



Analisa Perbandingan Waktu dan Biaya Pelaksanaan Pekerjaan Pondasi Bore Pile dan Mini Pile Pada Pembangunan Rumah Hunian Tipe 136/120 Di Kawasan OCBD Bogor

Muhamad Agung¹, Era Agita Kabdiyono,²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Dian Nusantara

¹1521221074@mahasiswa.undira.ac.id, ²Era.agita.k@undira.ac.id*

Abstrak

Pembangunan rumah hunian tipe 136/120 di kawasan OCBD Bogor menghadapi variasi kondisi tanah yang memengaruhi pemilihan jenis pondasi dan berdampak pada waktu serta biaya pelaksanaan proyek. Pada area dengan daya dukung tanah rendah digunakan pondasi bore pile, sedangkan pada area dengan kondisi tanah relatif lebih baik digunakan pondasi mini pile. Penelitian ini bertujuan menganalisis dan membandingkan waktu pelaksanaan serta biaya pekerjaan kedua jenis pondasi sebagai dasar pemilihan metode yang lebih efisien. Penelitian menggunakan metode deskriptif komparatif dengan data primer berupa spesifikasi teknis, kondisi lapangan, dan metode kerja, serta data sekunder berupa Analisis Harga Satuan Pekerjaan 2022, Rencana Anggaran Biaya, jadwal pelaksanaan, Bar Chart, Kurva S, dan Boring Log. Analisis dilakukan terhadap volume pekerjaan, harga satuan, total biaya, durasi, produktivitas, dan faktor penyebab perbedaan pelaksanaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pondasi bore pile berdiameter 30 cm dengan kedalaman 6 m memerlukan waktu 30 hari kerja dengan biaya Rp79.010.657,00, sedangkan pondasi mini pile berukuran 20 x 20 cm dengan kedalaman 6 m memerlukan waktu 14 hari kerja dengan biaya Rp52.563.280,00. Penggunaan mini pile memberikan efisiensi waktu 16 hari atau 53,3% dan penghematan biaya Rp26.447.377,00 atau 33,5%. Dengan demikian, mini pile lebih efisien untuk lokasi dengan daya dukung tanah memadai dan akses alat yang sesuai, sedangkan bore pile tetap relevan pada kondisi tanah lunak, ruang kerja terbatas, atau lingkungan yang sensitif terhadap getaran dan kebisingan.

Kata Kunci: Pondasi Bore Pile, Pondasi Mini Pile, Waktu Pelaksanaan, Biaya Konstruksi.

1. Pendahuluan

Pertumbuhan perekonomian Indonesia yang semakin pesat mendorong percepatan pembangunan berbagai infrastruktur dan kawasan permukiman. Kota Bogor, sebagai wilayah penyangga utama Jabodetabek, mengalami perkembangan urban yang signifikan. Salah satu proyek pengembangan kawasan terpadu di Kota Bogor adalah Pembangunan Perumahan OCBD (One Central Business District) oleh Olympic Development. Proyek ini bertujuan menciptakan kawasan terpadu residensial dan komersial di pusat Kota Bogor.

Sistem pondasi merupakan struktur bawah yang berfungsi menyalurkan beban dari struktur atas (beban mati, beban hidup, dan beban gempa) ke lapisan tanah pendukung secara aman (Bowles, 2021; Das, 2023). Kesalahan dalam pemilihan jenis pondasi dapat berakibat fatal pada keamanan struktur, seperti penurunan tidak merata (differential settlement) hingga keruntuhan bangunan.

Pada proyek Pembangunan Rumah Hunian 2 Lantai Tipe 136/120 Cluster Virginia Pine di Kawasan OCBD Bogor (dikerjakan oleh Kontraktor PT Daya Boho Mandiri dengan nilai kontrak Rp 891.900.000,- dan masa pelaksanaan 240 hari kalender mulai 19 Mei 2025 hingga 1 Desember 2025), dijumpai variasi kondisi tanah. Berdasarkan data Boring Log (Bor DB.1), perlapisan tanah terdiri atas tanah urug dan puing pada kedalaman 0–3,5 m (N-SPT 24–32), lempung lunak organik hitam pada kedalaman 3,5–8,0 m (N-SPT 15–24), lempung merah kepasiran pada kedalaman 8,0–12,0 m (N-SPT 29–32), dan cadas kepasiran/keras pada kedalaman >14,0 m (N-SPT >50).

