

## Desain Struktur Komposit Baja-Beton Gedung Pusat Perbelanjaan di Kota Bekasi

\* Tasya Nafitsah Maulida, Erma Desimaliana & Nessa Valiantine Diredja

Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung

\*) [asya.nafitsah@mhs.itenas.ac.id](mailto:asya.nafitsah@mhs.itenas.ac.id)

Received: 28 April 2026, Revised: 30 Juni 2026, Accepted: 13 Juli 2026

### Abstract

*This study presents the structural design of a six-storey steel-concrete composite shopping building in Bekasi, West Java. The analysis aims to evaluate the adequacy of a composite structural system in terms of strength, stiffness, and seismic performance under gravity and earthquake actions. Using an analytical-descriptive design approach, a three-dimensional model was developed in ETABS, and seismic response was assessed using the response spectrum method in accordance with SNI 1726:2019, while load combinations were established based on SNI 1727:2020. The proposed system adopts a medium moment-resisting composite frame with 400×400×19 mm concrete-filled steel-tube columns and castellated steel beams to achieve structural efficiency and spatial flexibility. Structural performance was evaluated through modal mass participation, fundamental period, base shear, interstorey drift, and P-Delta response, followed by member and connection detailing in accordance with SNI 1729:2020 and SNI 2847:2019. The results indicate that the structural model satisfies the required performance criteria, with cumulative modal mass participation exceeding 90%, interstorey drift remaining within the allowable limit, and second-order effects still under acceptable control. The designed composite system, therefore, demonstrates adequate technical feasibility for application in mid-rise commercial buildings in seismic regions such as Bekasi City.*

**Keywords:** composite structure, steel-concrete, CFST, castellated beam, response spectrum

### Abstrak

*Penelitian ini menyajikan perancangan struktur komposit baja-beton pada gedung perbelanjaan enam lantai di Kota Bekasi, Jawa Barat. Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan sistem struktur komposit ditinjau dari aspek kekuatan, kekakuan, dan kinerja seismik terhadap kombinasi beban gravitasi dan gempa. Penelitian ini merupakan studi analitis-deskriptif yang dilakukan melalui pemodelan tiga dimensi menggunakan ETABS, sedangkan respons gempa dianalisis dengan metode respons spektrum sesuai SNI 1726:2019 dan kombinasi pembebanan disusun berdasarkan SNI 1727:2020. Sistem struktur yang direncanakan menggunakan rangka pemikul momen menengah komposit dengan kolom concrete-filled steel-tube 400×400×19 mm dan balok baja kastela untuk memperoleh efisiensi struktural sekaligus fleksibilitas ruang. Evaluasi kinerja dilakukan melalui peninjauan partisipasi massa ragam, periode fundamental, gaya geser dasar, simpangan antar lantai, dan respons P-Delta, yang kemudian diikuti dengan detailing elemen dan sambungan sesuai SNI 1729:2020 dan SNI 2847:2019. Hasil analisis menunjukkan bahwa model struktur memenuhi kriteria kinerja yang dipersyaratkan, dengan partisipasi massa kumulatif melebihi 90%, simpangan antar lantai berada dalam batas izin, dan efek orde kedua masih terkendali. Dengan demikian, sistem komposit yang direncanakan dapat dinyatakan layak secara teknis untuk diterapkan pada bangunan komersial bertingkat menengah di wilayah seismik seperti Kota Bekasi.*

**Kata kunci:** struktur komposit, baja-beton, CFST, balok kastela, respons spektrum

### Pendahuluan

Pertumbuhan kawasan perkotaan di Kota Bekasi diikuti oleh peningkatan kebutuhan bangunan

komersial bertingkat yang mampu menyediakan ruang bebas kolom, fleksibilitas tata ruang, serta efisiensi pelaksanaan konstruksi. Sebagai fasilitas publik dengan kepadatan pengunjung yang tinggi,

bangunan pusat perbelanjaan dituntut memenuhi keandalan pada berbagai aspek bangunan, baik struktural maupun nonstruktural (Tuarita et al., 2025). Pada bangunan perbelanjaan, kebutuhan bentang yang relatif besar dan tuntutan kinerja layan yang baik menjadikan pemilihan sistem struktur sebagai aspek yang menentukan. Terlebih lagi, pekerjaan struktur beton bertulang menyerap porsi biaya material terbesar dalam proyek bangunan gedung, sehingga efisiensi pemilihan sistem struktur berdampak langsung pada biaya proyek (Putra & Gawei, 2026). Di sisi lain, lokasi bangunan di wilayah gempa menuntut sistem struktur yang tidak hanya efisien secara konstruktif, tetapi juga memadai dari sisi kekuatan, kekakuan, dan stabilitas.

Salah satu alternatif yang banyak dikembangkan untuk menjawab kebutuhan tersebut adalah sistem struktur komposit baja-beton. Sistem ini memanfaatkan keunggulan masing-masing material, yaitu kapasitas tarik dan kecepatan ereksi baja serta kapasitas tekan dan kekakuan beton. Pada elemen kolom, penggunaan *concrete-filled steel-tube* berpotensi meningkatkan kapasitas aksial, daktilitas, dan ketahanan terhadap tekuk lokal. Pada elemen balok, profil kastela memungkinkan efisiensi berat sendiri tanpa mengurangi kemampuan elemen dalam menahan gaya dalam secara signifikan apabila dirancang dengan ketentuan yang tepat.

Kajian terdahulu menunjukkan bahwa sistem komposit baja-beton telah banyak diterapkan pada bangunan bertingkat di Indonesia. Pada bangunan komersial bertingkat di wilayah seismik, efisiensi material struktur dapat ditingkatkan melalui pemilihan parameter desain gempa serta penyesuaian dimensi dan tipe elemen struktur yang tepat (Guci et al., 2025), sementara itu penelitian lainnya menegaskan bahwa kolom *concrete-filled tube* dan konfigurasi baja-beton komposit memberikan kapasitas struktur yang baik untuk bangunan gedung (Maharani & Faimun, 2019; Suwandy et al., 2023). Secara lebih spesifik, gedung baja dengan kolom komposit dan ketidakberaturan horizontal masih mampu mencapai tingkat kinerja *Immediate Occupancy* melalui analisis *pushover* (Desimaliana et al., 2022). Dalam konteks sistem baja tahan gempa, penelitian sebelumnya melaporkan bahwa variasi penampang kolom pada struktur *special plate shear wall* berpengaruh terhadap besarnya gaya geser dasar dan efektivitas kinerja seismik struktur (Nuranita et al., 2022). Selain itu, penelitian lain juga menunjukkan bahwa penggunaan balok baja kastela pada gedung bertingkat cenderung menghasilkan periode struktur dan simpangan antarlantai yang lebih kecil dibandingkan dengan

variasi struktur baja WF maupun beton bertulang (Diredja et al., 2023).

