

PROSIDING **KoNTEkS.15**

Konferensi Nasional Teknik Sipil Ke-15

**THE CONSTRUCTION INDUSTRY RECOVER,
REBUILD & RENEW IN THE PANDEMIC ERA**

A BLENDED CONFERENCE

**GEDUNG HENRICUS CONSTANT UNIKA SOEGIJAPRANATA
SEMARANG, 21 - 22 OKTOBER 2021**



EDITOR: HERMAWAN

DIDUKUNG:



BMPTSSI



Indonesia

DAFTAR MAKALAH

A REKAYASA GEOTEKNIK

GT - 01	Analisis Ancaman Gerakan Tanah dan Kerusakan Lingkungan Pada Pembangunan Infrastruktur <i>Shortcut</i> <i>I Nengah Sinarta, Putu Ika Wahyuni, A.A Istri Wahyu Mahendrayani</i>	2
GT - 02	Estimasi Nilai <i>Suction</i> Pada Batas Plastis dan Batas Cair <i>Budijanto Widjaja, Stella Liviana, Martin Wijaya</i>	11
GT - 03	Analisis Lendutan <i>Rigid Pavement</i> Akibat Pengaruh <i>Sweeling Pressure</i> dengan Metode Elemen Hingga <i>Rojab Nurul Huda, Bambang Setiawan, dan Wibowo</i>	19
GT - 04	Metode Akurat Interpretasi Kontur Lapisan Pasir dengan Menggunakan Analisis <i>Surfer</i> Untuk Kajian Likuifaksi Pada <i>Sand Relief 3D Map Especially in The Coastal Zone</i> Kota Banda Aceh <i>Munirwansyah, M, Munirwan, R.P, Munirwan, H, Almira, Z</i>	26
GT - 05	Kajian Daya Dukung <i>Bore Pile</i> Pada Proyek Pembangunan Gedung Jendral Soedirman Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur <i>Ahmad dan Muhammad Noor Asnan</i>	34
GT - 06	Analisis Penanganan Longsor Tanah Lanau Kepasiran di Tegallalang, Gianyar, Bali <i>I Wayan Ariyana Basoka, I Ketut Yasa Bagiarta</i>	41
GT - 07	Evaluasi Potensi Likuifaksi dengan Aplikasi <i>App Inventor</i> <i>Daniel Hartanto, Widja Suseno, Yuli Yohanes dan Gabriel Jose</i>	49
GT - 08	Analisis Bangunan Miring Empat Lantai di Bangka Belitung Menggunakan Parameter Asumsi <i>Orlando, Gregorius Sandjaja Sentosa, Aniek Prihatiningsih, dan Alfred Jonathan Susilo</i>	62
GT - 09	Pengaruh Panjang Serat Terhadap Kuat Tekan Bebas Campuran Tanah Lempung-Serat Sabut Kelapa <i>Anita Widianti, dan Hanung Adji Laksono</i>	72
GT - 10	Pengaruh Abu Tandan Sawit dan Semen Terhadap Nilai Kuat Geser Tanah Lempung <i>Muthia Anggraini, Alfian Saleh</i>	79
GT - 11	Penyelidikan Tanah Jalur Jalan I Gusti Ngurah Rai, Sunset Road, Pelabuhan Benoa dan Bandara I Gusti Ngurah Rai Bali <i>I Wayan Redana</i>	87
GT - 12	Analisis Daya Dukung dan Settlement Pada Pondasi <i>Bored pile</i> <i>Lydia Darmiyanti dan Moch Rizky Ramadhan</i>	94
GT - 13	Analisa Daya Dukung <i>Minipile</i> Pada Proyek Pembangunan <i>Taxiway</i> Bandara Aji Pangeran Tumenggung Pranoto Samarinda <i>Vebrian, Niswaton Arifah, Santi Yatnikasari, Muhammad Noor Asnan</i>	100
GT - 14	Kajian Longsor Kebun Kopi km 42 dengan Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas <i>Mohammad Zico Bierhofa, Sriyati Ramadhani, Martini dan Kusnindar Abdul Chau</i>	108
GT - 15	Pengaruh Molaritas dan Substitusi Bubuk Cangkang Telur Terhadap Nilai Kuat Tarik Belah Tanah Lanau dengan Stabilisasi Geopolimer-Abu Terbang <i>Willis Diana, Edi Hartono dan Serina Desylvia Triwidayarsi</i>	117

PROSIDING

KoNTeKs . 15

Konferensi Nasional Teknik Sipil Ke-15

THE CONSTRUCTION INDUSTRY RECOVER,
REBUILD & RENEW IN THE PANDEMIC ERA



EDITOR: HERMAWAN

A BLENDED CONFERENCE
GEDUNG HENRICUS CONSTANT UNIKA SOEGIJAPRANATA SEMARANG
SEMARANG, 21 - 22 OKTOBER 2021

ISBN: 978-623-7635-91-8



PRAKATA EDITOR

Pandemi Covid-19 merupakan bencana peradaban yang mengakibatkan terjadinya multitude krisis. Sebelum kemunculan Covid-19, negara Indonesia sebenarnya tengah bergulat dengan krisis kepemimpinan, krisis birokrasi, krisis partai politik, krisis, pendidikan, krisis guru dan krisis banjir (Sindhunata, 2020). Ironisnya, kemunculan covid-19 seolah memperparah keadaan ini. Akibat pandemi, bangsa dan negara Indonesia nyatanya harus berjuang untuk keluar krisis yang menghantam pelbagai sektor vital dari kehidupan masyarakat seperti ekonomi, sosial, politik, agama dan kebudayaan.

Namun demikian, berhadapan dengan krisis yang terjadi tersebut, pemerintah dan seluruh masyarakat Indonesia terus berjuang agar kembali pulih dari keadaan yang tidak mudah. Menariknya, di tengah usaha membebaskan negara Indonesia dari belenggu krisis akibat pandemi tersebut, selalu saja ada pihak yang berjuang untuk melakukan inovasi lewat kreativitas yang tidak diragukan lagi. Berkat kreativitas dan terobosan yang mereka lakukan, negara Indonesia nyatanya mendapat bantuan konstruktif di dalam usaha mengatasi krisis yang muncul akibat pandemi.

Pada KoNTeKS-15 ini, para ilmuwan, akademisi, dan insinyur teknik sipil merupakan tokoh-tokoh hebat yang terlibat secara sungguh di dalam usaha mengatasi krisis yang muncul akibat pandemi. Sehingga, dapat dikatakan bahwa mereka merupakan salah satu pilar penyangga vital dan secara militan mendedikasikan tenaga dan pikiran mereka bagi kemajuan negara Indonesia. Salah satu bukti nyata yang dapat diperlihatkan yaitu mengenai keterlibatan para ilmuwan untuk menemukan vaksin Covid-19 lewat kajian saintifik. Tentu dalam konteks ini, sulit dibayangkan bagaimana penanganan pandemi tidak melibatkan peran dari para ilmuwan.

