitas pengeboran tiang

Produktivitas Rata-Rata	produktivitas/hari	
	D60	D80
Pengeboran (m/orang)	143,58	143,58
Buang Lumpur (m ³ /orang)	88,61	88,61
Pembesian (kg/orang)	2006,67	2006,67
Pengecoran (m ³ /orang)	20,35	20,35

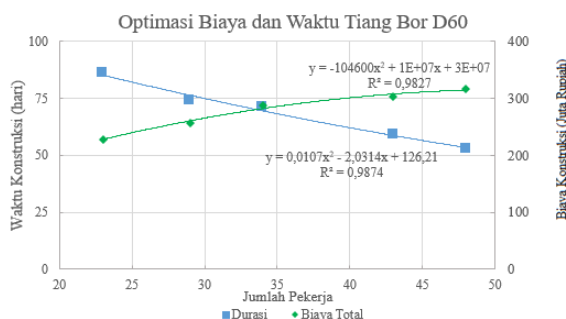
Berdasarkan hasil perhitungan produktivitas tenaga kerja pada pekerjaan tiang pancang maupun tiang bor yang disajikan pada Tabel 5 dan 6, maka akan berpengaruh kepada waktu penyelesaian konstruksi. Semakin tinggi produktivitas maka akan berdampak kepada percepatan pekerjaan konstruksi yang tentunya berpengaruh juga terhadap biaya konstruksi total yang dikeluarkan. Berdasarkan tingkat produktivitas yang telah dihitung, selanjutnya dilakukan proses optimasi terhadap waktu konstruksi, biaya konstruksi dan jumlah pekerja pada masing-masing jenis fondasi yang telah ditetapkan.

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara jumlah pekerja, biaya konstruksi (dalam juta Rupiah) serta waktu/durasi pelaksanaan konstruksi (dalam hari). Hubungan antara biaya dan durasi pekerjaan hanya memperhitungkan biaya upah pekerja. Dari Gambar 3 tersebut dapat terlihat bahwa waktu konstruksi cukup mempengaruhi biaya konstruksi, serta jumlah tenaga yang digunakan. Selanjutnya dengan menambahkan jumlah pekerja pada pekerjaan tiang pancang hingga 6 orang, maka diperoleh titik optimum waktu pelaksanaan konstruksi adalah sebanyak 51 hari, dengan biaya konstruksi sebesar Rp. 51.000.000,00.

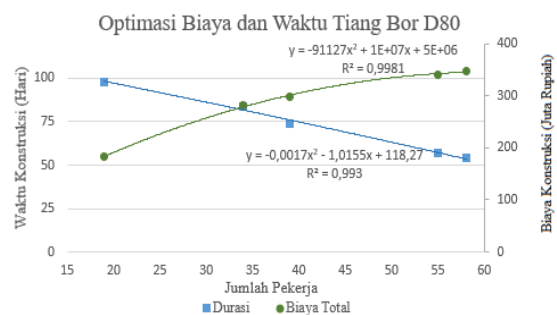


Gambar 3. Grafik Optimasi Biaya dan Waktu Tiang Pancang

Gambar 4 dan 5 menunjukkan grafik optimasi biaya dan durasi pekerjaan terhadap produktivitas tenaga kerja yang digunakan pada jenis pondasi tiang bor D60 dan D80. Dari Gambar 4, dapat disimpulkan juga bahwa pada pekerjaan tiang bor D60 waktu konstruksi turut memberikan pengaruh terhadap biaya konstruksi, serta jumlah tenaga yang dipakai. Optimasi dilakukan dengan menambah pekerja hingga 34 orang, sehingga waktu/durasi pekerjaan mendapatkan titik optimum pada 70 hari, dengan total biaya tenaga kerja sebesar Rp. 280.000.000,00. Sementara itu berdasarkan Gambar 5 untuk pondasi tiang bor D80 pada Gambar 5, didapatkan bahwa waktu konstruksi juga turut mempengaruhi biaya konstruksi, dan jumlah tenaga yang dipakai. Optimasi dilakukan dengan melakukan penambahan jumlah pekerja sebesar 34 orang untuk mendapatkan titik optimum waktu/durasi pekerjaan selama 82 hari, dengan biaya tenaga kerja sebesar Rp. 279.000.000,00.



Gambar 4. Grafik optimasi biaya dan waktu tiang bor D60



Gambar 5. Grafik optimasi biaya dan waktu tiang bor D80

Durasi Pekerjaan Fondasi

Pemilihan metode pelaksanaan konstruksi memiliki hubungan yang erat dengan waktu/durasi pelaksanaan pekerjaan konstruksi. Pemilihan metode yang tepat akan memberikan waktu pelaksanaan konstruksi yang optimal. Berdasarkan nilai produktivitas tenaga kerja perhari yang telah diperoleh sebelumnya, maka dapat diperhitungkan durasi pekerjaan. Pada pekerjaan pondasi tiang pancang, besarnya produktivitas per hari adalah sebesar 139,986 m/orang, sehingga untuk pelaksanaan pekerjaan tiang pancang sedalam 18 m, maka setiap harinya dapat diselesaikan pemancangan tiang sejumlah = $139,986/18 \text{ m} = 8$ titik tiang terpancang/hari. Sehingga durasi pekerjaan tiang pancang adalah = $421 \text{ titik} / 8 \text{ titik tiang/hari} = 53$ hari. Tabel 7 menunjukkan durasi pekerjaan fondasi tiang pancang D40, sementara itu Tabel 8 dan 9 menunjukkan durasi pekerjaan tiang bor D60 dan D80 cm.

