

Pengaruh Ketidaksesuaian Kedalaman Pondasi Dalam Pada Pelaksanaan Dan DED Terhadap Stabilitas Struktur Atas
The Effect Of Incompatibility Of Foundation Depth In Implementation And DED On The Stability Of The Super Structure

Prasetyo Eka Prayogo¹⁾ Arief Alihudien²⁾ Muhtar³⁾

¹⁾Mahasiswa Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: prasetyoep799@gmail.com

²⁾Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: ariefalihudien@gmail.com

³⁾Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: muhtar.barra@gmail.com

Abstrak

Pondasi terdalam merupakan faktor yang sangat krusial pada rangka bangunan bertingkat yang berfungsi untuk menyalurkan beban rangka terhadap permukaan tanah padat. Ketidaksesuaian antara derajat pondasi yang direncanakan pada Detail Engineering Design (DED) dengan kondisi aktual di lapangan dapat berdampak pada alinyemen rangka di atasnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab ketidaksesuaian derajat pondasi, pengaruhnya terkait rangka di atasnya, dan solusi untuk memastikan rangka tetap stabil. Perancangan rangka dilakukan dengan menggunakan STAAD.Pro, berdasarkan data aktual derajat tiang pancang 11,05 meter hasil uji PDA. Hasil uji PDA menunjukkan bahwa simpangan pada sisi belakang berada di bawah batas terlindung (≤ 10 mm). Momen kritis punggung terluar pada struktur vertikal K2 mencapai 62,29 kNm, melebihi daya dukung maksimum awal (12 D16), namun setelah penambahan tumpuan menjadi 20 D22, daya dukung punggung maksimum meningkat menjadi 809,32 kNm dan struktur vertikal dinyatakan terlindungi. Dengan demikian, ketidaksesuaian derajat pondasi belakang dapat ditoleransi apabila penilaian temuan dan pemutakhiran dilakukan secara tepat.

Kata Kunci: DED, Ketidaksesuaian Kedalaman, Pondasi Dalam, STAAD.Pro, Stabilitas Struktur

Abstract

The deepest foundation is a crucial factor in the frame of a multi-storey building, which serves to distribute the frame load to the solid ground surface. Mismatches between the foundation level planned in the Detail Engineering Design (DED) and actual conditions in the field can impact the alignment of the frame above it. This study aims to analyze the causes of mismatches in foundation levels, their effects on the frame above it, and solutions to ensure the frame remains stable. The frame design was carried out using STAAD.Pro, based on actual data on the pile level of 11.05 meters from the PDA test results. The PDA test results showed that the deviation on the rear side was below the protected limit (≤ 10 mm). The outermost back critical moment on the K2 vertical structure reached 62.29 kNm, exceeding the initial maximum bearing capacity (12 D16), but after the addition of supports to 20 D22, the maximum back bearing capacity increased to 809.32 kNm and the vertical structure was declared protected. Thus, the mismatch in the rear foundation level can be tolerated if the findings are assessed and updated properly..

Keywords: DED, Depth Discrepancy, Deep Foundation, STAAD.Pro, Structural Stability

1. PENDAHULUAN

Struktur bawah merupakan elemen krusial dalam setiap bangunan, karena berperan dalam mendistribusikan beban struktural dari struktur atas ke tanah secara merata dan aman. Efisiensi pondasi yang tidak memadai dapat menyebabkan penurunan yang tidak merata, deformasi, atau bahkan keruntuhan struktural pada bangunan. Oleh karena itu, ketika merancang dan menerapkan pondasi, penting untuk mempertimbangkan kondisi tanah di lokasi, jenis bangunan, dan beban struktural yang akan ditopang (Meiprastyo, Xbal dkk., 2024).

Untuk bangunan bertingkat, pondasi dalam seperti tiang pancang merupakan pilihan utama karena dapat menembus lapisan tanah lunak di permukaan dan menyalurkan beban struktural ke lapisan tanah yang lebih dalam dan lebih keras (Adma et al., 2021). Struktur bawah ini juga efektif dalam menahan beban struktural lateral yang disebabkan oleh gempa bumi atau angin (Hafidh Masruri, dkk., 2024). Namun, kompleksitas dalam desain dan operasional dapat menyebabkan perbedaan antara kondisi lapangan dan rencana dalam Rancangan Rekayasa Terperinci (DED), terutama terkait kedalaman pondasi. Perbedaan ini dapat dipicu oleh beberapa faktor, seperti keterbatasan data investigasi, kondisi peralatan di lapangan, dan keputusan teknis selama proses konstruksi. Dampaknya dapat signifikan terhadap distribusi beban struktural dan stabilitas struktur atas (Tumewu, dkk., 2022).

Gejala umum penurunan pondasi meliputi retakan pada elemen struktur, pelat lantai melengkung, dan gangguan fungsi elemen arsitektur seperti pintu dan jendela. Berbagai kasus kerusakan struktur atas akibat masalah pondasi menunjukkan bahwa keselarasan antara desain dan pelaksanaan pondasi belum sepenuhnya diperhatikan. Gejala umum seperti retakan pada kolom, pelat lantai melengkung, serta pintu dan jendela yang sulit dioperasikan secara normal seringkali merupakan tanda-tanda penurunan diferensial (Orlando, dkk., 2021).

Studi ini mengambil kasus konstruksi gedung 5 lantai, di mana terjadi perubahan kedalaman pondasi tiang pancang dari 15 meter

(DED) menjadi 11,05 meter berdasarkan uji PDA rata-rata. Perubahan ini menimbulkan kekhawatiran tentang efisiensi struktur atas, sehingga diperlukan analisis ulang. Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh ketidaksesuaian kedalaman pondasi terhadap deviasi dan kapasitas lentur elemen struktur atas dengan bantuan perangkat lunak STAAD.Pro. Hasil analisis diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis untuk memastikan stabilitas bangunan meskipun terdapat deviasi antara desain dan pelaksanaan, serta menjadi referensi untuk proyek konstruksi serupa di masa mendatang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pondasi Dalam

Salah satu elemen fundamental dalam konstruksi bangunan adalah sistem pondasi, yang berfungsi untuk menyalurkan beban rangka ke tanah dengan aman. Susunan pondasi dianggap tepat jika beban yang ditanggung tidak melebihi daya dukung tanah. Jika melebihi daya dukung tersebut, hal ini dapat mengakibatkan penurunan yang berlebihan atau keruntuhan tanah, sehingga meningkatkan risiko kegagalan rangka. Pondasi berperan penting dalam menjaga stabilitas bangunan, baik terhadap beban statis maupun dinamis seperti gempa bumi dan angin (Meiprastyo, Xbal dkk., 2024).

