Vol. 2 No. 3 Edisi September 2026 E.ISSN. 3109-855X

Indonesian Journal of Social Science and Education (IJOSSE)
Journal page is available to
https://e-jurnal.jurnalcenter.com/index.php/ijosse/index
Email: admin@jurnalcenter.com

STUDI PENGARUH VARIASI KEDALAMAN TERHADAP KARAKTERISTIK DEFORMASI VERTIKAL TIANG PANCANGMINI POLOS PADA TANAH LEMPUNG DAN TANAH GAMBUT

A STUDY ON THE EFFECT OF DEPTH VARIATION ON THE VERTICAL DEFORMATION CHARACTERISTICS OF PLAIN MINI PILES IN CLAY AND PEAT SOILS

Muhammad Ridho Islamy[1*], Faisal Ananda[2], Efan Tifani[3]

[1*,2,3]Politeknik Negeri Bengkalis, Email : muhammadridho@mhs.polbeng.ac.id

*email koresponden: muhammadridho@mhs.polbeng.ac.id

DOI: https://doi.org/10.62567/ijosse.v2i3.3123

Abstrack

The coastal region of Bengkalis is dominated by soft soils, namely clay and peat, which have low bearing capacity, making pile foundation selection critical. This study aims to compare the bearing capacity and settlement of mangrove timber piles and plain precast concrete mini piles at a shallow depth of 1 meter, representing thin soft-soil layers commonly found near the surface. Testing was conducted on single and group (two-pile) configurations, on two soil types (clay and peat), and under two observation times (immediately after driving/0 hours and after 48 hours), using the Static Loading Test (SLT) method with incremental loading until pile failure (loss). The results show that at 1 m depth, the group configuration increased capacity by an average of 42.7% compared to single piles, a 48-hour waiting period increased capacity by an average of 26.2%, plain concrete piles outperformed mangrove piles by an average of 21.7%, and clay soil showed an average capacity 12.7% higher than peat soil under equivalent conditions. These findings indicate that at shallow depth, soil type differences have a more noticeable effect than at greater depths, so site selection and soil type remain important considerations in shallow foundation planning in coastal regions.
Keywords: *Bearing Capacity, Mangrove Timber, One-Meter Depth, Pile Foundation, Plain Concrete.*

Abstrak

Wilayah pesisir Bengkalis didominasi oleh tanah lunak berupa lempung dan gambut yang memiliki daya dukung rendah, sehingga pemilihan sistem pondasi tiang menjadi krusial. Penelitian ini bertujuan membandingkan kapasitas dukung dan penurunan (settlement) antara tiang pancang kayu bakau dan tiang pancang mini beton polos precast pada kedalaman dangkal 1 meter, yang mewakili kondisi lapisan tanah lunak tipis yang umum dijumpai di dekat permukaan. Pengujian dilakukan pada konfigurasi

Indonesian Journal of Social Science and Education (IJOSSE)
Journal page is available to https://e-jurnal.jurnalcenter.com/index.php/ijosse/index
Email: admin@jurnalcenter.com

tunggal dan kelompok (dua tiang), pada dua jenis tanah (lempung dan gambut), serta dua kondisi waktu pengamatan (segera setelah pemancangan/0 jam dan setelah 48 jam), menggunakan metode Static Loading Test (SLT) dengan pembebanan bertahap hingga tiang mengalami kegagalan (loss). Hasil menunjukkan bahwa pada kedalaman 1 m, konfigurasi kelompok meningkatkan kapasitas rata-rata 42,7% dibanding tunggal, waktu tunggu 48 jam meningkatkan kapasitas rata-rata 26,2%, tiang beton polos unggul rata-rata 21,7% dibanding bakau, dan tanah lempung menunjukkan kapasitas rata-rata 12,7% lebih tinggi dibanding tanah gambut pada kondisi setara. Temuan ini mengindikasikan bahwa pada kedalaman dangkal, perbedaan jenis tanah justru memberi pengaruh yang lebih terasa dibanding pada kedalaman yang lebih besar, sehingga pemilihan lokasi dan jenis tanah tetap perlu menjadi pertimbangan penting dalam perencanaan pondasi dangkal di wilayah pesisir.
Kata Kunci: Bakau, Beton Polos, Kedalaman 1 Meter, Penurunan, Tiang Pancang.

