



VOLUME 3 NOMOR 1 TAHUN 2026

Diterima: 28 Desember 2025

Direvisi: 10 Januari 2026

Disetujui: 15 Januari 2026

## ***Comparative Evaluation of the Structural Response of Multi-Story Buildings Using the Finite Element Method and Manual Calculations***

### **Evaluasi Komparatif Respons Struktur Bangunan Bertingkat Menggunakan Metode Elemen Hingga Dan Perhitungan Manual**

**Andi Nurwahidah**Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung, Politeknik Bombana  
Email: andiidha.azis@gmail.com

#### **ABSTRACT**

*The use of finite element method-based software has become a standard in multi-story building structural planning, yet validation through manual calculations remains crucial to ensure design reliability. This study aims to perform a comparative evaluation of the structural response of a 5-story building using SAP2000 v22 software and manual calculations based on SNI 1726:2019 and SNI 2847:2019 standards. The evaluated parameters include base shear, beam bending moments, column axial forces, and reinforcement area requirements. The analysis results show that the manual method produces a more conservative base shear with a deviation of 10-12% compared to dynamic response spectrum analysis, while still meeting the 85% threshold validation criteria. In beam elements, a difference in support moments of 13.89% was found, influenced by the rigid zone modeling in the software, while column axial forces showed a high convergence rate with a difference of only 2.36%. The use of SAP2000 provides reinforcement area efficiency of up to  $\pm 25\%$  compared to manual calculations. Overall, all structural response parameters showed deviations below 15%, indicating that the finite element method is valid and reliable for detailed engineering design, with manual calculations remaining an essential quality control instrument.*

**Keywords:** *Finite Element, SAP2000, Manual Calculation, Structural Response, Base Shear*

#### **ABSTRAK**

Penggunaan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga telah menjadi standar dalam perencanaan struktur gedung bertingkat, namun validasi melalui perhitungan manual tetap krusial untuk menjamin keandalan desain. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi komparatif respons struktur gedung bertingkat 5 lantai menggunakan perangkat lunak SAP2000 v22 dan perhitungan manual berdasarkan standar SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019. Parameter yang dievaluasi meliputi gaya geser dasar (base shear), momen lentur balok, gaya aksial kolom, dan kebutuhan luas tulangan. Hasil analisis menunjukkan bahwa metode manual menghasilkan gaya geser dasar yang lebih konservatif dengan deviasi sebesar 10-12% dibandingkan analisis dinamik respons spektrum, namun tetap memenuhi kriteria validasi ambang batas 85%. Pada elemen balok, ditemukan perbedaan momen tumpuan sebesar 13,89% yang dipengaruhi oleh pemodelan rigid zone pada perangkat lunak, sementara gaya aksial kolom menunjukkan tingkat konvergensi tinggi dengan selisih hanya 2,36%. Penggunaan SAP2000 memberikan efisiensi luas tulangan hingga  $\pm 25\%$  dibandingkan perhitungan manual. Secara keseluruhan, seluruh parameter respons struktur



menunjukkan deviasi di bawah 15%, sehingga penggunaan metode elemen hingga dinyatakan valid dan reliabel untuk perencanaan teknis detail dengan tetap menjadikan perhitungan manual sebagai instrumen kontrol kualitas yang esensial.

Kata Kunci : Elemen Hingga, SAP2000, Perhitungan Manual, Respons Struktur, Base Shear

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dalam bidang teknik sipil telah membawa perubahan signifikan dalam metode analisis dan desain struktur bangunan bertingkat. Tuntutan akan efisiensi waktu, ketelitian, dan keamanan struktur mendorong para insinyur untuk beralih dari metode konvensional ke metode berbasis komputasi (Asnan et al., 2025). Dalam perencanaan gedung bertingkat, kompleksitas distribusi beban dan respons dinamis struktur sering kali sulit diselesaikan secara cepat jika hanya mengandalkan perhitungan tangan. Oleh karena itu, penggunaan perangkat lunak berbasis elemen hingga (Finite Element Method) seperti SAP2000 dan ETABS menjadi standar dalam praktik rekayasa modern untuk mendapatkan gaya-gaya dalam dan deformasi struktur secara akurat (Hasibuan et al., 2022).