Untuk itu, supaya kompetensi dan kualitas pekerjaan dari para ilmuwan, akademisi dan insinyur teknik sipil tetap terjaga, maka dibutuhkan satu forum khusus yang dapat menjadi ruang kreativitas yang baik dan positif. Oleh karena itu, Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTeKS) merupakan forum akademik yang menyediakan ruang eksploratif bagi usaha peningkatan kualitas dan kompetensi dari para ilmuwan, akademisi dan insinyur teknik sipil. Atas dasar itu, KoNTeKS ke-15 pada tahun 2021 yang dilaksanakan di Universitas Katolik Soegijapranata Semarang menyediakan ruang dialog, agar para ilmuwan, akademisi, insinyur teknik sipil, serta pendidik dan pelaku industri jasa dapat bertukar ide dan gagasan aktual melalui karya akademik.

Kiranya melalui karya akademik yang disusun ke dalam prosiding KoNTeKS ke-15 tahun 2021 ini dapat merefleksikan dan memberikan arah perkembangan pengetahuan, teknologi, dan pendidikan teknik sipil di masa yang akan datang. Bahkan kegiatan KoNTeKS ke-15 tahun 2021 diharapkan juga dapat menjadi sarana pengembangan pengetahuan para ilmuwan, akademisi, dan insinyur teknik sipil Indonesia dalam menanggapi masalah-masalah yang ada dan sesuai dengan bidang dan keahliannya seperti Rekayasa Geoteknik, Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan, Keairan, Rekayasa Transportasi, Material, Rekayasa Struktur, dan Manajemen dan Rekayasa Konstruksi. Secara lebih khusus, kiranya melalui kegiatan KoNTeKS ke-15, ada pihak yang semakin tergerak untuk berpartisipasi menyumbangkan ide dan gagasan konstruktif yang tentunya berguna bagi dunia teknik sipil di Indonesia dan bangsa Indonesia.

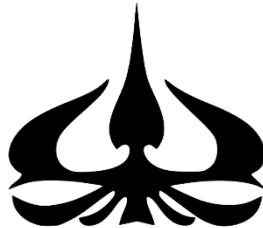
KONSORSIUM PENYELENGGARA



UNIKA SOEGIJAPRANATA



UAJY



USAkti



UNTAR



UNS



ITENAS



UNUD

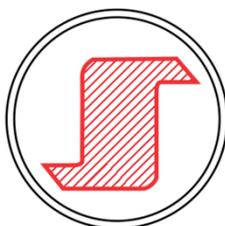


UNSYIAH



UPH

DIDUKUNG OLEH



BMPTTSSI
Badan Musyawarah
Pendidikan Tinggi Teknik Sipil
Seluruh Indonesia

fib
CEB • FIP
Indonesia



Sie Perlengkapan

- Ir. D. Budi Setiyadi, MT (Unika Soegijapranata)
- Ir, Yohanes Yuli M., MT (Unika Soegijapranata)
- G. Agung Triandi (Unika Soegijapranata)
- Taufiq Hidayat (Unika Soegijapranata)
- Benny Ardhi Nugroho (Unika Soegijapranata)
- Sia William Benedict (Unika Soegijapranata)
- Francesco Gian Aprian Atmaja (Unika Soegijapranata)

Sie Publikasi

- Ir. Widija Suseno, MT. (Unika Soegijapranata)
- Drs. Ir. Djoko Setijowarno, MT. (Unika Soegijapranata)
- Albertus Noventa Dana C, SE. (Unika Soegijapranata)
- Albertus Bayu Novanto (Unika Soegijapranata)
- Memory Rafi Fadhil Zaki (Unika Soegijapranata)
- Margaretha Januasni J. M. (Unika Soegijapranata)

Sie Zoom & Recording

- Gabriel Jose P G., ST., MT. (Unika Soegijapranata)
- Daniel Hartono, ST. (Unika Soegijapranata)
- Andre Dohan (Unika Soegijapranata)
- Wisnu Setiaji (Unika Soegijapranata)
- Vincentius Oliviananda L. (Unika Soegijapranata)

Sie Pendaftaran & Sertifikat

- Ir. David Widiyanto, MT. (Unika Soegijapranata)
- Dimas Diktta, ST. (Unika Soegijapranata)
- Diah Woro Tremiarwati, A.Md. (Unika Soegijapranata)
- Christoper Aditya Cahya D. (Unika Soegijapranata)
- Fidelis Claudio P. (Unika Soegijapranata)

Sie Designer

- Luthfi Nindyapradana (Unika Soegijapranata)
- Mochamad Ravi Grentino (Unika Soegijapranata)
- Sindu Alfisam (Unika Soegijapranata)
- Gerardi Armanupraja (Unika Soegijapranata)

Sie Konsumsi

- Fiona Indah Yurisaputri M. (Unika Soegijapranata)
- Adinda Adelia Puspita Asri (Unika Soegijapranata)
- Adinda Maharani Fachryan N. (Unika Soegijapranata)
- Marzelina Eka Ayu (Unika Soegijapranata)
- Renata Efonny Loitian G. (Unika Soegijapranata)



Sie Sponsorship

- Bryan Brama R, ST., M.Min.Res (Unika Soegijapranata)
- Michell Adiputra Wijaya (Unika Soegijapranata)
- Avin Ananta Paranindya (Unika Soegijapranata)
- Venchent May Alo (Unika Soegijapranata)

Sie Komite Ilmiah

- Ir. AY. Harijanto Setiawan, M.Eng., Ph.D. (UAJY)
- Ferianto Raharjo, S.T., M.T. (UAJY)

Reviewer

- Prof. Dr. Ir. A.M. Ade Lisantono, M.Eng
- Prof. Ir. Leksmono Suryo Putranto, MT, Ph.D
- Dr. Eng. Fitri Suciaty, Ssi, Msi
- Dr. Ir. Djoko Suwarno, Msi
- Dr. Ir. Muttaqin, ST., MT.
- Dr. (Cand). Ir. Henny Wiyanto, MT.
- Dr. Ir. Dewa Ketut Sudarsana, MT.
- Dr. Ir. Rintis Hadiani, MT.
- Dr. Ir. Dwi Prasetyanto, MT.
- Dr. Ir. Herman, MT.
- Dr. Ir. J. Dwijoko Ansusantom, MT.
- Dr. Renni Anggraini, ST, M.Eng
- Dr. I Nyoman Aribudiman, ST, MT.
- Dr. Mawiti Infantri Yekti, ST, MT.
- Dr. Endah Safitri, ST., MT.
- Dr. Bambang Setiawan, ST., MT
- Dr. Fajar Sri Handayani, ST., MT
- Dr. Muhammad Fauzi, ST., MT
- Dr. Darmawan Pontan, S.T., M.T.
- Dr. Aksan Kawanda, S.T., M.T.
- Dr. Ir. Hermawan, ST., MT.
- Dr. Yuki Achmad Yakin, MT.
- Dr. Widodo Kushartomo
- Dr. Wati Asriningsih Pranoto
- Vienti Hadsari, ST, M.Eng, MECRES, Ph.D
- Ir. Peter F. Kaming, M.Eng, Ph.D
- Budi Yulianto, ST, MSc, Ph.D
- Gede Pringgana, ST., MT, Ph.D
- Nurisra, ST, MT
- Yessi Nirwana Kurniadi, Ph.D



