JURNAL ALTIFANI
Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3445-3456
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1446

Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Bor pada Proyek Pembangunan Gedung Kanker Terpadu

Analysis of Bearing Capacity and Settlement of Bored Pile Foundation in the Integrated Cancer Building Construction Project

Facy Brigita Reginacaeli Purwadi[1], Sudarno[2], Denny Boy Pinasang[3]
[1,2,3]Program Studi D4-Konstruksi Bangunan Gedung, Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado
*e-mail: facyyybrgt@gmail.com

Received:	Revised:	Accepted:	Available online:
10.09.2026	28.10.2026	06.11.2026	09.11.2026

Abstract: *Bored piles are a type of deep foundation used to transfer structural loads to supporting soil layers in high-rise buildings. In pile group design, pile spacing is important because it can affect bearing capacity and foundation settlement. Differences in capacity estimates based on empirical methods may also result in different pile group configurations. This study aims to evaluate the effect of pile spacing variations on the bearing capacity and settlement of bored pile groups and their compatibility with the actual project configuration. The analysis used N-SPT data, design documents, and ETABS loading. The results showed that the load at point F7 was 9,142.32 kN, while the allowable single-pile capacities were 1,712.88 kN and 3,291.72 kN. Pile spacings of 2.4 m, 1.6 m, and 1.425 m produced group capacities of 9,348.48–10,507.71 kN and settlements of 4–15.8 cm.*
Keywords*: bored pile; bearing capacity; settlement; Luciano Decourt; Reese & Wright*

Abstrak: Pondasi tiang bor merupakan salah satu jenis pondasi dalam yang digunakan untuk menyalurkan beban struktur ke lapisan tanah pendukung pada bangunan bertingkat. Dalam perencanaan kelompok tiang, penentuan jarak antar tiang menjadi penting karena dapat memengaruhi kapasitas daya dukung dan penurunan pondasi. Perbedaan estimasi kapasitas berdasarkan metode empiris juga dapat menghasilkan konfigurasi kelompok tiang yang berbeda. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi variasi jarak antar tiang terhadap kapasitas daya dukung dan penurunan kelompok tiang bor serta kesesuaiannya dengan konfigurasi aktual proyek. Analisis menggunakan data N-SPT, dokumen perencanaan, dan pembebanan ETABS. Hasil menunjukkan beban titik F7 sebesar 9.142,32 kN, sedangkan kapasitas izin tiang tunggal sebesar 1.712,88 kN dan 3.291,72 kN. Variasi jarak 2,4 m, 1,6 m, dan 1,425 m menghasilkan kapasitas kelompok 9.348,48–10.507,71 kN dan penurunan 4–15,8 cm.
Kata kunci: tiang bor; daya dukung; penurunan pondasi; *Luciano Decourt; Reese & Wright.*

1. PENDAHULUAN

Pelaksanaan proyek konstruksi fasilitas kesehatan menuntut tingkat ketelitian serta perhatian yang ekstra tinggi. Karakteristik bangunan rumah sakit sebagai fasilitas publik yang sangat penting mengharuskan struktur yang mampu menjamin kelancaran layanan medis secara berkesinambungan dan maksimal. Seluruh rangkaian perencanaan pembangunan tersebut wajib memperhitungkan berbagai komponen secara komprehensif, terutama berkaitan dengan struktur bawah gedung yaitu bagian pondasi. Mengingat posisinya yang bersentuhan langsung dengan tanah, perancangan pondasi harus dikerjakan secara seksama dan penuh kehati-hatian.

Secara umum, sistem konstruksi membagi konstruksi menjadi bagian struktur atas dan struktur bawah. Komponen struktur bawah atau pondasi memegang peran sentral dalam menyalurkan seluruh beban bangunan menuju ke lapisan tanah di bawahnya, di mana faktor keamanan struktur sangat bergantung pada performa pondasi bersama daya dukung tanah pendukungnya (Robert & Sentosa, 2021). Penyelidikan tanah dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai kondisi dan karakteristik tanah, termasuk sifat teknis, kedalaman muka air tanah, serta kondisi lapisan tanah (Abadi et al., 2021). Variasi karakteristik serta sifat fisik tanah di setiap lokasi memerlukan analisis untuk menentukan jenis pondasi yang paling tepat. Penyesuaian antara pembebanan bangunan dengan daya dukung serta kekuatan tanah mutlak diperlukan, pada karakteristik tanah yang stabil, desain pondasi dapat dibuat lebih sederhana, sedangkan kondisi

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3445-3456
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1446

tanah berlapis atau berdaya dukung rendah memerlukan sistem pondasi yang jauh lebih kompleks (Siagian et al., 2023).

Tahapan investigasi geoteknik menjadi langkah awal yang mendasar guna mengenali sifat serta karakteristik tanah secara mendalam melalui kombinasi pengujian laboratorium atas sampel tanah lapangan serta uji in situ secara langsung. Di samping data investigasi tanah tersebut, perancangan pondasi juga harus dibuktikan melalui perhitungan beban total yang nantinya harus dipikul oleh struktur bawah. Seluruh parameter dari hasil pengujian tanah dan analisis pembebanan ini dikombinasikan guna mengevaluasi daya dukung pondasi sebagai landasan utama dalam menentukan desain yang aman dan sesuai realitas lapangan. Khusus pada bangunan bertingkat, penentuan kapasitas daya dukung ultimit serta daya dukung izin pada tiang bor harus dikalkulasikan secara cermat berdasarkan beban kerja dan kondisi tanah agar stabilitas konstruksi tetap terjaga (Arif et al., 2025). Keseluruhan perencanaan ini bertujuan agar desain pondasi selaras dengan kondisi geoteknik serta beban struktur, sehingga aspek keselamatan bangunan dapat tercapai dengan tetap memperhatikan aspek teknis serta penggunaan biaya secara optimal (Suhartono et al., 2023).