Pemanfaatan metode elemen hingga memungkinkan simulasi perilaku struktur yang lebih mendekati kondisi nyata, termasuk dalam analisis beban gempa dan optimasi elemen struktur.) (Anjani et al., 2025) menunjukkan bahwa penggunaan SAP2000 efektif dalam mengoptimalkan dimensi balok dan kolom pada bangunan bertingkat lima. Selain itu, perangkat lunak seperti ETABS mampu menganalisis sistem struktur yang kompleks, seperti perbandingan antara flat slab drop panel dan sistem pelat balok konvensional, dengan meninjau parameter base shear dan displacement (Hadi et al., 2023). Kemampuan ini sangat krusial mengingat respons struktur terhadap beban lateral merupakan indikator utama keselamatan bangunan di wilayah rawan gempa (Sastra Wibawa et al., 2022).

Meskipun perangkat lunak menawarkan kecepatan dan kemudahan, ketergantungan penuh pada hasil komputasi tanpa validasi dapat menimbulkan risiko kesalahan desain yang fatal. Perhitungan manual, baik menggunakan metode matriks kekakuan langsung maupun distribusi momen, tetap memegang peranan vital sebagai kontrol kualitas (sanity check) terhadap keluaran perangkat lunak (Fansuri et al., 2021). (Rian Permana Putra et al., 2025) menekankan bahwa metode distribusi momen manual masih relevan untuk memverifikasi logika distribusi gaya pada elemen portal, memastikan bahwa hasil yang dikeluarkan oleh komputer masuk akal secara teknis. Validasi ini penting karena perbedaan asumsi perletakan dan kekakuan elemen antara model manual dan model komputer sering kali menghasilkan output yang berbeda (Abdullah et al., 2021).

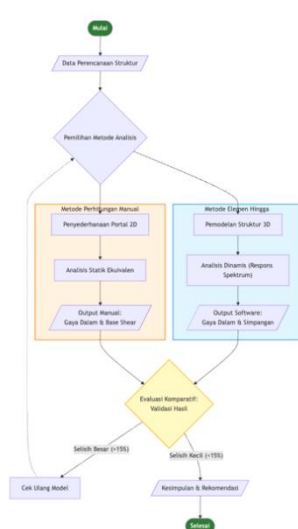
Beberapa studi terdahulu menunjukkan adanya diskrepansi hasil antara metode elemen hingga dan perhitungan manual yang perlu dievaluasi lebih lanjut. (Rokiyah et al., 2025) dalam penelitiannya pada Gedung Asrama MAN I Tanjung Pura menemukan bahwa hasil analisis tulangan menggunakan SAP2000 bisa lebih besar hingga 50% dibandingkan perhitungan manual konsultan, yang berdampak signifikan pada aspek ekonomi proyek. Sementara itu, dalam konteks analisis gempa, (Danej & Verma, 2018) serta (Prasad et al., 2020) mencatat adanya variasi nilai gaya geser dasar (base shear) antara analisis statik ekuivalen manual dan analisis spektrum respons software. Perbedaan-perbedaan ini, jika tidak dipahami dengan baik, dapat menyebabkan desain yang terlalu boros (over-design) atau justru tidak aman (under-design).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi komparatif respons struktur bangunan bertingkat dengan membandingkan hasil analisis metode elemen hingga dan perhitungan manual. Penelitian ini akan berfokus pada parameter gaya dalam, simpangan antar lantai, dan kebutuhan tulangan. Diharapkan hasil studi ini dapat



memberikan gambaran tingkat akurasi dan deviasi antara kedua metode, sehingga dapat menjadi acuan bagi praktisi dalam melakukan validasi desain struktur yang aman dan efisien.