GT – 08

ANALISIS BANGUNAN MIRING EMPAT LANTAI DI BANGKA BELITUNG MENGUNAKAN PARAMETER ASUMSI

Orlando¹, Gregorius Sandjaja Sentosa², Aniek Prihatiningsih³, dan Alfred Jonathan Susilo⁴

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas
Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: orlandosucipto@gmail.com

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl.
Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: gregoriuss@ft.untar.ac.id

³Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl.
Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: aniekp@ft.untar.ac.id

⁴Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl.
Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: alfred@ft.untar.ac.id

ABSTRAK

Kemiringan sebuah bangunan dapat terjadi dikarenakan kesalahan pembacaan data tanah atau desain fondasi. Pengujian tanah wajib dilakukan sebelum perhitungan struktur dilakukan untuk menghindari terjadinya kesalahan desain. Di Bangka Belitung terdapat bangunan empat lantai yang mengalami kemiringan mencapai tiga derajat. Bangunan tersebut telah dianalisis untuk mengetahui penyebab kemiringannya. Kesulitan dalam melakukan analisis adalah tidak tersedianya data-data penyelidikan tanah dan rancangan strukturnya, sehingga analisis dilakukan dengan melakukan berbagai variasi asumsi berupa ukuran struktur bangunan, ukuran fondasi, kedalaman, serta perkiraan lapisan tanah dan parameternya. Analisis perhitungan menggunakan rumus-rumus konvensional. Hasil analisis dengan menggunakan berbagai asumsi tersebut, diperkirakan kemungkinan telah terjadi penurunan berlebihan dan perbedaan penurunan yang menyebabkan terjadinya kemiringan pada bangunan tersebut. Dalam analisis dilakukan reduksi distribusi lapisan-lapisan tanah sebesar 20%, 40%, 60%, 80%, dan 90%. Analisis menggunakan parameter asumsi dari tanah dengan kondisi sangat buruk, buruk, baik, sampai dengan sangat baik. Hasil analisis diperoleh bahwa pada kondisi lapisan tanah antara sangat baik sampai sangat buruk, maka penurunan mendekati 18,50 cm apabila distriburi beban antara 70% sampai 90%. Perhitungan analisis penurunan bangunan menunjukkan bahwa penurunan fondasi dapat melebihi 40 cm pada kondisi tanah yang sangat buruk dan perkiraan perbedaan penurunan dapat mencapai kurang lebih 20 cm antara sisi-sisi terjauh kiri dan kanan bangunan.

Kata kunci: daya dukung, penurunan, perbedaan penurunan, fondasi tiang bor, variasi parameter.

1. PENDAHULUAN

Kemiringan sebuah bangunan akibat terjadinya penurunan dan perbedaan penurunan banyak terjadi di berbagai tempat. Salah satu contoh bangunan miring yang terkenal dan merupakan bangunan bersejarah adalah Menara Pisa di kota Pisa, Italia. Kemiringan bangunan ini hampir mencapai empat derajat yang disebabkan karena fondasi tidak stabil. Menara ini mulai terlihat miring selama pekerjaan konstruksi karena tanah lunak yang tidak dapat menopang berat struktur dengan baik. Upaya perbaikan sudah dilakukan untuk mengurangi dan menstabilkan struktur agar bangunan tetap berdiri. Selain Menara Pisa, ada beberapa bangunan lagi antara lain Menara Big Ben, London, Inggris, The Two Towers, Bologna, Italia, Millennium Tower, San Francisco, USA dan lain-lainnya.

Seperti bangunan-bangunan tersebut di atas, di daerah Bangka Belitung terdapat sebuah bangunan 4 lantai yang juga mengalami kemiringan. Bangunan tersebut selesai didirikan sekitar tahun 2015 dan sejak selesai

belum pernah digunakan karena secara perlahan mengalami kemiringan. Penelitian ini akan memperkirakan kemungkinan penyebab terjadinya kemiringan dari aspek teori-teori geoteknik.

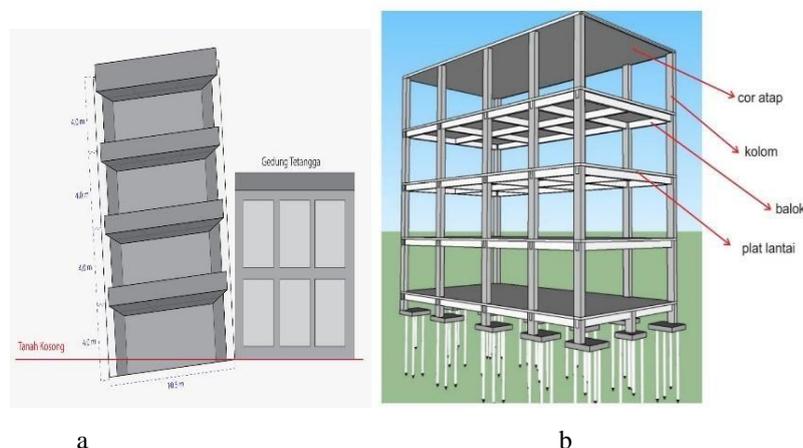
Informasi yang diperoleh dari bangunan tersebut hanya dari pemilik bangunan yang tidak memahami pengetahuan teknik sipil. Pekerjaan bangunan dilakukan oleh kontraktor yang sekarang tidak dapat dihubungi lagi, sehingga informasi tentang bangunan tersebut sangat terbatas, yaitu hanya dari hasil wawancara dengan pemilik bangunan. Ketika ingin mendapatkan informasi secara visual dengan memasuki lokasi bangunan tidak memungkinkan karena pintu masuk ke bangunan tersebut sudah dipagar. Secara visual bangunan ini hanya dapat diamati dari luar batas pagar bangunan. Pemilik bangunan memberi informasi gambar bangunan dimana menunjukkan konfigurasi struktur dan rancangan fondasi tiang bangunan yang kurang lengkap, karena tidak disertai dimensi balok, kolom, plat lantai, dimensi dan kedalaman fondasi tiang. Data penyelidikan tanah di lokasi tersebut juga tidak ditemukan, sehingga data penyelidikan tanah diambil dari hasil penyelidikan tanah di lokasi yang berdekatan dengan bangunan tersebut. Pada gambar yang diberikan oleh pemilik bangunan terbaca informasi kedalaman fondasi tiang bor dimasukkan sampai kedalaman 6,00 m hingga 12,00 m. Sementara jika diamati secara visual dari depan bangunan, di sebelah kanan bangunan terdapat bangunan tetangga yang rapat dengan dinding bangunan Gedung 4 lantai ini, sementara di sebelah kirinya berupa tanah lapang kosong.