B. Detail Engineering Design (DED)

Detail Engineering Design (DED) merupakan hasil akhir dari perencanaan teknis yang disusun oleh konsultan, berupa gambar kerja dan dokumen teknis yang digunakan sebagai pedoman pelaksanaan proyek konstruksi, termasuk pembangunan gedung, jalan, jembatan, dan infrastruktur lainnya. DED juga berfungsi sebagai acuan pemeliharaan dan perbaikan bangunan. Umumnya diterapkan pada proyek EPC (Engineering, Procurement, and Construction), DED menjadi bagian awal dari tahap FEED (Front End Engineering Design) yang merinci kebutuhan teknis proyek. Penyusunan DED harus disetujui oleh pemilik proyek agar sesuai dengan kebutuhan dan kondisi lapangan (Hafidh Masruri, dkk., 2024).

Gambar teknis merupakan salah satu bagian utama dalam dokumen *Detail Engineering Design* (DED) yang berfungsi menyajikan representasi visual secara rinci mengenai rencana desain dan pelaksanaan suatu proyek konstruksi. Gambar ini menjadi acuan penting bagi pelaksana lapangan karena berisi informasi geometris, dimensi, posisi elemen.

C. Analisis Struktur

Rencana Inovasi Desain (DED) adalah tahap akhir perencanaan teknik yang disusun oleh konsultan, meliputi ilustrasi kerja dan dokumen teknis sebagai panduan dalam pelaksanaan proyek konstruksi, termasuk pembangunan gedung, jalan raya, jembatan, dan infrastruktur lainnya. DED juga berfungsi sebagai acuan untuk pemeliharaan dan perbaikan bangunan. Umumnya diterapkan dalam proyek EPC (Engineering, Procurement, and Construction), DED berfungsi sebagai fondasi awal untuk tahap FEED (Front End Innovation Design), yang merinci persyaratan teknis proyek. Penyusunan DED harus mendapatkan persetujuan dari pemilik proyek agar selaras dengan kebutuhan dan kondisi lapangan (Hafidh Masruri, dkk., 2024). Gambar teknis merupakan salah satu komponen utama dokumen Rencana Inovasi Desain (DED), yang berfungsi untuk memberikan representasi visual yang detail dari rencana desain dan pelaksanaan proyek konstruksi. Gambar-gambar ini berfungsi sebagai acuan penting bagi pelaksana di lapangan karena memuat informasi geometri, dimensi, dan posisi elemen.

3. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di kawasan kampus Politeknik Negeri Jember (Polije), yang memiliki infrastruktur pendidikan modern dan fasilitas pendukung yang memadai. Lokasi penelitian secara spesifik berada dalam lingkungan kampus, di salah satu gedung yang baru saja dibangun dan baru difungsikan sebagai pusat kegiatan akademik dan penelitian. Proyek Pembangunan Gedung Pendidikan Terpadu Agribisnis Politeknik Negeri Jember,

Berlokasi di Jl. Mastrip, Krajan Timur, Kecamatan Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur.



Gambar 1. Lokasi Proyek Pembangunan [Sumber : Google Maps, 2025]

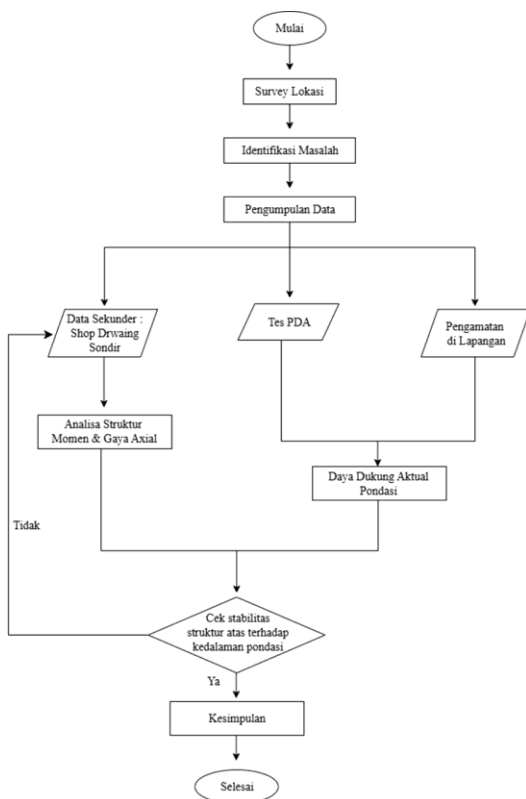
B. Data Penelitian

1. Data Primer pada penelitian studi kasus ini mencakup informasi dan hasil pengamatan langsung di lapangan yang diperoleh selama pelaksanaan proyek, Wawancara terhadap pelaksana dilapangan, dan juga dokumentasi waktu pengerjaan pada proyek itu sendiri. Pada penelitian ini data primer meliputi : Wawancara terhadap beberapa orang, baik dari konsultan maupun kontraktor dan juga melakukan pengamatan langsung dilapangan.
2. Data sekunder yaitu data yang sudah ada sebelumnya dan dibutuhkan sebagai pelengkap dari penelitian. Pada penelitian ini data sekunder yang dibutuhkan meliputi: Data Tes PDA, BOR LOG, Gambar Teknis, dan Data uji tekan beton.

C. Diagram Alir

Diagram alir adalah representasi dari serangkaian metode atau aturan yang dirancang secara cermat dan sistematis. Diagram ini menggunakan simbol-simbol standar untuk memberikan gambaran setiap tahapan dalam suatu proses, sehingga alur kerja menjadi lebih jelas, terorganisir, dan mudah dipahami. Simbol-simbol umum meliputi oval untuk menandai awal dan akhir, persegi panjang untuk aktivitas, dan jajaran genjang untuk menunjukkan masukan atau keluaran. Arah alur ditunjukkan oleh panah yang menghubungkan simbol-simbol tersebut,

yang menggambarkan urutan eksekusi dari satu langkah ke langkah berikutnya. Diagram alir sering digunakan dalam perencanaan, pencatatan, dan evaluasi suatu sistem atau metode kerja, karena dapat membantu mengidentifikasi titik kritis dan efisiensi dalam metode tersebut.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian
[Sumber: Data Penelitian, 2025]

Dalam suatu penelitian, diagram alir berperan penting untuk menggambarkan tahapan-tahapan secara runtut dan sistematis, mulai dari awal untuk identifikasi permasalahan, pengumpulan data, pengolahan dan analisis data, hingga interpretasi hasil akhir. Dengan adanya diagram alir, peneliti maupun pembaca dapat memahami keseluruhan proses yang dilakukan secara lebih jelas, efisien, dan terstruktur. Adapun urutan proses penelitian secara menyeluruh dapat dilihat pada Gambar 2.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Umum Penelitian

Proyek pembangunan Gedung Pendidikan Terpadu Agribisnis Politeknik Negeri Jember, Gedung Agribisnis ini direncanakan terdiri dari 5 lantai, Gedung ini memiliki luas 34 m x 52,2

m. Data tanah yang dilaksanakan yaitu bor dalam dan sondir (DCPT), Hasil dari uji sondir pada kedalaman 11 meter mendapat nilai SPT-N sekitar 43,5, nilai tersebut hasil interpolasi diantara kedalaman 10 dan 12 meter.

B. Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur merupakan tahapan krusial dalam analisis dan perencanaan bangunan, karena berperan langsung terhadap respon dan stabilitas sistem struktur secara keseluruhan, Beban Vertikal meliputi beban mati dan beban hidup beban mati terdiri dari berat struktur itu sendiri ditambah dengan komponen-komponen lainnya yang terkait, untuk beban hidup terjadi oleh penggunaan bangunan yang sesuai dengan fungsinya dan bersifat sementara pada beban vertikal ini juga mengacu pada SNI – 1727- 2013 dalam menginput beban vertikal kedalam staad.pro

Beban horizontal yang diperhitungkan adalah beban gempa, karena dampaknya lebih signifikan dibanding beban angin. Beban gempa dihitung sebagai beban statis ekuivalen akibat pergerakan tanah horizontal dan vertikal. Perhitungan mengacu pada SNI 1726:2019, khususnya Pasal 15, dengan menggunakan peta gerakan tanah seismik sebagai dasar evaluasi percepatan gempa rencana. Beban gempa dihitung berdasarkan peta percepatan batuan dasar (PGA) dan percepatan untuk periode 1 detik, sesuai Tabel 5 SNI 1726:2019. Penentuan beban gempa diawali dengan klasifikasi situs berdasarkan jenis tanah (SA hingga SF), yang digunakan untuk menentukan nilai kuat geser dan kecepatan rambat gelombang geser tanah sebagai dasar perhitungan respons seismik struktur untuk klasifikasi situs pada pembebanan gempa disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Klasifikasi Situs

| Kelas Situs | $v_s N$ (m/de tik) | atau N_{ek} | S_u (kPa) | Keterangan Tambahan | arah vertikal (kfz), serta sebesar 341.221,72 kN/m untuk arah lateral lainnya (kfy). Perbedaan nilai antara kfy dan dua arah lainnya mencerminkan variasi karakteristik kekakuan tanah akibat arah penyebaran beban atau kondisi stratigrafi tanah setempat. Nilai-nilai tersebut selanjutnya digunakan sebagai input dalam pemodelan interaksi tanah-struktur untuk memperoleh simulasi yang representatif terhadap perilaku deformasi pondasi pada kondisi pembebanan yang dianalisis pada Staad.pro. |
|----------------|--------------------------|------------------|----------------|--|---|
| SA | >1500 | N/A | N/A | Batuan keras | |
| SB 1500 | 750 | N/A | N/A | Batuan | |
| SC | 350 – 750 | 50 | ≥100 | Tanah keras | |
| SD | 175 – 350 | 5 – 100 | 50 – 100 | Tanah sedang | |
| SE | <175 | 15 | <50 | Tanah lunak | |
| Tanah organik, | | | | | |
| SF | - | - | - | sangat lunak, atau memerlukan investigasi khusus | |

[Sumber: Pasal 5 (SNI 1726:2019)]

Pada menghitung koefisien situs, harus mengacu pada nilai S_s dan S_1 . hasil nilai F_a dan F_v bertujuan merambatkan gelombang gempa menuju permukaan yang bisa dihitung dengan interpolasi atau berdasarkan dari SNI 1726- 2019. Jenis penggunaan bangunan itu sendiri dapat digunakan untuk menentukan kategori risiko bangunan sesuai dengan SNI 1726-2019 Pasal 4.1.2.

C. Perhitungan Tumpuan Spring

Dalam pemodelan struktur dengan STAAD.Pro, interaksi antara tiang pancang dan tanah dapat direpresentasikan menggunakan spring support pada ujung bawah elemen pondasi. Pendekatan ini memungkinkan simulasi kekakuan tanah secara realistis, baik vertikal (K_{fy}) maupun lateral (K_{fx} dan K_{fz}). Nilai kekakuan dihitung berdasarkan karakteristik tanah, material tiang, dan geometri pondasi.

Tabel 2. Data Parameter

| Parameter | Nilai | Satuan |
|--------------------|--------|----------------|
| Diameter Tiang (D) | 0,4 | m |
| Panjang Tiang (L) | 11,05 | m |
| Penampang A-A | 0,1256 | m ² |
| elastisitas | 30 | MPa |
| Beton | | |
| Nilai SPT | 43,5 | |

[Sumber:Hasil Penelitian, 2025]

Nilai koefisien pegas tanah (modulus subgrade reaction) yang digunakan dalam pemodelan diperoleh berdasarkan hasil analisis data tanah di lapangan serta pendekatan empiris dari literatur geoteknik. Adapun nilai yang digunakan dalam permodelan adalah sebesar

D. Model Analisis Struktur Atas

Model struktur yang dianalisis dalam penelitian ini merupakan bangunan gedung lima lantai yang difungsikan sebagai fasilitas pendidikan, dengan sistem struktur rangka beton bertulang. Pemodelan dilakukan berdasarkan kondisi aktual di lapangan, termasuk penggunaan data geometrik, dimensi elemen struktural, serta kondisi pondasi dalam yang tidak sesuai dengan rencana awal.

Kolom :

K1 : 40X70

K2 : 40X60

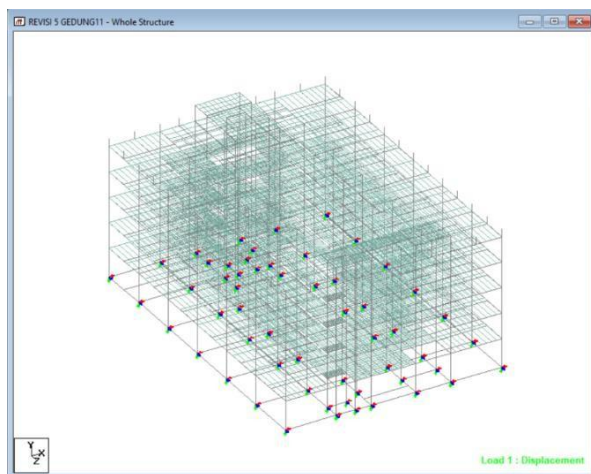
K3 : 40X40

K4 : 30X30

K5 : 15X20

Pemodelan struktur bawah pada penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak STAAD.Pro, yang merupakan salah satu software analisis dan desain struktur berbasis metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM) yang banyak digunakan dalam bidang rekayasa sipil. Dalam pemodelan ini, interaksi antara struktur pondasi dan tanah dimodelkan melalui penggunaan elemen per (spring supports) dengan nilai kekakuan yang mewakili sifat mekanik tanah di lokasi proyek.

Pemodelan Analisa Gedung 5 lantai dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Pemodelan struktur pada Staad.pro
[Sumber : Hasil Analisis ,2025]

Adapun nilai koefisien pegas tanah yang digunakan dalam pemodelan adalah sebesar 66.300 kN/m untuk arah horizontal (kfx) dan arah vertikal (kfz), serta 341.221,72 kN/m untuk arah lateral lainnya (kfy). Nilai-nilai tersebut dimasukkan sebagai parameter pegas pada titik-titik tumpuan pondasi untuk merepresentasikan respons tanah terhadap beban struktur. Perbedaan nilai kekakuan antar arah mencerminkan variasi kondisi geoteknik setempat, termasuk arah dominasi kekakuan dan distribusi tekanan tanah.

E. Hasil Analisis Respon Struktur Atas

Hasil analisis struktur atas berdasarkan data dari perangkat lunak STAAD.Pro serta evaluasi terhadap kestabilan struktur berdasarkan perbandingan antara gaya-gaya yang terjadi dengan kekakuan dukungan pegas (spring support) dari pondasi tiang pancang. Evaluasi dilakukan pada titik-titik kolom utama struktur yaitu K1, K2, dan K3. Pemilihan titik K1, K2, dan K3 dilakukan karena kolom-kolom tersebut merupakan bagian dari struktur utama bangunan yang memikul beban terbesar, baik secara vertikal maupun lateral. Selain itu, pada titik-titik tersebut juga diperoleh nilai gaya paling tinggi dari respons struktur atas berdasarkan hasil analisis STAAD.Pro, sehingga sangat representatif untuk dilakukan evaluasi keamanan terhadap ketidaksesuaian kedalaman pondasi dalam. Jumlah tiang

pancang di masing-masing titik juga disesuaikan berdasarkan kebutuhan struktur akibat perubahan kedalaman pondasi yang terjadi di lapangan. Pada respon struktur atas kolom utama pada struktur didapat hasil analisa pada Staad.pro dilihat pada **Tabel 3,4,5&6**.

| Beam | L/C | Node | Axial Force kN | Shear-Y kN | Shear-Z kN | Torsion kNm | Moment-Y kNm | Moment-Z kNm |
|------|-----|------|-------------------|---------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 138 | 3 | 95 | 1790.704 | 233.224 | 209.399 | 18.055 | 2078.510 | 4885.116 |
| 138 | 4 | 95 | 372.167 | 48.213 | 55.229 | 4.102 | 495.045 | 1125.000 |
| 138 | 1 | 29 | 128.045 | 503.704 | -27.733 | 536.483 | 58.461 | 1819.975 |
| 138 | 5 | 95 | 42.203 | 7.352 | 5.023 | 0.491 | 53.605 | 125.881 |
| 138 | 2 | 95 | 14.591 | 263.506 | -8.580 | 358.796 | -142.545 | -563.350 |
| 138 | 2 | 29 | -14.591 | -263.506 | 8.580 | -358.796 | 103.936 | -622.425 |
| 138 | 5 | 29 | -42.203 | -7.352 | -5.023 | -0.491 | -31.004 | -158.964 |
| 138 | 1 | 95 | -128.045 | -503.704 | 27.733 | -536.483 | 66.339 | 446.692 |
| 138 | 4 | 29 | -372.167 | -48.213 | -55.229 | -4.102 | -247.313 | -1341.959 |
| 138 | 3 | 29 | -1761.016 | -233.224 | -209.399 | -18.055 | -1136.212 | -5934.625 |

Tabel 3. Respon K1 (6 Tiang Pancang)

[Sumber : Hasil Analisis ,2025]

Berdasarkan hasil analisis tersebut pada K1 dengan jumlah 6 tiang pancang didapat hasil untuk *Axial Force* 1790.704 kN, *Shear-Y* 233.224k, *Shear-Z* 209.399k.

| Beam | L/C | Node | Axial Force kN | Shear-Y kN | Shear-Z kN | Torsion kNm | Moment-Y kNm | Moment-Z kNm |
|------|-----|------|-------------------|---------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 179 | 3 | 1 | 682.469 | -633.718 | -48.434 | -6.441 | -1133.528 | -4765.054 |
| 179 | 1 | 136 | 410.993 | -186.828 | -233.483 | -426.783 | -486.696 | 16.575 |
| 179 | 2 | 1 | 249.034 | 246.524 | -146.700 | -286.264 | 470.145 | 631.899 |
| 179 | 4 | 1 | 159.497 | -145.515 | -14.174 | -1.460 | -253.319 | -1085.055 |
| 179 | 5 | 1 | 18.343 | -17.003 | -1.056 | -0.174 | -30.446 | -126.539 |
| 179 | 5 | 136 | -18.343 | 17.003 | 1.056 | 0.174 | 35.196 | 50.025 |
| 179 | 4 | 136 | -159.497 | 145.515 | 14.174 | 1.460 | 317.101 | 430.238 |
| 179 | 2 | 136 | -249.034 | -246.524 | 146.700 | 286.264 | 190.095 | 477.462 |
| 179 | 1 | 1 | -410.993 | 186.828 | 233.483 | 426.783 | -563.979 | 824.151 |