## METODE PENELITIAN



**Gambar 1. Diagram Alir**

Berdasarkan diagram alir penelitian, tahapan dimulai dengan pengumpulan data perencanaan yang meliputi gambar arsitektur, data penyelidikan tanah, serta spesifikasi material struktur. Proses analisis kemudian dilaksanakan melalui dua pendekatan simultan untuk menjamin akurasi hasil desain. Pendekatan pertama menggunakan metode elemen hingga (Finite Element Method) berbasis perangkat lunak, di mana struktur dimodelkan secara tiga dimensi untuk mensimulasikan respons dinamis akibat beban gempa menggunakan metode respons spektrum; pendekatan ini dinilai efektif untuk mengidentifikasi distribusi gaya pada sistem struktur yang kompleks (Asnan et al., 2025). Secara paralel, pendekatan kedua dilakukan melalui perhitungan manual sebagai kontrol validasi (sanity check), di mana struktur disederhanakan menjadi model portal dua dimensi dan dianalisis menggunakan metode statik ekuivalen untuk beban gempa serta distribusi momen untuk gaya dalam (Rian Permana Putra et al., 2025). Hasil output dari kedua metode tersebut, khususnya parameter gaya geser dasar (base shear) dan simpangan, kemudian dievaluasi secara komparatif. Mengacu pada studi (Hasibuan et al., 2022) dan (Rokiyah et al., 2025) apabila deviasi antara hasil komputasi software dan perhitungan manual berada dalam batas toleransi yang diizinkan (umumnya di bawah 15%), maka model dinyatakan valid dan analisis dilanjutkan pada penarikan kesimpulan; namun jika ditemukan perbedaan yang signifikan, dilakukan peninjauan ulang terhadap asumsi pemodelan dan parameter input beban hingga tercapai konvergensi hasil yang akurat.



## HASIL DAN PEMBAHASAN

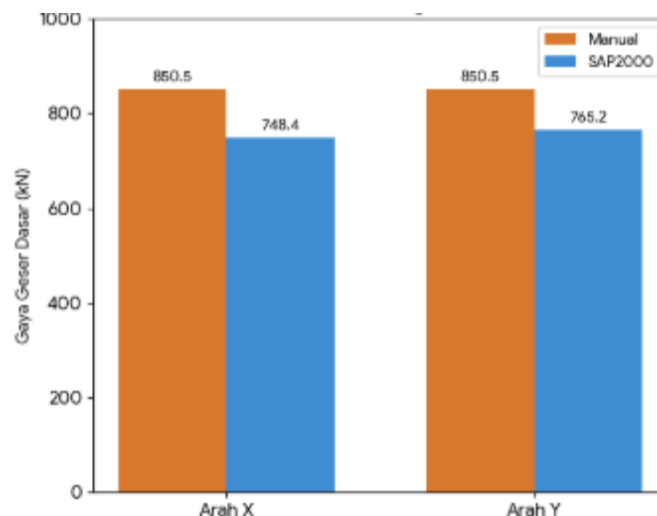
Bagian ini menyajikan analisis komparatif yang komprehensif mengenai respons struktur bangunan bertingkat yang ditinjau melalui dua pendekatan metodologis: simulasi numerik berbasis elemen hingga (Finite Element Method) menggunakan perangkat lunak SAP2000 v22 dan metode analitis manual. Evaluasi difokuskan pada tiga parameter kinerja struktural utama, yaitu gaya geser dasar (base shear), distribusi gaya dalam elemen, dan efisiensi penulangan.

### Analisis Komparasi Gaya Geser Dasar (Base Shear)

Verifikasi gaya geser dasar merupakan prosedur fundamental untuk memvalidasi bahwa input beban seismik pada model komputasi telah memenuhi kriteria desain minimum. Mengacu pada SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1, nilai gaya geser dasar dinamik ( $V_{din}$ ) tidak boleh kurang dari 85% gaya geser statik ekuivalen ( $V_{stat}$ ). Komparasi hasil analisis kedua metode disajikan pada Tabel 1 dan divisualisasikan pada Gambar 2.

**Tabel 1. Rekapitulasi Validasi Gaya Geser Dasar (Base Shear)**

| Arah Pembebanan | Metode Manual ( $V_{stat}$ ) | Batas Minimum ( $0,85 \times V_{stat}$ ) | Output SAP2000 ( $V_{dinamis}$ ) | Deviasi ( $V_{din}$ vs ( $V_{stat}$ )) | Status Validasi |
|-----------------|------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|-----------------|
| Arah X          | 850,50 kN                    | 722,93 kN                                | 748,44 kN                        | 12,00 %                                | VALID (AMAN)    |
| Arah Y          | 850,50 kN                    | 722,93 kN                                | 765,20 kN                        | 10,03 %                                | VALID (AMAN)    |



