

PENGARUH LETAK BRACING PADA MENARA AIR 5000 LITER TERHADAP P-DELTA

Rita Anggrainy^{1*}, Teddy Irawan², Ria Zulfiati³

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palembang

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Batanghari Jambi

*E-mail : rita.dokument@gmail.com

Abstract

An unstable structure will undergo significantly greater deformation under loading compared to a stable structure. To enhance stability, one common method is the incorporation of a bracing system (structural reinforcement elements). Bracing helps resist vertical loads such as gravity, as well as horizontal or lateral forces such as earthquake loads, thereby reducing the potential for excessive vibration or sway in the building. The water tower, which functions as a storage structure, was analyzed using three bracing configuration models through structural analysis. The P-Delta effect in Model Type 1 reached 1.74 mm, while the minimum value was observed in Model Type 2 at 0.83 mm. In contrast, Model Type 3 showed a non-optimal P-Delta value of 1.52 mm. These variations occurred due to the influence of the different bracing arrangements. Model Type 2 demonstrated the most optimal P-Delta performance among the three configurations.

Keywords : Water Tower, Load, P-Delta

1. PENDAHULUAN

Salah satu faktor yang dapat menyebabkan kegagalan atau keruntuhan bangunan adalah ketidakstabilan struktur. Dalam proses perancangan, aspek kestabilan merupakan prinsip fundamental yang wajib dipenuhi pada semua tipe bangunan, termasuk bangunan bertingkat. Struktur yang tidak stabil akan mengalami deformasi yang jauh lebih besar ketika menerima beban dibandingkan dengan struktur yang stabil. Untuk meningkatkan kestabilan, salah satu metode yang umum diterapkan adalah menambahkan sistem *bracing* (elemen pengaku). *Bracing* memiliki peran penting dalam meningkatkan kekuatan serta kekakuan suatu struktur. Elemen ini bekerja dengan cara menahan berbagai jenis gaya yang bekerja pada bangunan. Pada arah vertikal, *bracing* membantu menahan beban gravitasi dari berat sendiri. Sementara pada arah horizontal atau lateral, *bracing* berfungsi menahan gaya-gaya yang timbul akibat pengaruh luar, seperti dorongan angin dan terutama gaya gempa yang dapat menggerakkan bangunan secara mendadak.

Dengan adanya sistem *bracing*, struktur memperoleh kemampuan yang lebih baik dalam menjaga keseimbangannya, sehingga dapat meminimalkan terjadinya getaran berlebihan, pergeseran, atau deformasi yang dapat membahayakan kestabilan keseluruhan bangunan. Penerapan *bracing* juga bertujuan terjadinya gempa, beban lateral yang bekerja pada struktur tidak hanya dipikul oleh balok dan kolom, tetapi turut disalurkan dan ditahan oleh sistem *bracing* (Rienanda dkk, 2019).

Dalam merancang bangunan pada wilayah dengan aktivitas seismik tinggi, struktur harus direncanakan sedemikian rupa agar mampu menahan gaya lateral tanpa mengalami kegagalan, meskipun kerusakan non-struktural masih dapat ditoleransi. Prinsip ini diterapkan untuk memastikan keselamatan penghuni ketika gempa terjadi. Bangunan bertingkat harus memiliki kapasitas memikul beban vertikal akibat gravitasi sekaligus beban lateral yang berasal dari gempa maupun angin. Gaya dari gempa yang bekerja gaya lateral menyebabkan gedung mengalami pergerakan menyamping. Tingkat pergerakan tersebut dapat diidentifikasi melalui nilai

simpangan horizontal semakin besar simpangannya, semakin besar pula respons goyangan struktur (Sutama dkk, 2024). Untuk meminimalkan respons goyangan pada struktur baja di wilayah dengan intensitas gempa tinggi, diperlukan penggunaan sistem *bracing* sebagai elemen pengaku tambahan (Mahadewi dan Khatulistiwi, 2021).

Gempa bumi yang terjadi di Indonesia sering menyebabkan jatuhnya korban jiwa serta menimbulkan kerusakan signifikan pada bangunan maupun berbagai aset material. Dampak tersebut perlu diminimalkan karena bangunan pada dasarnya merupakan ruang hunian yang seharusnya memberikan rasa aman bagi penggunanya. Untuk menekan kemungkinan terjadinya korban jiwa, sangat penting merancang struktur bangunan yang mampu menahan pengaruh gaya seismik. Struktur yang memiliki ketahanan memadai terhadap beban gempa akan tetap berdiri dalam periode tertentu, meskipun mungkin mengalami kerusakan. Kondisi ini memberikan waktu yang cukup bagi penghuni untuk melakukan evakuasi secara aman sebelum kemungkinan terburuk terjadi. Dengan demikian, perencanaan struktur tahan gempa menjadi komponen krusial dalam upaya mitigasi bencana di wilayah rawan guncangan (Afrizal dkk, 2025).