Pada lingkup internasional, penelitian mutakhir lebih banyak diarahkan pada perilaku seismik sambungan dan sistem komposit, seperti: perilaku siklik sambungan balok-kolom komposit (Liu et al., 2024; Qu et al., 2023; Yao et al., 2023), serta reliabilitas dan performa sistem rangka komposit berbasis CFST serta elemen dinding geser (Li et al., 2024; Tran et al., 2024; Xu et al., 2024). Hal tersebut juga konsisten dengan penelitian lainnya, yang menunjukkan bahwa konfigurasi bresing konsentrik dengan profil *hollow* memberikan rasio kapasitas penampang yang lebih baik dibandingkan dengan profil *equal angle* pada gedung baja tahan gempa berdasarkan analisis *time history* (Desimaliana et al., 2025).

Berdasarkan tinjauan tersebut, terlihat bahwa kajian terdahulu umumnya meninjau komponen inovasi komposit secara terpisah. Sebagian penelitian menekankan keunggulan kolom *concrete-filled steel-tube* tanpa mengoptimalkan sistem balok (Suwandy et al., 2023), sementara penelitian lain menyoroti efisiensi balok kastela pada rangka baja konvensional tanpa kolom komposit (Diredja et al., 2023). Pada lingkup internasional, fokus kajian lebih banyak diarahkan pada perilaku siklik sambungan dan reliabilitas sistem pada skala elemen atau sub-rakitan (Li et al., 2024; Liu et al., 2024; Qu et al., 2023; Yao et al., 2023), bukan pada perancangan menyeluruh satu bangunan komersial nyata. Dengan demikian, masih terdapat kesenjangan kajian (*research gap*) berupa belum banyaknya studi yang memadukan kolom CFST dan balok kastela secara simultan dalam satu sistem rangka pemikul momen menengah, sekaligus mengevaluasinya dari tingkat respons global hingga detailing sambungan, untuk bangunan pusat perbelanjaan bertingkat menengah pada wilayah seismik spesifik di Indonesia.

Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada integrasi dua inovasi material komposit, yaitu kolom CFST dan balok kastela, ke dalam satu sistem struktur pusat perbelanjaan enam lantai di Kota Bekasi yang dirancang secara utuh mulai dari pemodelan tiga dimensi, evaluasi respons dinamik dan batas layan, hingga detailing sambungan balok-kolom, balok-balok, pelat dasar, dan penulangan kolom komposit dengan mengacu pada SNI yang berlaku. Kontribusi penelitian ini adalah menyediakan rujukan teknis perancangan terpadu yang menghubungkan kinerja seismik global dengan kelayakan detailing elemen lokal pada konteks bangunan komersial nyata di wilayah seismik Kota Bekasi.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada desain struktur komposit baja-beton untuk gedung perbelanjaan enam lantai di Kota Bekasi. Pembahasan mencakup data teknis bangunan, pemodelan tiga dimensi, evaluasi respons dinamik dan batas layan, serta perancangan detailing elemen dan sambungan utama. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran teknis mengenai penerapan sistem komposit pada bangunan komersial bertingkat menengah dengan mengacu pada ketentuan SNI yang berlaku.

## Metode

Penelitian ini merupakan studi analitis-deskriptif kuantitatif berbasis data perencanaan struktur gedung pusat perbelanjaan yang berlokasi di Kota Bekasi, Provinsi Jawa Barat, pada koordinat kurang lebih 6,24° LS dan 106,99° BT. Data yang digunakan merupakan data sekunder berupa data geometri bangunan, mutu material, dan parameter seismik wilayah, sedangkan pengumpulan data primer tidak dilakukan karena kajian bersifat analitis terhadap model perencanaan. Objek kajian berupa gedung perbelanjaan 6 (enam) lantai dengan tinggi lantai pertama 4,5 m; tinggi lantai dua sampai enam masing-masing 3,5 m; tinggi total bangunan 22 m; dan luas bangunan sekitar 11.975 m<sup>2</sup>. Material meliputi beton mutu 25 MPa, baja tulangan BJTS 420B, serta baja profil dengan  $f_y$  250 MPa dan  $f_u$  410 MPa.

Sistem struktur direncanakan sebagai rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah. Kolom utama menggunakan profil *hollow* 400 x 400 x 19 mm yang diisi beton sebagai elemen *concrete-filled steel tube*. Balok lantai menggunakan balok kastela, yaitu profil 600 x 300 x 10 x 15 mm untuk lantai 1-2, 500 x 250 x 9 x 14 mm untuk lantai 3-5, dan 400 x 200 x 8 x 12 mm untuk lantai atap. Parameter perencanaan mengacu pada SNI 1726:2019 untuk ketahanan gempa, SNI 1727:2020 untuk pembebanan, SNI 1729:2020 untuk struktur baja, dan SNI 2847:2019 untuk beton struktural.

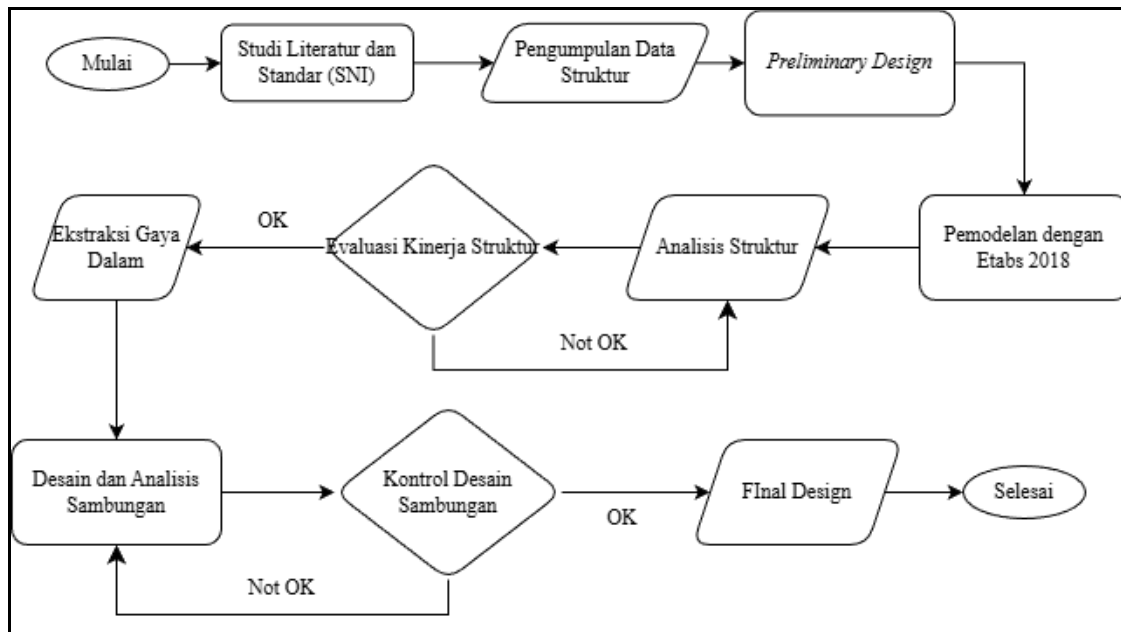
Pemilihan sistem komposit dengan kolom *concrete-filled steel-tube* dan balok kastela didasarkan pada pertimbangan teknis yang sesuai dengan karakteristik bangunan komersial bentang lebar. Kolom CFST dipilih karena tabung baja memberikan efek kekangan (*confinement*) terhadap inti beton sehingga meningkatkan kapasitas aksial, daktilitas, dan ketahanan terhadap tekuk lokal, sekaligus menghilangkan kebutuhan bekisting sehingga mempercepat pelaksanaan. Balok kastela dipilih karena bukaan pada badan profil meningkatkan tinggi penampang dan kekakuan

lentur tanpa menambah berat sendiri secara signifikan, sekaligus menyediakan ruang bagi jalur instalasi mekanikal, elektrik, dan perpipaan yang umum diperlukan pada bangunan pusat perbelanjaan. Kombinasi keduanya diharapkan menghasilkan sistem yang efisien dari sisi berat struktur sekaligus memadai dari sisi kekuatan, kekakuan, dan kinerja seismik.

Analisis struktur dilakukan melalui pemodelan tiga dimensi menggunakan perangkat lunak ETABS, sedangkan pemeriksaan kapasitas penampang kolom komposit dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *spColumn*. Beban yang diperhitungkan meliputi beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, dan beban gempa. Respons gempa dianalisis dengan metode respons spektrum berdasarkan parameter spektrum wilayah Bekasi dan klasifikasi situs tanah sedang. Evaluasi kinerja dilakukan melalui pemeriksaan periode getar, massa partisipasi, gaya geser dasar, simpangan antarlantai, dan pengaruh P-Delta. Gaya dalam hasil kombinasi pembebanan terfaktor selanjutnya digunakan untuk merencanakan sambungan balok-kolom, sambungan balok-balok, pelat dasar, dan penulangan kolom komposit.

Pemodelan disusun berdasarkan sejumlah asumsi, yaitu setiap lantai dimodelkan sebagai diafragma kaku, perletakan dasar kolom diasumsikan jepit, aksi komposit pada kolom CFST dimodelkan melalui penampang gabungan baja-beton, sambungan balok-kolom utama diperlakukan sebagai sambungan momen, serta pengaruh orde kedua (P-Delta) disertakan dalam analisis. Teknik analisis data dilakukan secara kuantitatif dengan membandingkan keluaran numerik model terhadap kriteria yang ditetapkan dalam SNI. Validasi model ditinjau melalui tiga indikator, yaitu tercapainya partisipasi massa ragam kumulatif lebih dari 90%, kesesuaian periode getar fundamental terhadap periode pendekatan empiris menurut SNI 1726:2019, serta terpenuhinya batas simpangan antarlantai dan koefisien stabilitas P-Delta. Apabila ketiga indikator tersebut terpenuhi, model dinilai representatif untuk digunakan sebagai dasar perancangan elemen dan detailing sambungan.

Tahap *detailing* dilakukan untuk memastikan bahwa respons global hasil analisis dapat diterjemahkan ke dalam konfigurasi elemen dan sambungan yang memenuhi prinsip desain kapasitas serta kemudahan pelaksanaan. Dengan pendekatan tersebut, penelitian ini tidak hanya mengevaluasi kinerja struktur secara global, tetapi juga meninjau kelayakan teknis desain pada tingkat elemen. Tahapan pelaksanaan penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir tahapan pelaksanaan penelitian

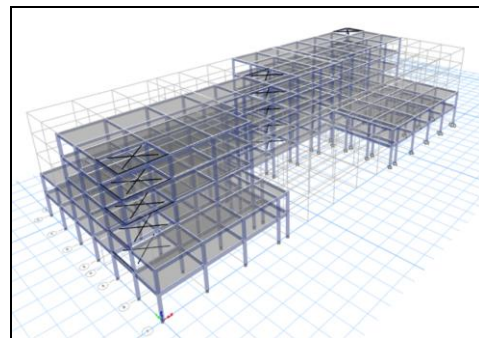
## Hasil dan Pembahasan

### Pemodelan, pembebanan, dan parameter desain

Model struktur tiga dimensi (Gambar 2) memperlihatkan konfigurasi portal komposit yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan bentang ruang pada bangunan komersial bertingkat menengah. Konfigurasi portal pemikul momen komposit dipilih karena mampu menyediakan ruang bebas kolom yang luas dan fleksibel sesuai kebutuhan tata ruang pusat perbelanjaan, sekaligus menyalurkan beban lateral akibat gempa melalui aksi rangka tanpa memerlukan dinding geser yang dapat membatasi penataan ruang. Dibandingkan sistem beton bertulang konvensional, sistem komposit ini menghasilkan berat sendiri yang lebih ringan sehingga gaya inersia gempa lebih kecil dan pelaksanaan lebih cepat; sedangkan dibandingkan sistem rangka baja murni dengan bresing, sistem ini mempertahankan keterbukaan ruang karena tidak menghadirkan elemen bresing diagonal yang mengganggu sirkulasi dan fasad. Secara visual, distribusi bentang, kontinuitas elemen utama, dan keteraturan sistem dapat diamati dari pemodelan tiga dimensi, yang selanjutnya menjadi dasar dalam evaluasi beban gravitasi dan beban gempa.

Pembebanan yang diterapkan pada model struktur gedung meliputi beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, dan beban gempa. Beban mati utama berasal dari berat sendiri elemen struktur, yaitu pelat lantai, balok, dan kolom baja komposit, yang dihitung melalui pemodelan struktur tiga dimensi. Pendekatan ini digunakan agar distribusi beban

gravitasi primer yang bekerja pada sistem struktur dapat direpresentasikan secara konsisten sesuai konfigurasi geometrik bangunan dan karakteristik material yang digunakan.



Gambar 2. Pemodelan 3D struktur gedung

Selain beban mati utama, struktur juga menerima beban mati tambahan (*superimposed dead load*) yang merepresentasikan komponen nonstruktural pada sistem lantai. Pada lantai tipikal, beban mati tambahan terdiri atas plester keramik sebesar 0,16 kN/m<sup>2</sup>; lantai keramik sebesar 0,22 kN/m<sup>2</sup>; plafon beserta rangkanya sebesar 0,20 kN/m<sup>2</sup>; serta beban instalasi mekanikal, elektrik; dan perpipaan sebesar 0,25 kN/m<sup>2</sup>. Di samping itu, dinding bata merah juga diperhitungkan sebagai komponen pembebanan nonstruktural karena memberikan kontribusi terhadap beban gravitasi yang harus dipikul oleh balok dan kolom. Pada area tertentu, pembebanan tambahan disederhanakan hanya mencakup plafon beserta rangkanya dan beban mekanikal-elektrikal-perpipaan, mengikuti fungsi ruang dan kebutuhan layanan bangunan.

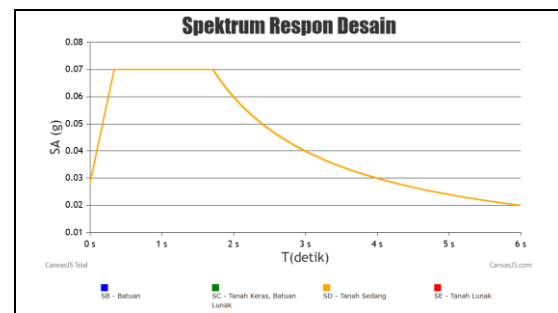
Beban hidup ditetapkan berdasarkan fungsi bangunan sebagai pusat perbelanjaan. Pada lantai pertama yang difungsikan sebagai area toko, beban hidup merata diambil sebesar 4,79 kN/m<sup>2</sup>; sedangkan pada lantai di atasnya digunakan beban hidup sebesar 3,59 kN/m<sup>2</sup>. Untuk atap datar, beban hidup rencana ditetapkan sebesar 0,96 kN/m<sup>2</sup>. Perbedaan nilai beban hidup tersebut menunjukkan bahwa intensitas aktivitas pada lantai dasar diperkirakan lebih tinggi dibandingkan dengan lantai tipikal di atasnya, sedangkan pembebanan atap ditentukan sesuai ketentuan minimum untuk area atap datar.

Selain pembebanan gravitasi, struktur juga dianalisis terhadap beban gempa melalui pendekatan respons spektrum. Parameter gempa rencana diperoleh berdasarkan kondisi seismik wilayah Kota Bekasi dan kelas situs tanah yang digunakan dalam analisis. Dengan demikian, model struktur tidak hanya dievaluasi terhadap pengaruh beban vertikal, tetapi juga terhadap aksi lateral yang memengaruhi kekakuan, stabilitas, dan respons dinamik bangunan secara keseluruhan. Integrasi seluruh komponen pembebanan tersebut dimaksudkan untuk menghasilkan kondisi pembebanan yang merepresentasikan perilaku aktual struktur pada keadaan layan maupun pada kondisi batas ultimit.

Respons spektrum desain dan parameter spektral wilayah Bekasi (Gambar 3 dan Gambar 4) digunakan sebagai dasar dalam analisis gempa. Secara konseptual, penggunaan data spektral setempat memperkuat validitas model terhadap kondisi seismik lokasi, sehingga respons struktur

yang diperoleh tidak bersifat generik, melainkan merefleksikan tuntutan desain pada situs bangunan. Parameter spektral yang diperoleh mencerminkan kondisi situs tanah sedang, yang cenderung memperbesar percepatan respons pada rentang periode menengah dibandingkan situs tanah keras. Dengan periode fundamental struktur sebesar 0,993 detik, respons bangunan berada pada cabang menurun kurva spektrum desain ( $T > T_s$ ), sehingga percepatan gempa rencana yang bekerja dikendalikan oleh parameter  $S_{d1}$  dibagi periode.

Implikasinya, sistem komposit yang relatif fleksibel ini menarik gaya geser dasar yang lebih moderat dibandingkan sistem yang lebih kaku dengan periode lebih pendek, namun tetap dituntut memiliki kekakuan lateral yang cukup untuk membatasi simpangan. Karakteristik spektral inilah yang menjadi acuan utama dalam mengevaluasi gaya geser dasar, simpangan antarlantai, dan kebutuhan detailing elemen pada bagian berikutnya.



**Gambar 3. Spektrum respons desain**

|              |                    |           |           |        |        |
|--------------|--------------------|-----------|-----------|--------|--------|
| Kelas        | SD - Tanah Sedang  | T0(detik) | Ts(detik) | Sds(g) | Sd1(g) |
| Rentang T(s) | Value: 6           | 0.34      | 1.71      | 0.07   | 0.12   |
| PGA MCEG     | 0.0417 (g) bedrock |           |           |        |        |
| SS MCEr      | 0.0687 (g) bedrock |           |           |        |        |
| S1 MCEr      | 0.0758 (g) bedrock |           |           |        |        |
| TL           | 16 Detik           |           |           |        |        |

**Gambar 4. Parameter desain respons spektrum Kota Bekasi**

Kombinasi pembebanan dalam penelitian ini disusun untuk merepresentasikan kemungkinan kondisi pembebanan paling kritis yang dapat terjadi selama umur layan bangunan (Badan Standardisasi Nasional, 2020a). Kombinasi tersebut mencakup dominasi beban mati, interaksi antara beban mati dan beban hidup, pengaruh beban atap, serta kombinasi yang melibatkan aksi lateral akibat gempa. Melalui kombinasi ini, gaya dalam yang dihasilkan dari pemodelan struktur dapat digunakan sebagai dasar evaluasi kekuatan, kekakuan, dan stabilitas elemen struktur secara komprehensif.

Pada kondisi gravitasi, kombinasi pembebanan digunakan untuk meninjau pengaruh dominan beban permanen maupun interaksinya dengan beban hidup. Kondisi dominan beban mati direpresentasikan melalui kombinasi 1,4DL, sedangkan kondisi gravitasi maksimum akibat interaksi beban mati, beban hidup, dan beban atap ditinjau melalui kombinasi 1,2DL + 1,6LL + 0,5(Lr atau R). Selain itu, digunakan pula kombinasi 1,2DL + 1,6(Lr atau R) + (LL atau 0,5W) untuk mengevaluasi kemungkinan dominasi beban atap dengan kontribusi terbatas dari beban hidup atau beban lateral.

Untuk pembebanan lateral, kombinasi pembebanan mempertimbangkan pengaruh aksi gempa terhadap perilaku global struktur. Dalam hal ini, beban gempa diperhitungkan melalui komponen gaya seismik horizontal dan vertikal yang dinyatakan dalam bentuk  $\rho \times QE$  dan  $0,2SDS \times DL$  (Badan Standardisasi Nasional, 2019a). Kombinasi seismik kemudian diterapkan dalam bentuk  $1,2DL + 1,0LL \pm 1,0(\rho \times QE + 0,2SDS \times DL) \pm 0,3(\rho \times QE + 0,2SDS \times DL)$ , serta variasi ortogonalnya, sehingga pengaruh gempa dapat ditinjau pada dua arah utama pembebanan secara simultan dengan konsep 100%–30%. Pendekatan ini penting untuk memastikan bahwa elemen struktur, khususnya balok, kolom, dan sambungan, dirancang berdasarkan kondisi gaya dalam yang benar-benar kritis.

Secara keseluruhan, kombinasi pembebanan yang digunakan dalam analisis tidak hanya berfungsi untuk memperoleh nilai gaya aksial, momen lentur, dan gaya geser pada elemen struktur, tetapi juga untuk memverifikasi bahwa sistem komposit baja-beton memiliki kapasitas yang memadai terhadap seluruh kondisi desain yang relevan (Badan Standardisasi Nasional, 2019b, 2020b). Dengan demikian, hasil analisis yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar yang andal dalam tahap perencanaan elemen struktur dan *detailling* sambungan.

## Evaluasi respons dinamik, drift, dan stabilitas global

Hasil analisis dinamik menunjukkan bahwa tiga mode getar awal menghasilkan periode 0,993 detik; 0,909 detik; dan 0,853 detik. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa model struktur telah mampu menangkap kontribusi mode dominan secara memadai untuk keperluan evaluasi seismik. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menempatkan validasi periode getar sebagai indikator penting pada analisis struktur komposit baja-beton (Butsainah et al., 2025), serta karakteristik dinamik merupakan parameter kunci dalam menilai perilaku seismik sistem rangka komposit (Li et al., 2024).

Untuk menilai kewajaran periode hasil analisis, nilai tersebut dibandingkan dengan periode pendekatan empiris menurut SNI 1726:2019. Dengan tinggi bangunan  $h_n = 22$  m dan koefisien rangka baja pemikul momen ( $C_t = 0,0724$  dan  $\alpha = 0,8$ ), diperoleh periode pendekatan  $T_a \approx 0,86$  detik, sedangkan batas atas periode  $T = C_F \times T_a$  berada pada kisaran 1,20 detik untuk nilai  $C_F$  sekitar 1,4. Periode fundamental hasil pemodelan sebesar 0,993 detik berada di antara  $T_a$  dan  $C_F \times T_a$ , sehingga masih memenuhi rentang yang diizinkan SNI. Hal ini menunjukkan bahwa kekakuan lateral model tidak terlalu kaku maupun terlalu fleksibel, dan periode yang dihasilkan dapat diterima untuk analisis seismik. Nilai ini juga konsisten dengan hasil kajian struktur komposit bertingkat menengah di Indonesia yang umumnya menghasilkan periode di bawah 1 detik (Butsainah et al., 2025), serta sejalan dengan temuan bahwa penggunaan balok kastela cenderung memperkecil periode struktur dibandingkan dengan profil baja WF maupun beton bertulang (Diredja et al., 2023). Berdasarkan rekapitulasi berat seismik efektif, distribusi massa bangunan menunjukkan kecenderungan meningkat pada lantai-lantai bawah. Massa seismik pada lantai 6, lantai 5, dan lantai 4 masing-masing sebesar 675.799,3 kg; 818.453,4 kg; dan 817.997,5 kg; sedangkan pada lantai 3 dan lantai 2 meningkat menjadi 1.545.453,2 kg dan 1.651.734,6 kg. Akumulasi tersebut menghasilkan berat seismik efektif total sebesar 5.509.438,1 kg. Pola distribusi ini menunjukkan bahwa kontribusi massa terbesar berada pada lantai menengah-bawah, sehingga respons inersia struktur akibat gempa juga cenderung terkonsentrasi pada zona tersebut. Dalam konteks analisis dinamik, representasi massa yang memadai merupakan prasyarat penting agar estimasi gaya geser dasar, respons modal, dan distribusi gaya lateral dapat menggambarkan perilaku struktur secara lebih realistis.

Berat seismik efektif dan rekapitulasi simpangan antartingkat memperlihatkan bahwa struktur masih bekerja dalam rentang kinerja layan yang dapat diterima. *Drift* maksimum tercatat 9,482 mm pada arah X dan 10,886 mm pada arah Y; keduanya masih berada di bawah batas izin. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem memiliki kekakuan lateral yang cukup untuk membatasi deformasi akibat beban gempa rencana. Interpretasi tersebut menegaskan bahwa kontrol drift antarlantai merupakan parameter utama dalam menjamin performa seismik rangka komposit (Senthilkumar & Satish Kumar, 2020).

Secara lebih rinci, evaluasi simpangan antarlantai pada arah X menunjukkan bahwa nilai drift berturut-turut adalah 8,501 mm pada lantai 6; 9,482 mm pada lantai 5; 9,153 mm pada lantai 4; 6,701 mm pada lantai 3; dan 5,4 mm pada lantai 2. Seluruh nilai tersebut berada jauh di bawah drift izin, yaitu 87,5 mm untuk lantai tipikal dan 112,5 mm pada lantai 2. Pada arah Y; *drift* yang diperoleh masing-masing sebesar 4,302 mm; 10,886 mm; 2,691 mm; 0,572 mm; dan 3,056 mm; yang juga seluruhnya masih berada dalam batas yang diperkenankan. Nilai *drift* maksimum pada kedua arah terjadi di lantai 5, yang mengindikasikan bahwa lantai tersebut merupakan lokasi deformasi lateral terbesar dalam struktur. Terkonsentrasinya *drift* pada lantai tersebut berkaitan dengan transisi dimensi penampang balok kastela dari profil 600 series pada lantai bawah menjadi profil 500 dan 400 series pada lantai atas, yang disertai penurunan massa lantai di bagian atas bangunan. Kombinasi pengurangan kekakuan dan massa pada zona menengah-atas menyebabkan perpindahan antarlantai relatif lebih besar terjadi di sekitar lantai 5, sesuai dengan karakteristik ragam getar dominan struktur. Meskipun demikian, kontribusi kolom *concrete-filled steel-tube* yang menerus memberikan kekakuan aksial dan lentur yang tinggi sepanjang ketinggian bangunan, sehingga deformasi lateral pada seluruh lantai tetap terkendali. Margin keamanan terhadap batas izin masih cukup besar, sehingga sistem struktur dapat dinilai memiliki kekakuan lateral yang memadai untuk mengendalikan respons antarlantai pada kondisi gempa rencana.

Dari aspek stabilitas global, rekapitulasi parameter P-Delta menunjukkan bahwa seluruh nilai masih berada di bawah ambang batas yang diizinkan, sehingga efek orde kedua belum berkembang menjadi kondisi pengendali. Secara analitis, hal ini menunjukkan bahwa proporsi dimensi elemen serta distribusi kekakuan vertikal telah bekerja secara efektif dalam mengontrol amplifikasi momen akibat deformasi lateral. Kecenderungan

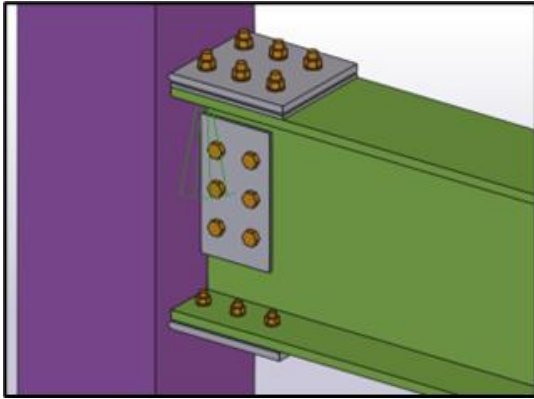
tersebut serupa dengan hasil perancangan struktur komposit pada bangunan bertingkat di Indonesia (Butsainah et al., 2025; Maharani & Faimun, 2019; Suwandy et al., 2023).

Hasil evaluasi efek P-Delta memperlihatkan bahwa pada arah X nilai parameter stabilitas berturut-turut adalah 0,00169 pada lantai 6; 0,0254 pada lantai 5; 0,0302 pada lantai 4; 0,0293 pada lantai 3; dan 0,0234 pada lantai 2. Pada arah Y; nilai yang diperoleh masing-masing sebesar 0,0091; 0,298; 0,0089; 0,0025; dan 0,0133. Seluruh nilai tersebut masih lebih kecil dibandingkan dengan batas maksimum 2,25; sehingga pengaruh orde kedua belum menjadi faktor pengendali dalam desain. Secara struktural, hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi dimensi elemen, kekakuan sistem, dan distribusi pembebanan masih mampu membatasi amplifikasi deformasi akibat gaya aksial dan perpindahan lateral secara simultan. Ditinjau dari tingkat keamanan, kecilnya koefisien stabilitas relatif terhadap batas izin menunjukkan bahwa struktur memiliki cadangan keamanan yang besar terhadap efek orde kedua, sehingga risiko ketidakstabilan akibat amplifikasi momen P-Delta sangat rendah pada kondisi gempa rencana. Kontribusi kolom *concrete-filled steel-tube* berperan penting dalam hal ini, karena efek kekangan antara tabung baja dan inti beton meningkatkan kekakuan dan kapasitas aksial kolom sehingga rasio beban aksial terhadap kekakuan tingkat menjadi rendah dan deformasi lateral akibat gaya gravitasi dapat ditekan. Oleh karena itu, stabilitas global bangunan dapat dinyatakan memenuhi kriteria desain, baik pada arah X maupun arah Y.

### Detailing sambungan dan kolom komposit

Pada tingkat elemen, *detailing* sambungan memperlihatkan bahwa transfer gaya antar komponen dapat dipenuhi secara rasional. Sambungan balok-kolom direncanakan sebagai *moment-resisting connection* dengan pelat 10 mm, baut A325 diameter 24 mm, jarak tepi 45 mm, dan jarak antar-baut 80 mm. Konfigurasi tersebut (Gambar 5) menunjukkan bahwa strategi *detailing* diarahkan untuk mempertahankan kontinuitas momen sekaligus menjaga kemudahan fabrikasi dan instalasi di lapangan. Pemilihan diameter baut dan ketebalan pelat ujung tersebut sejalan dengan studi sambungan balok-kolom baja terpraktualifikasi menurut SNI 7972:2020, yang menunjukkan bahwa kombinasi dimensi baut dan tebal pelat sangat menentukan kecukupan kapasitas momen dan geser sambungan (Mahdisra et al., 2025; Nugroho & Saputro, 2026). Pertimbangan kemudahan pelaksanaan ini penting untuk menekan potensi kegagalan (*failure mode*)

pada pekerjaan struktur, yang sebagian besar berkaitan dengan aspek keselamatan kerja dan mutu pelaksanaan di lapangan (Manurung & Kristiana, 2026).

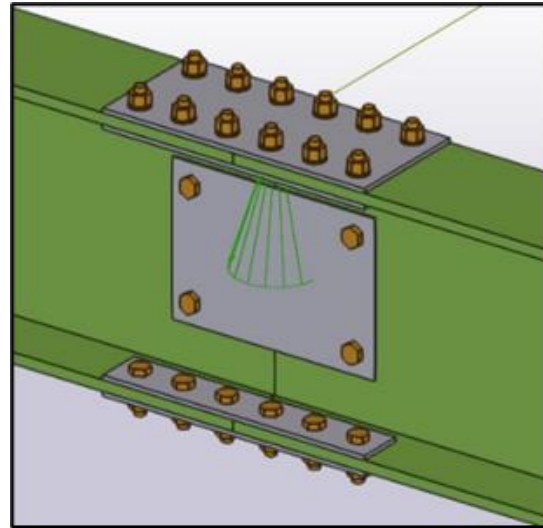


Gambar 5. Detail sambungan balok-kolom

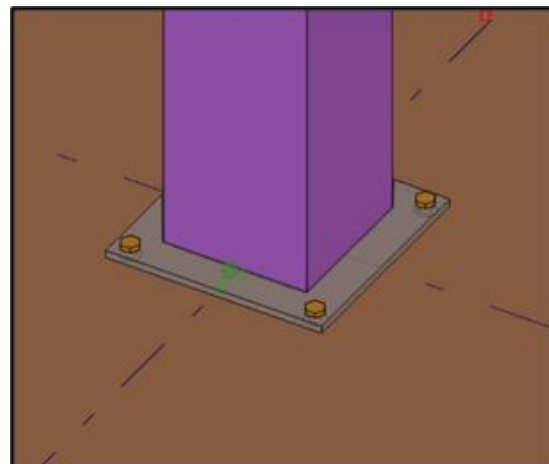
Sambungan balok-balok (Gambar 6) dirancang untuk menjaga kontinuitas momen pada bentang panjang, terutama ketika keterbatasan panjang profil menyaratkan adanya sambungan di lapangan. Secara mekanis, sambungan ini berperan dalam mempertahankan kekakuan rotasi dan distribusi momen sesuai asumsi pemodelan global.

Pada bagian tumpuan, pelat dasar berfungsi menyalurkan gaya tekan, tarik, dan geser dari kolom menuju *pile cap*. Hasil *detailing* (Gambar 7) menunjukkan bahwa sambungan dasar tidak hanya ditujukan untuk transfer beban aksial, tetapi juga untuk menjaga kestabilan lokal di zona perletakan. Ketelitian pemodelan elemen substruktur seperti pelat dasar dan *pile cap* penting untuk memastikan kesesuaian geometri serta kebutuhan material di lapangan, sebagaimana ditunjukkan pada pemodelan struktur bawah berbasis *Building Information Modeling* (Duna & Purwanto, 2026).

Pada elemen vertikal, penggunaan kolom *concrete-filled steel-tube* dengan tulangan *longitudinal* 8D16 dan rasio tulangan sekitar 1,22% (Gambar 8) menunjukkan bahwa perencanaan tidak hanya diarahkan untuk meningkatkan kapasitas aksial, tetapi juga untuk memperbaiki daktilitas dan mengendalikan potensi terjadinya tekuk lokal. Hal ini sejalan dengan penelitian lain yang menegaskan bahwa kontribusi efek kekangan baja dan inti beton merupakan faktor penting dalam kinerja seismik sistem komposit (Gao et al., 2024; Li et al., 2024; Xu et al., 2024).

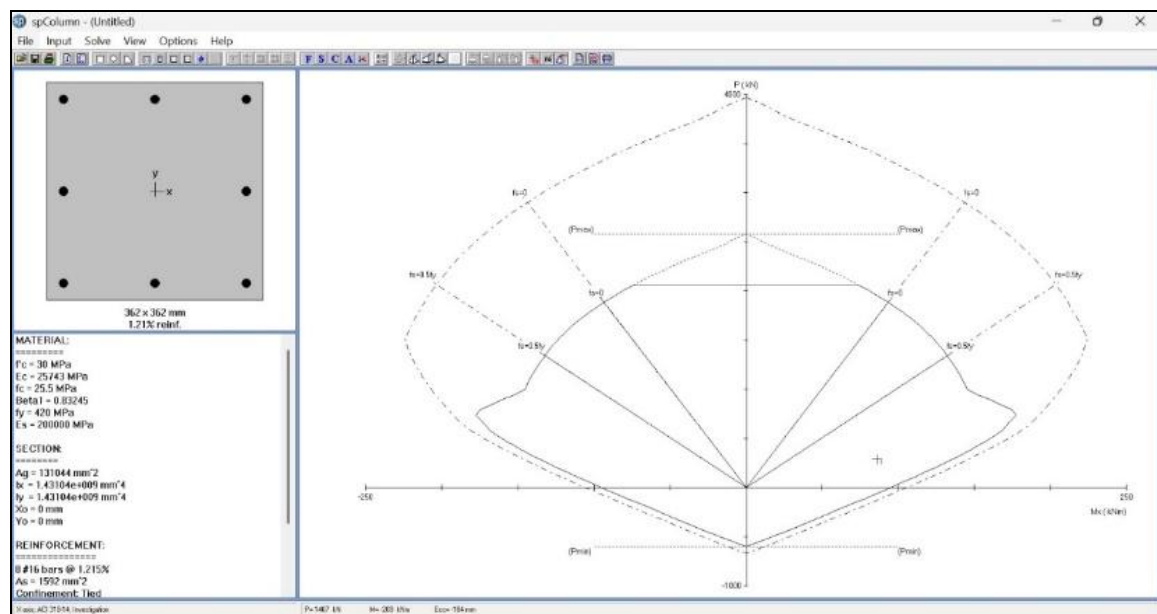


Gambar 6. Detail sambungan balok-balok



Gambar 7. Detail sambungan pelat dasar

Secara keseluruhan, integrasi hasil pemodelan, evaluasi kinerja global, serta *detailing* sambungan dan kolom komposit menunjukkan bahwa rancangan struktur memiliki konsistensi antara respons analitis dan kebutuhan *detailing* di lapangan. Hal ini selaras dengan penelitian lainnya yang menekankan bahwa konfigurasi sistem baja-komposit yang tepat dapat mempertahankan tingkat kinerja struktur pada kategori aman, serta elemen baja penahan gaya lateral memerlukan proporsi penampang yang tepat agar respons seismik dan kapasitas struktur tetap optimal (Nuranita et al., 2022).



Gambar 8. Hasil analisis spColumn pada kolom komposit

## Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perencanaan struktur komposit baja-beton pada gedung perbelanjaan enam lantai di Kota Bekasi telah memenuhi persyaratan kinerja struktural sebagaimana ditetapkan dalam SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, SNI 1729:2020, dan SNI 2847:2019. Evaluasi respons dinamik memperlihatkan bahwa struktur memiliki periode getar dominan sebesar 0,993 detik; 0,909 detik; dan 0,853 detik; disertai partisipasi massa kumulatif lebih dari 90%, sehingga model analisis dinilai representatif dalam menggambarkan perilaku seismik bangunan. Pemeriksaan terhadap simpangan antarlantai dan pengaruh P-Delta juga menunjukkan bahwa respons struktur masih berada dalam batas yang diizinkan, yang mengindikasikan tercapainya tingkat kekakuan dan stabilitas yang memadai. Dari sisi sistem struktur, penerapan kolom *concrete-filled steel-tube* dan balok kastela terbukti mampu mendukung kebutuhan bentang ruang pada bangunan komersial sekaligus mempertahankan efisiensi struktural dan kinerja seismik. Selain itu, perancangan sambungan balok-kolom, sambungan antarbalk, pelat dasar, dan penulangan kolom komposit menunjukkan kapasitas yang memenuhi kriteria desain, sehingga rancangan yang dihasilkan dapat dinyatakan layak untuk dikembangkan pada tahap perencanaan rinci. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa integrasi antara analisis global struktur dan detailing elemen lokal merupakan prasyarat penting dalam menghasilkan sistem struktur komposit yang aman, efisien, dan aplikatif untuk

bangunan bertingkat menengah di wilayah dengan tuntutan desain gempa.

Kontribusi utama penelitian ini adalah menyediakan model perancangan terpadu yang memadukan kolom CFST dan balok kastela dalam satu sistem rangka pemikul momen menengah untuk bangunan pusat perbelanjaan, lengkap dari evaluasi respons global hingga detailing sambungan. Secara praktis, hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi tersebut dapat menjadi alternatif yang menarik bagi perencana bangunan komersial karena mampu menyediakan ruang bebas kolom yang luas, mengurangi berat sendiri struktur sehingga menurunkan tuntutan gaya gempa dan beban fondasi, serta mempercepat pelaksanaan konstruksi melalui pemanfaatan elemen pracetak baja dan pengisian beton tanpa bekisting. Rentang dimensi profil, konfigurasi sambungan, dan rasio tulangan kolom yang diperoleh dapat dijadikan acuan awal perancangan untuk bangunan komersial sejenis di wilayah seismik. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji kinerja inelastis melalui analisis pushover atau time history, meninjau aspek biaya dan keberlanjutan material, serta memverifikasi perilaku sambungan komposit secara eksperimental guna memperkuat keandalan penerapannya di lapangan.

## Daftar Pustaka

Badan Standardisasi Nasional. (2019a). *SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan*

- gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019b). *SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan (ACI 318M-14 dan ACI 318RM-14, MOD)*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020a). *SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020b). *SNI 1729:2020 Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural (ANSI/AISC 360-16, IDT)*. Badan Standardisasi Nasional.
- Butsainah, A., Salsabila, N., Nurhasanah, H., Kasyanto, H., & Gunadi, R. (2025). Perancangan Struktur Atas Baja Komposit Gedung 4 Lantai di Indramayu Jawa Barat. *Prosiding the 16 Th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung*, 109–116.
- Desimaliana, E., Arifin, A. S., & Kamaludin, S. (2025). Analisis Time History terhadap Kinerja Struktur Gedung Baja Bresing Konsentrik (Inverted-V). *Journal of Sustainable Construction*, 5(1), 35–40. <https://doi.org/10.26593/josc.v5i1.9673>
- Desimaliana, E., Diredja, N. V., & Syahputra, R. (2022). Analisis Pushover terhadap Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur Gedung Baja Komposit. *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 8(2), 118. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v8i2.118>
- Diredja, N. V., Desimaliana, E., & Adhitomo, I. (2023). Studi Perbandingan Respon Struktur pada Gedung Menggunakan Profil Baja Kastela dan WF. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 9(3), 240–245.
- Duna, A. F. S., & Purwantoro, A. (2026). Permodelan Struktur Bawah Basement Ruang Terbuka Hijau Menggunakan Metode Building Information Modeling. *Jurnal Basement: Jurnal Teknik Sipil*, 4(1), 54–61. <https://doi.org/10.36873/basement.v4i1.25304>
- Gao, B., Xu, L., Huang, L., Chi, Y., Yu, M., & Wen, S. (2024). Seismic performance of a novel concrete-filled steel tube column to continuous reinforced concrete beam joint with multiple openings in the core region. *Engineering Structures*, 319, 118775. <https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2024.118775>
- Li, X., Liu, J., Wang, L., Ma, Y., & Chen, Y. F. (2024). Seismic behavior and design of concrete-filled steel tubular frame-RC core tube structures. *Engineering Structures*, 321, 118945. <https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2024.118945>
- Liu, W. H., Bai, W. H., Guo, Y. L., & Wang, X. (2024). Design method of irregular-shaped concrete-filled steel tube column joints with inner semi-diaphragm. *Structures*, 60, 105883. <https://doi.org/10.1016/J.ISTRUC.2024.105883>
- Maharani, P. S. & Faimun. (2019). Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Grand Dharmahusada Lagoon Menggunakan Struktur Komposit Baja Beton CFT dengan Sistem Rangka Bresing Eksentris Tipe Two-Story-X Braced. *JURNAL TEKNIK ITS*, 8(1), D10–D17.
- Mahdisra, H., Saputra, M. A., & Sumirin. (2025). Studi Analisis Variasi Dimensi Baut Dan Pelat Sambungan Balok–Kolom Baja Prakuualifikasi SNI 7279: 2020. *Jurnal Teknik SILITEK*, 5(1), 515–528. <https://doi.org/10.51135/5mgetv55>
- Manurung, J., & Kristiana, W. (2026). Identifikasi Failure mode Pada Pekerjaan Struktur Bangunan Gedung SDN Kalibata Kota Palangka Raya. *Jurnal Basement: Jurnal Teknik Sipil*, 4(1), 62–71. <https://doi.org/10.36873/basement.v4i1.25278>
- Nugroho, J. A. I., & Saputro, M. E. (2026). Studi Analisis Kapasitas Sambungan Balok-Kolom Struktur Baja Dengan Pendekatan Metode Manual Dan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik SILITEK*, 06(02), 367–383. <https://doi.org/10.51135/f8ez3q77>
- Nuranita, B., Desimaliana, E., & Sobana, N. A. (2022). Analisis Pushover terhadap Variasi Penampang Kolom pada Struktur Gedung Special Plate Shear Wall. *Journal of Sustainable Construction*, 1(2), 1–9. <https://doi.org/10.26593/josc.v1i2.5699>
- Putra, M. N. A., & Gawe, A. B. P. (2026). Analisis Biaya Signifikan Consumable Material Pada Struktur Bangunan Gedung Menggunakan Metode Pareto. *Jurnal Basement: Jurnal Teknik Sipil*, (1), 82–90. <https://doi.org/10.36873/basement.v4i1.25316>
- Qu, X., Xie, Y., Sun, G., Liu, Q., & Wang, H. (2023). Seismic Behavior of Assembly Joint with CFST Column and H-shaped Steel Beam. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 27(2), 670–683. <https://doi.org/10.1007/S12205-022-0781-2>
- Senthilkumar, R., & Satish Kumar, S. R. (2020). Seismic performance of semi-rigid steel-concrete composite frames. *Structures*, 24, 526–541.

- <https://doi.org/10.1016/J.ISTRUC.2020.01.046>
- Suwandy, A. H., Herianto, & Nursani, R. (2023). Perencanaan Ulang Struktur Baja-Beton Komposit Pada Gedung Radiologi Dan Ok (Operation Kamar) Di Rsud Pameungpeuk Kabupaten Garut. *Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 4(2), 57–73.
- Tran, H., Thai, H. T., & Uy, B. (2024). System reliability-based design of composite frames with concrete – filled steel plate shear walls. *Structures*, 64, 106576. <https://doi.org/10.1016/J.ISTRUC.2024.106576>
- Tuarita, D. S. R., Buyang, C. G., & Taihuttu, F. (2025). Identifikasi Sistem Proteksi Kebakaran Bangunan Gedung Maluku City Mall Ambon. *Jurnal Basement: Jurnal Teknik Sipil*, 3(2), 100–105. <https://doi.org/10.36873/basement.v3i2.22923>
- Xu, Y., Ding, F., Lyu, F., Wang, L., & Yu, Z. (2024). Study on dynamic performance of CFST column-composite beam frame structural system under strong earthquake. *Journal of Building Engineering*, 94, 109970. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2024.109970>
- Yao, Y., Zhou, L., Huang, H., Chen, Z., & Ye, Y. (2023). Cyclic performance of novel composite beam-to-column connections with reduced beam section fuse elements. *Structures*, 50, 842–858. <https://doi.org/10.1016/J.ISTRUC.2023.02.054>