Berdasarkan data penyelidikan tanah yang tersedia di dekat bangunan miring tersebut telah dilakukan analisis kemungkinan penurunan dan perbedaan penurunan. Dari analisis tersebut disimpulkan bahwa dengan 4 fondasi tiang bor berdimensi 45 cm dan kedalaman 4 m, diperoleh perbedaan penurunan yang mendekati dengan kemiringan yang terjadi (Orlando, 2021). Tetapi analisis yang telah dilakukan itu kondisi tanah diasumsikan mirip dengan data yang bukan berada di lokasi bangunan miring, sehingga perlu dilakukan analisis lagi jika lapisan tanah dan parameter tanah bukan seperti yang tersedia di dekat bangunan miring. Dalam makalah ini disajikan beberapa variasi kemungkinan lapisan dan parameter tanah untuk memperkirakan kondisi lainnya yang bisa menjadi penyebab kemiringan bangunan terjadi.

Berdasarkan keterbatasan data-data bangunan dan data penyelidikan tanah, maka untuk keperluan analisis kemiringan bangunan dipilih menggunakan asumsi dimensi balok, kolom, dan plat lantai untuk menghitung berat bangunan. Perhitungan kestabilan fondasi tiang, dipilih beberapa variasi perkiraan lapisan tanah dan parameternya. Analisis dilakukan dengan menggunakan beberapa rumus-rumus konvensional secara manual. Hasil analisis diharapkan dapat memberikan alternatif penjelasan terhadap kemungkinan terjadinya kemiringan bangunan.

2. DATA BANGUNAN DAN PARAMETER LAPISAN TANAH

Data fondasi tiang bor dan jumlah tiang bor diperoleh dari gambar yang diberikan dan wawancara dengan pemilik bangunan. Pada gambar dapat dilihat bahwa kedalaman fondasi yang digunakan sedalam 6,00 m hingga 12,00 m dan terdapat 4 fondasi tiang bor pada 1 kolom dengan mutu beton (f_c') = 20 MPa, diameter penampang = 0,45 m, luas penampang = 0,159043 m², keliling penampang = 1,413717 m, berat jenis tiang beton = 24 kN/m³, spasi tiang = 1,35 m, Panjang bangunan 21,5 meter, lebar bangunan 10,5 meter, dan tinggi bangun 4 lantai. Secara visual kondisi bangunan dapat dilihat pada Gambar 1(a), Gambar 1(b), dan Gambar 2. menunjukkan gambar rencana bangunan yang diperoleh dari pemilik bangunan.

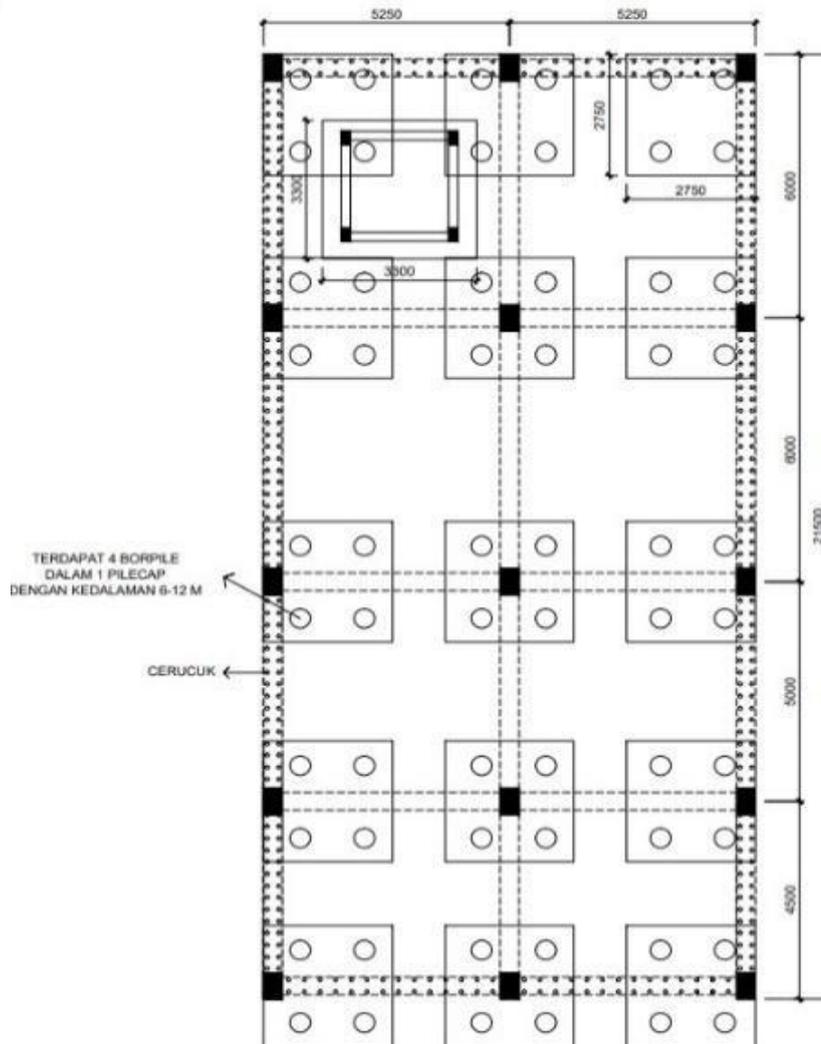


Gambar 1. (a) Sketsa bangunan miring, (b) Tampak 3D (Pemilik bangunan)

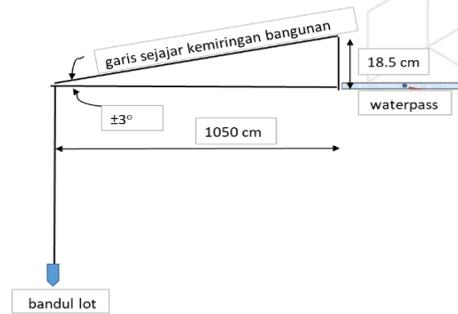


Untuk mendapatkan kondisi kemiringan bangunan terhadap garis horisontal, dilakukan pengukuran secara manual sederhana dengan perkakas bandul lot, waterpas tukang, benang, penggaris dan busur derajat. Setelah beberapa kali mengukur, diperoleh kesimpulan kemiringan bangunan sekitar 3 derajat dan diperkirakan selisih ketinggian kemiringan antara sisi kiri dan kanan bangunan sekitar 18,5 cm (Gambar 3). Berdasarkan data awal ini, kemudian dilakukan analisis kemungkinan terjadinya kemiringan bangunan tersebut dari aspek geoteknik. Penyebab kemiringan bangunan ini sebenarnya dapat saja terjadi akibat adanya kegagalan struktur pada balok atau kolom bangunan. Metodologi yang akan dilakukan dengan memvariasikan data tanah dan panjang tiang bor untuk mendapatkan gambaran penyebab terjadinya kemiringan bangunan tersebut. Dalam analisis kemiringan ini ukuran diameter tiang bor 45 cm digunakan dalam perhitungan, tetapi kedalamannya dihitung untuk beberapa variasi, demikian juga untuk parameternya diasumsikan beberapa variasi.