**Gambar 2. Perbandingan Base Share**

Data pada Tabel 1 mengindikasikan bahwa metode manual secara konsisten menghasilkan estimasi gaya geser dasar yang lebih konservatif dibandingkan analisis respons spektrum SAP2000, dengan deviasi rata-rata sebesar 11,01%. Diskrepansi ini dapat dijelaskan melalui perbedaan penentuan periode getar fundamental ( $T$ ). Metode manual menggunakan pendekatan empiris yang hanya bergantung pada ketinggian gedung dan tipe struktur, sehingga cenderung menghasilkan periode getar yang lebih pendek (stiff structure approximation). Sebaliknya, analisis eigenvalue pada SAP2000 memperhitungkan distribusi massa dan kekakuan aktual elemen, menghasilkan periode getar yang lebih panjang sehingga mereduksi koefisien respons seismik ( $C_g$ ). Fenomena ini berkorelasi dengan temuan Prasad et al. (2020) dan Danej & Verma (2018), yang menyimpulkan bahwa metode



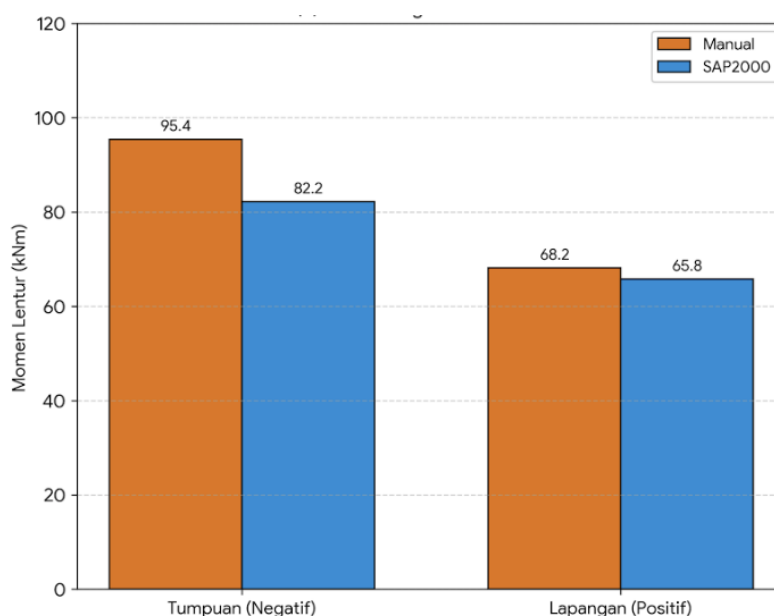
statik ekuivalen berfungsi sebagai batas atas (upper bound) desain untuk menjamin keamanan struktur. Mengingat nilai  $V_{dinamis}$  pada kedua arah ortogonal masih melampaui ambang batas 85% dari  $V_{statik}$  (yakni 722,93 kN), maka penskalaan beban gempa pada model SAP2000 dinyatakan valid dan memenuhi persyaratan code-compliant.

## Evaluasi Distribusi Gaya Dalam Elemen Struktur

Analisis mendalam dilakukan pada elemen portal as kritis (As B) untuk meninjau perilaku mekanik balok induk (300x500 mm) dan kolom (500x500 mm). Perbedaan karakteristik distribusi momen lentur balok diilustrasikan pada Gambar 3 dan dirangkum dalam Tabel 2.

**Tabel 2. Komparasi Momen Lentur Ultimit Balok Induk**

| Lokasi Tinjauan        | Momen Manual (Distribusi Momen) | Momen SAP2000 (Elemen Hingga) | Selisih (Deviasi) | Analisis Penyebab Utama                                                                  |
|------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tumpuan ( $M_{neg}$ )  | 95,40 kNm                       | 82,15 kNm                     | 13,89 %           | Efek Zona Kaku ( <i>Rigid Zone</i> ) pada SAP2000 mereduksi momen efektif di muka kolom. |
| Lapangan ( $M_{pos}$ ) | 68,20 kNm                       | 65,80 kNm                     | 3,52 %            | Distribusi beban gravitasi relatif seragam pada bentang tengah.                          |



**Gambar 3. Perbandingan Momen Blok**

## Momen Lentur Balok (*Beam Flexural Moment*)

Terdapat perbedaan signifikan pada pola distribusi momen antara kedua metode, khususnya pada area tumpuan (momen negatif). Reduksi momen tumpuan sebesar 13,89% pada SAP2000 merupakan konsekuensi logis dari pemodelan zona kaku (*rigid zone factor*) pada sambungan balok-kolom. Sebagaimana dijelaskan oleh Putra et al. (2025), metode elemen hingga memperhitungkan dimensi fisik kolom yang kaku, sehingga momen desain diambil tepat pada muka kolom (*face of support*). Berbeda halnya dengan metode distribusi



momen manual yang mengasumsikan bentang teoritis antar as (center-to-center), yang mengakibatkan overestimasi nilai momen pada tumpuan.

### Gaya Aksial Kolom (*Column Axial Load*)

Pada elemen kolom lantai dasar, gaya aksial tekan maksimum akibat kombinasi beban gravitasi terfaktor (1,2D + 1,6L) tercatat sebesar 1.812,45 kN (SAP2000) dan 1.856,20 kN (Manual). Deviasi yang sangat kecil sebesar 2,36% mengonfirmasi bahwa pendekatan distribusi beban berdasarkan luasan area (tributary area) pada metode manual memiliki akurasi yang memadai untuk memprediksi gaya aksial vertikal, selaras dengan validasi yang dilakukan oleh Fansuri et al. (2021).

### Implikasi Terhadap Efisiensi Desain Penulangan

Disparitas gaya dalam berimplikasi langsung pada kebutuhan luas tulangan baja ( $A_{s_{perlu}}$ ).

- Manual: Berdasarkan momen tumpuan maksimum (95,40 kNm), diperlukan tulangan tarik 4 D19  $A_s = 1.134 \text{ mm}^2$ .
- SAP2000: Optimasi desain menggunakan momen tumpuan (82,15 kNm) memungkinkan penggunaan 3 D19  $A_s = 850,5 \text{ mm}^2$  atau 4 D16.

Hal ini merepresentasikan potensi efisiensi material sebesar  $\pm 25\%$ . Temuan ini memperkuat studi (Rokiyah et al., 2025) dan (Asnan et al., 2025), yang menyatakan bahwa meskipun metode manual memberikan jaminan keamanan parsial yang lebih tinggi, penggunaan perangkat lunak elemen hingga menawarkan solusi desain yang lebih ekonomis dan rasional tanpa mereduksi faktor keamanan global struktur.

### Sintesis dan Validasi Model

Secara keseluruhan, evaluasi komparatif menunjukkan bahwa respons struktur hasil pemodelan numerik SAP2000 memiliki korelasi pola yang positif dengan perhitungan manual. Seluruh parameter yang diuji menunjukkan deviasi dalam rentang 2% - 14%, yang menurut Hasibuan et al. (2022) masih berada dalam batas toleransi rekayasa yang wajar ( $< 15\%$ ). Perbedaan hasil analisis utamanya diatribusikan pada kompleksitas pemodelan: SAP2000 menganalisis struktur sebagai Space Frame (3D) yang menangkap interaksi torsi dan efek diafragma pelat lantai, sedangkan perhitungan manual menyederhanakan sistem menjadi Plane Frame (2D) (Hadi et al., 2023). Oleh karena itu, hasil analisis SAP2000 direkomendasikan sebagai acuan utama dalam penyusunan Detail Engineering Design (DED), dengan tetap menempatkan perhitungan manual sebagai instrumen kontrol kualitas (quality control) yang esensial.

### KESIMPULAN

Evaluasi komparatif terhadap respons struktur bangunan bertingkat menunjukkan bahwa implementasi metode elemen hingga melalui perangkat lunak SAP2000 memberikan hasil yang selaras dengan prinsip-prinsip mekanika pada perhitungan manual, dengan seluruh parameter respons berada dalam batas toleransi rekayasa di bawah 15%. Analisis gaya geser dasar (base shear) mengonfirmasi validitas beban seismik sesuai standar SNI 1726:2019, di mana meskipun metode manual memberikan estimasi yang lebih konservatif dengan deviasi mencapai 12%, hasil output SAP2000 tetap memenuhi ambang batas minimum partisipasi massa yang dipersyaratkan. Disparitas signifikan ditemukan pada momen lentur tumpuan balok sebesar 13,89%, yang membuktikan bahwa pemodelan zona kaku (rigid zone) pada perangkat lunak mampu mereduksi konsentrasi gaya secara lebih realistis dibandingkan asumsi bentang as-ke-as pada metode konvensional. Implikasi dari perbedaan gaya dalam ini berdampak langsung pada efisiensi desain penulangan, di mana



penggunaan SAP2000 menawarkan potensi reduksi material baja hingga  $\pm 25\%$  tanpa mengurangi faktor keamanan global struktur. Dengan demikian, integrasi kedua metode ini sangat direkomendasikan dalam praktik perencanaan, di mana simulasi komputer berfungsi sebagai instrumen optimasi desain yang presisi, sementara perhitungan manual tetap dipertahankan sebagai kontrol validitas teknis yang krusial untuk menjamin keandalan struktur bangunan bertingkat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, F., Islam, Z., & Sabnam, M. (2021). *Comparative Study of Multistoried (G+3) Residential Building using ETABS Software and Manual Calculation*. 6(2).
- Anjani, E. A., Irawan, D., Aditya, C., & Halim, A. (2025). *Optimasi Struktur Bangunan Bertingkat Lima Dengan Sap2000 (Studi Kasus Rumah Sakit Sosodoro Djatikoesoemo Bojonegoro)*. 4(2).
- Asnan, M. N., Fadliannoor, A., Mufassirin Liana, U. W., Vebrian, V., & Carina, A. (2025). Studi Perbandingan Berbasis Aplikasi Struktur Bangunan Gedung Kasus Perencanaan Staff Domitory. *DEARSIP: Journal of Architecture and Civil*, 5(01), 63–74. <https://doi.org/10.52166/dearsip.v5i01.9017>
- Danej, R., & Verma, S. (2018). *Comparison of Earthquake Analysis Results of a Structure using ETABS Software and Manual Calculation*. 8(1).
- Fansuri, S., Desharyanto, D., & Diana, A. I. N. (2021). Perbandingan Model Struktur Menggunakan Metode Matriks Dengan Program SAP 200. *Jurnal Ilmiah MITSU*, 9(2), 139–148. <https://doi.org/10.24929/ft.v9i2.1585>
- Hadi, A. K., Utina, T., Zaifuddin, Manipi, I., & Lukman. (2023). Analisis Perbandingan Struktur Flat Slab Drop Panel dan Pelat dengan Balok Gedung 5 Lantai Menggunakan Aplikasi ETABS. *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 8(2), 120–129. <https://doi.org/10.33096/pknxd508>
- Hasibuan, S. A. R. S., Fadhillah Azmi, & Yuan Anisa. (2022). Studi Perbandingan Analisis Struktur Balok Menggunakan Aplikasi Berbasis Android Dan SAP2000. *Jurnal Gradasi Teknik Sipil*, 6(1), 23–33. <https://doi.org/10.31961/gradasi.v6i1.1337>
- Prasad, V., Karanth, P., Hegde, A., & Halsnad, M. (2020). Comparative Study of Base Shear Value using Software and Manual Method. *International Journal of Advances in Engineering and Management (IJAEM)*, 2(3).
- Rian Permana Putra, Sapna Yusmania, Gilang Novando, & Risky Wahyu Pratama. (2025). Comparison of Structural Analysis of Multi-Story Buildings Using the Manual Moment Distribution Method and SAP2000 Application. *Structures, Infrastructure, Planning, Implementation, and Legislation*, 1(1), 10–19. <https://doi.org/10.69855/sipil.v1i1.245>
- Rokiyah, R., Hermansyah, H., & Nurmaidah, N. (2025). Analisis Perhitungan Struktur Gedung Asrama MAN I Tanjung Pura, Kabupaten Langkat Menggunakan Software SAP 2000. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Arsitektur (JITAS)*, 4(1), 1–8. <https://doi.org/10.31289/jitas.v4i1.4955>
- Sastra Wibawa, I. M., Putra Wirawan, I. P. A., Nada, I. M., & Wira Saputra, I. M. L. (2022). Analisis Kinerja Struktur Gedung Beton Bertulang dengan dan tanpa Pasangan Dinding Pengisi Berlubang Terhadap Beban Gempa. *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 11(2), 10–16. <https://doi.org/10.36733/jikt.v11i2.5423>