Tabel 7. Lama waktu pekerjaan pondasi tiang pancang D40

Uraian	Waktu (Hari)					
	10	20	30	40	50	60
Pemancangan Tiang Pancang D40 cm						

Tabel 8. Lama waktu pekerjaan pondasi tiang bor D60

Uraian	Waktu (Hari)								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Pengeboran Fondasi Tiang Bor D60 cm									
Buang Lumpur									
Pembesian Tulangan									
Pengecoran dan Penulangan Tiang Bor D60 cm									

Tabel 9. Lama waktu pekerjaan pondasi tiang bor D80

Uraian	Waktu (Hari)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Pengeboran Fondasi Tiang Bor D80 cm										
Buang Lumpur										
Pembesian Tulangan										
Pengecoran dan Penulangan Tiang Bor D80 cm										

Mengacu pada Tabel 7, 8 dan 9, maka dapat disimpulkan bahwa pekerjaan pondasi tiang pancang membutuhkan durasi pelaksanaan sebesar 53 hari, pondasi tiang bor D60 membutuhkan durasi pelaksanaan sebesar 86 hari, dan pondasi tiang bor D80 membutuhkan waktu konstruksi selama 98 hari.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil analisis dan uraian yang telah disampaikan, antara lain adalah :

- a. Pada pekerjaan struktur bawah Proyek Rumah Sakit "X" di Jakarta Selatan diperoleh tiga macam alternatif pondasi dalam yang dapat dipilih, yaitu pondasi tiang pancang (D40 cm, sejumlah 421 titik) dengan kedalaman 18 m dan daya dukung tiang 70,33 ton, pondasi tiang bor D60 (sejumlah 314 titik) dengan kedalaman 20 m dan daya dukung tiang 116,63 ton,

- serta pondasi tiang bor D80 (sejumlah 226 titik) dengan kedalaman 20 m, dan daya dukung tiang sebesar 168,67 ton.
- b. Berdasarkan analisis biaya dan waktu konstruksi diperoleh hasil bahwa pelaksanaan pondasi tiang pancang D40 cm adalah yang paling ekonomis dengan biaya sebesar Rp. 5.211.225.400,00 dengan durasi pekerjaan selama 53 hari, pondasi tiang bor untuk D60 membutuhkan biaya sebesar Rp. 6.116.965.139,00 (lebih tinggi 17,38%) dengan durasi pekerjaan selama 86 hari, dan pondasi tiang bor D80 membutuhkan biaya sebesar Rp. 6.935.678.499,00 (lebih tinggi 33,1% dari tiang pancang) dengan durasi pekerjaan selama 98 hari.
 - c. Dengan melakukan optimasi berupa penambahan jumlah pekerja, maka pada pekerjaan pondasi tiang pancang dengan menambah 6 pekerja diperoleh biaya tenaga kerja paling kecil yaitu dengan Rp. 51.000.000,00 dan durasi pekerjaan 51 hari kerja, penambahan 34 pekerja pada pekerjaan pondasi tiang bor D60 diperoleh biaya tenaga kerja sebesar Rp. 280.000.000,00 dan durasi pekerjaan 70 hari kerja, penambahan 34 pekerja pada pekerjaan pondasi tiang bor D80 diperoleh biaya tenaga kerja Rp. 279.000.000,00 dan durasi pekerjaan 82 hari.

REFERENSI

- Arvianto, R., Handayani, F.S., Setiono. (2016). "Optimasi Biaya Dan Waktu Dengan Metode Time Cost Trade Off (Tcto)(Studi Kasus Proyek Bangunan Rawat Inap Kelas III Dan Parkir RSUD Dr. Moewardi Surakarta)". *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 5(1), 69-74.
- Basari, K., Pradipta, R. Y., Hatmoko, J. U. D., & Hidayat, A. (2014). "Analisa Koefisien Produktivitas Tenaga Kerja Pada Pekerjaan Pembesian". *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 3(4), 830-839.
- Das, B.M. (1983). *Principles of Foundation Engineering 7th Edition*. London: Cengage Learning
- Fajar, M. (2022). *Analisis Perbandingan Rencana Anggaran Biaya Berdasarkan SNI 2016 Dengan SNI 2018 (Studi Empiris Pembangunan Gedung Panggung Ruang Terbuka Publik Rantau Baru Kabupaten Tapin)*. Disertasi Doktor, Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari Banjarmasin.
- Fardila, Dinda & Adwayah, N. R (2021). "Optimasi Biaya dan Waktu Proyek Konstruksi dengan Lembur dan Penambahan Tenaga Kerja". *Jurnal Inersia*, Vol 17(1). doi: 10.21831/inersia.v17i1.39499
- Fitriyandi, A. (2017). "Analisis Produktivitas Tenaga Kerja Bangunan Struktur Bawah (Studi Kasus Pembangunan Icon City Blok C Cikarang)". *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Sipil*, 1(1).
- Gunawan, R. (1991). *Pengantar Teknik Pondasi*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Hardiyatmo, H.C. (2010). *Analisis dan Perancangan Fondasi II Edisi Kedua*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Mayangsari. (2018). *Analisis Perbandingan Pondasi Tiang Pancang Dengan Pondasi Tiang Bor Pada Proyek Pembangunan Rumah Sakit Gigi Dan Mulut Universitas Brawijaya*. Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- Muluk, M., Hamid, D., & Santi, M. (2020). "Studi Perbandingan Pondasi Tiang Pancang dengan Pondasi Bore Pile (Studi Kasus: Pelaksanaan Pembangunan Fondasi Tower Grand Kamala Lagoon-Bekasi)". *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 7(1), 26-33.
- Putra, S.A.P. (2018). *Optimasi Biaya Dan Waktu Proyek Konstruksi Dengan Penambahan Jam Kerja (Lembur)*. Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