1. PENDAHULUAN

Pondasi berperan penting dalam meneruskan beban struktur ke lapisan tanah pendukung agar bangunan tetap aman dan stabil. Pada wilayah pesisir seperti Bengkalis, Provinsi Riau, kondisi tanah didominasi oleh tanah lunak berupa gambut dan lempung yang memiliki daya dukung rendah serta kompresibilitas tinggi. Kondisi ini menuntut ketelitian dalam pemilihan sistem pondasi, khususnya pada pekerjaan jalan dan jembatan yang berdiri di atas tanah lunak.

Dalam praktik konstruksi di Bengkalis, tiang pancang alami dari kayu bakau banyak digunakan karena ketersediaannya yang melimpah dan biaya yang relatif murah. Namun, pemanfaatan kayu bakau secara terus-menerus berpotensi mempercepat degradasi ekosistem mangrove yang berfungsi sebagai pelindung alami pesisir terhadap abrasi. Sebagai alternatif yang lebih berkelanjutan, tiang pancang beton pracetak tipe mini pile polos mulai dipertimbangkan sebagai pengganti tiang pancang alami.

Penelitian terdahulu oleh Saputra (2025) menunjukkan bahwa tiang mini pile polos precast memiliki kemampuan menahan beban yang lebih besar dibandingkan tiang cerucuk bakau pada berbagai variasi kedalaman (1 m; 1,5 m; dan 2 m). Penelitian tersebut juga menemukan bahwa perbedaan daya dukung antara kedua material semakin nyata setelah tiang mengalami masa tunggu 48 jam pasca-pemancangan.

Artikel ini merupakan bagian dari penelitian skripsi yang lebih luas, namun secara khusus difokuskan pada kedalaman 1 meter. Kedalaman ini dipilih karena merepresentasikan kondisi lapisan tanah lunak tipis yang paling sering dijumpai pada pekerjaan pondasi dangkal maupun sebagai lapisan atas pada pondasi dalam, sehingga pemahaman mengenai perilaku tiang pada kedalaman ini memiliki relevansi praktis yang tinggi bagi perencana di lapangan. Penelitian ini bertujuan untuk (1) membandingkan kapasitas dukung dan penurunan tiang bakau dan beton polos pada konfigurasi tunggal dan kelompok, (2) mengetahui pengaruh waktu tunggu pasca-pemancangan (0 jam dan 48 jam), dan (3) membandingkan perilaku kedua jenis tiang pada tanah lempung dan tanah gambut, seluruhnya pada kedalaman 1 meter.

Fokus pada satu kedalaman tunggal ini juga dimaksudkan agar pembahasan tidak bercampur dengan efek kedalaman itu sendiri, sehingga pengaruh murni dari ketiga variabel lain, yaitu material, konfigurasi, dan waktu tunggu, dapat diamati secara lebih terisolasi. Dengan pendekatan ini, artikel diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih tajam mengenai perilaku tiang pancang pada lapisan tanah lunak dangkal, sekaligus menjadi pelengkap bagi kajian skripsi induk yang mencakup rentang kedalaman 1-3 meter secara keseluruhan.

Tanah lempung merupakan tanah berbutir halus dengan plastisitas yang bervariasi, umumnya diklasifikasikan menggunakan parameter batas Atterberg (Liquid Limit dan Plastic Limit) mengacu pada Unified Soil Classification System/USCS (ASTM D4318, 2017; ASTM D2487, 2011). Tanah gambut adalah tanah organik dengan kadar air tinggi dan berat jenis (Gs) yang relatif rendah dibanding tanah mineral, sehingga umumnya memiliki daya dukung yang lebih rendah (Hardiyatmo, 2015).

Tiang pancang berfungsi menyalurkan beban struktur ke lapisan tanah yang lebih dalam melalui kombinasi tahanan ujung (end bearing) dan tahanan gesek selimut (skin friction) (Das, 2010; Bowles, 1997). Pada tanah lunak dengan daya dukung ujung yang rendah, mekanisme penyaluran beban lebih

Indonesian Journal of Social Science and Education (IJOSSE)
Journal page is available to https://e-jurnal.jurnalcenter.com/index.php/ijosse/index
Email: admin@jurnalcenter.com

banyak mengandalkan gesekan selimut tiang (Poulos & Davis, 1980). Pengujian kapasitas dukung tiang dalam skala uji dapat dilakukan dengan metode Static Loading Test (SLT) mengacu pada ASTM D1143/D1143M (2013), yaitu pembebanan aksial statik yang dilakukan secara bertahap hingga tiang mencapai kondisi keruntuhan.