Variasi kondisi tanah ini memunculkan penggunaan dua pilihan pondasi dalam, yaitu pondasi bore pile (strauss pile manual) dan pondasi mini pile (tiang pancang pracetak). Kedua jenis pondasi ini memiliki karakteristik metode kerja, peralatan, kebutuhan tenaga kerja, dan durasi yang sangat berbeda. Oleh sebab itu, diperlukan analisis perbandingan biaya dan waktu pelaksanaan secara terperinci untuk memberikan arahan optimasi manajemen konstruksi.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode deskriptif komparatif yang membandingkan secara langsung aspek waktu dan biaya pelaksanaan antara pondasi bore pile dan pondasi mini pile pada proyek aktual yang sama

2.1. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dikelompokkan menjadi dua kategori:

- Data Primer : Observasi langsung metode kerja di lapangan, dimensi teknis struktur (Luas bangunan 136 m², Luas tanah 120 m²), detail penulangan, spesifikasi material (Beton K-225/fc' 18,68 MPa NFA, Mutu baja BJTP 280), serta wawancara dengan manajer proyek PT Daya Boho Mandiri.
- Data Sekunder : Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP 2022/ Permen PUPR No. 1 Tahun 2022), Rencana Anggaran Biaya (RAB), jadwal konstruksi (Bar Chart & Kurva S), dan Laporan Penyelidikan Tanah (Boring Log DB.1 & Uji Laboratorium).

2.2. Tahapan Analisis

Tahapan pengolahan data meliputi:

- Perhitungan volume pekerjaan tanah, pembuatan tiang pondasi, dan pembuatan pile cap.
- Penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) berdasarkan AHSP dan harga pasar lokal Bogor.
- Penghitungan tingkat produktivitas (Productivity Rate) dan penyusunan jadwal Bar Chart serta Kurva S.
- Analisis komparatif kuantitatif waktu dan biaya serta evaluasi faktor penyebab variasi menggunakan Diagram Fishbone.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Pekerjaan Pondasi Bore Pile

Pondasi bore pile yang diterapkan pada lokasi penelitian menggunakan sistem bored pile manual (strauss pile) dengan spesifikasi diameter Ø 30 cm, kedalaman 6,00 m, sebanyak 14 titik (total panjang pengeboran 84 ml). Pile cap berukuran 0,60 m x 0,60 m x 0,40 m sebanyak 14 unit (volume total 2,02 m³). Rincian perhitungan RAB pekerjaan pondasi bore pile disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rencana Anggaran Biaya (RAB) Pondasi Bore Pile

No	Uraian Pekerjaan	Vol / Sat	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Biaya (Rp)
A	PEKERJAAN TANAH			
1	Timbunan tanah untuk akses alat berat	35,00 m ³	35.000	1.225.000
2	Membuang tanah bekas pengeboran	56,00 m ³	56.000	3.136.000
	Subtotal Pekerjaan Tanah			4.361.000
B	PEKERJAAN BORE PILE			
1	Mobilisasi alat bor	1,00 ls	12.000.000	12.000.000
2	Boring bore pile Ø 30 cm	84,00 ml	253.000	21.252.000
3	Pembesian besi ulir 8 mm	208,90 kg	16.500	3.446.850

4	Pembesian besi ulir 13 mm	592,66 kg	17.000	10.075.220
5	Membuat beton K-300 (fc' 24,9 MPa)	5,93 m ³	1.300.000	7.709.000
6	Pembobokan kepala bor	14,00 titik	70.000	980.000
Subtotal Pekerjaan Bore Pile				55.463.070
C	PEKERJAAN PILE CAP			
1	Memasang bekisting pile cap	13,44 m ²	210.000	2.822.400
2	Pembesian besi ulir 13 mm	427,20 kg	17.000	7.262.400
3	Membuat beton K-225 (fc' 18,7 MPa)	2,02 m ³	950.000	1.919.000
Subtotal Pekerjaan Pile Cap				12.003.800
JUMLAH HARGA SEBELUM PPN				71.827.870
PPN 10%				7.182.787
TOTAL HARGA BORE PILE				79.010.657

Berdasarkan hasil analisis penjadwalan Bar Chart dan Kurva S, total waktu yang dibutuhkan untuk merampungkan seluruh item pekerjaan pondasi bore pile adalah 30 hari kerja. Durasi panjang ini disebabkan oleh tahapan in-situ yang bersifat sekuensial: pengeboran (5 hari), perakitan dan pemasangan keranjang tulangan (5 hari), serta pengecoran beton segar ready mix K-300 (3 hari).