Ukuran kolom bangunan diasumsikan 400 mm x 600 mm, balok induk 1050 mm x 550 mm, balok anak 600 mm x 300 mm dan plat lantai memiliki ketebalan 13 cm. Ukuran-ukuran ini diperlukan untuk menghitung perkiraan berat bangunan yang ditransfer ke kolom-kolom bangunan, Beban pada kolom ini akan ditransfer ke fondasi bangunan. Berat total bangunan mencapai 10.016,9 kN dan kolom menerima beban sebesar 1.001,7 kN.



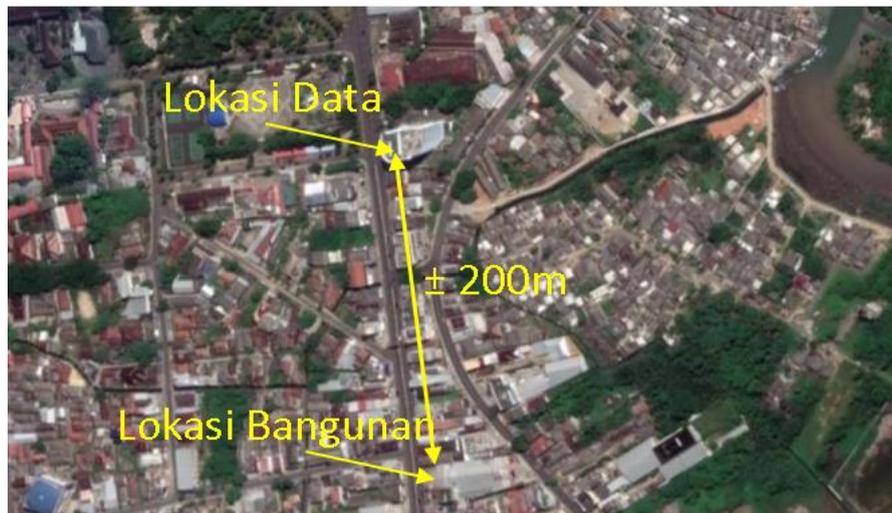
Gambar 2. Denah bangunan (Pemilik bangunan)



Gambar 3. Sketsa pengukuran kemiringan secara manual (Gambar tanpa skala)

Data penyelidikan tanah yang tersedia adalah data penyelidikan tanah yang dilakukan pada sebuah gedung yang terletak di jalan yang sama kira-kira 200-meter dari bangunan ini (Gambar 4).

Data tersebut juga sudah berupa data yang diinterpretasikan untuk analisis bangunan di lokasi tempat penyelidikan tanah dilakukan seperti terlihat pada Tabel 1 dan 2 (Yusti, 2014). Dari kedua Tabel tersebut terlihat hampir mirip, data BH1 sedikit lebih baik dari BH2 dimana BH1 lebih didominasi tanah lempung-lanau.



Gambar 4. Lokasi bangunan miring dan lokasi data penyelidikan tanah. (Google map)

Tanah dengan konsistensi padat mulai dijumpai pada kedalaman antara 9 m sampai 15 m. Nilai N-SPT sampai kedalaman 11 m berkisar antara 6 – 9, sedangkan pada kedalaman 11 m hingga 17 m, nilai N-SPT meningkat di atas 14 hingga mencapai 39. Tanah sangat padat dengan N-SPT di atas 50 mulai terlihat pada kedalaman 15 m hingga akhir pengeboran mencapai 30 m. Dalam data tersebut tersedia juga beberapa parameter kadar air, angka pori, berat isi, specific gravity dan kohesi (Tabel 1 dan 2)

Tabel 1. Hasil interpretasi parameter pada titik bor BH1 (Yusti, 2014)

Kedalaman (m)	0.0-5.50	5.5-7.7	7.7-11.0	11.0-15.0	15.0-28.0	28.0-30.0
Jenis Tanah	Lempung	Lanau	Lempung	Lempung	Lempung	Lempung
N-SPT	6	7	9	26	60	60
G _s	2,715	2,65	2,715	2,715	2,715	2,715
e	1,15	0,4	1,15	1,15	1,15	1,15
w(%)	40	15	40	40	40	40
c _u (kN/m ²)	36	50	60	180	375	375
γ _{sat} (kN/m ³)	17,63	21,37	17,63	17,63	17,63	17,63



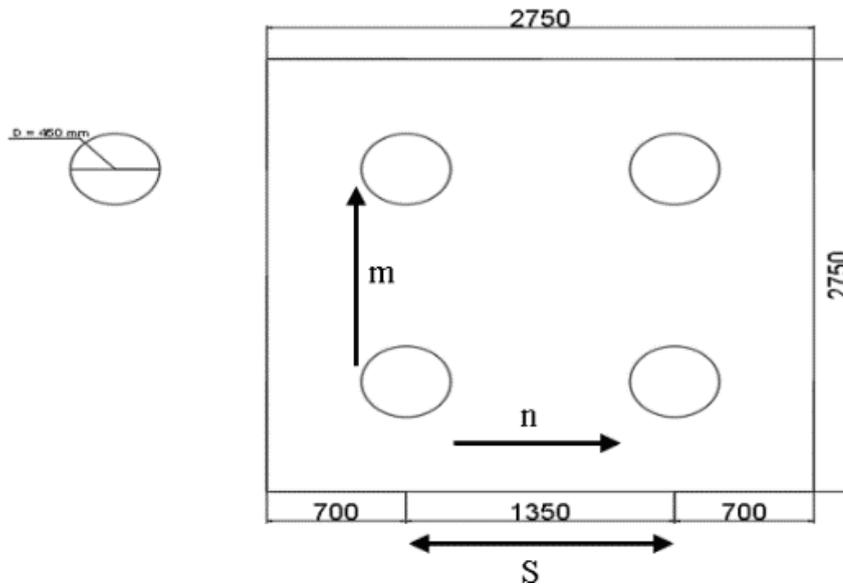
Tabel 2. Hasil interpretasi parameter pada titik bor BH2 (Yusti, 2014)

Kedalaman (m)	0.0-5.10	5.1-7.6	7.6-8.85	8.85-13.5	13.5-17	17-18.5	18.5-24.5	24.5-30
Jenis Tanah	Lempung	Lantau	Lempung	Lantau	Lantau	Pasir	Lantau	Lantau
N-SPT	7	6	8	15	40	53	57	60
Gs	2,715	2,65	2,715	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65
e	1,15	0,4	1,15	0,4	0,4	0,45	0,4	0,4
w(%)	40	15	40	15	15	15	15	15
c_u (kN/m ²)	50	37	57	94	254	340	360	375
γ_{sat} (kN/m ³)	17,98	21,79	17,98	21,79	21,79	21,52	21,79	21,79

Berdasarkan data-data penyelidikan tanah ini kemudian dijadikan referensi untuk mengasumsikan variasi perkiraan lapisan tanah dan parameternya.