Tiang pancang kelompok umumnya memiliki kapasitas dukung total yang lebih besar dibandingkan tiang tunggal, meskipun efisiensinya dipengaruhi oleh jarak antar tiang akibat interaksi zona tegangan tanah di sekitar tiang (Meyerhof, 1976). Selain itu, tenggang waktu setelah pemancangan (set-up time) turut memengaruhi kapasitas tiang, karena tanah di sekitar tiang mengalami proses disipasi tekanan air pori dan stabilisasi kembali (Terzaghi, Peck, & Mesri, 1996), yang pada penelitian terdahulu terbukti meningkatkan kapasitas dukung tiang pada pengamatan 48 jam dibandingkan kondisi 0 jam (Saputra, 2025).

Kayu bakau telah lama digunakan sebagai material tiang pancang alami pada konstruksi di wilayah pesisir karena ketersediaannya yang melimpah dan biaya pengadaan yang relatif rendah (Ahmad Rifky, 2014). Namun demikian, permukaan kayu bakau yang tidak seragam serta kandungan serat alami di dalamnya dapat memberikan interaksi geser yang berbeda dengan tanah dibandingkan permukaan beton yang lebih homogen. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa tiang beton pracetak tipe mini pile secara umum memberikan kapasitas dukung yang lebih tinggi dan lebih dapat diprediksi dibandingkan tiang kayu alami pada kondisi tanah lunak yang serupa (Andri Dwi Laksono, Fatmawati, & Widhiarto, 2023; Akhmad Gazali, Rachman, & Purnamasari, 2023), sehingga mini pile precast semakin banyak dipertimbangkan sebagai alternatif pondasi dalam skala kecil pada wilayah dengan tanah lunak.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada dua lokasi yang mewakili dua jenis tanah lunak, yaitu tanah lempung di area Jalan Bathin Alam (Kampus Politeknik Negeri Bengkalis) dan tanah gambut di area Kampus STIE Kabupaten Bengkalis. Sampel tiang yang digunakan adalah tiang pancang kayu bakau dan tiang pancang mini beton polos precast dengan diameter berkisar 7-11 cm (9 cm ± 2 cm), mutu beton f'c = 15 MPa, dan tulangan utama tunggal diameter Ø8 mm. Artikel ini secara khusus membahas subset data pada kedalaman tiang 1 meter dari keseluruhan variasi kedalaman penelitian (1 m, 2 m, dan 3 m).

Pengujian dilakukan pada dua konfigurasi, yaitu tiang tunggal dan tiang kelompok berisi dua tiang dengan jarak antar tiang 30 cm, serta pada dua kondisi waktu pengamatan, yaitu segera setelah pemancangan (0 jam) dan setelah masa tunggu 48 jam. Pengujian penurunan menggunakan metode Static Loading Test (SLT) yang mengacu pada ASTM D1143/D1143M, dengan penyesuaian skala penelitian. Pembebanan dilakukan secara bertahap menggunakan media air dengan penambahan beban ±20 kg per tahap (kerangka pembebanan memiliki berat dasar 130-155 kg tergantung konfigurasi). Pada setiap tahap pembebanan, beban ditahan hingga nilai penurunan relatif stabil sebelum dicatat menggunakan dial gauge, kemudian pembebanan dilanjutkan ke tahap berikutnya hingga tiang mengalami kondisi loss, yaitu penurunan yang terjadi secara tiba-tiba dan tidak terkendali.

Data yang dianalisis meliputi besar beban pada setiap tahap dan nilai penurunan yang terjadi, dengan capaian utama berupa beban maksimum yang masih mampu ditahan tiang sebelum mengalami loss beserta besar penurunan pada beban tersebut. Data kemudian dikelompokkan berdasarkan empat variabel pembanding, yaitu jenis material (bakau vs. beton polos), konfigurasi (tunggal vs. kelompok), waktu pengamatan (0 jam vs. 48 jam), dan jenis tanah (lempung vs. gambut), lalu dianalisis secara deskriptif-kuantitatif menggunakan persentase perubahan kapasitas antar kondisi yang dibandingkan.

Peralatan utama yang digunakan meliputi bekisting tiang pancang mini polos, dial gauge untuk pengukuran penurunan, kerangka pembebanan (loading frame), timbangan, serta alat uji tekan beton untuk verifikasi mutu beton. Bahan utama yang digunakan meliputi agregat halus dan kasar dari daerah Tanjung Balai Karimun, semen Portland, tulangan baja diameter Ø8 mm, kayu bakau berdiameter setara, serta air sebagai media pembebanan bertahap. Rekapitulasi variabel penelitian yang menjadi fokus artikel ini disajikan pada Tabel berikut.

Indonesian Journal of Social Science and Education (IJOSSE)
Journal page is available to https://e-jurnal.jurnalcenter.com/index.php/ijosse/index
Email: admin@jurnalcenter.com

Variabel	Kategori yang Dibandingkan
Kedalaman tiang	1 meter (subset dari variasi 1 m, 2 m, 3 m pada penelitian induk)
Jenis material	Kayu bakau; Beton pracetak polos (f'c = 15 MPa)
Konfigurasi tiang	Tunggal; Kelompok (2 tiang, jarak 30 cm)
Jenis tanah	Lempung (Jalan Bathin Alam); Gambut (Kampus STIE Bengkalis)
Waktu pengamatan	0 jam (segera setelah pemancangan); 48 jam pasca-pemancangan
Metode pengujian	Static Loading Test (SLT), mengacu ASTM D1143/D1143M

Sumber: Olahan data penulis (2026)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

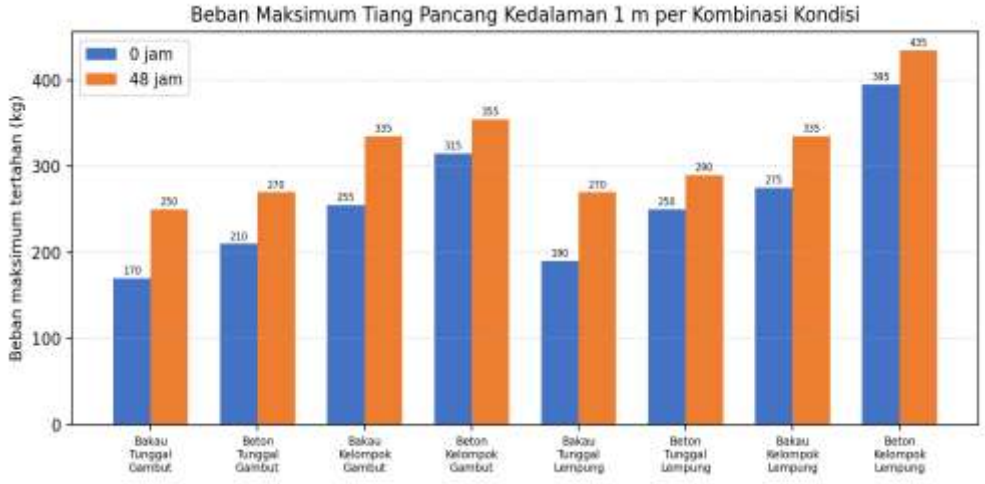
Berikut disajikan rekapitulasi hasil pengujian Static Loading Test pada seluruh kombinasi kondisi untuk kedalaman tiang 1 meter, mencakup delapan kombinasi jenis tanah, material, konfigurasi, dan waktu pengamatan.

Tabel 1. Rekapitulasi Beban Maksimum dan Penurunan Tiang Pancang Kedalaman 1 m

Jenis Tanah	Material	Konfigurasi	Waktu	Beban Maks. Tertahan (kg)	Penurunan pada Beban Maks. (cm)	Beban Loss (kg)
Gambut	Bakau	Tunggal	0 jam	170	0,66	190
Gambut	Beton	Tunggal	0 jam	210	1,36	230
Gambut	Bakau	Kelompok	0 jam	255	1,25	275
Gambut	Beton	Kelompok	0 jam	315	2,24	335
Gambut	Bakau	Tunggal	48 jam	250	1,57	270
Gambut	Beton	Tunggal	48 jam	270	2,11	290
Gambut	Bakau	Kelompok	48 jam	335	2,43	355
Gambut	Beton	Kelompok	48 jam	355	1,92	375
Lempung	Bakau	Tunggal	0 jam	190	1,57	210
Lempung	Beton	Tunggal	0 jam	250	0,73	270
Lempung	Bakau	Kelompok	0 jam	275	1,13	295
Lempung	Beton	Kelompok	0 jam	395	2,36	415
Lempung	Bakau	Tunggal	48 jam	270	1,68	290
Lempung	Beton	Tunggal	48 jam	290	1,95	310
Lempung	Bakau	Kelompok	48 jam	335	2,43	355
Lempung	Beton	Kelompok	48 jam	435	2,71	455

Sumber: Olahan data penulis (2026)