Selain kapasitas dukung, pemantauan terhadap penurunan pondasi merupakan parameter krusial yang harus diperhitungkan secara matang, terutama pada pengaplikasian tiang bor. Dibandingkan dengan pondasi dangkal, pondasi dalam umumnya memiliki sistem yang lebih kompleks. Salah satu jenisnya adalah pondasi tiang bor, yang proses pelaksanaannya dimulai dengan pengeboran hingga kedalaman yang direncanakan, kemudian dilanjutkan dengan pemasangan tulangan dan pengecoran beton. Keunggulan pondasi ini antara lain mampu menahan beban besar, lebih ekonomis, mudah disesuaikan panjang dan diameternya, serta menimbulkan getaran dan kebisingan yang relatif kecil saat pelaksanaan (Saputra & Mujab, 2022). Penggunaan pondasi bored pile umumnya dipilih ketika lapisan tanah keras yang memiliki kapasitas dukung tinggi berada pada kedalaman sekitar 15 m atau lebih, sehingga beban struktur dapat diteruskan ke lapisan tanah yang mampu memikulnya (Jusi, 2018). Fenomena penurunan dalam pondasi tiang bor merujuk pada pergerakan vertikal struktur ke arah bawah akibat bekerjanya beban luar serta karakteristik deformasi material. Apabila besaran lendutan tersebut melampaui ambang batas toleransi, potensi kerusakan struktural seperti retakan dinding, lantai tidak rata, hingga lumpuhnya fungsi operasional fasilitas kesehatan akan sulit dihindari.

Perbedaan estimasi kapasitas daya dukung dari metode empiris dapat memengaruhi penentuan jumlah dan konfigurasi kelompok tiang. Namun, kajian mengenai pengaruh variasi jarak antar tiang terhadap kapasitas dan penurunan kelompok tiang serta kesesuaiannya dengan konfigurasi aktual proyek masih terbatas.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengkaji variasi jarak antar tiang dalam konfigurasi kelompok bored pile dengan mempertimbangkan kapasitas daya dukung dan penurunan serta kesesuaiannya dengan konfigurasi yang direalisasikan pada proyek. Metode Luciano Decourt dan Reese & Wright digunakan untuk memperoleh estimasi kapasitas daya dukung sebagai dasar evaluasi konfigurasi kelompok tiang. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi jarak antar tiang terhadap kapasitas daya dukung dan penurunan kelompok bored pile serta menilai kesesuaiannya dengan konfigurasi aktual pada Proyek Pembangunan Gedung Kanker Terpadu.

2. METODE

Pendekatan kuantitatif diterapkan melalui model studi kasus pada pembangunan Gedung Pelayanan Kanker Terpadu yang berlokasi di Kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara. Kumpulan data utama yang dimanfaatkan mencakup informasi penyelidikan tanah dari pengujian N-SPT, dokumen gambar perencanaan struktur, serta spesifikasi teknis dari kontraktor pelaksana. Seluruh informasi tersebut diproses sebagai langkah awal dalam mengevaluasi beban kerja, daya dukung, dan penurunan pondasi tiang bor.

Rangkaian kegiatan penelitian dimulai dari tahap persiapan yang mencakup penentuan lokasi studi, identifikasi kebutuhan data, serta penyusunan rancangan kerja. Pada fase ini, penelusuran pustaka turut dijalankan dengan mengumpulkan referensi dari literatur buku, jurnal ilmiah, regulasi

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3445-3456
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1446

standar, dan publikasi riset terdahulu seputar analisis kapasitas serta penurunan pondasi tiang bor sebagai landasan teoretis.

Langkah berikutnya adalah proses pengumpulan data yang berfokus pada perolehan uji N-SPT serta gambar teknik dari pihak proyek. Kumpulan data ini langsung diaplikasikan sebagai variabel masukan dalam kalkulasi pembebanan, estimasi daya dukung, serta perhitungan penurunan pondasi.

Fase lanjutan melibatkan analisis data secara sistematis yang diawali dengan perhitungan beban struktur melalui rumus manual dan bantuan aplikasi ETABS. Besaran gaya yang diperoleh kemudian dipakai untuk diterapkan dalam kapasitas dukung tiang tunggal menggunakan metode Luciano Decourt (1987) serta Reese & Wright (1977). Setelah itu, analisis dilanjutkan pada kapasitas kelompok tiang dengan memperhitungkan faktor efisiensi kelompok. Analisis penurunan pada pondasi tiang tunggal dan kelompok juga dikerjakan guna memastikan seluruh nilai penurunan tidak melewati batas izin. Seluruh temuan dari rangkaian analisis ini kemudian dimuat pada kesimpulan akhir penelitian.