3.2. Analisis Pekerjaan Pondasi Mini Pile

Pondasi mini pile menggunakan tiang pracetak segiempat berukuran 20 cm x 20 cm (mutu beton K-450) sepanjang 6,00 m sebanyak 14 titik (total 84 ml). Metode pemancangan menggunakan alat Drop Hammer. Rincian RAB pondasi mini pile disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rencana Anggaran Biaya (RAB) Pekerjaan Pondasi Mini Pile

No	Uraian Pekerjaan	Vol / Sat	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Biaya (Rp)
A	PEKERJAAN TANAH			
1	Timbunan tanah untuk akses alat berat	35,00 m ³	35.000	1.225.000
2	Membuang tanah bekas pengeboran	56,00 m ³	56.000	3.136.000
Subtotal Pekerjaan Tanah				4.361.000
B	PEKERJAAN MINI PILE			
1	Mobilisasi demobilisasi alat pancang	1,00 ls	12.000.000	12.000.000
2	Mobilisasi demobilisasi lokal	1,00 pindah	5.000.000	5.000.000
3	Pengadaan tiang pancang 20x20 (K-450)	84,00 ml	120.000	10.080.000
4	Jasa pemancangan (Drop Hammer)	84,00 ml	40.000	3.360.000

5	Pembobokan kepala tiang	14,00 titik	70.000	980.000
Subtotal Pekerjaan Mini Pile				31.420.000
C	PEKERJAAN PILE CAP			
1	Memasang bekisting pile cap	13,44 m ²	210.000	2.822.400
2	Pembesian besi ulir 13 mm	427,20 kg	17.000	7.262.400
3	Membuat beton K-225 (fc' 18,7 MPa)	2,02 m ³	950.000	1.919.000
Subtotal Pekerjaan Pile Cap				12.003.800
JUMLAH HARGA SEBELUM PPN				47.784.800
PPN 10%				4.778.480
TOTAL HARGA MINI PILE				52.563.280

Hasil perhitungan Bar Chart menunjukkan bahwa seluruh rangkaian pekerjaan pondasi mini pile dapat diselesaikan hanya dalam waktu 14 hari kerja. Tingginya efisiensi waktu ini diperoleh karena tiang pancang yang digunakan telah siap pakai dari pabrik (precast) sehingga pekerjaan pemancangan di lapangan dapat diselesaikan hanya dalam durasi 4 hari kerja.

3.3. Analisis Perbandingan Durasi dan Biaya

Perbandingan secara menyeluruh antara pondasi bore pile dan mini pile dirangkum dalam Tabel 3.

Item Pekerjaan	Durasi Bore Pile (Hari)	Durasi Mini Pile (Hari)	Biaya Bore Pile (Rp)	Biaya Mini Pile (Rp)
Timbunan tanah akses alat	2	2	1.225.000	1.225.000
Buang tanah bekas bor/galian	4	4	3.136.000	3.136.000
Mobilisasi alat utama	2	2	12.000.000	12.000.000
Mobilisasi lokal	0	1	0	5.000.000
Boring / Pengadaan Tiang	5	4	21.252.000	10.080.000
Pembesian tiang (in-situ)	9 (8mm & 13mm)	0 (Precast)	13.522.070	0
Pengecoran tiang / Jasa Pancang	3	4	7.709.000	3.360.000
Pembobokan kepala tiang	2	2	980.000	980.000
Pekerjaan Pile Cap (Lengkap)	9	8	12.003.800	12.003.800
PPN 10%	-	-	7.182.787	4.778.480
TOTAL KESELURUHAN	30 Hari	14 Hari	79.010.657	52.563.280
SELISIH / EFISIENSI	16 Hari (53,3%)		Rp 26.447.377 (33,5%)	

Hasil Analisis Utama: Penggunaan pondasi mini pile terbukti menghemat biaya sebesar Rp 26.447.377,00 (33,5%) dan mempercepat durasi pelaksanaan sebesar 16 hari (53,3%) dibandingkan dengan pondasi bore pile manual.

3.4. Evaluation Faktor Penyebab (*Fishbone Analysis*)

Berdasarkan analisis akar penyebab masalah (*Diagram Fishbone*), faktor utama yang mempengaruhi variasi waktu dan biaya antara kedua metode konstruksi pondasi meliputi:

- Man (Tenaga Kerja): Pengeboran bore pile manual sangat bergantung pada kekuatan fisik dan keahlian kelompok pekerja bor di lapangan, sedangkan mini pile ditangani oleh operator alat berat drop hammer yang lebih terstandar.
- Method (Metode Kerja): Bore pile melibatkan proses in-situ basah (pengeboran, pemasangan rebar cage, pengecoran tremie) yang membutuhkan tahapan jeda sekuensial. Sebaliknya, mini pile merupakan sistem precast kering yang dapat langsung dipancang hingga elevasi rencana.
- Machine (Peralatan): Laju produktivitas mesin drop hammer (mencapai 60 ml/hari) jauh melampaui produktivitas alat bor manual.
- Material: Mutu tiang mini pile (K-450) telah teruji secara fabrikasi di pabrik precast, sedangkan bore pile menggunakan ready mix K-300 yang memerlukan pengawasan ketat saat penyeteroran dan pengecoran agar tidak terjadi kontaminasi lumpur.
- Environment (Lingkungan): Bore pile sensitif terhadap curah hujan tinggi yang dapat menyebabkan kelongsoran dinding lubang bor. Namun, bore pile memiliki keunggulan mutlak berupa minim getaran dan kebisingan, menjadikannya sangat aman untuk proyek yang berbatasan langsung dengan bangunan eksisting