Indonesian Journal of Social Science and Education (IJOSSE)
Journal page is available to
https://e-jurnal.jurnalcenter.com/index.php/ijosse/index
Email: admin@jurnalcenter.com



Gambar 1. Perbandingan Beban Maksimum Tiang Pancang Kedalaman 1 m pada Kondisi 0 Jam dan 48 Jam

Gambar 1 memperlihatkan secara visual bahwa pada seluruh delapan kombinasi material, konfigurasi, dan jenis tanah, batang beban maksimum kondisi 48 jam (oranye) selalu berada di atas batang kondisi 0 jam (biru), menegaskan konsistensi efek positif waktu tunggu pasca-pemancangan terhadap kapasitas dukung tiang pada kedalaman 1 m. Kombinasi beton kelompok di tanah lempung menonjol sebagai kombinasi dengan kapasitas tertinggi pada kedua kondisi waktu.

Tabel 2 menunjukkan bahwa pada kedalaman 1 m, konfigurasi kelompok secara konsisten meningkatkan kapasitas dukung dibandingkan tiang tunggal pada seluruh kombinasi material, jenis tanah, dan waktu pengamatan. Peningkatan tertinggi terjadi pada beton polos di tanah lempung kondisi 0 jam, yaitu sebesar 58,0% (dari 250 kg menjadi 395 kg), sedangkan peningkatan rata-rata dari seluruh kombinasi mencapai 42,7%. Hal ini sejalan dengan prinsip bahwa penambahan jumlah tiang dalam satu kelompok memperbesar total luas bidang gesek yang berinteraksi dengan tanah, sehingga kapasitas total meningkat meskipun efisiensi per tiang dapat menurun akibat interaksi zona tegangan antar tiang (Meyerhof, 1976).

Tabel 2. Perbandingan Kapasitas Tiang Tunggal dan Kelompok Kedalaman 1 m

Jenis Tanah	Material	Waktu	Tunggal (kg)	Kelompok (kg)	Kenaikan (%)
Gambut	Bakau	0 jam	170	255	+50,0
Gambut	Beton	0 jam	210	315	+50,0
Lempung	Bakau	0 jam	190	275	+44,7
Lempung	Beton	0 jam	250	395	+58,0
Gambut	Bakau	48 jam	250	335	+34,0
Gambut	Beton	48 jam	270	355	+31,5
Lempung	Bakau	48 jam	270	335	+24,1
Lempung	Beton	48 jam	290	435	+50,0

Sumber: Olahan data penulis (2026)

Tabel 3 memperlihatkan bahwa masa tunggu 48 jam pasca-pemancangan meningkatkan kapasitas dukung tiang pada seluruh kombinasi, dengan rata-rata peningkatan 26,2%. Peningkatan paling menonjol terjadi pada tiang bakau tunggal di tanah gambut, yaitu 47,1% (dari 170 kg menjadi 250 kg). Peningkatan kapasitas ini konsisten dengan mekanisme set-up time, yaitu proses disipasi tekanan air pori berlebih yang timbul akibat gangguan pemancangan, yang secara bertahap memulihkan

Indonesian Journal of Social Science and Education (IJOSSE)
Journal page is available to https://e-jurnal.jurnalcenter.com/index.php/ijosse/index
Email: admin@jurnalcenter.com

dan bahkan meningkatkan tahanan geser selimut tiang seiring waktu (Terzaghi et al., 1996). Menariknya, pada kedalaman 1 m ini, tiang bakau justru menunjukkan sensitivitas yang lebih tinggi terhadap waktu tunggu dibandingkan tiang beton, dengan rata-rata kenaikan bakau 31,3% berbanding kenaikan beton 16,9%, yang mengindikasikan bahwa permukaan kayu bakau berinteraksi lebih dinamis dengan proses stabilisasi tanah di sekitarnya dibandingkan permukaan beton yang relatif lebih halus dan seragam.