Tabel 4. Respon K2 (3 Tiang Pancang)

[Sumber : Hasil Analisis ,2025]

Berdasarkan hasil analisis tersebut pada K2 dengan jumlah 3 tiang pancang didapat hasil untuk *Axial Force* 682.469 kN, *Shear-Y* 633.718kN, *Shear-Z* 233.483kN.

| Beam | L/C | Node | Axial Force kN | Shear-Y kN | Shear-Z kN | Torsion kNm | Moment-Y kNm | Moment-Z kNm |
|------|-----|------|-------------------|---------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 139 | 3 | 23 | 3578.873 | -510.220 | -107.222 | -28.674 | -1038.087 | -4285.421 |
| 139 | 4 | 23 | 835.803 | -120.466 | -29.081 | -6.495 | -229.312 | -980.639 |
| 139 | 1 | 96 | 394.188 | -318.179 | -254.839 | -421.372 | -548.371 | 283.740 |
| 139 | 5 | 23 | 96.325 | -13.510 | -2.714 | -0.764 | -27.768 | -113.545 |
| 139 | 2 | 96 | 16.271 | 152.705 | 172.710 | 279.875 | 267.333 | -319.233 |
| 139 | 2 | 23 | -16.271 | -152.705 | -172.710 | -279.875 | 509.863 | -367.938 |
| 139 | 5 | 96 | -96.325 | 13.510 | 2.714 | 0.764 | 39.981 | 52.751 |
| 139 | 1 | 23 | -394.188 | 318.179 | 254.839 | 421.372 | -598.402 | 1148.065 |
| 139 | 4 | 96 | -835.803 | 120.466 | 29.081 | 6.495 | 360.177 | 438.543 |
| 139 | 3 | 96 | -3553.426 | 510.220 | 107.222 | 28.674 | 1520.588 | 1989.431 |

Tabel 5. Respon K2 (4 Tiang Pancang)

[Sumber : Hasil Analisis ,2025]

Berdasarkan hasil analisis tersebut pada K2 dengan jumlah 4 tiang pancang didapat hasil untuk *Axial Force* 3578.873 kN, *Shear-Y* 510.220 kN, *Shear-Z* 254.839 kN.

| Beam | L/C | Node | Axial Force kN | Shear-Y kN | Shear-Z kN | Torsion kNm | Moment-Y kNm | Moment-Z kNm |
|------|-----|------|-------------------|---------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 164 | 3 | 121 | 406.594 | -28.256 | 64.604 | 4.840 | 1032.146 | 821.994 |
| 164 | 1 | 49 | -389.630 | 28.256 | -64.604 | -4.840 | -741.430 | -684.843 |
| 164 | 1 | 49 | 141.251 | -4.283 | -56.048 | 201.347 | 126.950 | 82.320 |
| 164 | 1 | 121 | -141.251 | 4.283 | 56.048 | -201.347 | 125.265 | -111.594 |
| 164 | 4 | 49 | -74.453 | 7.490 | -14.492 | -1.090 | -168.867 | -156.345 |
| 164 | 4 | 121 | 74.453 | -7.490 | 14.492 | 1.090 | 234.079 | 190.048 |
| 164 | 5 | 49 | -9.067 | 0.718 | -1.804 | -0.127 | -19.585 | -18.485 |
| 164 | 5 | 121 | 9.067 | -0.718 | 1.804 | 0.127 | 27.703 | 21.717 |
| 164 | 2 | 49 | -4.096 | 0.953 | 30.960 | -135.077 | 3.219 | 2.204 |
| 164 | 2 | 121 | 4.096 | -0.953 | -30.960 | 135.077 | -142.539 | 2.085 |

Tabel 6. Respon K3 (2 Tiang Pancang)

[Sumber : Hasil Analisis ,2025]

Berdasarkan hasil analisis tersebut pada K2 dengan jumlah 4 tiang pancang didapat hasil untuk *Axial Force* 406.594 kN, *Shear-Y* 28.256 kN, *Shear-Z* 64.604 kN.

Nilai ambang deformasi sebesar 10 mm digunakan sebagai batas keamanan berdasarkan praktik umum dalam teknik geoteknik. Batas ini berlaku untuk deformasi vertikal maupun lateral, khususnya pada struktur bertingkat yang memerlukan stabilitas dan kekakuan tinggi. Menurut Das (2010), deformasi pondasi yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan pada elemen struktural maupun non-struktural. Bowles (1988) juga menyatakan bahwa deformasi lebih dari 10 mm dapat mengganggu kinerja struktur secara keseluruhan. Oleh karena itu, nilai ini dianggap sebagai batas aman yang konservatif namun relevan dalam perencanaan pondasi bangunan bertingkat.

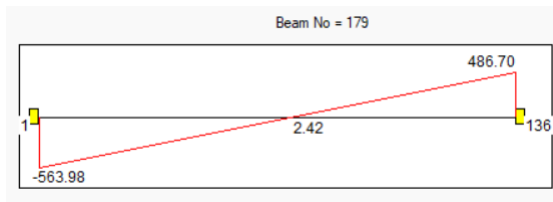
Perhitungan deformasi pada kolom K1 (6 tiang pancang) menggunakan rumus $\delta = F/k$ menghasilkan deformasi vertikal sebesar 0,875 mm, deformasi lateral arah X sebesar 1,27 mm, dan arah Z sebesar 0,53 mm. Seluruh nilai tersebut berada di bawah ambang batas 10 mm yang direkomendasikan Bowles (1988). Perhitungan deformasi pada kolom K2 (3 tiang pancang) menunjukkan deformasi vertikal sebesar 0,667 mm, deformasi lateral arah X sebesar 3,19 mm, dan arah Z sebesar 1,74 mm, berdasarkan rumus $\delta = F/k$. Semua nilai tersebut berada di bawah batas aman 10 mm sesuai rekomendasi Bowles (1988), sehingga pondasi K2 dinyatakan aman terhadap deformasi pada semua arah. Untuk kolom K2 (4 tiang pancang), perhitungan deformasi menggunakan rumus $\delta = F/k$ menghasilkan deformasi vertikal sebesar 2,62 mm, deformasi lateral arah X sebesar 1,93 mm, dan arah Z sebesar 0,96 mm. Seluruh nilai deformasi ini masih berada di bawah ambang batas aman 10 mm menurut Bowles (1988), sehingga pondasi K2 dinyatakan aman terhadap deformasi pada semua arah. Pada kolom K3 (2 tiang pancang), hasil perhitungan deformasi menggunakan rumus $\delta = F/k$ menunjukkan deformasi vertikal sebesar 0,596 mm, deformasi lateral arah X sebesar 0,213 mm, dan arah Z sebesar 0,487 mm. Seluruh nilai deformasi tersebut berada di bawah batas aman 10 mm menurut Bowles (1988), sehingga pondasi K3

dinyatakan aman terhadap deformasi dalam semua arah.