3.5. Interpretasi Efisiensi Waktu dan Produktivitas

Perbedaan durasi 30 hari untuk bore pile dan 14 hari untuk mini pile menunjukkan bahwa karakter proses konstruksi menjadi faktor utama yang menentukan kecepatan pekerjaan. Pada bore pile, setiap titik harus melalui rangkaian pengeboran, pemasangan tulangan, pengecoran, serta menunggu kesiapan tahapan berikutnya. Sebaliknya, mini pile menggunakan elemen pracetak yang telah diproduksi sebelumnya sehingga pekerjaan di lapangan lebih terfokus pada mobilisasi, penempatan, dan pemancangan. Pada proyek ini, perbedaan tersebut menghasilkan percepatan 16 hari atau 53,3%. Apabila dilihat secara sederhana terhadap 14 titik pondasi, durasi total setara dengan sekitar 2,14 hari per titik pada bore pile dan 1,00 hari per titik pada mini pile. Angka ini bukan produktivitas aktual setiap alat karena beberapa kegiatan dapat berlangsung paralel, tetapi dapat digunakan untuk menggambarkan besarnya pengaruh urutan kerja terhadap durasi keseluruhan.

Temuan tersebut sejalan dengan Afifah dan Sutarto (2025) yang menunjukkan bahwa pondasi tiang pancang dapat diselesaikan lebih cepat dibandingkan borepile pada studi kasus bangunan rumah sakit, walaupun pemilihan akhir tetap harus mempertimbangkan kondisi lingkungan proyek. Jali dan Wibowo (2023) juga menegaskan bahwa produktivitas pekerjaan bored pile sangat dipengaruhi oleh jenis alat bor dan karakter lapisan tanah yang ditembus. Dengan demikian, keunggulan waktu mini pile pada proyek OCBP Bogor tidak hanya berasal dari kemampuan drop hammer, tetapi juga dari berkurangnya pekerjaan in-situ yang harus dilakukan di setiap titik. Dalam konteks manajemen proyek, percepatan pekerjaan pondasi dapat memberikan manfaat lanjutan karena pekerjaan struktur atas dapat dimulai lebih cepat setelah pekerjaan pile cap dan tahapan verifikasi pondasi selesai.

3.6. Interpretasi Efisiensi Biaya

Dari sisi biaya, mini pile menghasilkan total biaya Rp52.563.280,00, sedangkan bore pile membutuhkan Rp79.010.657,00. Selisih Rp26.447.377,00 atau 33,5% menunjukkan bahwa pada volume dan spesifikasi yang dianalisis, metode mini pile lebih ekonomis. Jika total biaya dibagi terhadap 14 titik pondasi, biaya indikatif per titik sekitar Rp3,75 juta untuk mini pile dan Rp5,64 juta untuk bore pile. Jika dibandingkan terhadap total panjang tiang 84 m, biaya indikatifnya sekitar Rp625 ribu per meter untuk mini pile dan Rp941 ribu per meter untuk bore pile. Perhitungan unit tersebut memperjelas bahwa selisih biaya tidak hanya terjadi pada nilai total, tetapi juga pada satuan output pekerjaan yang sama.

Komponen yang paling membedakan biaya kedua metode berada pada proses pembentukan tiang. Bore pile membutuhkan pekerjaan boring, pembesian tiang, dan pengecoran beton di lokasi, sedangkan mini pile memindahkan sebagian besar proses produksi ke pabrik melalui penggunaan tiang pracetak. Walaupun mini pile memiliki tambahan biaya mobilisasi lokal dan pengadaan tiang, penghilangan pembesian serta pengecoran badan tiang di lapangan menekan biaya keseluruhan pada proyek ini. Namun, hasil tersebut tidak dapat digeneralisasi untuk seluruh proyek. Defitri et al. (2025) menunjukkan bahwa biaya bored pile sangat sensitif terhadap diameter, jumlah tiang, kedalaman, dan dimensi pile cap, sehingga optimasi desain dapat menghasilkan penghematan yang besar tanpa mengabaikan kapasitas dukung. Erlina et al. (2023) bahkan menemukan bored pile lebih efisien dibandingkan pondasi sumuran pada kasus lain. Oleh karena itu, kesimpulan ekonomi harus selalu dikaitkan

dengan volume pekerjaan, harga satuan lokal, jarak mobilisasi alat, jumlah titik, dan spesifikasi teknis yang digunakan.