Tabel 3. Perbandingan Kapasitas Kondisi 0 Jam dan 48 Jam Kedalaman 1 m

Jenis Tanah	Material	Konfigurasi	0 jam (kg)	48 jam (kg)	Kenaikan (%)
Gambut	Bakau	Tunggal	170	250	+47,1
Gambut	Beton	Tunggal	210	270	+28,6
Gambut	Bakau	Kelompok	255	335	+31,4
Gambut	Beton	Kelompok	315	355	+12,7
Lempung	Bakau	Tunggal	190	270	+42,1
Lempung	Beton	Tunggal	250	290	+16,0
Lempung	Bakau	Kelompok	275	335	+21,8
Lempung	Beton	Kelompok	395	435	+10,1

Sumber: Olahan data penulis (2026)

Tabel 4 menunjukkan bahwa tiang beton polos secara konsisten memiliki kapasitas dukung yang lebih tinggi dibandingkan tiang bakau pada seluruh kombinasi kondisi di kedalaman 1 m, dengan rata-rata keunggulan 21,7%. Keunggulan beton paling menonjol pada kondisi 0 jam, khususnya konfigurasi kelompok di tanah lempung yang mencapai 43,6% (dari 275 kg menjadi 395 kg). Namun demikian, pada kondisi 48 jam, selisih kapasitas antara kedua material cenderung mengecil pada sebagian kombinasi (misalnya tunggal gambut hanya berselisih 8,0% dan kelompok gambut 6,0%), yang mengindikasikan bahwa proses stabilisasi tanah pasca-pemancangan turut membantu menutup sebagian kesenjangan performa antara tiang bakau dan tiang beton polos, meskipun beton tetap unggul secara keseluruhan.

Jenis Tanah	Konfigurasi	Waktu	Bakau (kg)	Beton (kg)	Selisih (%)
Gambut	Tunggal	0 jam	170	210	+23,5
Lempung	Tunggal	0 jam	190	250	+31,6
Gambut	Kelompok	0 jam	255	315	+23,5
Lempung	Kelompok	0 jam	275	395	+43,6
Gambut	Tunggal	48 jam	250	270	+8,0
Lempung	Tunggal	48 jam	270	290	+7,4
Gambut	Kelompok	48 jam	335	355	+6,0
Lempung	Kelompok	48 jam	335	435	+29,9

Sumber: Olahan data penulis (2026)

Tabel 5 menunjukkan bahwa pada kedalaman 1 m, tanah lempung secara konsisten memberikan kapasitas dukung tiang yang setara atau lebih tinggi dibandingkan tanah gambut, dengan rata-rata selisih 12,7%. Selisih terbesar terjadi pada tiang beton kelompok kondisi 0 jam, yaitu 25,4% (dari 315 kg di gambut menjadi 395 kg di lempung), sedangkan pada tiang bakau kelompok kondisi 48 jam kedua jenis tanah menunjukkan kapasitas yang identik (335 kg). Temuan ini berbeda dari kesimpulan umum penelitian skripsi induk yang mencakup seluruh variasi kedalaman (1-3 m), yang menyimpulkan bahwa

Indonesian Journal of Social Science and Education (IJOSSE)
Journal page is available to https://e-jurnal.jurnalcenter.com/index.php/ijosse/index
Email: admin@jurnalcenter.com

jenis tanah memberi pengaruh paling kecil (sekitar 2,8%) terhadap kapasitas tiang secara keseluruhan. Pada kedalaman dangkal 1 m, pengaruh jenis tanah tampak lebih terasa, kemungkinan karena pada kedalaman ini bidang kontak tiang-tanah masih relatif terbatas, sehingga karakteristik lapisan tanah di sekitar tiang, seperti berat jenis dan struktur serat organik pada gambut, memberi kontribusi yang secara proporsional lebih besar terhadap total kapasitas dibandingkan pada tiang yang lebih panjang.

Tabel 5. Perbandingan Kapasitas Tanah Gambut dan Lempung Kedalaman 1 m

Material	Konfigurasi	Waktu	Gambut (kg)	Lempung (kg)	Selisih (%)
Bakau	Tunggal	0 jam	170	190	+11,8
Beton	Tunggal	0 jam	210	250	+19,0
Bakau	Kelompok	0 jam	255	275	+7,8
Beton	Kelompok	0 jam	315	395	+25,4
Bakau	Tunggal	48 jam	250	270	+8,0
Beton	Tunggal	48 jam	270	290	+7,4
Bakau	Kelompok	48 jam	335	335	0,0
Beton	Kelompok	48 jam	355	435	+22,5

Sumber: Olahan data penulis (2026)

Pembahasan

Secara keseluruhan, pada kedalaman 1 m, urutan pengaruh dari yang paling dominan terhadap kapasitas dukung tiang adalah: (1) konfigurasi tiang (rata-rata +42,7%), (2) waktu tunggu pasca-pemancangan (rata-rata +26,2%), (3) jenis material (rata-rata +21,7%), dan (4) jenis tanah (rata-rata +12,7%). Pola ini secara umum sejalan dengan temuan pada penelitian skripsi induk yang menempatkan konfigurasi dan kedalaman sebagai faktor paling dominan, namun pada kedalaman dangkal ini jenis tanah menunjukkan pengaruh yang jauh lebih besar dibandingkan rata-rata keseluruhan kedalaman. Hal ini menegaskan bahwa untuk pekerjaan pondasi dangkal di wilayah pesisir Bengkalis, karakteristik tanah lokal tetap perlu menjadi pertimbangan penting dalam perencanaan, sekalipun secara agregat pada seluruh rentang kedalaman pengaruhnya tampak lebih kecil.

Temuan pada kedalaman 1 m ini secara umum konsisten dengan hasil penelitian Saputra (2025), yang juga menunjukkan bahwa tiang mini pile polos precast memiliki kapasitas dukung yang lebih tinggi dibandingkan tiang cerucuk bakau pada kedalaman dangkal, serta bahwa selisih kapasitas antar material semakin nyata setelah masa tunggu 48 jam pasca-pemancangan dibandingkan kondisi pemancangan langsung. Pada penelitian terdahulu tersebut, pengujian dilakukan pada tanah gambut dengan variasi kedalaman 1 m, 1,5 m, dan 2 m tanpa melibatkan tanah lempung sebagai pembanding. Penelitian ini melengkapi temuan tersebut dengan menunjukkan bahwa pola keunggulan beton polos atas bakau juga berlaku pada tanah lempung, bahkan dengan selisih yang pada beberapa kombinasi (misalnya kelompok 0 jam) lebih besar dibandingkan pada tanah gambut. Selain itu, dimasukkannya variabel konfigurasi kelompok pada penelitian ini memperkaya pemahaman bahwa efek penambahan jumlah tiang memberi kontribusi peningkatan kapasitas yang setara atau bahkan lebih besar dibandingkan efek material maupun waktu tunggu, sebuah aspek yang belum banyak dieksplorasi secara eksplisit pada penelitian pembanding.

Efisiensi kelompok tiang (Eg) dapat didekati dengan membandingkan kapasitas kelompok aktual terhadap jumlah kapasitas tiang tunggal dikalikan jumlah tiang dalam kelompok, mengikuti pendekatan umum efisiensi kelompok pada Meyerhof (1976), yaitu Eg = Qg / (n x Qu), dengan Qg adalah kapasitas kelompok, n adalah jumlah tiang, dan Qu adalah kapasitas tiang tunggal. Mengacu pada Tabel 2, efisiensi kelompok bakau di tanah gambut kondisi 0 jam adalah 255 / (2 x 170) = 0,75, sedangkan efisiensi kelompok beton pada kondisi dan lokasi yang sama adalah 315 / (2 x 210) = 0,75. Pada tanah lempung kondisi 0 jam, efisiensi kelompok bakau tercatat 275 / (2 x 190) = 0,72, sementara efisiensi

Indonesian Journal of Social Science and Education (IJOSSE)
Journal page is available to https://e-jurnal.jurnalcenter.com/index.php/ijosse/index
Email: admin@jurnalcenter.com

kelompok beton mencapai 395 / (2 x 250) = 0,79. Nilai efisiensi yang secara konsisten berada di bawah 1,0 ini wajar terjadi pada tiang kelompok dengan jarak antar tiang 30 cm (setara 3,3 kali diameter tiang), karena tumpang tindih zona tegangan di sekitar tiang menyebabkan kapasitas gabungan sedikit lebih rendah dibandingkan penjumlahan sederhana kapasitas tiang tunggal. Namun demikian, secara absolut kapasitas kelompok tetap jauh lebih tinggi dibandingkan tiang tunggal, sehingga penggunaan konfigurasi kelompok tetap menguntungkan secara praktis meskipun efisiensinya belum mencapai 100%.

Dari sisi praktis, hasil pada kedalaman 1 m ini mengindikasikan bahwa penggunaan tiang pancang mini pile beton polos, khususnya dalam konfigurasi kelompok dan setelah masa tunggu minimal 48 jam, dapat menjadi pilihan yang lebih andal dibandingkan tiang cerucuk bakau untuk pekerjaan pondasi dangkal di wilayah pesisir bertanah lunak seperti Bengkalis, sekaligus mengurangi tekanan eksploitasi terhadap kawasan mangrove. Meskipun demikian, hasil ini perlu dibaca dengan mempertimbangkan sejumlah keterbatasan, antara lain jumlah sampel uji yang terbatas pada skala penelitian mini pile, penggunaan sampel tanah terganggu (disturbed sample) yang diperoleh melalui hand boring tanpa uji lapangan tambahan seperti SPT atau CPT, serta cakupan konfigurasi kelompok yang hanya melibatkan dua tiang. Oleh karena itu, generalisasi hasil ke skala tiang pancang sesungguhnya di lapangan sebaiknya tetap mempertimbangkan faktor skala serta kondisi tanah spesifik pada lokasi proyek yang bersangkutan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data pada kedalaman tiang 1 meter, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Konfigurasi tiang kelompok meningkatkan kapasitas dukung rata-rata 42,7% dibandingkan tiang tunggal pada seluruh kombinasi material, jenis tanah, dan waktu pengamatan.
2. Masa tunggu 48 jam pasca-pemancangan meningkatkan kapasitas dukung tiang rata-rata 26,2% dibandingkan kondisi pengujian langsung (0 jam), dengan tiang bakau menunjukkan sensitivitas yang lebih tinggi terhadap waktu tunggu dibandingkan tiang beton polos.
3. Tiang pancang beton polos secara konsisten memiliki kapasitas dukung yang lebih tinggi dibandingkan tiang bakau, dengan rata-rata keunggulan 21,7%, meskipun selisih tersebut cenderung mengecil pada kondisi 48 jam.
4. Tanah lempung menunjukkan kapasitas dukung tiang rata-rata 12,7% lebih tinggi dibandingkan tanah gambut pada kedalaman 1 m, sebuah pengaruh yang jauh lebih terasa dibandingkan pengaruh jenis tanah pada agregat keseluruhan kedalaman penelitian (1-3 m).
5. Pada kedalaman dangkal, tiang pancang mini pile beton polos konfigurasi kelompok pada tanah lempung dengan masa tunggu 48 jam menunjukkan kapasitas dukung tertinggi (435 kg), sehingga kombinasi ini dapat menjadi rujukan awal untuk perencanaan pondasi dangkal pada kondisi tanah dan kedalaman yang setara.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan memperluas kajian pada kedalaman 1 m dengan variasi diameter tiang, jenis kayu lain, serta jarak antar tiang dalam kelompok, guna memperkuat rekomendasi teknis penggunaan mini pile precast sebagai alternatif pondasi dangkal yang lebih ramah lingkungan di wilayah pesisir bertanah lunak.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dosen Pembimbing I dan II, Program Studi Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan, serta Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bengkalis atas bimbingan, fasilitas, dan dukungan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian dan pengujian lapangan hingga terselesaikannya artikel ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

ASTM International. (2011). ASTM D2487 - Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (USCS). West Conshohocken, PA.

Indonesian Journal of Social Science and Education (IJOSSE)
Journal page is available to https://e-jurnal.jurnalcenter.com/index.php/ijosse/index
Email: admin@jurnalcenter.com

ASTM International. (2013). ASTM D1143/D1143M - Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load. West Conshohocken, PA.

ASTM International. (2017). ASTM D4318 - Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. West Conshohocken, PA.

Bowles, J. E. (1997). Foundation Analysis and Design (5th ed.). New York: McGraw-Hill.

Das, B. M. (2010). Principles of Foundation Engineering (7th ed.). USA: Cengage Learning.

Hardiyatmo, H. C. (2015). Analisis dan Perancangan Fondasi I. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Meyerhof, G. G. (1976). Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE.

Poulos, H. G., & Davis, E. H. (1980). Pile Foundation Analysis and Design. New York: John Wiley & Sons.

Ahmad Rifky. (2014). Studi Perbandingan Pondasi Kayu Galam dan Mini Pile Pada Bangunan Perumahan Tipe Red Valerian Komplek Citra Garden Banjarmasin.

Andri Dwi Laksono, Fatmawati, L. E., & Widhiarto, H. (2023). Perencanaan Ulang Pondasi Tiang Pancang Mini Pile (Square Pile) Sebagai Alternatif Perkuatan Pondasi Pada Proyek Pembangunan SMPN 9 Kota Kediri.

Akhmad Gazali, Rachman, T. A., & Purnamasari, E. (2023). Analisis Efisiensi Daya Dukung Pondasi Mini Pile Ditinjau Dari Segi Faktor Keamanan.

Saputra, H. (2025). Perbandingan Nilai Penurunan Mini Pile Polos Precast Terhadap Tiang Cerucuk Bakau Sebagai Perkuatan Pondasi Dalam.

Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons.