

**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 Prayogo<sup>1)</sup> Arief Alihudien<sup>2)</sup> Muhtar<sup>3)</sup>**

<sup>1)</sup>Mahasiswa Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember  
email: [prasetyoep799@gmail.com](mailto:prasetyoep799@gmail.com)

<sup>2)</sup>Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember  
email: [ariefalihudien@ymail.com](mailto:ariefalihudien@ymail.com)

<sup>3)</sup>Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember  
email: [muhtar.barra@gmail.com](mailto: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 ( $\leq 10$  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 ( $\leq 10$  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]

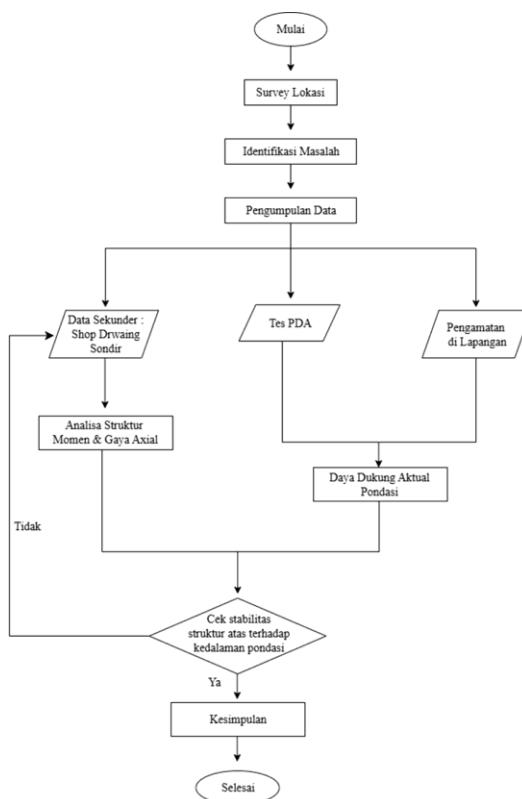
### B. Data Penelitian

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 rangkaian 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 $S_u$ (kPa)	Keterangan	Tambahan	arah vertikal 66.300 kN/m untuk arah horizontal (kfx) dan kN/m untuk arah lateral lainnya (kfy).
					66.300 kN/m untuk arah horizontal (kfx) dan kN/m untuk arah lateral lainnya (kfy).
SA	>1500	N/A	N/A	Batuhan keras	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
SB 1500	750 – 50	N/A	N/A	Batuhan	
SC	350 – 750	50	Batuhan lunak $\geq 100$	Tanah keras	
SD	175 – 350	5 – 50		Tanah sedang	
SE	<175	15	<50	Tanah lunak	
Tanah				organik, terhadap perilaku deformasi pondasi pada kondisi pembebahan yang dianalisis pada Staad.pro.	
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 realistik, baik vertikal (Kfy) maupun lateral (Kfx dan Kfz). 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 Luas
Penampang A-A	0,1256	$m^2$ Modulus elastisitas
Beton	30	MPa
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 pemodelan adalah sebesar

### D. Model Analisis Struktur Atas

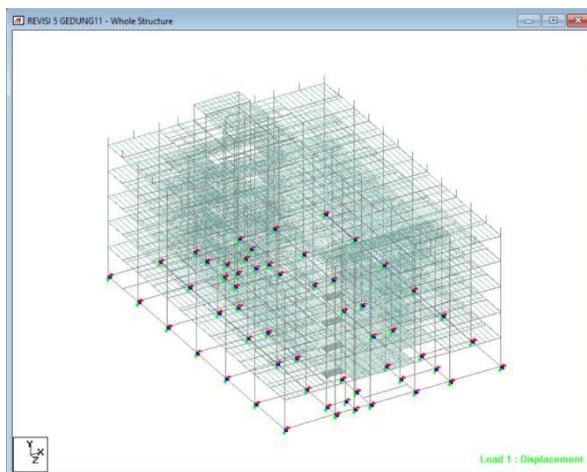
Model struktur yang dianalisis dalam penelitian ini merupakan bangunan gedung lima lantai yang difungsikan sebagai fasilitas pendidikan, dengan sistem struktur rangka beton bertulang. Pemodelan dilakukan berdasarkan kondisi aktual di lapangan, termasuk penggunaan data geometrik, dimensi elemen struktural,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

REVISI 5 GEDUNG11 - Beam End Force									
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	495.845	1125.000	
138	1	29	128.045	503.704	-37.733	536.483	58.481	1819.875	
138	5	95	42.203	7.352	5.023	0.491	53.605	125.881	
138	2	95	14.591	263.508	-8.580	358.798	-142.545	-563.350	
138	2	29	-14.591	-263.508	8.580	-358.798	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.

REVISI 5 GEDUNG11 - Beam End Force									
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	-166.828	-233.483	-426.783	-466.696	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	190.005	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.

REVISI 5 GEDUNG11 - Beam End Force									
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	-1038.057	-4285.421	
139	4	23	835.803	-120.466	-29.081	-6.495	-229.312	-980.839	
139	1	96	394.188	-318.178	-254.833	-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	318.178	254.833	421.372	-598.402	1148.065	
139	4	96	-835.803	120.466	29.081	6.495	360.177	438.543	
139	3	96	-3535.426	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.

REVISI 5 GEDUNG11 - Beam End Force									
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	64.804	4.840	1022.446	821.994	
164	3	49	-389.830	28.256	-64.804	-4.840	-741.430	-694.843	
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	7.499	-14.492	1.090	-168.867	-156.345	
164	4	121	-74.453	-7.499	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 dinyatakan aman terhadap deformasi dalam semua dengan jumlah 4 tiang pancang didapat hasil untuk arah.

*Axial Force* 406.594 kN, *Shear-Y* 28.256 kN, *Shear-Z* 64.604 kN. Berdasarkan hasil analisis deformasi pada seluruh elemen pondasi, baik pada kolom K1 (6 tiang

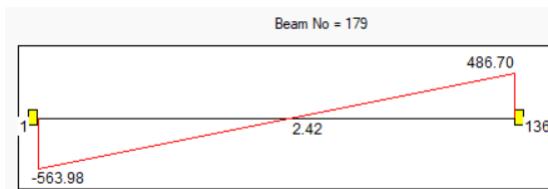
Nilai ambang deformasi sebesar 10 mm digunakan pancang), K2 (3 dan 4 tiang pancang), maupun K3 sebagai batas keamanan berdasarkan praktik umum (2 tiang pancang), seluruh nilai deformasi yang dalam teknik geoteknik. Batas ini berlaku untuk terjadi—baik vertikal maupun lateral—tercatat deformasi vertikal maupun lateral, khususnya pada jauh di bawah batas ambang 10 mm yang struktur bertingkat yang memerlukan stabilitas dan direkomendasikan oleh Bowles (1988). Hal ini kekakuan tinggi. Menurut Das (2010), deformasi menunjukkan bahwa seluruh sistem pondasi yang pondasi yang berlebihan dapat menyebabkan dianalisis berada dalam kondisi layak dan aman kerusakan pada elemen struktural maupun non- secara deformasi, serta memenuhi kriteria struktural. Bowles (1988) juga menyatakan bahwa stabilitas dan kenyamanan struktural yang deformasi lebih dari 10 mm dapat mengganggu dipersyaratkan untuk bangunan bertingkat. kinerja struktur secara keseluruhan. Oleh karena Dengan demikian, desain pondasi dapat itu, nilai ini dianggap sebagai batas aman yang dinyatakan memenuhi kelayakan teknis dari aspek konservatif namun relevan dalam perencanaan deformasi tanah. Dalam perencanaan dan analisis pondasi bangunan bertingkat.

struktur bangunan, kolom merupakan elemen Perhitungan deformasi pada kolom K1 (6 tiang vertikal penting yang berfungsi menyalurkan pancang) menggunakan rumus  $\delta = F/k$  beban dari struktur atas ke pondasi. Meskipun menghasilkan deformasi vertikal sebesar 0,875 secara ideal kolom direncanakan untuk menahan mm, deformasi lateral arah X sebesar 1,27 mm, beban aksial (gaya tekan vertikal), namun dalam dan arah Z sebesar 0,53 mm. Seluruh nilai tersebut praktiknya, kolom sering juga menerima momen berada di bawah ambang batas 10 mm yang lentur akibat pengaruh beban lateral (seperti direkomendasikan Bowles (1988), Perhitungan gempa atau angin), eksentrisitas beban, dan deformasi pada kolom K2 (3 tiang pancang) ketidaksempurnaan geometri struktur. Perhitungan menunjukkan deformasi vertikal sebesar 0,667 kapasitas momen lentur balok mengacu pada SNI mm, deformasi lateral arah X sebesar 3,19 mm, 2847:2019 Pasal 22.4 dan 22.5, dengan tahapan dan arah Z sebesar 1,74 mm, berdasarkan rumus  $\delta$  sebagai berikut. Pertama, tinggi blok tekan beton =  $F/k$ . Semua nilai tersebut berada di bawah batas (a) dihitung menggunakan rumus:  $a = (As \times fy) / aman 10 mm sesuai rekomendasi Bowles (1988), (0,85 \times fc'$

sehingga pondasi K2 dinyatakan aman terhadap  $\times b$ , di mana As adalah luas tulangan tarik ( $mm^2$ ), deformasi pada semua arah. Untuk kolom K2 (4 fy adalah kuat leleh tulangan (MPa), fc' adalah tiang pancang), perhitungan deformasi kuat tekan beton (MPa), dan b adalah lebar menggunakan rumus  $\delta = F/k$  menghasilkan penampang (mm).

deformasi vertikal sebesar 2,62 mm, deformasi Selanjutnya, momen nominal ( $M_n$ ) ditentukan lateral arah X sebesar 1,93 mm, dan arah Z sebesar dengan rumus:  $M_n = As \times fy \times (d - a/2)$ , dengan d 0,96 mm. Seluruh nilai deformasi ini masih berada sebagai tinggi efektif penampang (mm). Terakhir, di bawah ambang batas aman 10 mm menurut untuk kapasitas momen terfaktor dihitung Bowles (1988), sehingga pondasi K2 dinyatakan dengan:  $\phi M_n = 0,9 \times M_n$ , dengan faktor reduksi aman terhadap deformasi pada semua arah. Pada kekuatan  $\phi$  sebesar 0,9 sesuai standar untuk elemen kolom K3 (2 tiang pancang), hasil perhitungan lentur. Berdasarkan hasil analisis menggunakan deformasi menggunakan rumus  $\delta = F/k$  perangkat lunak STAAD.Pro, nilai gaya menunjukkan deformasi vertikal sebesar 0,596 maksimum akibat beban gempa pada sumbu X dan mm, deformasi lateral arah X sebesar 0,213 mm, Z dapat dilihat pada gambar di bawah ini. Nilai dan arah Z sebesar 0,487 mm. Seluruh nilai tersebut mencerminkan respons struktur terhadap deformasi tersebut berada di bawah batas aman 10 eksitasi gempa dalam dua arah utama dan menjadi mm menurut Bowles (1988), sehingga pondasi acuan dalam evaluasi stabilitas serta K3

perencanaan elemen struktural yang terpengaruh langsung oleh gaya lateral.

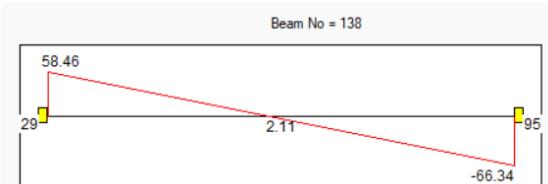


**Gambar 4.** K1 Shear Banding Y

[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  $M_n = A_s f_y \cdot (d - a) M_n = A_s M_n = A_s f_y \cdot (d - 2a)$ , 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.  $M_n = 1.184,76$  kNm  $\phi M_n = 1.184,76$  kNm.

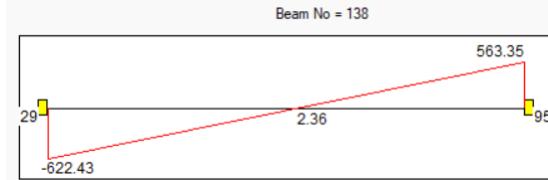
Karena nilai gaya akibat gempa sebesar 66,34 kNm lebih kecil dari kapasitas momen lentur terfaktor, maka penampang dinyatakan aman terhadap momen lentur pada sumbu X.



**Gambar 5.** K1 Shear Banding Z

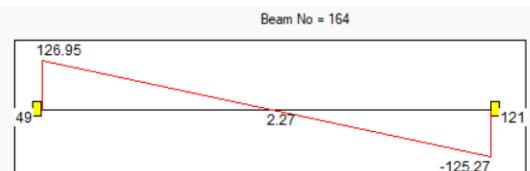
[Sumber : Hasil Penelitian,2025]

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.

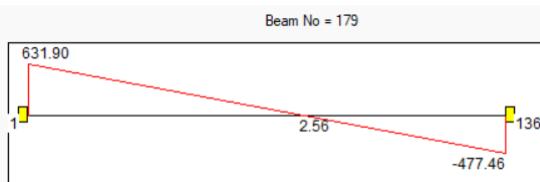


**Gambar 7.** K2 (1) Shear Banding Z [Sumber : Hasil Penelitian,2025]

Perhitungan kapasitas momen lentur menunjukkan tinggi blok tekan beton sebesar 140,31 mm, dengan momen nominal  $M_n M_n M_n$  sebesar 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 mm<sup>2</sup>, 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

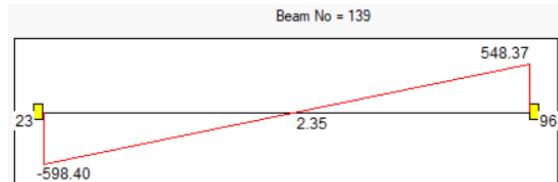
kNm). Maka, kolom K2 AMAN terhadap lentur akibat gempa sumbu Z.



**Gambar 8.** K 2 (2) *Shear Banding Y*

[Sumber : Hasil Penelitian,2025]

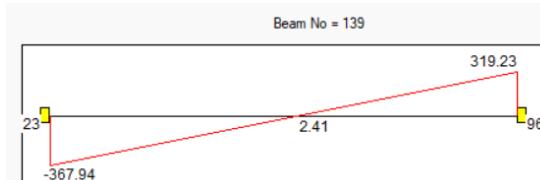
Hasil perhitungan kapasitas momen lentur Kolom 2 menunjukkan bahwa tinggi blok tekan beton (a) sebesar 140,33 mm, menghasilkan momen nominal (Mn) sebesar 716,27 kNm. Setelah dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan lentur  $\phi=0,9$  diperoleh momen terfaktor sebesar 644,64 kNm. Karena nilai momen akibat pembebahan 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]

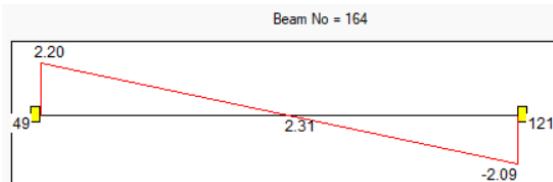
Pada Kolom 2 arah sumbu Z, hasil analisis menunjukkan momen gempa sebesar 367,94 kNm, sementara kapasitas momen lentur terfaktor ( $\phi M_n$ ) yang dihitung sebesar 401,89 kNm. Karena nilai momen yang bekerja lebih kecil dari kapasitas lenturnya, maka Kolom 2 dinyatakan aman terhadap lentur pada arah 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 ( $\phi M_n$ ) 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 (Kfy, Kfx, Kfz) 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  $\leq 10$  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 K2), 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. Khadir, "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.