3.7. Kesesuaian Pemilihan Pondasi terhadap Kondisi Tanah

Analisis waktu dan biaya perlu ditempatkan setelah pertimbangan geoteknik karena fungsi utama pondasi adalah menjamin transfer beban bangunan ke lapisan tanah yang mampu menerimanya secara aman. Data Boring Log pada lokasi menunjukkan adanya tanah urug dan puing pada kedalaman 0-3,5 m, kemudian lempung lunak organik pada kedalaman 3,5-8,0 m, diikuti lapisan yang lebih kuat pada kedalaman berikutnya. Kedua alternatif pada penelitian menggunakan kedalaman 6 m, sehingga bagian ujung pondasi masih berada pada rentang lapisan yang karakteristiknya perlu diperiksa secara cermat terhadap kapasitas dukung dan penurunan. Karena penelitian ini berfokus pada waktu dan biaya, hasil komparasi tidak dapat menggantikan evaluasi geoteknik rinci untuk memastikan keamanan setiap alternatif.

Dalam praktik, keputusan pemilihan jenis dan dimensi pondasi harus menggabungkan data SPT, parameter tanah laboratorium, beban struktur, kapasitas aksial dan lateral, serta prediksi penurunan. Defitri et al. (2025) menunjukkan bahwa pemanfaatan nilai N-SPT dapat digunakan untuk mengevaluasi dan mengoptimalkan bored pile sehingga dimensi dan jumlah tiang tidak berlebihan. Hal tersebut relevan dengan proyek OCBD Bogor karena penghematan biaya yang diperoleh dari mini pile hanya bermakna apabila kapasitas dukung, integritas tiang, dan penurunan yang terjadi tetap memenuhi kebutuhan struktur. Oleh sebab itu, hasil penelitian ini paling tepat digunakan sebagai analisis komparatif manajemen konstruksi setelah alternatif pondasi dinyatakan layak secara teknis. Pada area yang memiliki lapisan lunak lebih tebal atau titik keras yang lebih dalam, kedalaman dan jumlah tiang dapat berubah dan pada akhirnya akan mengubah kembali perbandingan biaya maupun durasi.

3.8. Dampak Lingkungan dan Risiko Pelaksanaan

Perbedaan metode pelaksanaan juga menimbulkan profil risiko lingkungan yang berbeda. Mini pile dengan drop hammer memberikan produktivitas tinggi, tetapi energi tumbukan menghasilkan getaran dan kebisingan yang perlu dikendalikan, terutama pada proyek yang dekat dengan bangunan eksisting. Shao et al. (2023) melalui pengujian lapangan menunjukkan bahwa konstruksi driven pile dapat menimbulkan tekanan tanah, perpindahan lateral, getaran, dan kebisingan yang lebih tinggi dibandingkan metode pile yang diawali pengeboran. Temuan tersebut memperkuat hasil fishbone pada penelitian ini bahwa keunggulan mini pile dalam waktu dan biaya perlu diseimbangkan dengan risiko gangguan terhadap lingkungan sekitar.

Bore pile memiliki karakter risiko yang berbeda. Metode ini relatif lebih sesuai untuk area sensitif terhadap getaran karena pembentukan lubang dilakukan dengan pengeboran, tetapi prosesnya menghasilkan tanah buangan dan membutuhkan kontrol mutu pekerjaan in-situ yang lebih ketat. Kondisi hujan dapat memengaruhi stabilitas lubang, akses alat, dan kualitas pelaksanaan pengecoran. Selain itu, keberhasilan bored pile sangat dipengaruhi oleh kebersihan dasar lubang, ketepatan posisi tulangan, kontinuitas pengecoran, dan pengawasan mutu beton. Afifah dan Sutarto (2025) juga menekankan bahwa pertimbangan lingkungan dapat membuat bored pile lebih tepat pada kawasan padat meskipun waktu pelaksanaannya lebih panjang. Dengan demikian, pemilihan metode pondasi seharusnya tidak hanya menggunakan indikator biaya dan durasi, tetapi juga memasukkan toleransi getaran, kebisingan, kondisi akses, pengelolaan limbah tanah, serta risiko gangguan terhadap bangunan di sekitar proyek.

3.9. Implikasi terhadap Pengambilan Keputusan Proyek

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa mini pile merupakan alternatif yang kuat untuk strategi percepatan pada proyek rumah hunian tipe 136/120 karena mampu menekan durasi dan biaya secara bersamaan. Namun, keputusan manajemen proyek sebaiknya dibuat dengan pendekatan multikriteria. Kriteria pertama adalah kelayakan teknis, meliputi kapasitas dukung, penurunan, integritas tiang, dan kecocokan dengan profil tanah. Kriteria kedua adalah ekonomi, meliputi harga material, biaya alat, mobilisasi, tenaga kerja, serta potensi biaya akibat keterlambatan. Kriteria ketiga adalah waktu, khususnya keterkaitan pekerjaan pondasi dengan lintasan kritis proyek. Kriteria keempat adalah kondisi lingkungan, termasuk getaran, kebisingan, ruang kerja, akses alat, serta keberadaan struktur di sekeliling lokasi.

Pada proyek dengan jumlah titik relatif sedikit seperti studi ini, biaya mobilisasi alat dapat memberikan pengaruh besar terhadap biaya satuan. Jika jumlah titik ditambah, biaya mobilisasi dapat tersebar pada volume yang lebih besar sehingga struktur biaya dapat berubah. Sebaliknya, bila akses alat berat sulit atau terdapat pembatasan jam kerja akibat kebisingan, produktivitas mini pile dapat turun dan keunggulan durasinya berkurang. Penelitian komparatif Afifah dan Sutarto (2025) serta Erlina et al. (2023) menunjukkan bahwa metode yang paling ekonomis tidak selalu sama pada setiap proyek, karena hasil bergantung pada karakter lokasi dan skala pekerjaan. Oleh sebab itu, penggunaan mini pile pada proyek OCBD Bogor dapat direkomendasikan untuk area yang

memenuhi syarat teknis dan lingkungan, sedangkan bore pile tetap perlu dipertahankan sebagai alternatif pada area dengan keterbatasan ruang, kebutuhan minim getaran, atau kondisi tanah yang mengharuskan metode pengeboran.

3.10. Keterbatasan Analisis dan Arah Pengembangan

Penelitian ini memberikan gambaran kuantitatif yang jelas mengenai perbedaan waktu dan biaya, tetapi terdapat beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan ketika hasilnya digunakan untuk keputusan proyek lain. Pertama, komparasi dilakukan pada satu proyek rumah hunian dengan 14 titik pondasi dan kedalaman 6 m, sehingga skala pekerjaan relatif terbatas. Kedua, analisis biaya menggunakan harga satuan dan kondisi pelaksanaan pada proyek tertentu; perubahan harga beton, baja, tiang pracetak, bahan bakar, upah, dan mobilisasi dapat mengubah selisih biaya. Ketiga, analisis durasi didasarkan pada jadwal dan produktivitas yang tersedia, sehingga belum memasukkan ketidakpastian cuaca, kerusakan alat, keterlambatan suplai, atau pembatasan operasional.

Keempat, penelitian belum membandingkan kinerja struktural kedua alternatif melalui uji beban atau analisis kapasitas dukung yang setara. Karena itu, penelitian lanjutan perlu menggabungkan indikator Rp per ton kapasitas dukung, biaya siklus pelaksanaan, dan risiko teknis agar perbandingan menjadi lebih komprehensif. Pengujian PDA atau static loading test dapat digunakan untuk memverifikasi kinerja tiang, sedangkan analisis sensitivitas dapat menunjukkan bagaimana perubahan harga dan produktivitas memengaruhi keputusan. Evaluasi emisi, kebisingan, dan getaran juga dapat ditambahkan sebagai indikator keberlanjutan. Dengan pengembangan tersebut, pemilihan pondasi tidak hanya menghasilkan metode yang paling murah dan cepat, tetapi juga metode yang paling aman, dapat dilaksanakan, dan sesuai dengan karakter lingkungan proyek.

3.11. Analisis Sensitivitas Biaya dan Waktu

Keunggulan mini pile sebesar 33,5% dari sisi biaya dan 53,3% dari sisi waktu menunjukkan adanya margin yang cukup besar pada kondisi dasar penelitian. Meskipun demikian, margin tersebut dapat berubah apabila terjadi perubahan harga satuan atau produktivitas. Pada mini pile, komponen pengadaan tiang dan mobilisasi alat pancang mempunyai proporsi penting sehingga kenaikan harga material pracetak, ongkos transportasi, atau biaya mobilisasi akan meningkatkan biaya metode ini. Pada bore pile, perubahan harga beton ready mix, baja tulangan, upah pekerja bor, serta produktivitas pengeboran akan lebih dominan. Oleh karena itu, analisis sensitivitas sederhana dapat dilakukan dengan menguji beberapa skenario kenaikan biaya utama untuk mengetahui batas ketika keunggulan ekonomi salah satu metode mulai berkurang.

Sensitivitas durasi juga perlu diperhatikan. Durasi 14 hari untuk mini pile bergantung pada kesiapan suplai tiang dan ketersediaan drop hammer. Gangguan alat atau keterlambatan pengiriman tiang pracetak dapat langsung mengurangi keuntungan waktu. Pada bore pile, faktor cuaca dan kondisi lubang bor dapat memperbesar variasi durasi karena sebagian proses dilakukan secara in-situ. Jali dan Wibowo (2023) menunjukkan bahwa jenis alat dan karakter tanah berpengaruh terhadap waktu pengeboran bored pile, sedangkan Afifah dan Sutarto (2025) memperlihatkan bahwa selisih durasi antara bored pile dan tiang pancang dapat berbeda pada proyek yang berbeda. Dengan demikian, angka efisiensi pada penelitian ini sebaiknya dipahami sebagai hasil pada kondisi pelaksanaan yang diamati, bukan sebagai koefisien tetap yang dapat diterapkan pada semua proyek.

3.12. Konsistensi Temuan dengan Penelitian Terdahulu

Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, hasil di OCBP Bogor memperlihatkan pola bahwa pondasi pracetak yang dipancang dapat memberikan keuntungan pada kecepatan pelaksanaan karena elemen utama telah disiapkan sebelum tiba di lapangan. Afifah dan Sutarto (2025) mendapatkan durasi tiang pancang lebih singkat daripada borepile, sehingga arah temuan waktunya konsisten dengan penelitian ini. Namun, dari sisi biaya hasil antarproyek dapat berbeda. Pada studi Afifah dan Sutarto (2025), bored pile justru lebih murah, sedangkan pada proyek OCBP Bogor mini pile lebih murah. Perbedaan ini memperlihatkan bahwa biaya pondasi sangat bergantung pada skala, dimensi, kedalaman, jumlah titik, mobilisasi, dan kondisi lokasi.

Temuan Defitri et al. (2025) memperkuat pentingnya optimasi desain karena perubahan diameter, jumlah tiang, dan pile cap dapat menghasilkan penghematan besar pada bored pile. Sementara itu, Erlina et al. (2023) menunjukkan bahwa bored pile dapat lebih cepat dan murah dibandingkan alternatif pondasi lain pada kondisi proyek tertentu. Perbandingan tersebut menegaskan bahwa tidak ada satu jenis pondasi yang selalu unggul pada seluruh indikator. Untuk OCBP Bogor, mini pile unggul pada biaya dan waktu berdasarkan data proyek, sedangkan bore pile mempunyai kelebihan dalam mengurangi getaran pada lingkungan sensitif. Hal ini juga konsisten dengan Shao et al. (2023) yang menunjukkan bahwa metode driven pile dapat menimbulkan gangguan tanah dan kebisingan lebih besar. Dengan demikian, kontribusi utama penelitian ini bukan sekadar menetapkan

mini pile sebagai alternatif termurah, tetapi memberikan bukti bahwa keputusan pondasi perlu disusun melalui keseimbangan antara kelayakan geoteknik, biaya, waktu, lingkungan, dan risiko pelaksanaan.

3.13. Implikasi terhadap Pengendalian Sumber Daya

Dari sudut pandang pengendalian proyek, hasil komparasi juga dapat digunakan sebagai dasar penyusunan rencana pengadaan dan jadwal sumber daya. Mini pile membutuhkan kepastian waktu produksi dan pengiriman elemen pracetak, ruang penyimpanan sementara, jalur masuk alat pancang, serta koordinasi mobilisasi yang baik. Bore pile lebih bergantung pada kesiapan material beton dan tulangan di lokasi, ketersediaan pekerja terampil, dan kesinambungan proses pengecoran setelah pengeboran selesai. Perbedaan pola kebutuhan sumber daya tersebut berpengaruh pada cash flow dan urutan kegiatan proyek. Apabila proyek menargetkan percepatan struktur, mini pile memberikan peluang memperpendek pekerjaan awal, tetapi manfaat tersebut harus didukung oleh pengadaan yang tepat waktu. Sebaliknya, bore pile dapat memberikan fleksibilitas lebih besar pada lokasi yang akses alat beratnya terbatas, walaupun proses lapangannya lebih panjang. Dengan demikian, hasil biaya dan waktu pada penelitian ini dapat diterjemahkan menjadi strategi pengendalian proyek, bukan hanya perbandingan angka akhir.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis komparatif pada Pembangunan Rumah Hunian Tipe 136/120 di Kawasan OCBD Bogor, diperoleh kesimpulan sebagai berikut: **Perbandingan Biaya:** Pelaksanaan pekerjaan pondasi mini pile membutuhkan biaya total Rp 52.563.280,00, sedangkan pondasi bore pile membutuhkan Rp 79.010.657,00. Pondasi mini pile lebih ekonomis dengan selisih penghematan biaya sebesar Rp 26.447.377,00 atau 33,5%. **Perbandingan Waktu:** Pelaksanaan pondasi mini pile memerlukan durasi 14 hari kerja, sedangkan pondasi bore pile memerlukan 30 hari kerja. Pondasi mini pile lebih cepat 16 hari kerja dengan efisiensi waktu mencapai 53,3%. **Kelayakan Pemilihan:** Pondasi mini pile menjadi pilihan paling optimal untuk percepatan proyek (fast-track) pada kondisi tanah berdaya dukung memadai dan lokasi yang mengizinkan kebisingan alat pancang. Sebaliknya, pondasi bore pile tetap merupakan solusi teknis utama pada area tanah lunak tebal, kondisi ruang sempit, atau lokasi yang sensitif terhadap getaran bangunan sekitar. Bagi pihak Kontraktor dan Konsultan Perencana, pemilihan jenis pondasi hendaknya mengombinasikan data penyelidikan geoteknik komprehensif dengan simulasi dampak lingkungan (getaran) serta jadwal kritis proyek. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan melakukan analisis produktivitas alat secara real-time di lapangan serta pengujian pembebanan dinamis (PDA Test) guna mengukur efisiensi biaya per unit daya dukung ultimit (Rp/ton daya dukung).

Reference

1. Bowles, J. E. (2021). *Foundation Analysis and Design* (6th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
2. Coduto, D. P., Yeung, M. R., & Kitch, W. A. (2020). *Geotechnical Engineering: Principles and Practices* (3rd ed.). Boston: Pearson Education
3. Das, B. M. (2023). *Principles of Foundation Engineering* (9th ed.). Boston: Cengage Learning.
4. Falah, F., Suzanti, W., Nofiana, T., Panulisan, B. S., & Setiawati, D. N. (2023). Tinjauan Pondasi Bored Pile terhadap Daya Dukung dan Penurunan Tanah. *Vierendeel Journal*, 5(1), 45-57.
5. Hardiyatmo, H. C. (2020). *Teknik Pondasi 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
6. Husen, A. (2011). *Manajemen Proyek: Perencanaan, Penjadwalan, dan Pengendalian Proyek*. Yogyakarta: Andi Offset.
7. Kementerian PUPR. (2022). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 1 Tahun 2022 tentang Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum*. Jakarta: Kementerian PUPR.
8. Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2020). *Qualitative Data Analysis: A Methods Sourcebook*. SAGE Publications.
9. Prakoso, W. A., & Suhendro, B. (2020). Analisis Kinerja Pondasi Dangkal pada Bangunan Bertingkat Rendah. *Jurnal Teknik Sipil Indonesia*, 12(2), 121-130.
10. Soeharto, I. (1997). *Manajemen Proyek: Dari Konseptual Sampai Operasional*. Jakarta: Erlangga.
11. Afifah, Z. A., & Sutarto, A. (2025). Analisis Perbandingan Penggunaan Fondasi Borepile dan Tiang Pancang terhadap Biaya dan Waktu Pelaksanaan (Studi Kasus: RSU Muhammadiyah Darul Istiqomah Kendal). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 4(02), 94-103. <https://doi.org/10.53863/teksling.v4i02.1945>
12. Defitri, H., Andriani, A., Hakim, A., & Hape, S. R. (2025). Optimization of Bored Pile Foundation Usage in Apartment Development Projects in Batam. *Jurnal Teknik Sipil*, 25(2), 1871-1881. <https://doi.org/10.26418/jts.v25i2.91760>
13. Erlina, E., Subagyo, S., Iskandar, M. R., & Setiawan, G. E. (2023). Analisis Perbandingan Biaya dan Waktu Pelaksanaan Pondasi Bored Pile terhadap Pondasi Sumuran (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Kost 3 Lantai di Potronanggan Taman Banguntapan Bantul). *CivETech: Civil Engineering and Technology Journal*, 5(2), 1-9. <https://doi.org/10.47200/civetech.v5i2.1894>
14. Jali, A., & Wibowo, P. H. (2023). Analisis Pelaksanaan Pekerjaan Pondasi Bored Pile pada Proyek Pembangunan Apartemen Monde City. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 20(1), 10-18. <https://doi.org/10.30630/jirs.v20i1.1006>
15. Shao, F., Deng, Y., Chen, S., Zheng, R., & Zhang, R. (2023). Field Test Study on Construction Disturbances of Driven Pile and PGP Pile. *Applied Sciences*, 13(21), 11887. <https://doi.org/10.3390/app132111887>