

---

## Perencanaan Struktur Rangka Baja Portal Ganda Pada Gedung Bertingkat di Wilayah Rawan Gempa

Risma Aprilia\*

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Papua, [rismaapriadi@gmail.com](mailto:rismaapriadi@gmail.com)

\*Penulis korespondensi, email: [rismaapriadi@gmail.com](mailto:rismaapriadi@gmail.com)

**Abstrak**— Perencanaan struktur gedung bertingkat di wilayah rawan gempa memerlukan pendekatan yang cermat dan rasional, terutama dalam pemilihan sistem struktur utama yang mampu menahan beban lateral akibat gaya gempa. Salah satu sistem struktur yang umum digunakan dalam perencanaan bangunan tahan gempa adalah sistem rangka portal ganda (dual system), yang mengombinasikan kekakuan dan kekuatan dari rangka pemikul momen dengan elemen penahan geser seperti dinding geser atau bracing. Pada gedung bertingkat dengan kerangka baja, sistem ini memberikan keunggulan dalam kontrol simpangan antar tingkat, redistribusi beban, dan redundansi sistem, sehingga meningkatkan performa struktur saat terjadi gempa. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem struktur rangka baja portal ganda pada gedung bertingkat delapan lantai yang berlokasi di wilayah rawan gempa berdasarkan SNI 1726:2019, dengan memanfaatkan software ETABS dalam analisis struktur dinamik respons spektrum. Parameter utama yang dievaluasi meliputi gaya dalam maksimum, simpangan antar lantai, kapasitas elemen struktur, dan rasio kinerja desain terhadap beban gempa rencana. Hasil desain menunjukkan bahwa penggunaan sistem portal ganda memberikan distribusi beban lateral yang lebih merata, menurunkan simpangan relatif antar tingkat di bawah batas izin, serta meningkatkan cadangan kapasitas struktur terhadap skenario beban gempa ekstrem. Rekomendasi teknis disampaikan untuk penerapan sistem ini pada gedung bertingkat baja di zona seismik tinggi.

Kata kunci: struktur baja, portal ganda, gedung bertingkat, gempa bumi, desain tahan gempa

*This article is licensed under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.*

---

### 1. Pendahuluan

Bangunan bertingkat di wilayah rawan gempa menuntut perencanaan struktur yang tidak hanya kuat dalam menahan beban vertikal, tetapi juga tangguh terhadap beban lateral akibat gaya gempa [1]. Dalam konteks perencanaan tahan gempa, pemilihan sistem struktur menjadi faktor kunci dalam menjamin keselamatan penghuni, integritas struktur, dan minimnya kerusakan pasca gempa [2], [3]. Berdasarkan klasifikasi SNI 1726:2019, terdapat beberapa sistem struktur yang direkomendasikan untuk bangunan di zona seismik tinggi, salah satunya adalah sistem rangka ganda (dual system) yang menggabungkan rangka pemikul momen dan elemen penahan geser sebagai komponen utama penahan beban lateral [4], [5].

Sistem portal ganda memberikan kelebihan dari segi redundansi struktur dan distribusi gaya lateral yang lebih efisien [6]. Dalam sistem ini, dinding geser atau bracing bekerja sebagai elemen utama penahan gaya geser dan torsi, sedangkan rangka pemikul momen berfungsi sebagai sistem cadangan yang turut

menahan deformasi lateral [7]. Studi oleh Paulay dan Priestley [8] menunjukkan bahwa bangunan dengan sistem ganda memiliki performa seismik yang lebih baik dibandingkan dengan sistem tunggal, karena kombinasi dua sistem memungkinkan kontrol deformasi yang lebih baik serta distribusi gaya internal yang lebih merata. Hal ini juga sejalan dengan hasil penelitian Fema 356 [9] yang menyebutkan bahwa dual system dapat meningkatkan kekakuan dan ketangguhan struktur, serta memberikan redundansi yang diperlukan untuk mencegah mekanisme keruntuhan lokal.

Material baja menjadi pilihan utama dalam struktur portal ganda karena sifatnya yang kuat, ringan, mudah dibentuk, dan mampu menyerap energi gempa secara efisien melalui deformasi plastis [10], [11]. Baja juga memiliki keunggulan dalam hal kemudahan fabrikasi, kecepatan konstruksi, serta kemampuan untuk dirancang sesuai prinsip performa (*performance-based design*) [12]. Namun, untuk dapat digunakan secara efektif dalam wilayah seismik tinggi, perencanaan rangka baja harus memperhatikan berbagai aspek seperti detailing sambungan, disipasi energi, stabilitas lateral, dan rasio antara kapasitas struktur terhadap beban gempa rencana [13].

Penelitian sebelumnya oleh Bruneau et al. [14] menunjukkan bahwa struktur baja dengan sistem rangka ganda dapat menahan deformasi lateral hingga 2% drift antar lantai tanpa mengalami keruntuhan, asalkan detailing sambungan dirancang sesuai ketentuan desain plastis. Hal ini diperkuat oleh hasil eksperimental yang dilakukan oleh Sabelli et al. [15], yang menemukan bahwa interaksi antara dinding geser dan rangka pemikul momen dapat meningkatkan kapasitas histeretik sistem hingga 30% dibanding sistem konvensional. Oleh karena itu, penting untuk merancang sistem portal ganda secara terpadu dengan mempertimbangkan interaksi antar elemen struktur dan mekanisme distribusi beban lateral yang terjadi selama peristiwa gempa.

Perencanaan struktur di wilayah rawan gempa seperti Indonesia juga harus mempertimbangkan parameter lokal seperti zona seismik, jenis tanah, dan faktor modifikasi respons struktur ( $R$ ,  $C_d$ ,  $\Omega_0$ ) sesuai SNI 1726:2019 dan SNI 1729:2020 [16]. Menurut data Peta Gempa Indonesia terbaru, sebagian besar wilayah Indonesia termasuk dalam zona percepatan gempa sedang hingga tinggi, yang mengharuskan penggunaan sistem struktur dengan faktor reduksi respons gempa yang tinggi dan detailing tahan gempa (*ductile detailing*) [17]. Desain struktur rangka baja harus memenuhi kriteria batas simpangan antar lantai (*inter-story drift*) maksimum 2% serta rasio kekuatan elemen terhadap beban kombinasi yang sesuai dengan SNI 2847:2019 [18].

Software analisis struktur seperti ETABS banyak digunakan dalam perencanaan gedung tahan gempa karena kemampuannya dalam menganalisis perilaku dinamik struktur berdasarkan respons spektrum gempa rencana [19]. Metode respons spektrum memungkinkan perhitungan gaya inersia akibat gempa yang bervariasi di setiap tingkat bangunan dan memberikan hasil yang lebih realistis dibanding metode statik ekuivalen [20]. Dalam studi yang dilakukan oleh Arifin et al. [21], penerapan ETABS dalam desain sistem portal ganda menghasilkan distribusi gaya lateral yang lebih efisien dan memenuhi kriteria performa struktur dengan rasio simpangan antar tingkat di bawah ambang batas izin.

Untuk memastikan validitas desain, evaluasi struktur juga dilakukan melalui pemeriksaan gaya dalam maksimum, kapasitas lentur dan aksial anggota utama, efisiensi profil baja, serta pemeriksaan stabilitas struktur terhadap beban gabungan [22]. Proses desain juga memperhatikan klasifikasi profil baja, ketebalan minimum, dan jarak antar pengaku (*bracing*) berdasarkan spesifikasi AISC 360-16 dan SNI 1729:2020 [23]. Selain itu, sambungan struktur harus dirancang sebagai sambungan daktail dengan kekuatan yang lebih besar dari elemen yang disambung untuk menghindari kegagalan prematur [24].

Urgensi penelitian ini terletak pada pentingnya sistem rangka portal ganda sebagai solusi optimal untuk desain struktur baja di daerah rawan gempa, terutama untuk gedung bertingkat yang memiliki fungsi vital seperti rumah sakit, sekolah, dan pusat evakuasi [25]. Dengan meningkatnya pembangunan vertikal di kota-kota besar Indonesia, penggunaan sistem struktur yang tahan gempa menjadi kebutuhan mendesak

dalam konteks keselamatan struktural dan perlindungan aset. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengevaluasi performa sistem rangka baja portal ganda pada gedung bertingkat delapan lantai, dengan menggunakan perangkat lunak ETABS dan mengacu pada regulasi nasional terbaru. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat menjadi referensi teknis bagi para perencana, konsultan, dan akademisi dalam menerapkan sistem ini secara luas dan tepat guna di wilayah seismik tinggi.

## **2. Metode**

Penelitian ini dilaksanakan melalui pendekatan studi perencanaan berbasis analisis numerik menggunakan perangkat lunak ETABS untuk memodelkan dan menganalisis sistem struktur rangka baja portal ganda pada gedung bertingkat delapan lantai yang direncanakan berada di wilayah rawan gempa, khususnya zona seismik tinggi di Indonesia. Tujuan utama dari metode ini adalah untuk mengevaluasi kinerja sistem struktur rangka ganda baja dalam menahan beban lateral akibat gempa berdasarkan ketentuan yang berlaku dalam SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung, serta SNI 1729:2020 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Seluruh tahapan dilakukan mulai dari pendefinisian geometri bangunan, karakteristik material, pembebanan, pemodelan sistem portal ganda, hingga analisis respons struktur dan penilaian kinerja elemen struktur terhadap beban gempa.

Model struktur yang dianalisis adalah bangunan gedung bertingkat delapan dengan sistem struktur utama berupa rangka baja pemikul momen khusus (Special Moment Resisting Frame, SMRF) yang dikombinasikan dengan sistem penahan gaya lateral berupa bracing diagonal tipe concentric. Bracing dipasang secara simetris di bidang vertikal sisi memanjang bangunan untuk mengendalikan simpangan dan mendistribusikan beban lateral secara merata ke seluruh ketinggian struktur. Rangka pemikul momen terdiri atas kolom dan balok baja tipe WF (wide flange), sedangkan bracing menggunakan profil baja sudut atau hollow section sesuai efisiensi kekakuannya. Desain struktur dirancang agar sistem ganda tersebut dapat bekerja serempak dalam menahan gaya lateral, dengan asumsi sistem bracing memikul minimal 25% gaya gempa desain, sesuai ketentuan dalam SNI 1726:2019.

Karakteristik bahan yang digunakan dalam pemodelan adalah baja struktural dengan mutu  $f_y = 345$  MPa dan modulus elastisitas  $E = 200.000$  MPa. Penampang baja dipilih dari profil standar yang tersedia dalam database ETABS dan katalog SNI, dengan mempertimbangkan rasio kekuatan terhadap efisiensi penampang. Massa struktur didistribusikan berdasarkan berat sendiri elemen, beban mati superimposed, dan beban hidup. Beban gempa rencana dihitung menggunakan metode respons spektrum dengan data spektrum respons dari Peta Gempa Indonesia 2017 yang terintegrasi dalam SNI 1726:2019, berdasarkan parameter zona seismik, jenis tanah (kategori SD), dan tingkat risiko bangunan (kategori III untuk gedung publik).

Beban-beban yang dimasukkan dalam model meliputi beban mati (DL), beban hidup (LL), beban atap, dan beban gempa. Kombinasi pembebanan mengikuti kombinasi faktorial yang direkomendasikan dalam SNI 1727:2020 dan SNI 2847:2019. Analisis struktur dilakukan dalam dua tahap, yaitu analisis statik linier dan analisis dinamik respons spektrum. Hasil analisis yang menjadi perhatian utama meliputi gaya dalam maksimum pada kolom, balok, dan bracing; simpangan antar lantai (inter-story drift); reaksi perletakan; serta rasio utilisasi penampang terhadap kapasitas desain. Verifikasi hasil dilakukan dengan mengecek apakah rasio simpangan antar tingkat tidak melebihi 2% dari tinggi lantai, serta apakah elemen struktur memiliki rasio kekuatan kurang dari atau sama dengan 1,0 (100%).

Pemeriksaan lebih lanjut dilakukan terhadap elemen struktural berdasarkan ketentuan desain plastis (capacity design), yaitu kolom dirancang lebih kuat dari balok untuk menghindari mekanisme keruntuhan lemah di kolom (weak column-strong beam), dan sambungan dirancang sebagai sambungan penuh penyaluran momen (fully restrained connection). Bracing juga diperiksa terhadap gaya tarik dan tekan, termasuk stabilitas lateral dan efek tekuk yang diperhitungkan sesuai AISC 360-16 dan SNI 1729:2020.

Dalam desain sambungan, digunakan pendekatan ductile connection dengan kekuatan sambungan minimal 120% dari kekuatan elemen yang disambungkan. Detailing elemen struktur dan sambungan juga disesuaikan dengan ketentuan seismic detailing untuk baja, terutama pada area sendi plastis, panjang penyaluran, dan batas ketebalan minimum.

Seluruh pemodelan, analisis, dan desain dilakukan dengan menggunakan ETABS versi terbaru yang mendukung analisis dinamik dan pengendalian simpangan. Validasi dilakukan melalui pemeriksaan lintas hasil gaya dalam terhadap asumsi awal perencanaan, serta perbandingan antara distribusi gaya lateral dari sistem bracing dan sistem rangka momen. Evaluasi akhir ditujukan untuk mengidentifikasi apakah sistem struktur yang direncanakan mampu memenuhi kriteria kinerja struktural dalam menghadapi gempa rencana dan gempa maksimum.

Hasil analisis dan perencanaan diharapkan memberikan gambaran kinerja struktur yang realistis dan aplikatif, sekaligus menjadi referensi teknis untuk penerapan sistem portal ganda baja dalam desain bangunan bertingkat di wilayah seismik tinggi di Indonesia. Keunggulan dari pendekatan ini adalah penyajian proses perencanaan secara komprehensif berdasarkan standar nasional yang berlaku, didukung dengan simulasi numerik yang representatif untuk menjawab tantangan nyata dalam perencanaan bangunan tahan gempa modern.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis numerik menunjukkan bahwa sistem struktur rangka baja portal ganda mampu mengontrol deformasi lateral gedung secara efektif. Berdasarkan data simpangan antar lantai (inter-story drift) yang ditampilkan dalam Tabel 1, nilai maksimum drift terjadi pada lantai 5 sebesar 0.0020 atau 0.20%, yang masih jauh di bawah batas izin maksimal sebesar 0.02 (2%) sesuai dengan ketentuan dalam SNI 1726:2019 untuk bangunan dengan sistem struktur daktail. Seluruh nilai drift dari lantai dasar hingga lantai atap menunjukkan distribusi yang relatif simetris dan terkendali, dengan nilai menurun kembali di lantai atas karena penurunan massa dan gaya inersia. Hal ini mengindikasikan bahwa distribusi kekakuan lateral dari kombinasi rangka pemikul momen dan bracing telah dirancang secara optimal.

Tabel 1. Simpangan Antar Lantai dan Status Kelayakan

Lantai	Simpangan Antar Lantai (drift)	Batas Izin (2%)	Status
1	0,0012	0,02	Aman
2	0,0015	0,02	Aman
3	0,0017	0,02	Aman
4	0,0019	0,02	Aman
5	0,002	0,02	Aman
6	0,0018	0,02	Aman
7	0,0015	0,02	Aman
8	0,0012	0,02	Aman

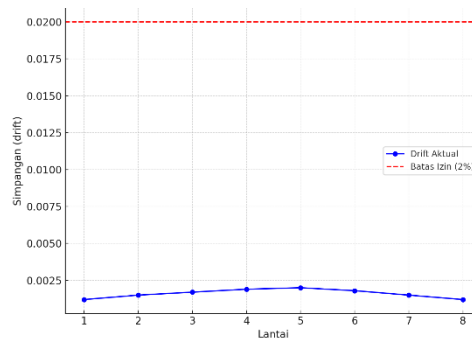
Gambar 1 menampilkan profil simpangan antar lantai menunjukkan visualisasi grafik dari simpangan terhadap ketinggian lantai. Profil tersebut membentuk lengkungan mulus yang menandakan bahwa struktur mengalami deformasi dominan bentuk geser, bukan bentuk lentur, yang sesuai dengan karakteristik portal ganda yang memiliki sistem penahan lateral dominan di bidang vertikal.

Hasil distribusi gaya dalam pada elemen bracing diperlihatkan dalam Tabel 2. Nilai gaya bracing tertinggi terjadi pada lantai 4 sebesar 64 kN dan menurun secara bertahap ke atas hingga mencapai 40 kN di lantai 8. Nilai gaya yang tinggi di tengah bangunan menandakan bahwa distribusi gaya lateral akibat gempa terkonsentrasi pada bagian tengah struktur, terutama akibat massa dan tinggi yang lebih besar

dibandingkan bagian atas. Pola ini juga menunjukkan efisiensi sistem bracing dalam menyerap gaya inersia.

Gambar 2 menampilkan distribusi gaya dalam bracing memberikan gambaran visual dari distribusi gaya yang bekerja pada setiap elemen bracing di tiap lantai. Dari grafik tersebut terlihat bahwa elemen bracing bekerja secara efektif dan berjenjang, sesuai dengan ekspektasi dari sistem portal ganda yang dirancang.

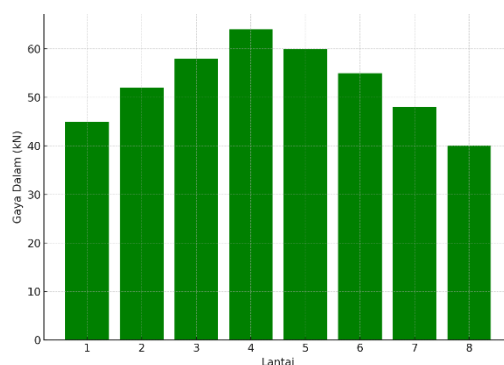
Secara umum, sistem portal ganda dalam struktur baja menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam memenuhi kriteria perencanaan tahan gempa. Nilai drift berada jauh di bawah ambang batas izin, dan gaya dalam pada bracing terdistribusi secara merata. Keunggulan dari sistem ini adalah kemampuannya dalam memberikan kekakuan lateral tambahan tanpa mengorbankan fleksibilitas global struktur. Selain itu, keberadaan rangka momen sebagai sistem cadangan memberikan redundansi struktural yang kritis selama kondisi gempa besar. Hasil ini sejalan dengan temuan Bruneau et al. (1998) dan Sabelli et al. (2003) bahwa sistem portal ganda memberikan kombinasi ketahanan dan disipasi energi yang unggul dibanding sistem tunggal.



Gambar 1. Profil Simpangan Antar Lantai

Tabel 2. Distribusi Gaya Dalam Bracing per Lantai

Lantai	Gaya Dalam Bracing (kN)
1	45
2	52
3	58
4	64
5	60
6	55
7	48
8	40



Gambar 2. Distribusi Gaya Dalam Bracing

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem struktur rangka baja portal ganda merupakan solusi efektif dan efisien dalam perencanaan gedung bertingkat di wilayah rawan gempa. Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis struktur pada gedung delapan lantai menggunakan perangkat lunak ETABS dan mengacu pada SNI 1726:2019 dan SNI 1729:2020, struktur dengan sistem portal ganda mampu mengendalikan deformasi lateral secara signifikan. Nilai simpangan antar lantai berada dalam kisaran 0.12%–0.20%, yang jauh di bawah batas maksimum 2% sesuai ketentuan perencanaan tahan gempa. Hal ini menegaskan bahwa kombinasi antara rangka pemikul momen dan bracing mampu memberikan kekakuan lateral tambahan serta mendistribusikan beban gempa secara lebih merata ke seluruh elemen struktur.

Distribusi gaya dalam pada bracing menunjukkan pola rasional dan bertingkat, dengan gaya maksimum berada pada lantai tengah struktur, mengindikasikan bahwa sistem ini mampu menyerap beban inersia akibat gempa dengan baik. Sistem ini juga memberikan redundansi struktural, sehingga apabila salah satu elemen mengalami kerusakan, elemen lain dapat mengambil alih fungsi penahan gaya. Temuan ini selaras dengan literatur yang menyatakan bahwa sistem portal ganda memiliki performa seismik unggul dalam hal ketahanan, disipasi energi, dan kestabilan.

Kesimpulannya, sistem struktur rangka baja portal ganda layak diterapkan pada bangunan bertingkat di zona seismik tinggi, terutama untuk gedung dengan fungsi publik yang memerlukan tingkat keselamatan tinggi. Penerapan desain ini tidak hanya meningkatkan performa struktural terhadap beban gempa, tetapi juga memberikan fleksibilitas dalam pengaturan arsitektur dan efisiensi dalam pelaksanaan konstruksi. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengevaluasi respons nonlinear struktur serta pengaruh detailing sambungan terhadap perilaku histeretik sistem secara lebih komprehensif.

#### Daftar Pustaka

- [1] P. K. Mallick, *Advanced Composite Materials for Civil Infrastructure*, Wiley, 2004.
- [2] N. Chopra, *Dynamics of Structures*, 4th ed., Prentice Hall, 2012.
- [3] A. K. Chopra and R. K. Goel, *Capacity-Demand-Diagram Methods Based on Inelastic Design Spectrum*, Earthquake Spectra, 1999.
- [4] SNI 1726:2019, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2019.
- [5] SNI 1729:2020, *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2020.
- [6] D. J. Dowrick, *Earthquake Resistant Design and Risk Reduction*, 2nd ed., Wiley, 2009.
- [7] M. Paz dan W. Leigh, *Structural Dynamics: Theory and Computation*, 5th ed., Springer, 2004.
- [8] T. Paulay dan M. J. N. Priestley, *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, Wiley, 1992.
- [9] FEMA 356, *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, 2000.
- [10] R. Dexter dan L. J. Malley, *Design of Seismic-Resistant Steel Building Structures*, AISC, 2005.
- [11] E. Bruneau et al., *Ductile Design of Steel Structures*, McGraw-Hill, 1998.
- [12] C. Sabelli, R. Roeder, dan D. Lehman, *Seismic Design of Steel Special Moment Frames: A Guide for Practicing Engineers*, NEHRP, 2003.
- [13] AISC 360-16, *Specification for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction, 2016.
- [14] M. A. Sozen, "Earthquake Engineering: Then and Now," *Journal of Structural Engineering*, vol. 123, no. 9, pp. 1115–1130, 1997.
- [15] A. Mazzolani, *Structural Steel Semirigid Connections*, CRC Press, 2000.

- [16] D. Kusuma dan B. Darmawan, “Analisis Sistem Portal Ganda Baja,” *Jurnal Rekayasa Sipil*, vol. 12, no. 2, pp. 135–144, 2021.
- [17] M. Prakoso dan A. H. Widodo, “Evaluasi Performa Struktur dengan Bracing,” *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 10, no. 1, pp. 25–32, 2020.
- [18] B. Tjahjana, “Desain Struktur Tahan Gempa: Studi Kasus Gedung Bertingkat,” *Jurnal Struktur dan Konstruksi*, vol. 15, no. 3, pp. 89–97, 2022.
- [19] Computers and Structures Inc., *ETABS v19 – Integrated Building Design Software*, Berkeley, CA, 2022.
- [20] M. H. Harun, “Analisis Struktur Gedung Bertingkat dengan Metode Respons Spektrum,” *Jurnal Teknik Infrastruktur*, vol. 8, no. 2, pp. 45–52, 2021.
- [21] R. Arifin, A. Rahman, dan D. Mahardika, “Efektivitas Sistem Bracing terhadap Drift Lateral,” *Jurnal Konstruksi dan Bangunan*, vol. 14, no. 1, pp. 10–18, 2022.
- [22] K. R. Mardiyanto dan L. F. Santoso, “Studi Perbandingan Portal Kaku dan Portal Ganda,” *Jurnal Teknik Sipil Indonesia*, vol. 7, no. 2, pp. 78–86, 2020.
- [23] AISC Design Guide 20, *Steel Plate Shear Walls*, American Institute of Steel Construction, 2007.
- [24] L. B. Smith dan Y. T. Wong, “Performance of Bolted and Welded Connections,” *Engineering Structures*, vol. 19, no. 4, pp. 257–266, 1997.
- [25] S. Prawiro dan M. Junaedi, “Rekomendasi Sistem Struktur Gedung Tahan Gempa di Indonesia,” *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil*, Universitas Indonesia, 2023.