Kondisi geologis Indonesia menjadi faktor terjadinya gempa bumi di wilayah Indonesia. Peristiwa gempa sering menyebabkan banyak korban jiwa, yang umumnya bukan disebabkan langsung oleh guncangan gempa, melainkan oleh runtuhnya bangunan yang tidak mampu menahan beban gempa tersebut. Secara nasional, Indonesia dibagi menjadi enam wilayah kegempaan, di mana zona 1 memiliki tingkat aktivitas seismik paling rendah, sedangkan zona 6 memiliki potensi kegempaan tertinggi. Tingginya aktivitas gempa menuntut perencanaan struktur bangunan yang mempertimbangkan perilaku dinamis akibat getaran gempa. Beban dinamis dari gempa bersifat acak dan sulit diprediksi, sehingga dapat menimbulkan simpangan pada bangunan (Pandaleke dan Dapas, 2019).

Salah resiko bangunan tinggi adalah gempa. Kondisi lempeng tektonik serta banyaknya gunung berapi aktif, sehingga aktivitas seismik terjadi cukup sering.

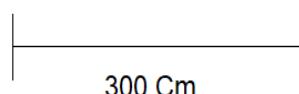
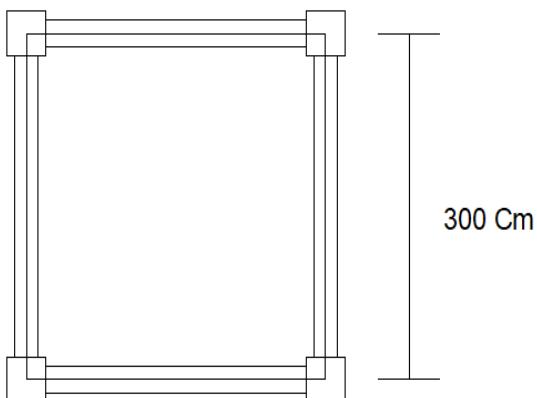
Meskipun demikian, kebutuhan akan bangunan bertingkat tinggi yang aman terhadap dampak gempa tetap harus dipenuhi. Salah satu pendekatan untuk meningkatkan kinerja seismik gedung adalah dengan memasang elemen baja pengaku atau *bracing* tipe konsentrik pada sistem struktur. Penggunaan *bracing* ini dapat mengurangi simpangan horizontal (*displacement*) serta meningkatkan kapasitas gaya geser pada lantai dasar (*base shear*). Dengan demikian, risiko terjadinya retak balok kolom yang dapat mengarah pada kegagalan struktur dapat diminimalkan (Aryandi dan Herbudiman, 2017).

Kerawanan gempa yang sangat tinggi. Kondisi geografis ini mengharuskan setiap bangunan, terutama gedung bertingkat tinggi, dirancang dengan mempertimbangkan efek gaya lateral. Struktur bertingkat secara inheren lebih peka terhadap gaya horizontal karena tinggi bangunan memperbesar momen dan simpangan yang dapat terjadi akibat angin maupun gempa. Untuk meningkatkan kemampuan struktur dalam menahan gaya lateral tersebut, para perencana umumnya menambahkan elemen struktural khusus. Dinding geser (*shear wall*) berfungsi meningkatkan kekakuan lateral sehingga gedung menjadi lebih kaku dan tidak mudah mengalami simpangan besar. Sementara itu, sistem bresing (*bracing*) bekerja dengan mengalihkan gaya lateral menjadi gaya aksial pada batang diagonalnya, sehingga distribusi beban gempa menjadi lebih efisien. Walaupun keduanya sama-sama berperan sebagai elemen penahan gempa, respons dan mekanisme kerja kedua sistem tersebut berbeda, sehingga tidak dapat langsung disamakan dalam hal kinerjanya. Melalui analisis ini, perilaku struktur saat mengalami peningkatan beban lateral secara bertahap dapat diobservasi, termasuk bagaimana pola keruntuhan terjadi (Hutaeaean dan Aswandy, 2016).

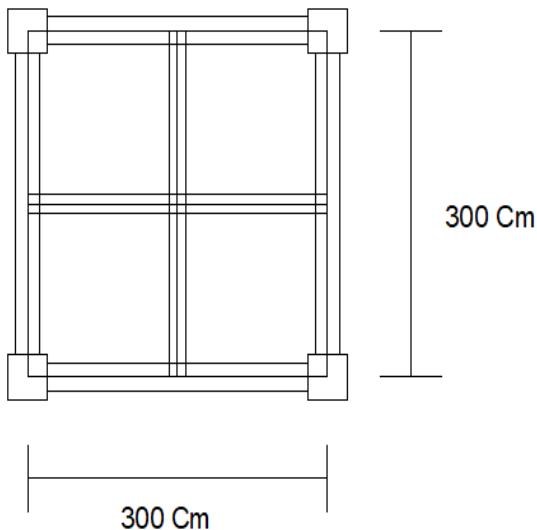
Berdasarkan uraian diatas maka fungsi dari *bracing* sebagai pengaku struktur diharapkan dapat membuat struktur menara air lebih stabil, maka dibuatlah 3 pemodelan dimana pengaruh dari letak *bracing* yang paling efektif dalam membuat struktur lebih stabil dan dapat mengurangi *P-Delta* yang terjadi.

2. METODOLOGI

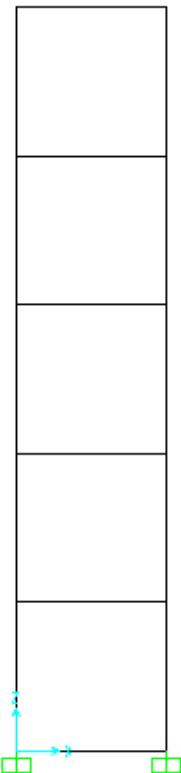
Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bentuk pemodelan bangunan menara air pada Gambar 1-5. Dimana tipe menara air 1 tidak menggunakan *bracing*. Menara air tipe 2 menggunakan *bracing* menyilang di sisi luar struktur. Sedangkan tipe 3 menggunakan *bracing* menyilang tapi di dalam struktur bangunan. Dengan 3 pemodelan ini diharapkan dapat diketahui mana yang lebih efektif dalam menahan pengaruh *P-Delta*.



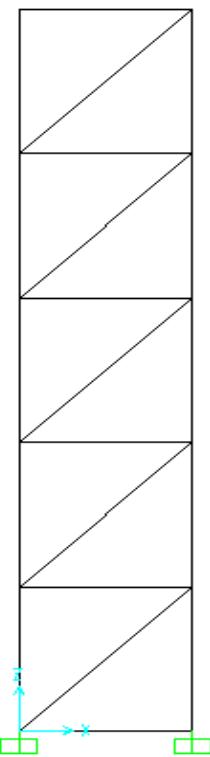
Gambar 1. Denah tampak lantai 1



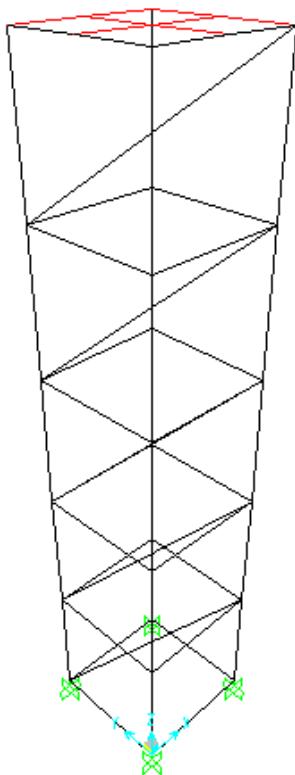
Gambar 2. Denah plat lantai atas



Gambar 3. Menara air tipe 1



Gambar 4. Menara air tipe 2



Gambar 5. Menara air tipe 3

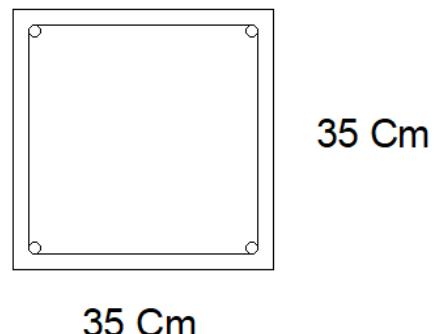
Tabel 1 menampilkan rangkuman informasi penting yang menggambarkan karakteristik utama dari struktur bangunan yang sedang dikaji. Di dalam tabel tersebut tercantum berbagai parameter konstruksi, seperti panjang bentang setiap elemen struktural, ketinggian keseluruhan bangunan, serta jenis material yang digunakan sebagai komponen penyusun. Selain itu, tabel tersebut juga mencantumkan mutu beton yang menjadi acuan perencanaan, beserta ukuran atau dimensi balok dan kolom yang membentuk kerangka utama bangunan. Informasi mengenai lokasi bangunan juga disertakan, karena faktor lingkungan dan kondisi geografis dapat mempengaruhi perhitungan beban maupun pertimbangan desain lainnya.

Adapun Gambar 6, 7, dan 8 memberikan visualisasi lebih terperinci mengenai elemen struktural yang digunakan pada menara air tersebut. Gambar-gambar tersebut memuat ukuran lengkap dari balok, kolom, dan elemen *bracing*, sehingga pembaca dapat memahami konfigurasi serta proporsi masing-masing komponen secara lebih jelas. Melalui ilustrasi ini, hubungan antar elemen struktural dapat dilihat dengan lebih detail, membantu memperjelas bagaimana sistem rangka bangunan dirancang

untuk mencapai kekuatan, kestabilan, dan keamanan yang diperlukan.

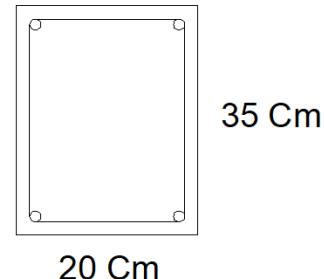
Tabel 1. Data struktur menara air

Data	Keterangan
Bentang	300 cm
Tinggi Perlantai	300 cm
Tebal Plat lantai	12 cm
Material	Beton Bertulang
Mutu Beton (f_c')	250 MPa
Balok (Dimensi)	25 cm x 35 cm
Kolom (Dimensi)	35 cm x 35 cm
Dimensi <i>Bracing</i>	20 cm x 20 cm
Ketinggian Lantai	15 m
Lokasi Bangunan	Palembang



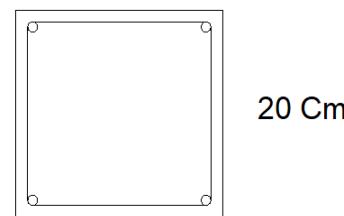
35 Cm

Gambar 6. Dimensi kolom menara air



35 Cm

Gambar 7. Dimensi balok menara air



20 Cm

Gambar 8. Dimensi *bracing*

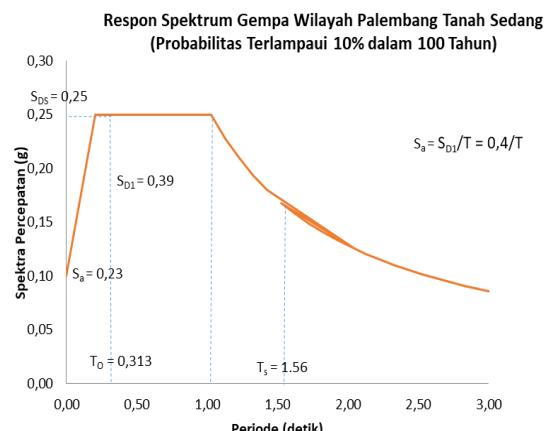
Tabel 2 menampilkan kumpulan data yang digunakan sebagai dasar dalam melakukan analisis beban gempa. Data tersebut merupakan parameter-parameter yang diperlukan untuk menjalankan

perhitungan menggunakan metode respons spektrum. Melalui tabel ini, dapat dilihat nilai-nilai *input* yang dibaca dan dimasukkan ke dalam proses analisis, seperti karakteristik gempa rencana, parameter percepatan, serta nilai-nilai lain yang berkaitan dengan kondisi lokasi dan properti struktur. Informasi tersebut kemudian dipakai untuk membentuk kurva respons spektrum yang menjadi acuan dalam menentukan gaya gempa yang bekerja pada bangunan

Tabel 2. Parameter gempa

Data	Nilai
FPGA	1,6
S _s	0,15
F _a	1,6
F _v	3,35
S ₁	2,2
SDS	0,25
SD1	0,257
R	8,5
C _d	5,5
Ω	1,5
I	1

Gambar 9 memperlihatkan grafik respon spektrum berkaitan hubungan periode dengan spektra percepatannya.



Gambar 9. Respon spektrum untuk menara air

Berdasarkan Tabel 3 gaya gempa lantai 1 sampai lantai 5 yang akan digunakan sebagai *input* beban pada tiga struktur menara air, sehingga nantinya didapatkan nilai *P-Delta*.

Tabel 3. Besar gaya gempa

Lantai	Gaya Gempa (kg)
Lantai 1	326
Lantai 2	652
Lantai 3	977
Lantai 4	1303
Lantai 5	2741

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

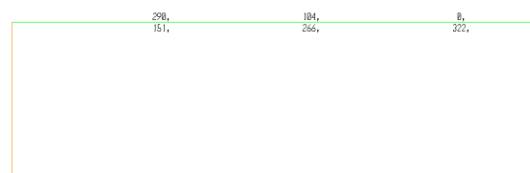
Berdasarkan data dimensi pemodelan menara air 5000 liter dengan SAP2000 yang menghasilkan *output* data momen pada balok, tulangan, momen kolom, dan nilai *P* aksial pada kolom untuk 3 pemodelan struktur.

Tabel 4 menunjukkan perbandingan nilai momen yang terjadi pada balok dengan tiga pemodelan menara air dengan kapasitas 5000 liter. Tipe 1 besar momen 307 kgm, Tipe 2 sebesar 2992 kgm dan Tipe 3 sebesar 569 kgm.

Tabel 4. Besar momen pada balok

Momen (kgm)	Momen (kgm)	Momen (kgm)
Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3
307	2992	569

Gambar 10 menampilkan hasil keluaran dari perangkat lunak SAP2000 terkait kebutuhan luas tulangan (*As*) pada elemen struktur untuk tipe 1. Berdasarkan grafik atau data yang disajikan, diperoleh bahwa kebutuhan tulangan pada sisi atas elemen berada pada kisaran 290–104–0 mm². Sementara itu, nilai luas tulangan pada sisi bawah menunjukkan variasi sebesar 151–266–322 mm².



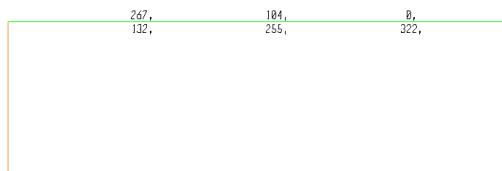
Gambar 10. Luas tulangan balok tipe 1

Gambar 11 menunjukkan hasil perhitungan luas tulangan (*As*) untuk tipe 2 menara air berdasarkan output SAP2000. Pada bagian atas elemen, kebutuhan tulangan tercatat berada pada kisaran 220–104–0 mm², sedangkan bagian bawah memerlukan luas tulangan sebesar 109–254–323 mm².



Gambar 11. Luas tulangan balok tipe 2

Gambar 12 menampilkan hasil perhitungan luas tulangan (As) untuk elemen struktur pada tipe 3 menara air berdasarkan output dari perangkat lunak SAP2000. Dari gambar tersebut terlihat bahwa kebutuhan luas tulangan pada bagian atas berada pada rentang 267–104–0 mm², sedangkan pada bagian bawah menunjukkan nilai 132–255–322 mm².



Gambar 12. Luas tulangan balok tipe 3

Tabel 5 dan 6 memperlihatkan pada tiga pemodelan struktur menara air untuk tulangan yang dipakai. Tulangan atas tipe 1 (290-104-0) mm², tipe 2 (220-104-0) mm², dan tipe 3 (267-104-0) mm². Tulangan Bawah tipe 1 (322-266-151) mm², tipe 2 (109-254-323) mm², dan tipe 3 (132-255-322) mm².

Tabel 5. Hasil luas tulangan (As) atas

As Tulangan (mm ²)	As Tulangan (mm ²)	As Tulangan (mm ²)
Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3
290	220	267
104	104	104
0	0	0

Tabel 6. Hasil luas tulangan (As) bawah

As Tulangan (mm ²)	As Tulangan (mm ²)	As Tulangan (mm ²)
Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3
322	109	132
266	254	255
151	323	322

Tabel 7 menunjukkan perbandingan nilai momen kolom pada tiga pemodelan menara air dengan perbedaan letak *bracing*. Pada tipe 1 besar momen kolom yang terjadi sebesar 3416 kgm, pada tipe 2 sebesar 2734 kgm dan pada tipe 3 sebesar 3104 kgm. Momen kolom terbesar didapat pada kolom Tipe 1.

Tabel 7. Perbandingan momen pada kolom

Momen (kgm)	Momen (kgm)	Momen (kgm)
Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3
3416	2734	3104

Tabel 8 menunjukkan nilai beban aksial yang terjadi pada kolom dengan tiga pemodelan menara air. Nilai P aksial tipe 1 9948 kg, tipe 2 sebesar 10457 kg, dan tipe 3 9891 kg. Nilai P aksial terbesar pada kolom tipe 3.

Tabel 8. Perbandingan nilai P pada kolom

P (kg)	P (kg)	P (kg)
Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3
9948	10457	9891

Tabel 9 menunjukkan nilai *P-Delta* pada pemodelan menara air. Dapat dilihat nilai maksimum *P-Delta* terletak pada pemodelan tipe 1 tanpa *bracing* dengan nilai 1,74 mm, tipe 2 dengan letak *bracing* menyilang di bagian sisi luar menara air sebesar 0,83 mm dan tipe 3 dengan *bracing* diagonal bagian dalam menara sebesar 1,52 mm. Pada penelitian Afrizal dkk, (2025) yang menggunakan tiga pemodelan menara yaitu tanpa *bracing* (tipe 1) nilai *P-Delta* yang terjadi sebesar 20,725 mm, pada pemodelan tipe 2 dengan *bracing* bentuk X mendapatkan nilai *P-Delta* sebesar 15,827 mm dan tipe 3 dengan *bracing* tipe V nilai *P-Delta* sebesar 16,847 mm.

Apabila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, maka didapat bahwa pemasangan *bracing* efektif untuk mengurangi *P-Delta* yang terjadi.

Tabel 9. Perbandingan nilai *P-Delta*

P-Delta (mm)	P-Delta (mm)	P-Delta (mm)
Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3
1,74	0,83	1,52

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dapat diketahui hasil nilai *P-Delta* pada pemodelan menara air. Dapat dilihat nilai maksimum *P-Delta* terletak pada pemodelan tipe 1 dengan nilai 1,74 mm dan paling minimum pada tipe 2 sebesar 0,83 mm. Sedangkan pada tipe 3 menunjukkan nilai *P-Delta* yang tidak signifikan yaitu sebesar 1,52 mm. Hal tersebut terjadi karena adanya pengaruh *bracing*. Pada pemodelan tipe 2 menunjukkan nilai *P-Delta* yang lebih optimal. Yang dipasangkan pada sisi luar struktur menara air.

REFERENSI

- Afrizal, W., Sahputra, D. E., & Deded Eka., Nasmirayanti, R. (2025). Analisa Pengaruh Penggunaan *Bracing* Terhadap Kinerja Struktur Beton Bertulang pada Bangunan Bertingkat. *Civil Engineering Collaboration*.
- Herbudiman, B., & Aryandi, D. (2017) Pengaruh Bentuk *Bracing* Terhadap Kinerja Seismik Struktur Beton Bertulang". Jurnal Online Institut Teknologi Nasional.
- Hutahaean, S. G., & Aswandy. (2016). Kajian Pemakaian Shear Wall dan *Bracing* pada Gedung Bertingkat. Jurnal Online Institut Teknologi Nasional.
- Mahadewi, Dyah U. M., & Khatulistiwi, Utari. (2021). Pengaruh Penempatan Bresng Inverted V Dan X- One Story Terhadap Simpangan Horizontal Pada Gedung Bertingkat Struktur Baja. Seminar Nasional Ketekniksipilan, Infrastruktur dan Industri Jasa Konstruksi (KIIJK).
- Poluan, D. S., Pandaleke, R., & Dapas, Servie O. D. (2019). Respon Dinamik Struktur Rangka Baja Menara Air Dengan variasi Elemen Pengaku Lateral. Jurnal Sipil Statik.
- Rienanda, F.E., Kumaat, J. E., & Windah, R. S. (2019). Pengaruh *Bracing* Pada Bangunan Betingkat Rangka Baja Yang Berdiri Di Atas Tanah Miring Terhadap Gempa. Jurnal Sipil Statik.
- Sutama, A., Septriansyah, V., & Angraini, D. D. (2024). Studi Komparatif Perilaku Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan Variasi Geometri Kolom Persegi dan Kolom Bulat. Bearing: Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil, 9(2), 64-69.