Pembebanan Struktur

Perancangan suatu sistem struktur mewajibkan perhitungan cermat terhadap bermacam-macam gaya yang bekerja, baik yang bersumber dari berat material konstruksi, aktivitas operasional ruangan, maupun faktor lingkungan eksternal seperti tekanan angin dan gaya gempa (Rohani, 2023). Komponen pembebanan menempati posisi sentral karena menentukan besar gaya yang wajib dipikul oleh seluruh elemen bangunan, termasuk struktur bawah. Seluruh beban yang bekerja pada rangka atas akan disalurkan melalui kolom menuju fondasi, sehingga besaran gaya tersebut menjadi acuan utama untuk menetapkan kapasitas dukung demi menjamin aspek keselamatan dan kekokohan konstruksi. Dengan demikian, analisis beban harus dikerjakan secara presisi berdasarkan standar regulasi yang berlaku (Badan Standarisasi Nasional, 2020).

Kombinasi pembebanan merupakan penggabungan beberapa jenis beban yang bekerja pada struktur untuk memperoleh kondisi pembebanan yang paling kritis dalam perencanaan. Struktur, komponen struktur, dan elemen fondasi harus direncanakan untuk mampu menahan pengaruh beban terfaktor berdasarkan kombinasi pembebanan yang ditentukan. Kombinasi pembebanan dasar meliputi pengaruh beban mati, beban hidup, beban atap, beban hujan, dan beban angin. Adapun kombinasi pembebanan yang digunakan untuk kondisi ultimit dinyatakan sebagai berikut:

$$1{,}4D \#(1)$$
$$1{,}2D + 1{,}6L + 0{,}5\ (L_r\ atau\ R) \#(2)$$
$$1{,}2D + 1{,}6L\ (L_r\ atau\ R) + (L\ atau\ 0{,}5\ W) \#(3)$$
$$1{,}2D + 1{,}0W + \ L + 0{,}5\ (L_r\ atau\ R) \#(4)$$
$$0{,}9D + 1{,}0W \#(5)$$

Apabila struktur menerima pengaruh beban seismik, kombinasi pembebanan juga harus mempertimbangkan pengaruh beban gempa bersama dengan beban lainnya, kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik dinyatakan sebagai berikut:

$$1{,}2D + E_v + E_h + L \#(6)$$
$$0{,}9D - E_v + E_h \#(7)$$

Dengan

D : Beban mati
L : Beban hidup
W : Beban angin
L_r : Beban hidup atap
R : Beban hujan
E_v : Beban gempa seismik arah vertikal
E_h : Beban gempa seismik arah horizontal

***Standard Penetration Test* (SPT)**

Prosedur penyelidikan geoteknik lapangan sering kali memanfaatkan metode pengujian in situ untuk mengidentifikasi jenis serta karakteristik lapisan tanah, di mana salah satu teknik yang

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3445-3456
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1446

paling populer adalah *Standard Penetration Test* (Widjaja et al., 2026). Berdasarkan SNI 8467;2017, *Standard Penetration Test* (SPT) merupakan pengujian lapangan yang dilakukan untuk mengetahui tahanan penetrasi tanah dan memperoleh informasi mengenai kondisi serta karakteristik tanah. Pengujian ini terutama digunakan untuk memperkirakan kekuatan dan sifat deformasi tanah, khususnya pada tanah berbutir kasar. Uji SPT merupakan salah satu metode yang umum digunakan dalam survei geoteknik untuk mengetahui kondisi lapisan tanah bawah permukaan serta memperkirakan daya dukung tanah. Pengujian yang dilakukan langsung di lapangan dapat memberikan gambaran kondisi tanah yang lebih sesuai dengan keadaan sebenarnya (Sapdi et al., 2026). Pengujian penetrasi dinamis ini sangat lazim diterapkan, khususnya dalam praktik rekayasa di Amerika Serikat. Dalam mekanisme pengujian, tabung sampel khusus ditumbukkan ke dalam tanah menggunakan beban palu seberat 63,5 kilogram yang dijatuhkan secara bebas dari ketinggian 76 sentimeter. Akumulasi jumlah pukulan yang dibutuhkan agar alat penetrasi mampu menembus kedalaman 30 sentimeter dicatat sebagai nilai N atau jumlah hukuman pukulan, yang perhitungannya dinyatakan dalam satuan pukulan per kaki. Besaran parameter tersebut selanjutnya dimanfaatkan untuk memprediksi tingkat kepadatan tanah beserta indikator teknis lain yang krusial bagi perancangan pondasi (Bangonang, 2018).

Daya Dukung Pondasi

Kapasitas dukung total pada struktur pondasi tiang secara garis besar mengacu pada dua mekanisme utama, yakni tahanan ujung tiang yang bersumber dari hambatan lapisan tanah keras di bagian bawah serta gesekan selimut yang timbul dari koneksi antar friksi dengan permukaan tiang dan massa tanah di sekelilingnya (Buntara et al., 2025). Perlawanan ujung mengandalkan kemampuan penetrasi dasar tiang dalam memikul beban tekan secara langsung, sedangkan friksi selimut memanfaatkan gaya geser sepanjang bidang kontak lateral untuk membantu menahan beban struktur. Guna mengantisipasi risiko kegagalan akibat terlampauinya batas dukung geoteknik, penetapan faktor keamanan wajib mematuhi standar teknis yang berlaku dengan kisaran umum antara 2,5 hingga 3 dalam setiap perhitungan kapasitas izin.

Perancangan struktur pondasi dalam, khususnya pada konstruksi tiang bor, menuntut pendekatan matematis yang mampu menerjemahkan kondisi geoteknik aktual berdasarkan data uji empiris lapangan. Salah satu pendekatan analitis yang sangat populer adalah rumus Luciano Decourt (1987), di mana parameter hasil pengujian N-SPT difungsikan sebagai variabel utama untuk mengestimasi kapasitas dukung aksial tiang.

Kelebihan utama dari metode Luciano Decourt terletak pada kemudahan aplikasinya serta tingkat adaptasi yang baik terhadap bermacam-macam profil tanah, terutama pada formasi geoteknik yang berlapis-lapis. Berlandaskan keunggulan tersebut, metode ini dipilih dalam perhitungan kapasitas dukung tiang bor pada proyek ini guna menetapkan nilai daya dukung ultimit, yang kemudian dilanjutkan dengan perhitungan daya dukung izin melalui penerapan faktor keamanan yang memadai.

$$Q_u = Q_b + Q_s \#(8)$$

$$Q_u = \alpha(k.N_b.A_b) + \beta\big((N_s/3 + 1)A_s\big) \#(9)$$

Dengan

Q_u : Kapasitas ultimate tiang bor
Q_b : Kapasitas ujung tiang bor
Q_s : Kapasitas selimut tiang bor
k : Koefisien dari jenis tanah
N_b : Nilai N-SPT terkoreksi pada elevasi dasar tiang (4d kebawah dan 4d keatas dari ujung tiang)
A_b : Luas penampang ujung tiang bor (m^2)
N_s : Nilai N-SPT rata-rata sepanjang tiang (3 < N < 50)
A_s : Luas selimut tiang bor (m^2)
α : Koefisien dasar tiang

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3445-3456
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1446

β : Koefisien selimut tiang

Tabel 1. Nilai koefisien k

Jenis Tanah	Nilai k (ton/m$^{2)}$
Lempung	12
Lanau berlempung	20
Lanau berpasir	25
Pasir dan kerikil	40

Tabel 2. Nilai koefisien dasar tiang α

Soil/Pile	Driven Pile	Bored Pile	Bored Pile (Bentonite)	Continuous Hollow auger	Root Piles	Injected Piles (High preassure)
Clay	1,00	0,85	0,85	0,30	0,85	1,00
Intermediate Soils	1,00	0,60	0,60	0,30	0,60	1,00
Sands	1,00	0,50	0,50	0,30	0,50	1,00

Tabel 3. Nilai koefisien selimut tiang β

Soil/Pile	Driven Pile	Bored Pile	Bored Pile (Bentonite)	Continuous Hollow auger	Root Piles	Injected Piles (High preassure)
Clay	1,00	0,85	0,90	1,00	1,50	3,00
Intermediate Soils	1,00	0,65	0,75	1,00	1,50	3,00
Sands	1,00	0,50	0,65	1,00	1,50	3,00

Metode Reese & Wright diaplikasikan guna mengestimasi kapasitas ultimit pondasi tiang bor dengan memanfaatkan data empiris dari pengujian N-SPT. Proses analisis ini dilakukan secara komprehensif dengan memperhitungkan besaran kontribusi dari tahanan ujung serta gaya gesek selimut tiang sebagai elemen penopang utama dalam total kapasitas daya dukung struktur.

$$Q_u = Q_p + Q_s \#(10)$$
$$Q_p = q_p + A_p \#(11)$$

Dengan
A_p : Luas penampang tiang bor (m²)
q_p : Tahanan ujung per satuan luas, (ton/m²)
Q_p : Daya dukung ujung tiang (ton)

Tanah Kohesif:
$$q_p = 9 + C_u \#(12)$$

Tanah Non Kohesif:
Untuk N ≤ 60 maka, q_p : 7N (t/m²) < 400 (t/m²)
Untuk N > 60 maka, q_p : 400 (t/m²)

$$Q_s = f \times L \times P \#(13)$$

Dengan
f : Tahanan selimut per satuan luas friction, (ton/m²)
L : Panjang lapisan tanah (m)
P : Keliling tiang (m)
Q_s : Daya dukung selimut tiang (ton)

Tanah Kohesif:
$$f = \alpha \times C_u \#(18)$$

Dengan
α : Faktor adhesi : 0,55
C_u : Kohesi tanah (ton/m²) : 2/3 . N – SPT × 10
Pada tanah non kohesif:

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3445-3456
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1446

N < 53 maka, f : 0,32 N (ton/m²)
Perhitungan untuk daya dukung tiang ijin, yaitu:

$$Q_{all} = Q_{ult}/FaktorKeamanan(FK)\#(19)$$

Dengan
Q_{ult} : Kapasitas daya dukung tiang
Q_{all} : Daya dukung tiang yang diijinkan
Q_p : Daya dukung ujung tiang
Q_s : Daya dukung selimut

Jumlah tiang dalam suatu kelompok tiang dapat ditentukan berdasarkan perbandingan antara total beban yang bekerja pada pondasi dengan daya dukung izin tiang tunggal.

$$n = \frac{P_{total}}{Q_{all}}\#(20)$$

Dengan
n : Jumlah tiang
P_{total} : Total beban rencana yang bekerja pada pondasi
Q_{all} : Daya dukung tiang tunggal yang diijinkan
Perhitungan untuk jarak antar tiang, yaitu:

$$2{,}5\ D < S < 3\ D\#(21)$$

Dengan
S : Jarak antar tiang
D : Diameter tiang

Untuk menentukan efisiensi kelompok tiang digunakan metode Converse – Labarre (1949), metode ini menentukan bahwa faktor efisiensi dipengaruhi oleh jumlah tiang dalam satu baris, dan jumlah baris tiang, serta jarak antar. Semakin rapat jarak tiang, semakin besar pengaruh tumpeng tindih daerah tanah sehingga efisiensi yang dihasilkan semakin kecil. Perhitungan untuk efisiensi tiang kelompok dengan metode Converse - Labarre, yaitu:

$$\eta = 1 - \frac{\theta}{90}\left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn}\right)\#(22)$$

Dengan
η : Efisiensi kelompok tiang
θ : Sudut pengaruh / interaksi antar tiang (°)
m : Jumlah tiang dalam satu baris
n : Jumlah tiang dalam satu kolom

Perhitungan daya dukung kelompok tiang dilakukan menggunakan pendekatan Atkinson (2007) dengan mempertimbangkan efisiensi kelompok tiang, jumlah tiang dalam kelompok, dan daya dukung ultimit tiang tunggal. Efisiensi kelompok digunakan untuk memperhitungkan pengaruh interaksi antar tiang akibat adanya jarak yang berdekatan dalam satu kelompok. Dengan demikian, daya dukung ultimit kelompok tiang tidak secara langsung dianggap sebagai penjumlahan seluruh kapasitas tiang tunggal, tetapi dikalikan dengan nilai efisiensi kelompok untuk memperhitungkan pengaruh interaksi tersebut. Perhitungan untuk daya dukung tiang kelompok dengan metode Atkinson, yaitu:

$$Q_{u(g)} = n\,.\,Q_{ult}\,.\,\eta\#(23)$$

$$Q_{all(g)} = Q_{u(g)}/FaktorKeamanan(FK)\#(24)$$

Dengan
$Q_{u(g)}$: Kapasitas daya dukung tiang

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3445-3456
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1446

$Q_{all(g)}$: Daya dukung tiang yang diijinkan
n : Jumlah tiang
η : Efisiensi kelompok tiang

Penurunan Pondasi (*Settlement*)

Pemberlakuan beban eksternal pada lapisan geoteknik akan memicu terjadinya deformasi berupa regangan vertikal atau fenomena penurunan tanah. Proses deformasi ini timbul sebagai konsekuensi dari pergeseran struktur butiran serta menyusutnya volume pori akibat terdesaknya kandungan udara atau air dari dalam massa tanah (Fadilah & Tunafiah, 2018).

Evaluasi besaran penurunan pada konstruksi tiang dapat ditinjau melalui konfigurasi tiang tunggal maupun sistem kelompok tiang. Besaran lendutan tersebut sangat dipengaruhi oleh parameter fisik tanah, kapasitas struktural pondasi, serta sebaran tegangan yang bekerja di bawah dasar tiang (Balqis et al., 2023). Oleh sebab itu, analisis penurunan dilakukan untuk memastikan seluruh pergerakan vertikal tidak melampaui ambang batas toleransi sehingga faktor keamanan dan stabilitas konstruksi tetap terkendali. Guna menjamin ketahanan struktur dalam jangka panjang, pondasi wajib mencapai kedalaman yang memadai agar terhindar dari dampak erosi permukaan, gerusan aliran air, aktivitas kembang-susut tanah, serta berbagai gangguan eksternal di sekitarnya. Untuk menghitung penurunan tiang tunggal dapat digunakan persamaan berikut:

$$S = S_s + S_p + S_{ps} \#(25)$$

$$S_s = \frac{\left(Q_p + \alpha \cdot Q_s\right) L}{A_p \cdot E_p} \#(26)$$

$$S_p = \frac{C_p \cdot Q_p}{D \cdot q_p} \#(27)$$

$$S_{ps} = \left(\frac{Q_p}{p \cdot L}\right) \cdot \frac{D}{E_s} \cdot (1 - \mu_s^2) \cdot I_{ws} \#(28)$$

$$I_{ws} = 2 + 0.35\sqrt{\frac{L}{D}} \#(29)$$

$$S_{total} \leq S_{ijin} \#(30)$$

$$S_{total} \leq 10\% \cdot D$$

Dengan
S : Penurunan total pondasi tiang
S_s : Penurunan akibat deformasi axial tiang tunggal
S_p : Penurunan akibat beban pada ujung tiang
S_{ps} : Penurunan akibat beban pada sepanjang tiang
Q_p : Daya dukung ujung tiang
Q_s : Daya dukung selimut tiang
L : Panjang tiang
A_p : Luas ujung tiang bawah
E_p : Modulus elastisitas material tiang = $4700\ x\ \sqrt{f'c}$
α : 0,5 untuk distribusi gesekan seragam atau parabolic sepanjang tiang sedangkan untuk distribusi berbentuk segitiga nilai α : 0,33
C_p : Koefisien empiris
D : Diameter tiang
q_p : Daya dukung batas ujung tiang
p : Keliling penampang tiang

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3445-3456
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1446

E_s : Modulus elastisitas tanah
μ_s : Angka poisson

Tabel 4. Koefisien Empiris Cp

Jenis Tanah	Tiang Pancang	Tiang Bor
Pasir	0,02 – 0,04	0,09 – 0,18
Lempung	0,02 – 0,03	0,03 – 0,06
Lanau	0,03 – 0,05	0,09 – 0,12

Tabel 5. Angka Poisson μ

Jenis Tanah	m
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir padat	0,2 – 0,4
Pasir kasar	0,15
(Angka pori, e = 0,4 – 0,7)	
Pasir halus	0,25
(Angka pori, e = 0,4 – 0,7)	
Batu (tergantung jenisnya)	0,1 – 0,4
Loose	0,1 – 0,3

Tabel 6. Modulud Elastisitas Es

Jenis Tanah	Nilai k (ton/m$^{2)}$
Lempung	
Sangat lunak	300 - 3000
Lunak	2000 - 4000
Sedang	4500 - 9000
Keras	7000 - 20000
Berpasir	30000 - 42500
Pasir	
Berlanau	5000 - 20000
Tidak padat	10000 - 25000
Padat	50000 – 100000
Pasir dan Kerikil	
Padat	8000 - 200000
Tidak padat	50000 - 140000
Lanau	2000 - 20000
Loose	15000 - 60000
Serpih	140000 – 1400000

Untuk menghitung penurunan tiang kelompok dapat menggunakan persamaan berikut:

$$S_g = S\sqrt{\frac{B}{D}} \quad (31)$$

$$S_g \leq S_{ijin} \quad (32)$$
$$S_g \leq 15 + B/600cm$$

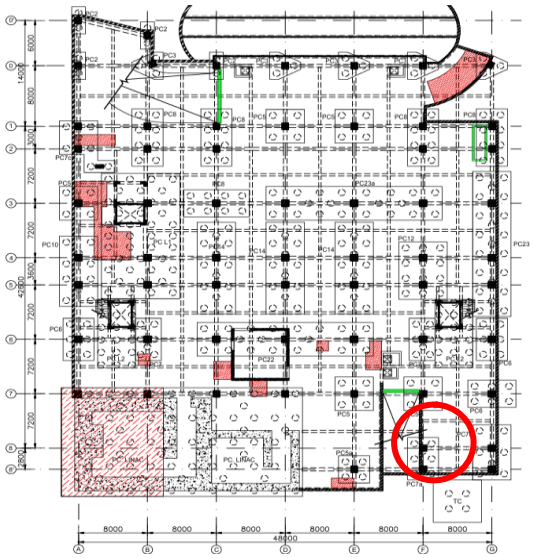
Dengan
S_g : Penurunan total pondasi tiang kelompok (m)
B : Lebar kelompok tiang (m)
D : Diameter tiang (m)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembebanan struktur dianalisis menggunakan ETABS dengan mempertimbangkan beban mati, beban hidup, dan beban seismik. Berdasarkan kombinasi pembebanan yang telah dijelaskan,

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3445-3456
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1446

analisis menggunakan kombinasi pembebanan rumus 6 untuk memperoleh gaya aksial pada titik F7. Besaran gaya yang diaplikasikan dalam studi ini merujuk langsung pada nilai reaksi tumpuan di titik tinjauan F7 sesuai yang ditunjukkan pada Gambar (1), yang merepresentasikan transfer beban total dari struktur bagian atas menuju pondasi. Informasi besaran gaya tersebut selanjutnya difungsikan sebagai parameter acuan utama dalam menghitung daya dukung serta analisis penurunan tiang bor.



Gambar 1. Denah titik pondasi yang ditinjau

Berdasarkan keluaran pemodelan ETABS, identifikasi titik tumpuan dengan akumulasi beban mati serta beban hidup tertinggi terletak pada titik F7, yang kemudian dikombinasikan bersama pengaruh gaya gempa guna menghasilkan total beban rencana sebesar 9.142,32 kN pada lokasi peninjauan tersebut.

Pada proyek ini terdapat 428 titik pondasi bored pile dengan kedalaman rencana 18 m dan diameter tiang 0,80 m. Hasil penyelidikan tanah tersedia pada tiga titik boring log. Dari ketiga titik tersebut, boring log yang digunakan dalam analisis dipilih berdasarkan lokasi yang paling dekat dengan titik pondasi yang ditinjau, sehingga data tersebut menjadi dasar dalam merepresentasikan kondisi tanah pada lokasi analisis.

Informasi hasil pengeboran tanah difungsikan sebagai landasan utama guna mengenali karakteristik geoteknik pada area studi secara akurat. Dokumen ini menyajikan rincian penting terkait susunan stratigrafi, ketebalan tiap tanah, catatan nilai N-SPT, serta sifat fisik tanah pada berbagai variasi kedalaman. Seluruh parameter geoteknik tersebut menjadi acuan dalam menetapkan variabel tanah yang diaplikasikan pada perhitungan kapasitas dukung serta analisis penurunan pondasi tiang bor.

Tabel 7. Data Boring Log DB-2

Kedalaman	Klasifikasi Jenis Tanah	N-SPT
0,00 – 4,00	Pasir berlanau, berwarna coklat gelap, plastis	6 – 9
4,00 – 8,00	Lanau berpasir dengan bongkahan batu, berwarna abu-abu dan kecoklatan, non plastis	13 – 15
8,00 – 12,00	Lempung dengan bongkahan batu, berwarna abu-abu dan coklat gelap, plastis/non plastis	25 – 30
12,00 – 20,00	Lempung berlanau dengan bongkahan batu, berwarna abu-abu dan coklat gelap, plastis/non plastis	39 – 52
20,00 – 30,00	Pasir berlempung dengan bongkahan batu, berwarna abu-abu dan coklat gelap, plastis/non plastis	53 – 54

Berdasarkan data pada Tabel (7), kondisi tanah pada titik bor DB-2 menunjukkan variasi lapisan tanah dengan karakteristik yang berbeda pada setiap kedalaman. Lapisan tanah terdiri atas

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3445-3456
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1446

pasir berlanau berwarna coklat gelap dan plastis pada kedalaman 0,00–4,00 m, lanau berpasir dengan bongkahan batu berwarna abu-abu dan kecoklatan serta nonplastis pada kedalaman 4,00–8,00 m, lempung dengan bongkahan batu berwarna abu-abu dan coklat gelap serta plastis/nonplastis pada kedalaman 8,00–12,00 m, lempung berlanau dengan bongkahan batu berwarna abu-abu dan coklat gelap serta plastis/nonplastis pada kedalaman 12,00–20,00 m, dan pasir berlempung dengan bongkahan batu berwarna abu-abu dan coklat gelap serta plastis/nonplastis pada kedalaman 20,00–30,00 m. Nilai N-SPT juga menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya kedalaman, yaitu sebesar 6–9 pada kedalaman 0,00–4,00 m, meningkat menjadi 13–15 pada kedalaman 4,00–8,00 m, 25–30 pada kedalaman 8,00–12,00 m, 39–52 pada kedalaman 12,00–20,00 m, dan mencapai 53–54 pada kedalaman 20,00–30,00 m.

Profil tanah pada titik DB-2 menunjukkan kecenderungan peningkatan nilai N-SPT seiring bertambahnya kedalaman. Lapisan pada kedalaman 0,00–8,00 m memiliki nilai N-SPT sebesar 6–15 yang menunjukkan kondisi tanah relatif lebih lunak hingga sedang dibandingkan dengan lapisan di bawahnya. Pada kedalaman 8,00–12,00 m, nilai N-SPT meningkat menjadi 25–30, kemudian mencapai 39–52 pada kedalaman 12,00–20,00 m dan 53–54 pada kedalaman 20,00–30,00 m. Peningkatan nilai N-SPT tersebut menunjukkan bahwa tanah menjadi semakin padat dan memiliki karakteristik yang lebih kuat seiring bertambahnya kedalaman. Kondisi lapisan tanah dan nilai N-SPT pada titik DB-2 tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam analisis kapasitas daya dukung dan penurunan pondasi tiang bor

Dengan informasi geoteknik serta besaran beban rencana dari simulasi ETABS, tahapan berikutnya diarahkan pada evaluasi kapasitas dukung pondasi tiang bor. Proses analisis dikerjakan untuk menghitung total daya dukung tiang yang mencakup kontribusi tahanan ujung serta gaya gesek selimut, sehingga diperoleh nilai kapasitas ultimit sekaligus besaran daya dukung izin pada struktur pondasi dengan hasil yang ditampilkan pada tabel (8) untuk tiang tunggal dan tabel (9) untuk tiang kelompok.

Tabel 8. Nilai Daya Dukung Tiang Tunggal

Metode	Daya Dukung Tiang Tunggal			
	Q_p	Q_s	Q_u	Q_{all}
	(kN)			
Luciano Decourt	3937,9	344,31	4282,21	1712,88
Reese & Wright	1266	6963,3	8229,3	3291,72

Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung tiang tunggal pada tabel (9), kapasitas izin satu tiang belum mampu menahan seluruh beban struktur yang bekerja pada titik pondasi yang ditinjau. Oleh karena itu, diperlukan konfigurasi kelompok tiang untuk memenuhi kebutuhan kapasitas terhadap beban yang bekerja. Selanjutnya, dilakukan evaluasi terhadap beberapa konfigurasi kelompok tiang dengan variasi jumlah dan jarak antar tiang. Variasi jarak tersebut dianalisis untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kapasitas daya dukung dan penurunan kelompok tiang serta menentukan konfigurasi yang memenuhi persyaratan pembebanan.

Tabel 9. Nilai Daya Dukung Tiang Kelompok

Metode	Beban	Daya Dukung Tiang Kelompok					Kontrol
		Jumlah Tiang	Jarak Antar Tiang (m)	Efisiensi Kelompok Tiang	$Q_{u(g)}$ (kN)	$Q_{all(g)}$ (kN)	
Luciano Decourt	9142,3	8	2,4	0,704	24117,4	9646,96	OK
Reese & Wright		4	2,4	0,798	26267,92	10507,71	OK
		5	1,6	0,63	25922,29	10368,91	OK
			1,425	0,568	23371,21	9348,48	OK

Tahap lanjutan melibatkan analisis penurunan pada struktur pondasi tiang bor. Lingkup kajian ini mencakup pergerakan vertikal baik pada konfigurasi tiang tunggal maupun sistem

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3445-3456
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1446

kelompok tiang guna mengamati respons struktural terhadap beban rencana yang bekerja sesuai yang ditunjukkan pada tabel (10). Seterusnya, hasil tersebut dikomparasikan dengan ambang batas yang diizinkan untuk menilai tingkat keamanan dan kelayakan kinerja operasional pondasi.

Tabel 10. Nilai Penurunan Tiang

Metode	Jumlah Tiang	Jarak Antar Tiang (m)	Penurunan Tiang Tunggal		Penurunan Tiang Kelompok		Kontrol
			S_{total}	S_{izin}	S_g	S_{izin}	
			(cm)		(cm)		
Luciano Decourt	8	2,4	6	8	15,8	15,933	OK
	4	2,4			4	15,533	OK
Reese & Wright		1,6	2	8	4,4	15,66	OK
	5	1,425			4,2	15,608	OK

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dan perhitungan daya dukung serta penurunan pondasi tiang bor pada pembangunan gedung kanker terpadu, maka dapat disimpulkan:

- Hasil analisis daya dukung tiang tunggal menunjukkan bahwa metode Luciano Decourt menghasilkan daya dukung izin sebesar 1.712,88 kN, sedangkan metode Reese & Wright sebesar 3.291,72 kN. Kedua nilai tersebut belum mampu menahan beban struktur yang bekerja sehingga diperlukan penggunaan pondasi kelompok.
- Hasil analisis daya dukung kelompok tiang menunjukkan bahwa metode Luciano Decourt membutuhkan 8 tiang dengan daya dukung ijin sebesar 9.646,96 kN. Sementara itu, metode Reese & Wright membutuhkan 4 tiang dengan jarak antar tiang 2,4 m dan daya dukung ijin sebesar 10.507,71 kN, 5 tiang dengan jarak 1,6 m dan daya dukung ijin sebesar 10.368,91 kN serta 5 tiang dengan jarak 1,425 m dan daya dukung ijin sebesar 9348,48 kN. Jumlah tiang yang direncanakan pada kedua metode telah memenuhi kebutuhan beban struktur.
- Hasil analisis penurunan pondasi menunjukkan bahwa metode Luciano Decourt menghasilkan penurunan sebesar 6 cm pada tiang tunggal dan 15,8 cm pada kelompok tiang. Sementara itu, metode Reese & Wright untuk semua jarak antar tiang, penurunan total pondasi tiang tunggal yaitu 2 cm dengan penurunan ijin 8 cm, sedangkan untuk penurunan tiang kelompok hasilnya bervariasi mengikuti masing-masing jarak antar tiang. Jarak antar tiang 2,4 m menghasilkan penurunan sebesar 4 cm, jarak antar tiang 1,6 m menghasilkan penurunan sebesar 4,4 cm, serta untuk jarak 1,425 m menghasilkan penurunan sebesar 4,2 cm. Seluruh nilai penurunan masih berada di bawah batas penurunan yang diizinkan sehingga pondasi dinyatakan aman untuk mendukung beban struktur.

DAFTAR PUSTAKA

Abadi, S. S., Roestaman, & Permana, S. (2021). *Analisis Perbandingan Kapasitas Kuat Dukung Pondasi Bore Pile Berdasarkan Hasil Pengujian SPT dan CPT*. https://jurnal.itg.ac.id/

Arif, M. R., Syahidah Aini, N., Bustam, H. A., Sari, N., Studi, P., & Perkeretaapian, T. (2025). *Analisis Daya Dukung Pondasi Bored Pile Proyek Pembangunan Rsntt18-01 Pasar Jum'at Jakarta Selatan*. https://doi.org/10.35308/jts-utu.vxix.13139

Badan Standarisasi Nasional. (2020). *Beban Desain Minimum dan Kriteria terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*.

Balqis, R., Tarfin, P., Alfred, D., & Susilo, J. (2023). *Analisis Efisiensi Settlement Tiang Gesek Fondasi Bored Pile Pada Proyek Di Provinsi Aceh* (Vol. 6, Number 4).

Bangonang, R. D. (2018). *Perencanaan Pondasi Bored Pile dan Metode Pelaksanaan Proyek Pembangunan Gedung Kuliah Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi*.

Buntara, J., Suhendra, A., & Leman, S. (2025). *Pengaruh Konfigurasi Kelompok Tiang Terhadap Penurunan dan Gaya Dalam Pada Tiang* (Vol. 9, Number 1).

Vol. 6, No. 6 -November 2026, Hal. 3445-3456
DOI: 10.59395/altifani.v6i6.1446

Fadilah, U. N., & Tunafiah, H. (2018). Analisa Daya Dukung Pondasi Bored Pile Berdasarkan Data N-SPT Menurut Rumus Reese & Wright dan Penurunan. *Jurnal IKRA-ITH Teknologi Vol 2 No 3*.

Jusi, U. (2018). *Analisa Kuat Dukung Pondasi Bored Pile Berdasarkan Data Pengujian Lapangan (Cone dan N-Standard Penetration Test)*.

Robert, S., & Sentosa, G. S. (2021). *Pengaruh Jarak Antar Tiang Terhadap Efisiensi Daya Dukung Tiang Kelompok Bor* (Vol. 4, Number 2).

Rohani, Y. (2023). *Analisis Daya Dukung Fondasi Bored Pile Pada Proyek Gedung Mice Kawasan Tana Mori-Ntt*.

Sapdi, M., Hamdani, H., & Hidayat, A. R. (2026). Perbandingan Daya Dukung Pondasi Sumuran dengan Pondasi Tiang Pancang pada Tanah Pesisir Berdasarkan Data Standard Penetration Test (SPT) pada Jembatan Gantung Desa Cemara Kecamatan Lembar Kabupaten Lombok Barat. *Jurnal Talenta Sipil*, *9*(1), 412. https://doi.org/10.33087/talentasipil.v9i1.1254

Saputra, R. M., & Mujab, S. (2022). *Perencanaan Pondasi Bored Pile Pada Pembangunan Kantor Pemerintah Terpadu Kabupaten Brebes*.

Siagian, B. M., Fransiskus, B., & Manurung, S. (2023). *Analisis Daya Dukung Pondasi Bored Pile Pada Pembangunan Gedung SMK Tunas Harapan Bangsa Cianjur*.

Suhartono, E., Prihatiningsih, A., & Susilo, A. J. (2023). *Analisis Daya Dukung dan Efisiensi Tiang Bor Dengan Berbagai Ukuran dan Kedalaman di Jakarta Pusat*.

Widjaja, D., Susilo, A. J., & Leman, S. (2026). *Analisis Perbandingan Settlement Dengan Metode Manual dan MIDAS GTS NX Serta Efektivitas PVD Terhadap N-SPT* (Vol. 9, Number 2).