Berdasarkan hasil analisis deformasi pada seluruh elemen pondasi, baik pada kolom K1 (6 tiang pancang), K2 (3 dan 4 tiang pancang), maupun K3 (2 tiang pancang), seluruh nilai deformasi yang terjadi—baik vertikal maupun lateral—tercatat jauh di bawah batas ambang 10 mm yang direkomendasikan oleh Bowles (1988). Hal ini menunjukkan bahwa seluruh sistem pondasi yang dianalisis berada dalam kondisi layak dan aman secara deformasi, serta memenuhi kriteria stabilitas dan kenyamanan struktural yang dipersyaratkan untuk bangunan bertingkat. Dengan demikian, desain pondasi dapat dinyatakan memenuhi kelayakan teknis dari aspek deformasi tanah. Dalam perencanaan dan analisis struktur bangunan, kolom merupakan elemen vertikal penting yang berfungsi menyalurkan beban dari struktur atas ke pondasi. Meskipun secara ideal kolom direncanakan untuk menahan beban aksial (gaya tekan vertikal), namun dalam praktiknya, kolom sering juga menerima momen lentur akibat pengaruh beban lateral (seperti gempa atau angin), eksentrisitas beban, dan ketidaksempurnaan geometri struktur. Perhitungan kapasitas momen lentur balok mengacu pada SNI 2847:2019 Pasal 22.4 dan 22.5, dengan tahapan sebagai berikut. Pertama, tinggi blok tekan beton (a) dihitung menggunakan rumus: $a = (A_s \times f_y) / (0,85 \times f_c' \times b)$, di mana A_s adalah luas tulangan tarik (mm²), f_y adalah kuat leleh tulangan (MPa), f_c' adalah kuat tekan beton (MPa), dan b adalah lebar penampang (mm).

Selanjutnya, momen nominal (M_n) ditentukan dengan rumus: $M_n = A_s \times f_y \times (d - a/2)$, dengan d sebagai tinggi efektif penampang (mm). Terakhir, untuk kapasitas momen terfaktor dihitung dengan: $\phi M_n = 0,9 \times M_n$, dengan faktor reduksi kekuatan ϕ sebesar 0,9 sesuai standar untuk elemen lentur. Berdasarkan hasil analisis menggunakan perangkat lunak STAAD.Pro, nilai gaya maksimum akibat beban gempa pada sumbu X dan Z dapat dilihat pada gambar di bawah ini. Nilai tersebut mencerminkan respons struktur terhadap eksitasi gempa dalam dua arah utama dan menjadi acuan dalam evaluasi stabilitas serta

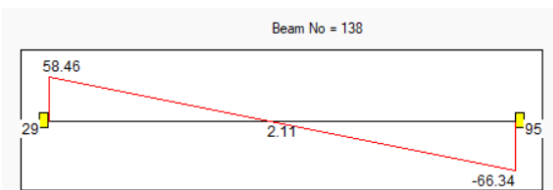
perencanaan elemen struktural yang terpengaruh langsung oleh gaya lateral.



Gambar 4. K1 *Shear Banding Y*

[Sumber: Hasil Penelitian,2025]

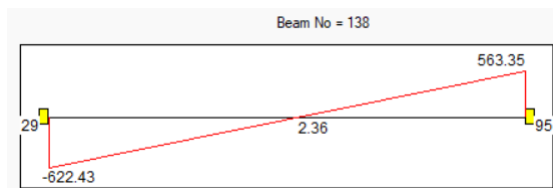
Perhitungan kapasitas momen lentur dilakukan berdasarkan SNI 2847:2019. Tinggi blok tekan beton diperoleh sebesar 233,88 mm. Dengan menggunakan rumus $M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$, diperoleh momen nominal sebesar 1.316,4 kNm. Setelah dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan lentur $\phi = 0,9$, diperoleh momen terfaktor sebesar $\phi M_n = 1.184,76$ kNm. Karena nilai gaya akibat gempa sebesar 66,34 kNm lebih kecil dari kapasitas momen lentur terfaktor, maka penampang dinyatakan aman terhadap momen lentur pada sumbu X.



Gambar 5. K1 *Shear Banding Z*

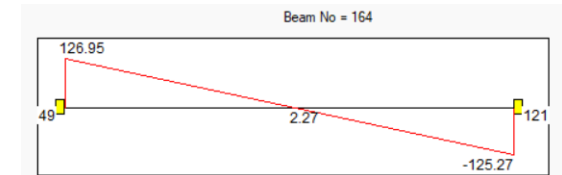
[Sumber : Hasil Penelitian,2025]

Perhitungan kapasitas momen lentur terhadap sumbu Z menghasilkan tinggi blok tekan beton $a = 133,6$ mm, dan momen nominal $M_n = 724,42$ kNm. Setelah dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan lentur $\phi = 0,9$, diperoleh kapasitas momen terfaktor sebesar 651,98 kNm. Karena nilai momen akibat gempa sebesar 622,43 kNm masih lebih kecil dari kapasitas tersebut, maka penampang dinyatakan aman terhadap momen lentur pada sumbu Z.



Gambar 6. K2 (1) *Shear Banding Y* [Sumber : Hasil Penelitian,2025]

Pada Kolom 2, tinggi blok tekan beton dihitung sebesar 210,5 mm, dan momen nominal (M_n) diperoleh sebesar 998,72 kNm. Setelah dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan lentur $\phi = 0,9$, diperoleh kapasitas momen terfaktor sebesar 898,85 kNm. Karena momen akibat beban gempa sebesar 563,979 kNm masih lebih kecil dari kapasitas tersebut, maka Kolom 2 dinyatakan aman terhadap momen lentur.

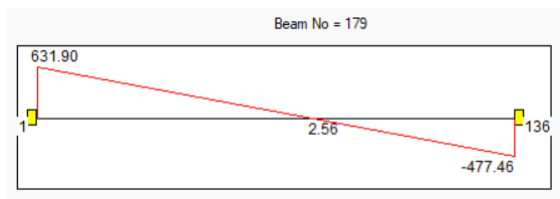


Gambar 7. K2 (1) *Shear Banding Z* [Sumber : Hasil Penelitian,2025]

Perhitungan kapasitas momen lentur menunjukkan tinggi blok tekan beton sebesar 140,31 mm, dengan momen nominal $M_n = 643,65$ kNm. Setelah dikalikan faktor reduksi $\phi = 0,9$, diperoleh momen terfaktor sebesar 579,29 kNm. Karena momen akibat beban gempa sebesar 631,899 kNm melebihi kapasitas tersebut, maka elemen struktur dinyatakan tidak aman terhadap momen lentur.

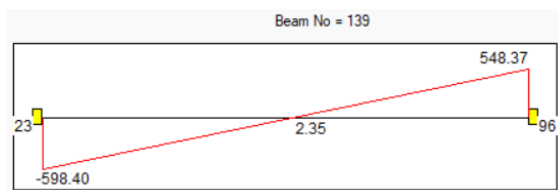
Berdasarkan hasil tersebut maka evaluasinya dilakukan perhitungan untuk penambahan tulangan agar mampu menahan momen gempa z dengan itu hasilnya yaitu, Setelah dilakukan penambahan tulangan menjadi 7600 mm², diperoleh tinggi blok tekan beton sebesar 208,24 mm dan momen nominal sebesar 848,44 kNm. Dengan faktor reduksi kekuatan lentur $\phi = 0,9$, kapasitas momen terfaktor meningkat menjadi 763,60 kNm. Karena nilai momen akibat beban gempa sebesar 631,899 kNm sudah berada di bawah kapasitas yang baru, maka elemen struktur dinyatakan aman terhadap momen lentur setelah penambahan tulangan. Hasil analisis menunjukkan kolom K2 menerima momen lentur $M_z = 62,29$ kNm akibat beban gempa arah sumbu Z. Penulangan awal (12 D16) dinilai belum cukup aman menahan beban tersebut, sehingga perlu peningkatan kapasitas lentur. Dengan 20 D22, kapasitas momen lentur kolom mencapai 809,32 kNm, jauh di atas beban gempa (62,29

kNm). Maka, kolom K2 AMAN terhadap lentur akibat gempa sumbu Z.



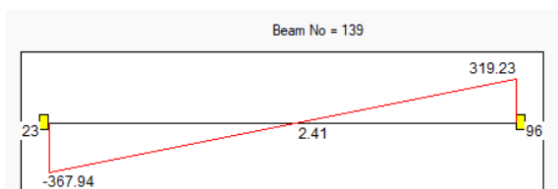
Gambar 8. K 2 (2) *Shear Banding Y*
[Sumber : Hasil Penelitian,2025]

Hasil perhitungan kapasitas momen lentur Kolom 2 menunjukkan bahwa tinggi blok tekan beton (a) sebesar 140,33 mm, menghasilkan momen nominal (M_n) sebesar 716,27 kNm. Setelah dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan lentur $\phi=0,9$ diperoleh momen terfaktor sebesar 644,64 kNm. Karena nilai momen akibat pembebanan sebesar 598,40 kNm lebih kecil dari kapasitasnya, maka elemen struktur dinyatakan aman terhadap lentur.



Gambar 9. K2 (2) *Shear Banding Z*
[Sumber : Hasil Penelitian,2025]

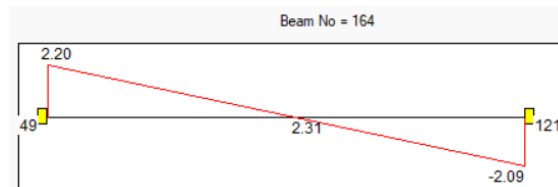
Pada Kolom 2 arah sumbu Z, hasil analisis menunjukkan momen gempa sebesar 367,94 kNm, sementara kapasitas momen lentur terfaktor (ϕM_n) yang dihitung sebesar 401,89 kNm. Karena nilai momen yang bekerja lebih kecil dari kapasitas lenturnya, maka Kolom 2 dinyatakan aman terhadap lentur pada arah tersebut. Evaluasi ini mengonfirmasi bahwa dimensi dan penulangan kolom masih mencukupi dalam menahan beban gempa lateral.



Gambar 10. K3 *Shear Banding Y* [Sumber: Hasil Penelitian,2025]

Pada Kolom 3, momen lentur akibat gempa sumbu Y sebesar 126.95 kNm. Hasil

perhitungan menunjukkan kapasitas momen lentur terfaktor (ϕM_n) sebesar 275.95 kNm. Karena nilai momen gempa lebih kecil dari kapasitas lenturnya ($126.95 < 275.95$ kNm), maka kolom dinyatakan aman terhadap beban gempa pada sumbu Y.



Gambar 11. K3 *Shear Banding Z*
[Sumber : Hasil Penelitian,2025]

Pada Kolom 3, momen lentur akibat gempa sumbu Z sebesar 2,20 kNm. Kapasitas momen lentur terfaktor berdasarkan perhitungan adalah 275,95 kNm. Karena nilai momen gempa jauh lebih kecil dari kapasitas lenturnya ($2,20 < 275,95$ kNm), maka kolom dinyatakan aman terhadap beban gempa pada sumbu Z.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Ketidaksesuaian (DED) dengan kondisi aktual dilapangan menyebabkan fragmentasi pada lapisan penyangga. Hal ini dipicu oleh berbagai faktor teknis, seperti perubahan sifat tanah, keterbatasan peralatan, dan perlunya penyesuaian perhitungan, serta faktor non-teknis seperti keterbatasan anggaran, tekanan waktu, dan miskomunikasi antar pihak terkait.
2. Ketidaksesuaian kedalaman pondasi memengaruhi kekakuan pondasi, namun deformasi pada titik K1, K2, dan K3 tetap di bawah batas elastis 10 mm, sehingga struktur atas masih aman jika dilakukan penyesuaian kekuatan.
3. Kolom K2 mengalami momen gempa Z melebihi kapasitas awal ($631,90 > 579,29$ kNm), namun setelah penambahan tulangan menjadi 20D22, kapasitas meningkat menjadi 809,32 kNm dan dinyatakan aman. Penyesuaian struktur atas diperlukan saat elevasi pondasi berubah.

B. Saran

Berdasarkan hasil pengamatan langsung di lapangan, penulis memberikan beberapa rekomendasi untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Penyesuaian lapisan pondasi pada area pembebanan yang dilakukan dengan mengevaluasi ulang kekakuan pondasi (K_{fy} , K_{fx} , K_{fz}) untuk menjaga kestabilan struktur atas dan mencegah kerusakan. Model STAAD.Pro dapat digunakan dalam hal merepresentasikan kondisi aktual dan memastikan efektivitas sistem penyangga fleksibel.
2. Nilai deformasi struktural ≤ 10 mm dijadikan acuan batas aman, baik dalam tahap desain maupun saat dilakukan penyesuaian di lapangan, guna menjamin stabilitas dan kinerja struktur terhadap beban yang bekerja.
3. Jika hasil analisis menunjukkan elemen seperti kolom tidak memenuhi kapasitas (misalnya K_2), maka perlu dilakukan peningkatan kekuatan melalui penambahan tulangan atau perubahan dimensi agar tetap memenuhi syarat desain dan standar keselamatan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Adma, Ahmad, Phelia (2020). Penelitian tentang kapasitas tiang pancang dalam proyek pembangunan jetty. Jurnal Sendi. Vol(1), 7-14
- Afriyanto, "studi perbandingan metode yang berbeda dalam perencanaan pondasi tiang pancang untuk proyek apartemen The Frontage Surabaya." Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017
- Aisah dan F. Dhiniati, "Analisis Kapasitas Daya Dukung Pondasi Dangkal berdasarkan Teori Terzaghi dan Mayerhof," *Konstruksia*, vol. 15, no. 1, hlm. 127, Des. 2023, doi: 10.24853/jk.15.1.127-136.
- Annizaar, "perencanaan pondasi tiang pancang dan tiang bor untuk pembuatan abutment jembatan Labuhan Madura," *J. Mhs. Jur.Tek. Sipil*, vol. 1, no. 2, hlm. Pp-487, 2015.
- Cahyo, "perhitungan perencanaan struktur gedung beton bertulang di Jalan Ahmad

- Yani Pontianak. " Universitas Tanjungpura, 2010.
- Candra, A. Yusuf, dan A. R. F, "analisis daya dukung pondasi tiang dalam pembangunan gedung LP3M Universitas Kadiri," *Civilla*, vol. 3, no. 2, hlm. 166–171, 2018.
- Dasilva, "perancangan struktur bangunan tahan gempa untuk gedung perkantoran tujuh lantai Komisi Pemilihan Nasional Timor Leste. " Tugas Akhir, Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Narotama, 2015.
- Kurniadi, I. F. Rosyidin, H. Indarto, dan I. D. Atmono, "desain struktur slab on pile," *J. Karya Tek. Sipil*, vol. 4, no. 4, hlm. 57–68, 2015.
- Nofitri, I. Farni, dan I. Khaidir, "perancangan pondasi tiang pancang untuk gedung Kejaksaan Tinggi Sumatera Barat," *Abstrak. Penelitian Sarjana, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Bung Hatta*, vol. 1, no. 1, 2015.
- Prasetyo, A. Misela, M. Khofifah, A. K. Damayanti, dan H. Farichah, "Dampak Beban Eksentrik terhadap Daya Dukung Pondasi Persegi pada Tanah Liat. "
- Purnomo, L. D. Krisnawati, dan Y. C. S. Purnomo, "studi mengenai jembatan Kecamatan Sendang (ruas jalan Tugu-Pabyongan) Kabupaten Tulungagung dengan pendekatan komposit," *J. Manaj. Teknol. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 1, hlm. 112–125, 2018.
- Purwanto, M. T. Prayogy, I. Nurhuda, dan P. Sabdono, "perencanaan struktur bangunan Hotel Horison Pekalongan," *J. Karya Tek. Sipil*, vol. 2, no. 2, hlm. 291–297, 2013.
- Putra, I. B. G. Indramanik, dan I. M. Sudarma, "perbandingan analisis struktur antara pondasi bore pile dengan pondasi tiang pancang," *J. Tek. Gradien*, vol. 8, no. 2, hlm. 15–30, 2016.
- Randyanto, J. E. R. Sumampouw, dan S. Balamba, "analisis daya dukung tiang pancang dengan metoda statik dan calendring pada kasus proyek

pembangunan Manado Town Square 3," J. Sipil Statik, vol. 3, no. 9, 2015.

Rawung, J. E. R. Sumampouw, dan O. B. A. Sompie, "Analisis Pengaruh Beban Lateral Eksentris terhadap Kapasitas Tiang Pancang Tunggal Vertikal pada Tanah Pasir.

Homogen," Jurnal Sipil Statik, vol. 8, no. 6, hlm. 871–882, 2020.

Setiyono, "perencanaan pondasi tiang pancang untuk Gedung Rusunawa Universitas Pembangunan Nasional 'Veteran' Jawa Timur," Tugas Akhir Universitas Pembangunan Nasional 'Veteran' Jawa Timur, 2012.

Sigit, N. Carlo, dan L. Utama, "perencanaan pondasi bored pile pada proyek rekonstruksi gedung Kejaksaan Tinggi Sumatera Barat," Abstrak. Penelitian Sarjana, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Bung Hatta, vol. 2, no. 2, 2016.

Siliwangi, F. R. Pratomo, S. P. Rw, dan S. Hardiyati, "perancangan pondasi tiang pancang untuk dermaga packing plant Banjarmasin–Kalimantan Selatan," J. Karya Tek. Sipil, vol. 3, no. 1, hlm. 270–282, 2014. Standar Nasional Indonesia 1726:2019, Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung.

Tambunan, "analisis daya dukung pondasi tiang pancang," J. Ranc. Sipil, vol. 1, no. 1, hlm. 21–30, 2012.