Daya dukung tiang bor

Daya dukung tiang bor dihitung menggunakan rumus-rumus empiris teoretis pada (Das, 2011). Perhitungan daya dukung ujung tiang dihitung menggunakan rumus Reese dan Wright (1977), dan Meyerhof (1976). Perhitungan daya dukung selimut menggunakan rumus Metode lamda, λ yang diusulkan Vijayvergiya dan Focht, 1972 (Das, 2011), dan Metode Reese-Right (1977). Tiang kelompok dilakukan perhitungan efisiensi kelompok tiang dengan beberapa rumus dan diambil yang paling konservatif nilainya. Rumus-rumus yang digunakan antara lain Rumus Converse – Labarre; Rumus Seiler Keeney; dan Rumus Los Angeles, Group (Das, 2011).



Gambar 5. Konfigurasi fondasi tiang bor

Untuk menghitung daya dukung tiang dibuat beberapa variasi lapisan tanah dan parameternya seperti terlihat pada Tabel 1,3,4,5, dan 6. Untuk membedakan variasi lapisan tanah dan parameternya dipilih sebutan sebagai berikut: kondisi paling buruk bila tanah memiliki nilai $c_u < 40$, $w = 70\%$ seperti terlihat pada Tabel 3 di kedalaman 0 m hingga 11,0 m; kondisi buruk dengan nilai $c_u < 50$, $w = 60\%$ seperti terlihat pada Tabel 4 di kedalaman 0 m hingga 11,0 m; kondisi baik dengan nilai $c_u = 50$, $w = 38\%$ seperti terlihat pada Tabel 5 di kedalaman 0 m hingga 11,0 m; dan kondisi sangat baik bila nilai $c_u = 75$, $w = 35\%$ seperti terlihat pada Tabel 6 di kedalaman 0 m hingga 11,0 m. Kondisi data yang tersedia sebagai referensi di dekat bangunan miring seperti terlihat pada Tabel 1. Salah satu variasi lapisan tanah dan parameter tanahnya diambil dari yang telah dianalisis, yaitu data yang tercantum pada Tabel 1 (Orlando, 2021).

Tabel 3. Hasil interpretasi data tanah paling buruk

Kedalaman (m)	0.0-5.50	5.5-7.7	7.7-11.0	11.0-15.0	15.0-28.0	28.0-30.0
Jenis Tanah	Lempung	Lantau	Lempung	Lempung	Lempung	Lempung
N-SPT	3	4	5	26	60	60
G _s	2,715	2,65	2,715	2,715	2,715	2,715
e _o	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
w(%)	70	70	70	70	70	70
c _u (kN/m ²)	10	20	30	60	180	375
γ _{sat} (kN/m ³)	17,63	21,36	17,63	17,63	17,63	17,63

G_s = berat jenis tanah, e_o = angka pori, w = kadar air dalam keadaan jenuh, c_u = kuat geser dan γ_{sat} = berat air dalam keadaan jenuh.

Tabel 4. Hasil interpretasi data tanah buruk

Kedalaman (m)	0.0-5.50	5.5-7.7	7.7-11.0	11.0-15.0	15.0-28.0	28.0-30.0
Jenis Tanah	Lempung	Lantau	Lempung	Lempung	Lempung	Lempung
N-SPT	4	6	7	26	60	60
G _s	2,715	2,65	2,715	2,715	2,715	2,715
e _o	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
w(%)	60	60	60	60	60	60
c _u (kN/m ²)	20	30	40	60	180	375
γ _{sat} (kN/m ³)	17,63	21,36	17,63	17,63	17,63	17,63

Tabel 5. Hasil interpretasi data tanah baik

Kedalaman (m)	0.0-11.0	11.0-15.0	15.0-28.0	28.0-30.0
Jenis Tanah	Lempung	Lempung	Lempung	Lempung
N-SPT	6	26	60	60
G _s	2,715	2,715	2,715	2,715
e _o	1	1	1	1
w(%)	38	38	38	38
c _u (kN/m ²)	50	50	180	375
γ _{sat} (kN/m ³)	17,63	17,63	17,63	17,63

Tabel 6. Hasil interpretasi data tanah Sangat baik

Kedalaman (m)	0.0-11.0	11.0-15.0	15.0-28.0	28.0-30.0
Jenis Tanah	Lempung	Lempung	Lempung	Lempung
N-SPT	8	28	60	60
G _s	2,715	2,715	2,715	2,715
e _o	0,8	0,8	0,8	0,8
w(%)	35	35	35	35
c _u (kN/m ²)	70	70	375	375
γ _{sat} (kN/m ³)	17,63	17,63	17,63	17,63

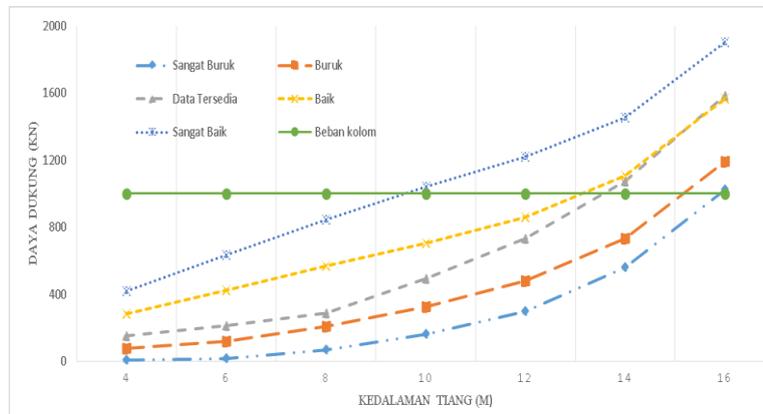
Berdasarkan data-data yang tercantum pada Tabel 1, Tabel 3 sampai dengan Tabel 6, diperoleh hasil perhitungan daya dukung yang dapat dilihat Tabel 7. dan pada grafik dan kurva Gambar 6.

Tabel 7. Daya dukung kelompok 4 tiang

kedalaman (m)	4	6	8	10	12	14	16
Daya Dukung Kelompok 4 Tiang (kN)							
Sangat Buruk	7,78	18,28	69,84	159,96	299,64	561,32	1023,81
Buruk	76,62	121,82	208,05	327,79	478,45	733,77	1193,08
Data Tersedia	152,04	214,82	289,80	495,28	733,79	1076,28	1584,95
Baik	283,17	426,05	568,93	705,56	860,84	1109,79	1565,93



Sangat Baik	420,86	633,11	845,36	1041,23	1218,46	1454,69	1904,46
Beban Kolom	1001,69	1001,69	1001,69	1001,69	1001,69	1001,69	1001,69



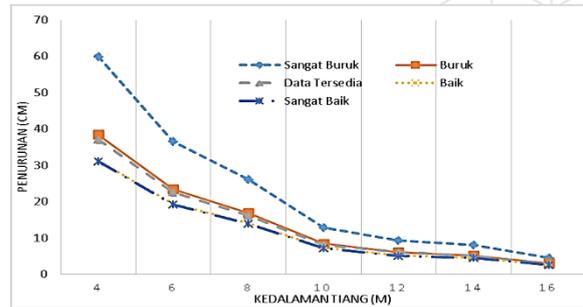
Gambar 6. Daya dukung ijin total fondasi tiang bor kelompok dengan 4 tiang terhadap beban kolom

Pada Gambar 6, dapat dilihat variasi kedalaman fondasi tiang bor kelompok untuk memikul beban kolom bangunan kira-kira sebesar 1000 kN. Kondisi parameter kekuatan tanah yang dikategorikan 'sangat buruk' maka pemancangan harus dilakukan sampai kedalaman 16,00 m atau lebih. Jika kondisi parameter kekuatan 'sangat baik' maka pemancangan tiang bor dapat dilakukan sekitar 9,00 hingga 9,50 m, sedangkan jika kondisinya 'baik' maka pemancangannya sekitar 13,00 m. Dari informasi yang diperoleh disebutkan bahwa kedalaman pemancangan antara 6,00 m hingga 12,00 m, maka artinya jika fondasi benar dipancang sampai 12,00 m seharusnya fondasi tersebut mampu memikul beban bangunan. Pada kenyataannya gedung mengalami pergerakan sehingga miring, maka kemungkinan fondasi bangunan tersebut dipancang kurang dari 12,00 m dan kondisi lapisan tanahnya tidak mungkin berada dalam kondisi 'baik' sampai 'sangat baik'.

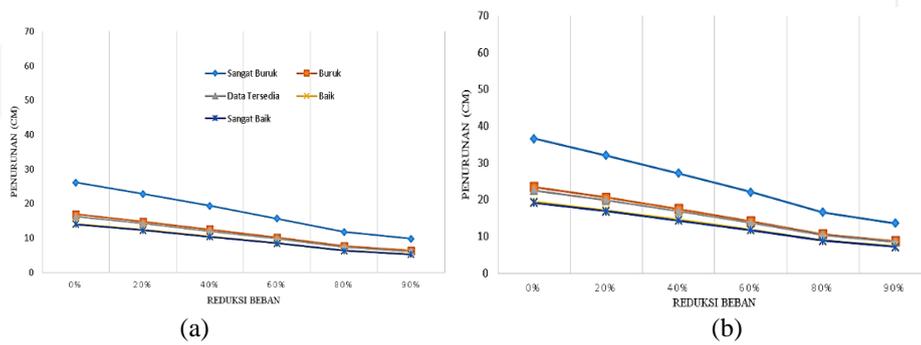
Penurunan

Perhitungan penurunan menggunakan rumus penurunan elastis dan konsolidasi dengan variasi lapisan dan parameter tanah seperti yang tercantum pada Tabel 1, Tabel 3 sampai dengan Tabel 6. Parameter yang tidak tersedia dari hasil penyelidikan tanah ditafsirkan dengan menggunakan rumus-rumus empiris seperti modulus elastis lapisan tanah, E_s , indeks kompresi, C_c , dan indeks rekompresi C_s . Penurunan konsolidasi diasumsikan dalam kondisi *normally consolidated*. Dalam melakukan perhitungan penurunan, distribusi tegangan yang terjadi pada lapisan tanah dibedakan antara sebelah kanan bangunan yang berbatasan dengan bangunan tetangga dan di sebelah kiri yang tidak ada bangunannya. Bagian kiri bangunan diasumsikan terdistribusi sempurna atau dengan perkataan lain seluruh lapisan tanah menerima penuh tegangan yang muncul dari kelompok fondasi bangunan. Sementara pada bagian kanan distribusi tegangan lapisan tanah diasumsikan tidak terdistribusi sempurna, karena sebagian tegangan yang muncul dari kelompok fondasi ditahan juga oleh fondasi bangunan tetangga. Akibatnya distribusi tegangan yang diterima lapisan tanah pada bagian kanan menjadi lebih kecil daripada bagian kiri. Perkiraan besarnya tegangan yang membebani lapisan tanah di sebelah kanan dilakukan reduksi dengan mengurangi tegangan yang terjadi pada lapisan-lapisan tanah di bawahnya. Selain dengan mereduksi dapat juga dilakukan dengan pendekatan rumus-rumus penurunan elastis dan dengan mengasumsikan luasan sebaran tegangan yang terjadi. Dalam analisis ini dilakukan dengan pendekatan yang sederhana dalam perhitungan analisisnya. Pada analisis distribusi tegangan tanah yang membebani lapisan tanah diasumsikan direduksi, 20%, 40%, 60%, 80% dan 90%.

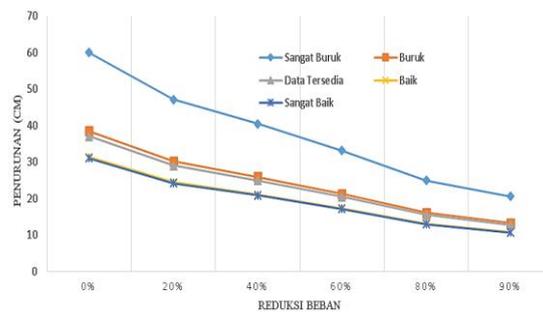
Hasil perhitungan penurunan dan perbedaan penurunan dapat dilihat pada Gambar 7 sampai dengan Gambar 11. Gambar 7 menyajikan hasil perhitungan penurunan bangunan dengan berbagai kedalaman fondasi 4 tiang bor kelompok. Gambar 8 dan Gambar 9 menyajikan hasil perhitungan penurunan bangunan dengan kedalaman fondasi 4 tiang bor kelompok untuk masing-masing kedalaman yaitu 4,00 m, 6,00 m, dan 8,00 m. Sedangkan pada Gambar 10 dan 11 menunjukkan hasil perbedaan penurunannya.



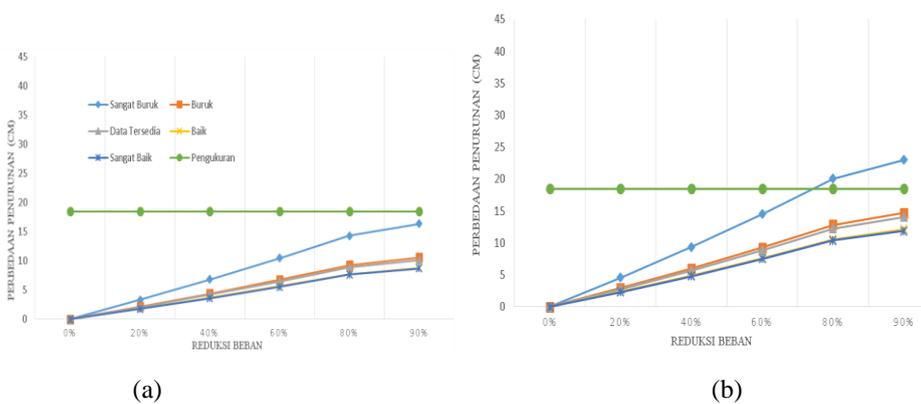
Gambar 7. Penurunan bangunan untuk berbagai kedalaman fondasi tiang kelompok dan lapisan tanah diasumsikan menerima penuh tegangan dari fondasi



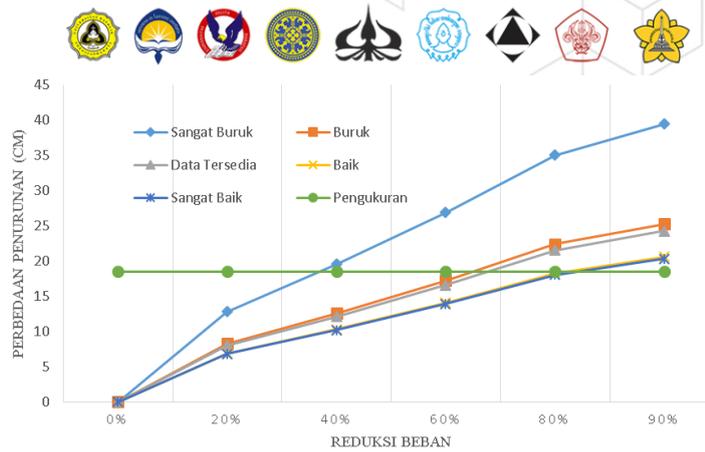
Gambar 8. Penurunan bangunan akibat distribusi tegangan pada lapisan tanah direduksi untuk kedalaman (a) fondasi tiang bor 8 m dan (b) fondasi tiang bor 6 m



Gambar 9. Penurunan bangunan akibat distribusi tegangan pada lapisan tanah direduksi untuk kedalaman fondasi tiang bor 4 m



Gambar 10. Perbedaan penurunan bangunan akibat distribusi tegangan pada lapisan tanah direduksi untuk kedalaman (a) fondasi tiang bor 8 m dan (b) fondasi tiang bor 6 m



Gambar 11. Perbedaan penurunan bangunan akibat distribusi tegangan pada lapisan tanah direduksi untuk kedalaman fondasi tiang bor 4 m

3. PEMBAHASAN PENELITIAN

Gambar 10 dan Gambar 11 dapat dilihat perbedaan penurunan yang mendekati dengan pengukuran sekitar 18,50 cm, dapat terjadi ketika fondasi 4 tiang bor kelompok dimasukkan sampai kedalaman 8,00 m, jika beban pada lapisan tanah direduksi sebesar 80% untuk lapisan tanah dengan kondisi ‘sangat buruk’. Jika fondasi dimasukkan sampai 6,00 m dan reduksi beban yang didistribusikan ke lapisan tanah mencapai 70% sampai 90%, maka perbedaan penurunan akan mendekati perbedaan penurunan yang diukur dengan kondisi lapisan tanah ‘buruk’ sampai ‘sangat buruk’. Sedangkan jika fondasi 4 tiang bor kelompok dimasukkan sampai 4,00 m pada kondisi lapisan ‘baik’ sampai ‘sangat baik’, perbedaan penurunan yang mendekati hasil pengukuran jika distribusi tegangan pada lapisan tanah sebesar 80% sampai 90%.

Berdasarkan analisis untuk semua kondisi lapisan tanah antara ‘sangat baik’ sampai ‘sangat buruk’ jika kelompok tiang bor dipancang antara 4,00 m hingga 8,00 m, maka perbedaan penurunan yang kira-kira mendekati pengukuran 18,50 cm dapat terjadi ketika reduksi beban antara 70% sampai 90%.

Dari analisis dengan asumsi parameter dan perkiraan lapisan tanah serta perkiraan distribusi beban pada lapisan tanah, penggunaan teori-teori rekayasa fondasi dapat menjelaskan penyebab terjadinya perbedaan penurunan, karena antara hasil perhitungan dengan realita pengukuran menunjukkan hasil yang mendekati. Berdasarkan analisis yang sudah dilakukan telah diperlihatkan bahwa jika fondasi 4 tiang bor kelompok dimasukkan antara kedalaman 4,00 m hingga 8,00 m, maka akan terjadi perbedaan penurunan. Sedangkan jika fondasi tiang bor dipancang sampai 16,00 m, maka penurunan bangunan 4 lantai ini akan berada pada nilai kurang dari 10,00 cm (Gambar 7.)

4. KESIMPULAN

Perkiraan perbedaan penurunan pada bangunan 4 lantai dapat dianalisis menggunakan teori-teori rekayasa fondasi untuk mencari penyebab terjadinya perbedaan penurunan.

Analisis terhadap bangunan 4 lantai menggunakan pendekatan asumsi parameter, lapisan tanah dan perkiraan reduksi distribusi tegangan pada lapisan tanah memperlihatkan dapat terjadi perbedaan penurunan bangunan yang mendekati hasil pengukuran secara manual.

Pada kondisi lapisan tanah antara ‘sangat baik’ sampai ‘sangat buruk’ jika kelompok tiang bor dipancang antara 4,00 m hingga 8,00 m, maka perbedaan penurunan mendekati 18,50 cm apabila beban antara 70% sampai 90%.

Fondasi tiang bor bila dipancang sampai 16,00 m penurunan bangunan 4 lantai akan mengalami perbedaan penurunan kurang dari 10,00 cm.

Perhitungan analisis penurunan bangunan menunjukkan bahwa penurunan fondasi dapat melebihi 40 cm pada kondisi tanah yang sangat buruk dan perkiraan perbedaan penurunan dapat mencapai kurang lebih 20 cm antara sisi-sisi terjauh kiri dan kanan bangunan.

5. SARAN

Untuk bangunan yang mengalami perbedaan penurunan ini dapat dilakukan studi lebih lanjut untuk mengatasi atau mengurangi terjadinya perbedaan penurunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aul, K. (2017), '10 Famous Buildings That Are Leaning (And Aren't In Pisa)', tersedia di laman https://www.ranker.com/list/famous-buildings-that-are-leaning/katherine-aul?ref=profile_pub.
- Bowles, J. E. (1997). 'Foundation Analysis and Design'. The McGraw-Hill Companies, Inc, St.Louis
- Burland, J.B., M.B. Jamiolkowski, N. Squeglia, S. Viggiani (2021), 'The Tower of Pisa', CRC Press/Balkema, Leiden, Netherland.
- Das, B. M. (2011). 'Principles of Foundation Engineering'. Cengage Learning, Stamford, USA.
- Hardiyatmo, H. C. (1996). *Teknik Fondasi I*. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Hardiyatmo, H. C. (2003). *Mekanika Tanah II*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. (2008). *Teknik Fondasi II*. Beta Offset, Yogyakarta.
- Marzuki, A., & Alpiannor. (2016). 'Evaluasi Kegagalan Pondasi Pada Gedung Bertingkat'. *Prosiding Seminar Nasional Geoteknik 2016*, Banjarmasin, 1 Oktober 2016, 307-316.
- Orlando, Gregorius S. Sentosa (2021). Studi Kasus Kemiringan Gedung 4 Lantai akibat Kegagalan Fondasi, *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, Jurusan Teknik Sipil Universitas Tarumanagara (dalam proses penerbitan), Jakarta
- Yusti, A., Ferra Fahriani (2014). Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Diverifikasi Dengan Hasil Uji Pile Driving Analyzer Test Dan Capwap (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Kantor Bank Sumsel Babel di Pangkalpinang), *Jurnal Fropil*, Vol. 2 No. 1, Januari – Juli 2014, halaman 19 – 31, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung.