

Analisis Perencanaan Struktur Pondasi Bore Pile pada Proyek Pembangunan Gedung Instalasi Pengolahan Air Mojokerto

Ahmad Fathur Rifqi^{1*}, Widha Ardhiansyah², Heru Hendri Iswanto³

¹⁻³Universitas Islam Balitar, Indonesia

Email: rifqifatur6@gmail.com¹, widhaardhiansyah1472000065@gmail.com²,
heruhendri.hh@gmail.com³

*Penulis Korespondensi: rifqifatur6@gmail.com

Abstract. The construction of the Mojokerto Water Treatment Plant (WTP) Building involved a change in the foundation type from driven piles to bored piles because the construction site was located close to an existing ground water tank. This condition required a foundation design capable of supporting the structural loads while minimizing the risk of soil settlement that could affect the surrounding structure. This study aims to analyze the structural design of the bored pile foundation for the Mojokerto WTP Building construction project. The study employed a quantitative method using primary data obtained through interviews and direct observations, as well as secondary data consisting of structural design and loading documents. Structural loading analysis was performed using ETABS by considering dead loads, live loads, wind loads, and earthquake loads in accordance with the applicable SNI standards. The analysis results showed a vertical axial force at the structural base of 355.593 kN, a horizontal force in the X direction of -34.1179 kN, a horizontal force in the Y direction of -37.1186 kN, an X-direction moment of 290.8511 kNm, and a Y-direction moment of 109.4768 kNm. The roof structure foundation was designed using four bored piles with a diameter of 40 cm and a length of 8 m. The allowable bearing capacity of a single pile was 41.28 tons, while the allowable bearing capacity of the pile group was 125.11 tons, exceeding the total axial load of 54.05 tons. Foundation settlement was 2.658 cm based on the semi-empirical method and 0.418 cm based on the empirical method, both of which were below the allowable settlement limits. For the main WTP building, 75 bored piles were designed with a pile group bearing capacity of 2,421.48 tons, exceeding the total axial load of 1,555.48 tons. Based on the analysis results, the designed bored pile foundation was considered safe and satisfied the requirements for bearing capacity, settlement, and structural safety.

Keywords: Bearing Capacity; Bored Pile; ETABS; Foundation; Settlement.

Abstrak. Pembangunan Gedung Instalasi Pengolahan Air (IPA) Mojokerto mengalami perubahan jenis pondasi dari tiang pancang menjadi bore pile karena lokasi pembangunan berdekatan dengan bangunan existing berupa ground water tank. Kondisi tersebut memerlukan perencanaan pondasi yang mampu menahan beban struktur sekaligus meminimalkan risiko penurunan tanah yang dapat memengaruhi bangunan di sekitarnya. Penelitian ini bertujuan menganalisis perencanaan struktur pondasi bore pile pada proyek pembangunan Gedung IPA Mojokerto. Penelitian menggunakan metode kuantitatif dengan data primer berupa hasil wawancara dan pengamatan serta data sekunder berupa dokumen desain dan pembebanan struktur. Analisis pembebanan dilakukan menggunakan program ETABS dengan mempertimbangkan beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa sesuai ketentuan SNI. Hasil analisis menunjukkan gaya aksial vertikal pada dasar struktur sebesar 355,593 kN, gaya horizontal arah X sebesar -34,1179 kN, gaya horizontal arah Y sebesar -37,1186 kN, momen arah X sebesar 290,8511 kNm, dan momen arah Y sebesar 109,4768 kNm. Pondasi atap direncanakan menggunakan empat tiang bore berdiameter 40 cm dan panjang 8 m dengan daya dukung izin satu tiang sebesar 41,28 ton dan daya dukung kelompok sebesar 125,11 ton, lebih besar dibandingkan beban aksial total sebesar 54,05 ton. Penurunan pondasi sebesar 2,658 cm berdasarkan metode semi-empiris dan 0,418 cm berdasarkan metode empiris, keduanya masih berada di bawah batas penurunan yang diizinkan. Pada bangunan IPA digunakan 75 tiang bore dengan daya dukung kelompok sebesar 2.421,48 ton, lebih besar daripada beban aksial total sebesar 1.555,48 ton. Berdasarkan hasil analisis, perencanaan pondasi bore pile dinyatakan aman dan memenuhi persyaratan daya dukung serta kontrol struktur yang ditetapkan.

Kata Kunci: Bore Pile; Daya Dukung; ETABS; Penurunan; Pondasi.

1. LATAR BELAKANG

Indonesia sebagai negara dengan penduduk terpadat keempat di dunia, ketersediaan air bersih yang belum merata menjadi isu penting karena mempengaruhi segala aspek kehidupan, mulai dari kesehatan hingga kesejahteraan masyarakat. Peningkatan ekonomi Indonesia selama 20 tahun terakhir tidak dibarengi dengan pemerataan akses air bersih, sebanyak 33,4 juta penduduk kekurangan air bersih. Data dari Badan Pusat Statistik (BPS) menyebutkan bahwa capaian akses air bersih yang layak saat ini di Indonesia adalah 72,55% dan angka tersebut masih dibawah target Sustainable Developments Goals (SDGs) yakni 100% (Wati, 2020 dalam Hildawati et al., 2021).

Dalam upaya meningkatkan pelayanan air bersih secara nasional, Kementerian PUPR melalui Ditjen Cipta Karya juga telah membuat Program Strategis untuk meningkatkan akses masyarakat terhadap air minum dengan membangun beberapa Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM), yaitu SPAM Regional, SPAM Kawasan Perkotaan, SPAM Kawasan Khusus, SPAM Kawasan Rawan Air, dan SPAM berbasis masyarakat. Salah satu langkah untuk mendukung target tersebut adalah pembangunan Instalasi Pengolahan Air Mojokerto.

Proses pelaksanaan pembangunan Gedung instalasi pengolahan air Mojokerto terkendala isu penataan ruang. Area yang awalnya direncanakan ternyata masuk dalam Kawasan Ruang Terbuka Hijau (RTH), yang sesuai dengan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Timur Nomor 10 Tahun 2023 harus dipertahankan fungsinya sebagai area perlindungan lingkungan. Oleh karena itu, demi mematuhi regulasi tata ruang dan memastikan legalitas proyek, lokasi pembangunan IPA 100 L/detik tersebut harus direlokasi ke zona yang diizinkan untuk pembangunan infrastruktur publik (Kawasan Budidaya) sebelum konstruksi dapat dilanjutkan.

Pada awalnya lokasi proyek berada di area terbuka dan jauh dari bangunan bangunan yang sudah ada dan setelah dilakukan relokasi area yang akan dibangun ternyata berdekatan dengan bangunan existing berupa bak penampungan atau ground water tank, sehingga dilakukan proses rapat dan persetujuan dari pihak terkait terutama dalam pemilihan tipe pondasi yang akan digunakan agar pembangunan IPA 100 L/detik tidak mempengaruhi bangunan tersebut. Berdasarkan hasil rapat dan musyawarah, disepakati bahwa dilakukan perubahan dari awalnya tiang pancang menjadi bore pile. Sehingga perlu adanya perhitungan perencanaan pondasi sebelum dilakukan proses pembangunan. Langkah ini diambil karena bangunan existing berupa bak penampungan atau ground water tank sangat berdekatan dengan rencana relokasi. Apabila terjadi kesalahan dalam perencanaan atau pelaksanaan pondasi, risiko penurunan tanah yang tidak merata dapat mengganggu kestabilan struktur ground water

tank tersebut, yang pada akhirnya dapat menghambat operasional penyediaan air bersih bagi masyarakat. Kondisi tersebut menjadi salah satu pertimbangan dalam perencanaan struktur pondasi bore pile agar mampu menahan beban struktur atas Gedung Instalasi Pengolahan Air 1 lantai yang direncanakan setinggi 13 m tanpa menimbulkan penurunan yang membahayakan bangunan di sekitarnya.

Dalam suatu proyek konstruksi pondasi memiliki peranan yang sangat penting, ini dikarenakan pondasi adalah elemen pertama yang harus didirikan sebelum elemen lain terbentuk. Selain itu juga beban-beban bangunan yang ada di atasnya akan dipikul untuk selanjutnya diteruskan ke dasar tanah. (Abadi, et al., 2021). Perencanaan pondasi perlu memperhitungkan besarnya daya dukung pondasi dalam menerima yang di salurkan dari setruktur atas. Apabila pondasi yang direncanakan memiliki daya dukung yang lebih kecil dari beban yang diterima, maka akan terjadi penurunan yang tidak merata yang mengakibatkan kerusakan pada bangunan. Penting untuk diperhatikan bahwa borepile dan penurunan pondasi sangat erat kaitannya satu sama lain. Hal ini karena penurunan yang tidak terkendali dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur bangunan. Oleh karena itu, sangat penting untuk melakukan analisis daya dukung pondasi yang komprehensif untuk menjamin bahwa pondasi borepile mampu menahan beban yang diberikan tanpa mengalami penurunan yang cukup besar. (Kasmana et al.,2024)

Beberapa penelitian tentang pondasi bore pile telah banyak dilakukan, diantaranya oleh Johan, (2023) yang membahas tentang analisis daya dukung bore pile dengan data sondir menggunakan metode mayerhoff, serta perencanaan pondasi yang sesuai berdasarkan nilai daya dukung tanah dan analisa gaya aksial kolom menggunakan pondasi dalam jenis pondasi tiang pancang bored pile dengan kedalaman 11.20 meter dan ukuran dimensi 25 cm. Asshidiqie Kusnadi, (2021) mengkaji tentang analisis perencanaan pondasi bore pile pada Gedung Attic Showroom Surabaya.

Berdasarkan studi terdahulu menunjukkan keterbatasan pada formulasi beban desain, yang pada umumnya hanya mencakup beban hidup dan mati. Evaluasi efek beban angin dan beban gempa sering diabaikan atau disederhanakan. Selain itu, sebagian besar penelitian menggunakan acuan SNI lama. Penelitian ini mengisi gap tersebut dengan menghitung kombinasi beban hidup, mati, angin, dan gempa sesuai ketentuan SNI 1726:2019 dan SNI 1727:2020, memodelkan respons struktur-pondasi di ETABS untuk memperoleh distribusi gaya dan momen yang akurat.

Uraian diatas tersebut menjadikan dasar penelitian tentang analisis struktur pondasi dengan judul “Analisis Perencanaan Struktur Pondasi Bore Pile Pada Proyek Pembangunan Gedung Instalasi Pengolahan Air Mojokerto”.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian adalah cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu (Sugiyono,2023 dalam buku metode penelitian kuantitatif,kualitatif dan R&D halaman 2). Pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membuktikan perhitungan struktur pondasi pada proyek pembangunan Gedung IPA Mojokerto, sehingga termasuk kedalam penelitian kuantitatif sesuai dengan pernyataan sugiyono 2023 dalam buku metode penelitian kuantitatif,kualitatif dan R&D halaman 6, berdasarkan tujuan penelitian membuktikan berarti data yang diperoleh itu digunakan untuk membuktikan adanya keraguan keraguan terhadap informasi, teori kebijakan, tindakan atau produk yang telah ada. Penelitian yang bersifat membuktikan biasanya menggunakan metode kuantitatif.

Teknik pengumpulan data merupakan tahapan penting dalam penelitian karena berfungsi untuk memperoleh data primer dan sekunder yang dibutuhkan dalam analisis dampak lalu lintas. Adapun teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi beberapa metode sebagai berikut.

Wawancara dilakukan dengan pihak terkait yaitu perencana dengan tujuan untuk mengetahui alasan perubahan jenis pondasi dan untuk meminta dokumen yang diperlukan. Dokumen yang diperlukan untuk analisis perencanaan pondasi adalah DED untuk mengetahui desain bangunan atas dan perhitungan pembebanan yang di teruskan ke pondasi

Data primer adalah sumber informasi utama yang dikumpulkan secara langsung oleh peneliti dalam proses penelitian. Data ini diperoleh dari sumber asli, yaitu responden atau informan yang terkait dengan variabel penelitian. Data primer dapat berupa hasil observasi, wawancara, atau pengumpulan data melalui angket. (Sulung & Muspawi, 2024). Data primer yang dipakai sebagai berikut:

- a. Wawancara
- b. Pengamatan secara langsung

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel Hasil Analisis Pembebanan

Tabel 1. Rekapitulasi Gaya dan Momen pada Dasar Struktur.

Parameter	Hasil
Gaya aksial vertikal (Fz)	355,593 kN
Gaya horizontal arah X (Fx)	-34,1179 kN
Gaya horizontal arah Y (Fy)	-37,1186 kN
Momen arah X (Mx)	290,8511 kNm
Momen arah Y (My)	109,4768 kNm
Momen torsi (Mz)	1,825 kNm

Sumber: Hasil analisis ETABS.

Tabel Hasil Perencanaan Pondasi

Tabel 2. Rekapitulasi Perencanaan Pondasi Bore Pile.

Parameter	Pondasi Atap IPA	Pondasi Bangunan IPA
Diameter tiang	40 cm	40 cm
Panjang tiang	8 m	8 m
Jumlah tiang	4 tiang	75 tiang
Daya dukung izin 1 tiang	41,28 ton	41,28 ton
Daya dukung kelompok	125,11 ton	2.421,48 ton
Beban aksial total	54,05 ton	1.555,48 ton
Status daya dukung	Aman	Aman

Tabel Kontrol Penurunan dan Gaya Tiang

Tabel 3. Kontrol Keamanan Pondasi Atap IPA.

Parameter	Hasil	Batas Izin	Keterangan
Gaya tekan maksimum	33,53 ton	41,28 ton	Aman
Gaya tarik maksimum	6,50 ton	25,66 ton	Aman
Penurunan semi-empiris	2,658 cm	15,06 cm	Aman
Penurunan empiris	0,418 cm	4,00 cm	Aman
Geser pons akibat kolom	147,52 kN	2.628,94 kN	Aman
Geser pons akibat tiang	147,52 kN	1.860,80 kN	Aman

Tabel Penulangan Pile Cap

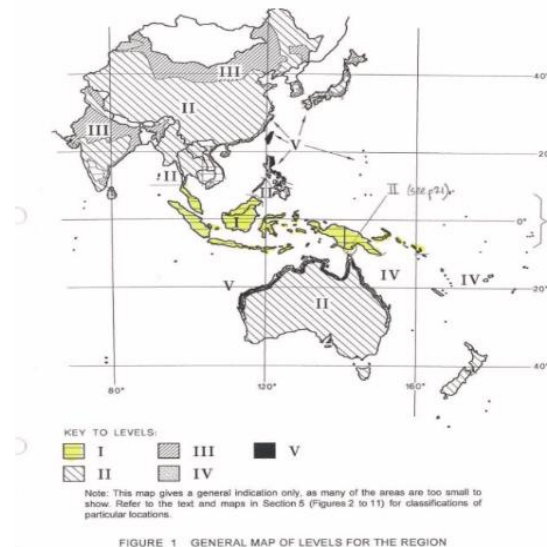
Tabel 4. Rekapitulasi Penulangan Pile Cap.

Komponen	Hasil Perencanaan
Tulangan bawah arah X	D16-185 mm, 11 buah
Tulangan bawah arah Y	D16-185 mm, 11 buah
Tulangan atas arah X	D16-370 mm, 6 buah
Tulangan atas arah Y	D16-370 mm, 6 buah
Regangan tarik (et)	0,0573

Regangan leleh (ϵ_t)	0,002
Momen ultimit (M_u)	311,71 kNm
Kapasitas momen tereduksi (ϕM_n)	422,87 kNm
Status	Aman



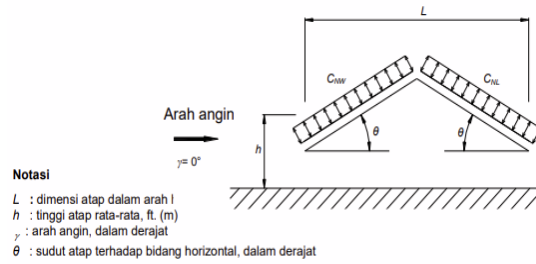
Gambar 1. Material Onduline.



Gambar 2. Peta Kecepatan Angin.

(Sumber: ryanrakhmats.wordpress.com)

Diagram



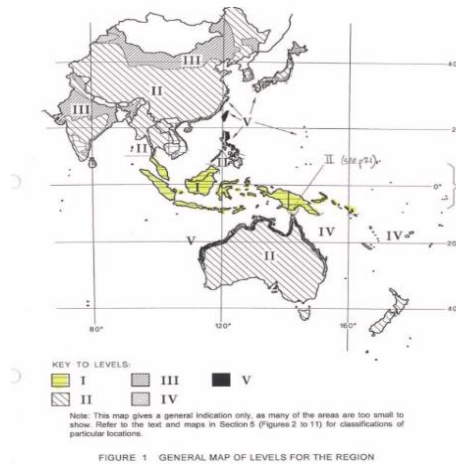
Sudut atap θ	Kasus beban	Arah angin, $\gamma = 0^\circ, 180^\circ$			
		Aliran angin tidak terhalang		Aliran angin terhalang	
		C_{nw}	C_{nl}	C_{nw}	C_{nl}
$7,5^\circ$	A	1,1	-0,3	-1,6	-1
	B	0,2	-1,2	-0,9	-1,7
15°	A	1,1	-0,4	-1,2	-1
	B	0,1	-1,1	-0,6	-1,6
$22,5^\circ$	A	1,1	0,1	-1,2	-1,2
	B	-0,1	-0,8	-0,8	-1,7
30°	A	1,3	0,3	-0,7	-0,7
	B	-0,1	-0,9	-0,2	-1,1
$37,5^\circ$	A	1,3	0,6	-0,6	-0,6
	B	-0,2	-0,6	-0,3	-0,9
45°	A	1,1	0,9	-0,5	-0,5
	B	-0,3	-0,5	-0,3	-0,7

Catatan:

- C_{nw} dan C_{nl} menunjukkan tekanan neto (kontribusi dari permukaan atas dan bawah) setengah dari permukaan atap untuk sisi angin datang dan sisi angin pergi.
- Aliran angin tidak terhalang ditunjukkan secara relatif halangan arah angin yang tidak terhalang $\leq 50\%$. Aliran angin tidak terhalang ditunjukkan oleh benda di bawah atap yang menghambat arah angin ($> 50\%$ halangan).
- Untuk nilai θ di antara $7,5^\circ$ dan 45° , interpolasi linier diperkenankan. Untuk nilai $\theta < 7,5^\circ$ dipergunakan koefisien beban atap miring sepihak.
- Tanda positif dan negatif menandakan tekanan yang bekerja menuju dan menjauhi permukaan atap bagian atas.
- Seluruh kasus pembebanan untuk setiap sudut atap harus diperiksa.

Gambar 3. Koefisien Tekanan Angin.

(Sumber: SNI 1727-2020 halaman 135)

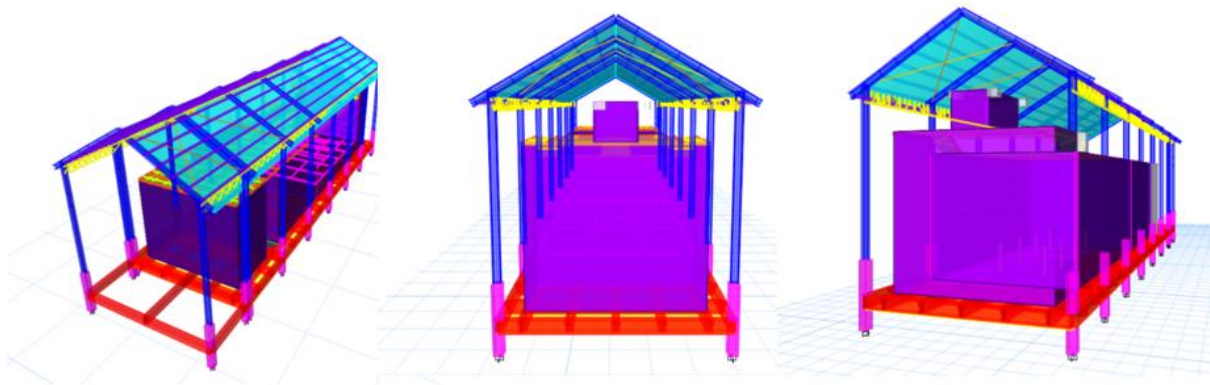


Gambar 4. Peta Kecepatan Angin.

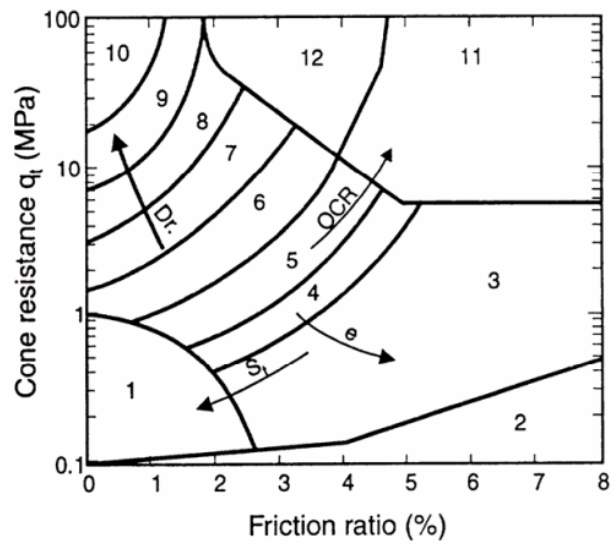
(Sumber: ryanrakhmats.wordpress.com)



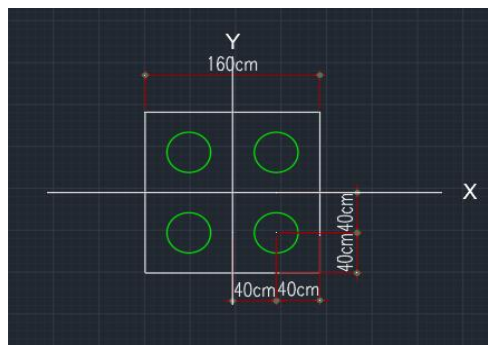
Gambar 5. Respon Spectrum.



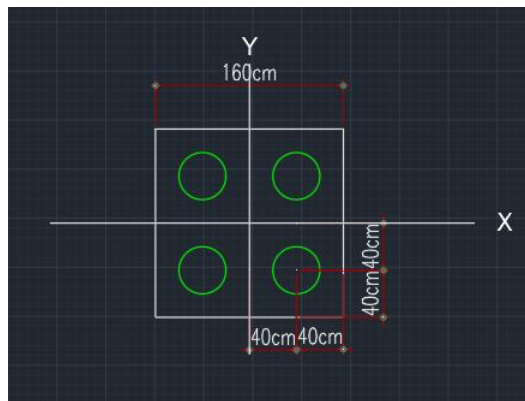
Gambar 6. Pemodelan Bangunan di Etabs.



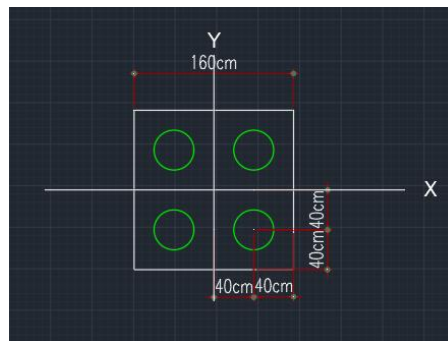
Gambar 7. Menentukan Jenis Tanah dari Grafik.



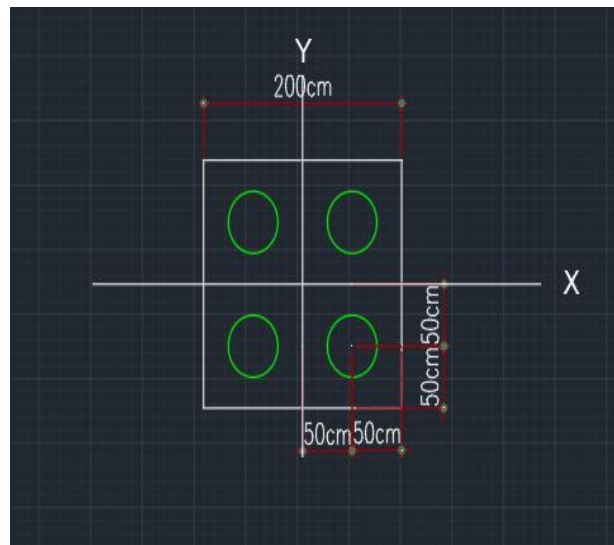
Gambar 8. Perhitungan 4 Tiang.



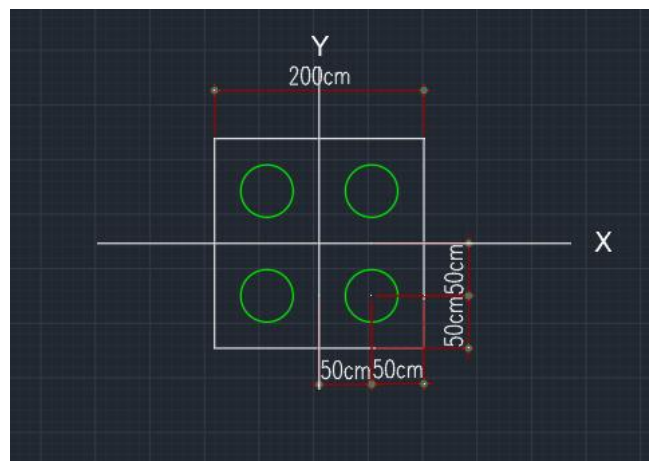
Gambar 9. Perhitungan Dengan 4 Tiang.



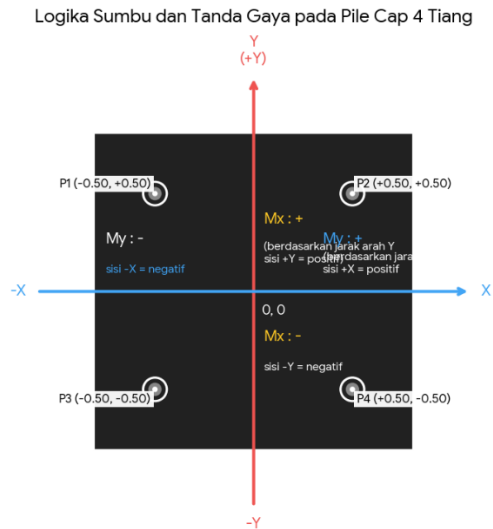
Gambar 10. Detail Rencana Pondasi Dan Pile Cap.



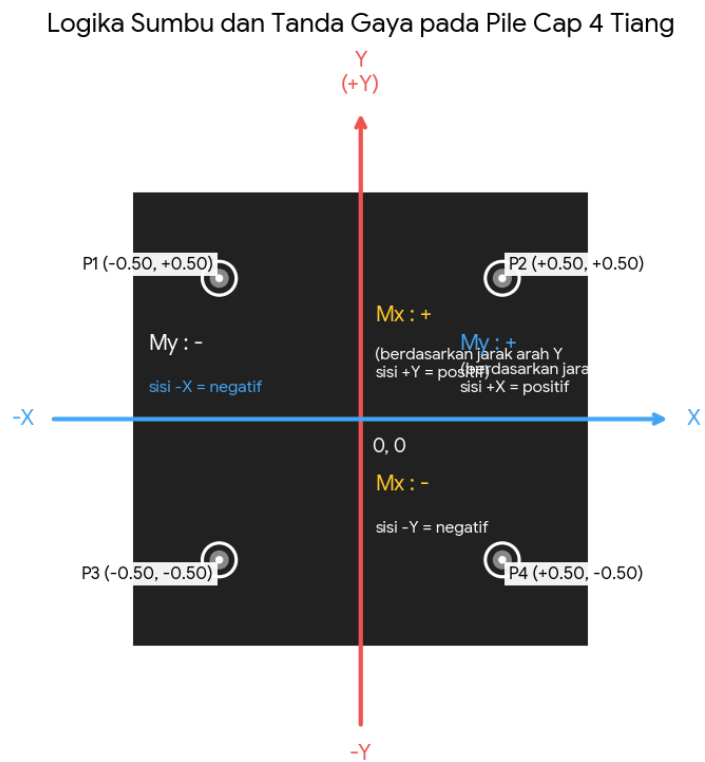
Gambar 11. Perhitungan 4 Tiang.



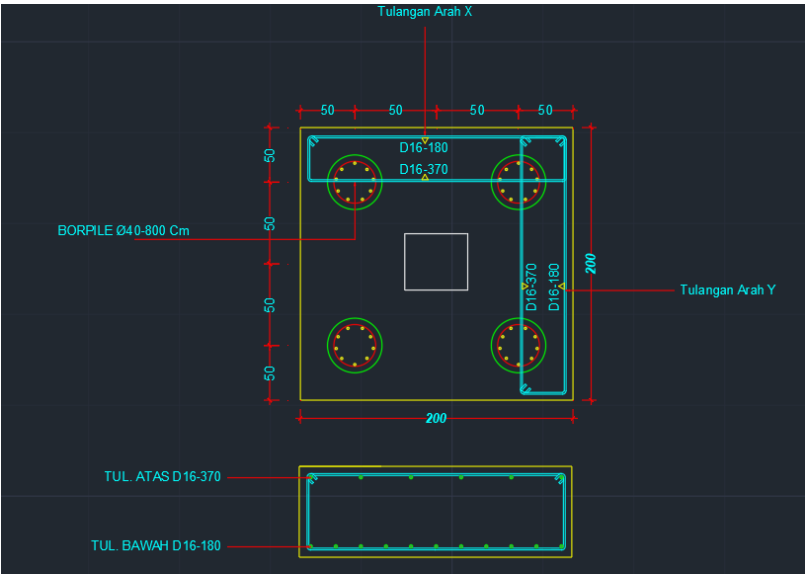
Gambar 12. Detail Rencana Pondasi Dan Pile Cap.



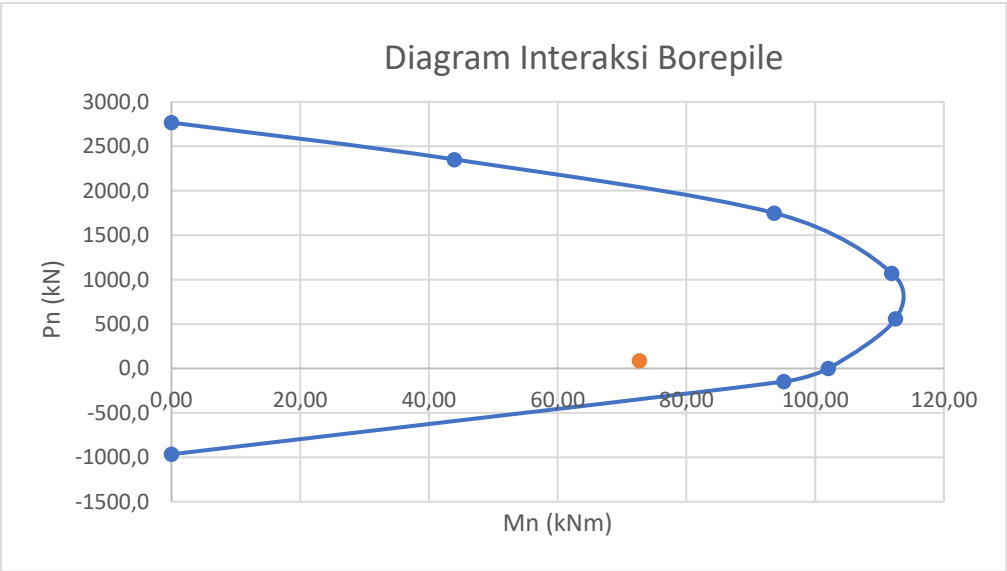
Gambar 13. Logika Sumbu dan Tanda Gaya pada Pile Cap 4 Tiang.



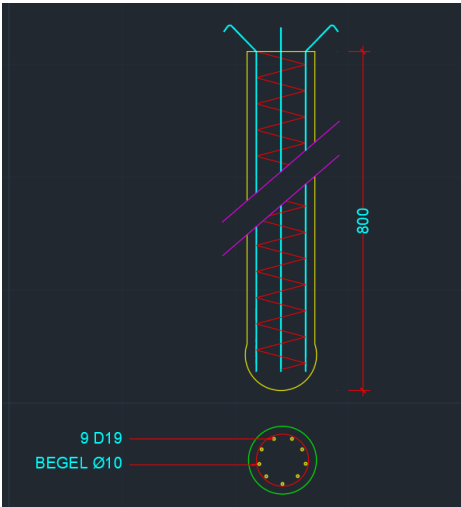
Gambar 14. Logika Sumbu dan Tanda Gaya Pile Cap.



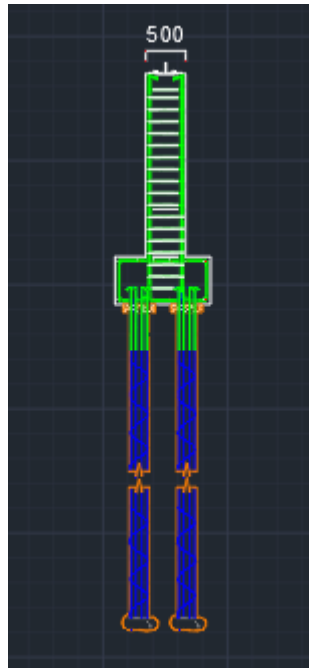
Gambar 15. Detail Penulangan Pile Cap.



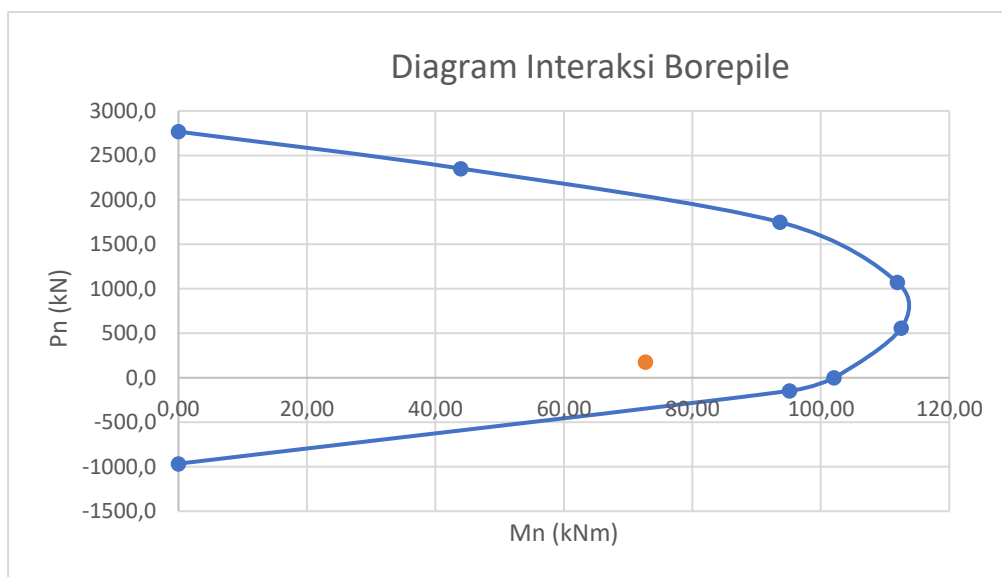
Gambar 16. Diagram Interaksi Borepile.



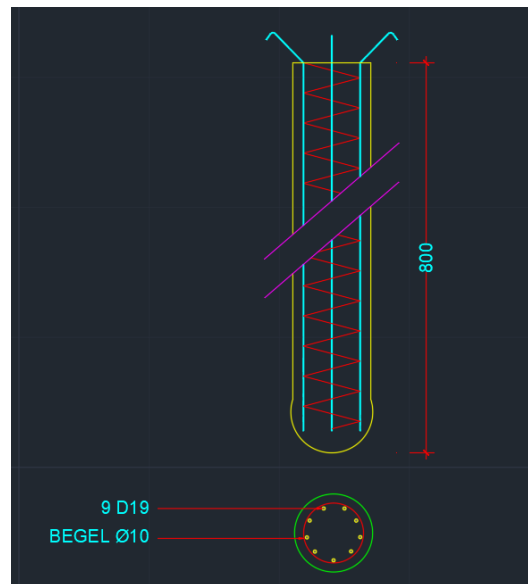
Gambar 17. Struktur Pondasi.



Gambar 18. Detail Pondasi Atap IPA.



Gambar 19. Diagram Interaksi Borepile.



Gambar 20. Struktur Pondasi.

Pembahasan

Hasil analisis menunjukkan bahwa pembebanan struktur Gedung Instalasi Pengolahan Air (IPA) Mojokerto menghasilkan gaya aksial vertikal sebesar 355,593 kN, gaya horizontal arah X sebesar -34,1179 kN dan arah Y sebesar -37,1186 kN, serta momen arah X sebesar 290,8511 kNm dan arah Y sebesar 109,4768 kNm. Beban tersebut merupakan hasil kombinasi beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa yang dimodelkan menggunakan ETABS. Penggunaan seluruh komponen pembebanan tersebut memberikan gambaran yang lebih menyeluruh terhadap respons struktur sehingga dapat menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan pondasi.

Pada struktur atap IPA, pondasi direncanakan menggunakan empat tiang bore berdiameter 40 cm dengan panjang 8 m. Hasil analisis menunjukkan daya dukung izin satu tiang sebesar 41,28 ton dan daya dukung kelompok sebesar 125,11 ton, sedangkan beban aksial total hanya sebesar 54,05 ton. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kapasitas pondasi kelompok masih lebih besar daripada beban yang harus dipikul. Dengan demikian, konfigurasi empat tiang yang direncanakan mampu memberikan kapasitas dukung yang memadai terhadap beban struktur.

Kontrol terhadap kombinasi gaya aksial dan momen juga menunjukkan hasil yang memenuhi persyaratan. Gaya tekan maksimum pada tiang sebesar 33,53 ton masih lebih kecil dibandingkan daya dukung izin satu tiang sebesar 41,28 ton. Sementara itu, gaya tarik maksimum sebesar 6,50 ton masih lebih kecil daripada daya dukung tarik izin sebesar 25,66

ton. Hasil tersebut menunjukkan bahwa distribusi gaya akibat kombinasi pembebanan tidak menyebabkan tiang mengalami kondisi yang melampaui kapasitas izinnya.

Aspek penurunan juga menjadi pertimbangan penting karena lokasi bangunan berdekatan dengan ground water tank existing. Hasil analisis menunjukkan penurunan sebesar 2,658 cm berdasarkan metode semi-empiris dan 0,418 cm berdasarkan metode empiris. Kedua nilai tersebut masih berada di bawah batas penurunan yang digunakan dalam penelitian, yaitu 15,06 cm berdasarkan SNI 8460:2017 dan 4 cm berdasarkan kriteria Reese & Wright (1997). Hal ini menunjukkan bahwa pondasi yang direncanakan memiliki tingkat penurunan yang masih dapat diterima dan secara teoritis tidak menimbulkan risiko penurunan berlebihan terhadap struktur di sekitarnya.

Pada struktur utama Gedung IPA, digunakan 75 tiang bore dengan diameter 40 cm dan panjang 8 m. Daya dukung kelompok yang diperoleh sebesar 2.421,48 ton, sedangkan beban aksial total sebesar 1.555,48 ton. Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa kapasitas kelompok tiang lebih besar daripada beban struktur yang diterima, sehingga konfigurasi pondasi dapat dinyatakan memenuhi persyaratan daya dukung aksial.

Hasil kontrol struktur pile cap juga menunjukkan kondisi yang memenuhi persyaratan. Penulangan pile cap menggunakan tulangan bawah D16-185 mm dan tulangan atas D16-370 mm. Momen ultimit sebesar 311,71 kNm lebih kecil daripada kapasitas momen tereduksi sebesar 422,87 kNm, sehingga kapasitas lentur pile cap dinilai mencukupi. Selain itu, kontrol geser pons menunjukkan gaya geser yang terjadi lebih kecil daripada kapasitas geser yang tersedia, sehingga pile cap tidak memerlukan tambahan tulangan geser.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pondasi bore pile merupakan alternatif yang sesuai untuk kondisi proyek Gedung IPA Mojokerto. Perubahan dari pondasi tiang pancang menjadi bore pile dapat dipertimbangkan karena lokasi pembangunan berdekatan dengan bangunan existing sehingga aspek pengendalian gangguan terhadap lingkungan sekitar menjadi penting. Berdasarkan hasil analisis daya dukung, penurunan, gaya aksial, gaya tarik, momen, serta kapasitas pile cap, pondasi yang direncanakan memenuhi kriteria keamanan dan kelayakan struktur.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perencanaan pondasi bore pile pada proyek pembangunan Gedung instalasi pengolahan air Mojokerto diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Pertama, terkait besarnya gaya dalam dan reaksi pembebanan dari struktur atas Gedung Instalasi Pengolahan Air yang disalurkan ke pondasi, hasil analisis pembebanan menggunakan

program bantu ETABS pada bagian dasar (base) diperoleh gaya aksial vertikal (F_z) sebesar 355,593 kN, gaya horizontal arah X (F_x) sebesar -34,1179 kN, gaya horizontal arah Y (F_y) sebesar -37,1186 kN, momen arah X (M_x) sebesar 290,8511 kNm, momen arah Y (M_y) sebesar 109,4768 kNm, dan momen torsi (M_z) sebesar 1,825 kNm. Nilai-nilai tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar perencanaan struktur pondasi bore pile. 2) Kedua, terkait hasil perencanaan struktur pondasi bore pile pada proyek pembangunan Gedung Instalasi Pengolahan Air Mojokerto, perencanaan pondasi pada proyek ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu pondasi struktur atap IPA dan pondasi struktur bangunan IPA. Pada struktur atap IPA, pondasi direncanakan menggunakan tiang bor berdiameter 40 cm dengan panjang 8 m sebanyak 4 tiang, dengan jarak antar tiang 1 m dan jarak tiang ke tepi pile cap 0,5 m, serta pile cap berukuran 2 m x 2 m dengan tebal 0,6 m dan kolom pedestal berukuran 50 cm x 50 cm. Daya dukung ijin satu tiang (Q_a) diperoleh sebesar 41,28 ton dan daya dukung kelompok tiang (Q_{pg}) sebesar 125,11 ton, keduanya lebih besar dari beban aksial total (ΣV) sebesar 54,05 ton, sehingga pondasi dinyatakan aman menahan beban aksial. Kontrol terhadap beban kombinasi (aksial dan momen) menghasilkan gaya tekan maksimum (P_{max}) sebesar 33,53 ton yang lebih kecil dari Q_a sebesar 41,28 ton, serta gaya tarik maksimum (P_{min}) sebesar 6,50 ton yang lebih kecil dari daya dukung tarik ijin ($Q_{t\ all}$) sebesar 25,66 ton, sehingga pondasi dinyatakan aman. Penurunan pondasi dengan metode semi-empiris diperoleh sebesar 2,658 cm dan dengan metode empiris sebesar 0,418 cm, keduanya lebih kecil dari penurunan izin menurut SNI 8460:2017 sebesar 15,06 cm maupun kriteria Reese & Wright (1997) sebesar 4 cm, sehingga pondasi memenuhi syarat penurunan izin. Kontrol geser pons akibat kolom menghasilkan V_u sebesar 147,52 kN yang lebih kecil dari ϕV_c sebesar 2.628,94 kN, dan akibat tiang pondasi menghasilkan V_u sebesar 147,52 kN yang lebih kecil dari ϕV_c sebesar 1.860,80 kN, sehingga tebal pile cap yang direncanakan telah mencukupi tanpa memerlukan tulangan geser tambahan. Adapun pada struktur bangunan IPA, pondasi direncanakan menggunakan tiang bor dengan diameter dan panjang yang sama, yaitu 40 cm dan 8 m, namun dengan jumlah 75 tiang yang tersebar di bawah pelat lantai. Daya dukung ijin satu tiang (Q_a) sebesar 41,28 ton dan daya dukung kelompok tiang (Q_{pg}) sebesar 2.421,48 ton, jauh lebih besar dari beban aksial total (ΣV) sebesar 1.555,48 ton, sehingga pondasi dinyatakan aman menopang beban aksial dari struktur bangunan IPA. 3) Ketiga, terkait detail penulangan struktur pondasi bore pile beserta pile cap yang direncanakan, penulangan pile cap pada arah x maupun arah y menggunakan tulangan tarik/bawah D16-185 mm sejumlah 11 buah dan tulangan tekan/atas D16-370 mm sejumlah 6 buah. Kontrol regangan tarik netto diperoleh ϵ_t sebesar 0,0573 yang lebih besar dari ϵ_{ty} sebesar 0,002, sehingga penampang memenuhi syarat tarik terkontrol, dengan momen

ultimit (μ) sebesar 311,71 kNm yang lebih kecil dari kapasitas momen tereduksi (ϕM_n) sebesar 422,87 kNm, sehingga penampang pile cap dinyatakan aman. Adapun penulangan tiang bor (bore pile), baik pada pondasi atap IPA maupun pondasi bangunan IPA, menggunakan tulangan pokok D19 sejumlah 9 buah dengan rasio tulangan sebesar 2%. Hasil analisis diagram interaksi menggunakan program bantu SP Column V 7.2.23 menunjukkan bahwa nilai gaya aksial nominal (P_n) lebih besar dari gaya aksial perlu (P_u), sehingga struktur tiang bor dinyatakan aman.

DAFTAR REFERENSI

- Abadi, S. S., Roestaman, R., & Permana, S. (2021). Analisis perbandingan kapasitas kuat dukung pondasi bore pile berdasarkan hasil pengujian SPT dan CPT. *Jurnal Konstruksi*, 19(2), 549–560. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.19-2.920>
- Askthreed, A., Hermansyah, H., & Hutaeruk, D. M. (2023). Analisis kekuatan tiang pancang pada proyek pembangunan Jembatan Jalan Bebas Hambatan Medan–Kualanamu–Tebing Tinggi. *Selodang Mayang: Jurnal Ilmiah Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Indragiri Hilir*, 9(2), 153–159. <https://doi.org/10.47521/selodangmayang.v9i2.306>
- Badan Standardisasi Nasional. (2019a). *SNI 1726: Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019b). *SNI 2847: Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1727: Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain*.
- Edwar, B. (2023). *Analisis daya dukung pondasi tiang pancang pada pembangunan Rumah Sakit Regina Maris Medan*.
- Hildawati, N., Meliyana, M., Selviana, R. E., Magfiroh, A., Rahayu, A., & Rahmat, A. N. (2021). Edukasi masyarakat peduli air bersih dalam upaya peningkatan pengetahuan masyarakat tentang cara pengelolaan air minum di Desa Pemurus RT 3B Kecamatan Aluh-Aluh berbasis daring. *Selaparang*, 5(1), 560–565. <https://doi.org/10.31764/jpmb.v5i1.5583>
- Indra, S., Yudianto, E. A., & Fadilla, J. (2024). Studi alternatif perencanaan pondasi tiang bor (bore pile) pada Gedung Malang Creative Center (MCC). *Student Journal GELAGAR*, 6(1), 1–8.
- Jawat, I. W., Gita, P. P. T., & Dharmayoga, I. M. S. (2020). Kajian metoda pelaksanaan pekerjaan pondasi bored pile pada tahap perencanaan pelaksanaan. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 9(2), 126–142. <https://doi.org/10.22225/pd.9.2.1830.126-142>
- Jaya, A. V., Beatrix, M., & Mawariza, P. S. (2023). Analisis pondasi bore pile dan tiang pancang terhadap biaya dan waktu pengerjaan: Studi kasus pada proyek pembangunan Pangkalan Penjagaan Laut dan Pantai Kelas II Tanjung Perak. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri*, 3(1), 786–792.

- Johan, J. (2023). *Perencanaan pondasi pada pembangunan Gedung Rektorat Universitas Sulawesi Barat* [Disertasi, Universitas Sulawesi Barat].
- Kamaludin, T. M., Indrajaya, A., Ansari, A. S., & Mulyanto, A. (2025). Metode kerja dan uji kualitas pondasi bored pile menggunakan tipe rotary drilling rigs pada pembangunan bangunan kawasan kantor Kementerian PUPR di Ibu Kota Negara Baru. *Jurnal Profesi Insinyur Indonesia*, 3(2), 128–138.
- Kasmana, B. R., Artiani, G. P., & Darmiyanti, L. (2024). Analisis daya dukung pondasi borepile pada proyek pembangunan fasilitas perkeretaapian Manggarai–Jatinegara. *Gudang Jurnal Multidisiplin Ilmu*, 2(8), 117–124.
- Kurnain, A., Effendi, I., Bagio, T. H., & Rakhmat, A. D. (2025). Analisis perencanaan pondasi bore pile dan tiang pancang beton Gedung Riau Town Square, Pekanbaru: Tinjauan stabilitas dan dampak lingkungan. *Journal of Infrastructure and Civil Engineering*, 5(1), 56–66.
- Kusnadi, A. (2021). *Studi perencanaan pondasi tiang bor (bored pile) pada Attic Showroom Surabaya*.
- Mahmud, S. Q. A., & Iskandar, A. (2024). Hubungan efisiensi kapasitas dukung terhadap jarak antar tiang pada kelompok tiang. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 7(2), 583–588. <https://doi.org/10.24912/jmts.v7i2.28024>
- Mahmudi, A., Putri, M. T. H., & Wardoyo, T. (2023). Analisa perbandingan daya dukung pondasi bored pile berdasarkan data sondir dan pile driving analyzer test pada proyek pengembangan Gedung J Universitas Kristen Petra Surabaya. *INTER TECH*, 1(2), 16–26. <https://doi.org/10.54732/i.v1i2.1051>
- Megananda, S., Marianti, A., & Indra, S. (2020). Studi alternatif perencanaan struktur bawah gedung menggunakan pondasi bore pile (Studi kasus Gedung Pascasarjana Unisma). *Jurnal Sondir*, 1, 11–12.
- Muluk, M., Hamid, D., & Santi, M. (2020). Studi perbandingan pondasi tiang pancang dengan pondasi bore pile (Studi kasus: Pelaksanaan pembangunan pondasi Tower Grand Kamala Lagoon–Bekasi). *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Padang*, 7(1), 26–33. <https://doi.org/10.21063/JTS.2020.V701.04>
- Muqsith, A. N., & Susanto, N. (2024). Analisa daya dukung tiang pancang pada proyek pembangunan Gedung BRI Kanca Gunung Jati Cirebon. *Jurnal Rekayasa: Teknik Sipil STTC*, 2(2), 59–67.
- Nugroho, A. P., & Listyawan, A. B. (2023, May). Perencanaan pondasi Strauss pile pada perencanaan pembangunan Asrama Pondok Pesantren Iqra, Surakarta. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS* (pp. 272–279).
- Oemar, F., Utama, T. R., Wijaksono, P., & Sipil, T. (2021). Analisa daya dukung pondasi tiang bore pile pada pembangunan proyek Fly Over Martadinata Kota Tangerang. *J. Tek. Sipil-Arsitektur*, 20(1), 121–133. <https://doi.org/10.54564/jtsa.v20i1.69>
- Pratama, I. R. A., & Kabdiyono, E. A. (2025). Perencanaan ulang pondasi bored pile: Studi kasus Gedung Wisma 5 lantai. *Jurnal Sosial dan Sains*, 5(5), 1275–1287. <https://doi.org/10.59188/jurnalsosains.v5i5.32035>
- Ramadhan, R., Suprpto, B., & Kololikiye, G. R. (2025). Studi alternatif perbandingan pondasi tiang pancang dan bore pile dengan variasi dimensi pada Gedung Rumah Sakit Mulia Santoso Medika Bululawang. *Jurnal Rekayasa Sipil (e-Journal)*, 15(2), 188–196.

- Rodji, A. P., Sihombing, S. M., & Ramadhan, M. R. (2022, May). Analisis pondasi bored pile pada proyek Metrostater Depok Jawa Barat. *Forum Mekanika*, 11(1), 11–21.
- Rukhmana, T. (2021). Memahami sumber data penelitian: Primer, sekunder, dan tersier. *Jurnal Edu Research: Indonesian Institute for Corporate Learning and Studies (IICLS)*, 2(2), 28–33. <https://doi.org/10.47827/jer.v2i3.53>
- Rumbyarso, Y. P. A., & Pribadi, G. (2024). Analisis kapasitas daya dukung bore pile pada proyek Gedung Fakultas Hukum Unisulla Semarang Jawa Tengah. *Pasak: Jurnal Teknik Sipil dan Bangunan*, 2(1), 1–5. <https://doi.org/10.32699/pasak.v2i1.6976>
- Safitri, V. I., & Wibowo, D. E. (2025). Redesign fondasi bored pile proyek Proving Ground Bekasi untuk kestabilan daya dukung berdasarkan metode Luciano Decourt dengan finite element. *Civil Engineering and Sustainable Infrastructure*, 2(1), 48–65.
- Sugiyono. (2023). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D* (Edisi ke-2). Alfabeta.
- Sulistianto, D., & Rus, T. Y. (2024). Analisis daya dukung pondasi dan perencanaan konstruksi di gudang bahan peledak, Samboja, Kutai Kartanegara. *JST (Jurnal Sains Terapan)*, 10(2), 91–100.
- Sungkana, S. R. K., Ratnaningsih, A., & Soetjipto, J. W. (2023). Analisis faktor penyebab keterlambatan pelaksanaan pondasi bore pile menggunakan metode fault tree analysis. *Bulletin of Civil Engineering*, 3(1), 25–30. <https://doi.org/10.18196/bce.v3i1.17491>
- Waruwu, J. K., & Hamzah, A. (2021). Analisa daya dukung pondasi bored pile berdasarkan data sondir pada proyek pembangunan Pasar Baru Panyabungan Kabupaten Madina. *Jurnal Bidang Aplikasi Teknik Sipil dan Sains*, 1(1). <https://doi.org/10.30743/jtsip.v1i1.5735>