

PERILAKU STRUKTUR GEDUNG DENGAN PERKUATAN BRESING X DAN CANGGAH WANG DALAM MENAHAN BEBAN GEMPA

I Gede Gegiranang Wiryadi, I Putu Agus Putra Wirawan, I Ketut Diartama Kubon Tubuh,
I Nengah Edi Adnyana

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mahasaraswati Denpasar
Email: agusputrawirawan2020@unmas.ac.id

ABSTRAK: Penelitian ini berfokus pada perilaku struktur bangunan yang diperkuat dengan bresing X dengan penambahan *canggah wang*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperkuat struktur Rangka Terbuka (RT) suatu bangunan 8 (delapan) tingkat dengan penambahan bresing, *canggah wang* dan kombinasi bresing dengan penambahan *canggah wang*. Perilaku struktur ditinjau berdasarkan beban gempa dinamis menggunakan analisis respons spektrum. Hasil analisa menunjukkan adanya peningkatan kekakuan struktur akibat penambahan *canggah wang*, bresing X, maupun kombinasi keduanya dibandingkan dengan struktur rangka terbuka. Peningkatan kekakuan tertinggi terjadi pada struktur yang diperkuat dengan kombinasi bresing X dan *canggah wang*. Deformasi lateral suatu struktur dengan kombinasi bresing X dengan tumpuan paling rendah namun gaya dalam yang bekerja paling besar dibandingkan struktur lainnya. Pengurangan deformasi lateral yang terjadi akibat penambahan gabungan ini signifikan dibandingkan pada struktur rangka terbuka. Hal ini menunjukkan bahwa kekakuan struktur mengalami peningkatan paling besar akibat perkuatan kombinasi bresing X dan *canggah wang*. Selain itu terjadi perubahan distribusi gaya akibat gempa pada struktur dengan penambahan *canggah wang*. Gaya maksimum pada sambungan balok-kolom semakin berkurang dengan adanya penambahan *canggah wang* dibandingkan dengan sambungan balok-kolom pada struktur rangka terbuka. Sistem ini juga dapat digunakan untuk melindungi sambungan balok-kolom jika melebihi batas kapasitasnya.

Kata kunci: *canggah wang*, perilaku struktur, struktur bresing.

ABSTRACT: This research focuses on the behavior of building structures that are reinforced with bracing X with the addition of *canggah wang*. The aim of this research is to strengthen the Open Frame (RT) structure of building of an 8 (eight) story with the addition of braces, *canggah wang* and a combination of braces with the addition of *canggah wang*. The behavior of the structure is reviewed based on dynamic earthquake loads using spectrum response analysis. The results of the analysis show an increase in structural stiffness due to the addition of either *canggah wang*, X-bracing, or their combination compared to the open frame structure. The highest increase in stiffness occurred on structures that were strengthened by a combination of X-bracing and *canggah wang*. The lateral deformation of a structure with a combination of X braces with the lowest support but the internal forces acting is the greatest compared to other structures. The reduction in lateral deformation that occurred due to the addition of this combined is significant \ compared on the open frame structure. This shows that the stiffness of the structure has the greatest increase due to strengthening the combination of X braces and *canggah wang*. Furthermore, force distribution changes due to earthquake of the structure with the addition of *canggah wang*. The maximum force in the beam-column joint decreases with addition of *canggah wang* compared to the beam-column joint in an open frame structure. This system can also be used to protect beam-column joints if it passes their capacity limits.

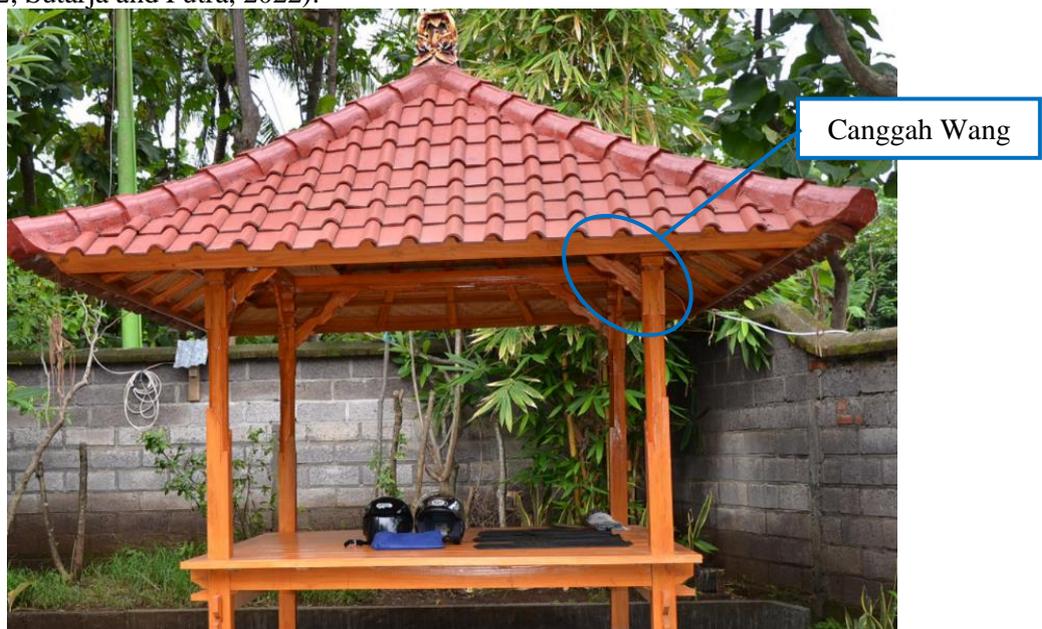
Keywords: *canggah wang*, structure behavior, bracing structure.

PENDAHULUAN

Sistem struktur pada bangunan gedung dipilih berdasarkan pertimbangan fungsi bangunan, pilihan material, pelaksanaan, estetika, dan letak terhadap bahaya gempa. Dalam perancangan struktur diperlukan informasi akurat dari fungsi gedung yang secara spesifik menentukan besarnya beban setiap lantai yang bekerja. Penggunaan material finishing dan instalasi apa saja yang akan dilakukan ketoka bangunan tersebut beroperasi juga berpengaruh dalam perhitungan pembebanan. Letak bangunan terhadap bahaya gempa bumi menjadi prioritas dalam analisis struktur terutama di wilayah dengan intensitas gempa tinggi seperti di Indonesia. Posisi Indonesia dikenal dengan wilayah *Ring of Fire* (Cincin Api Pasifik) menyebabkan sering terjadi gempa bumi akibat pergerakan lempeng aktif. Indonesia memiliki peraturan dalam perencanaan struktur gempa yaitu SNI 1726:2019 (BSN, 2019). Pilihan sistem struktur pada peraturan tersebut sudah ditentukan termasuk metode analisis beban gempa berdasarkan wilayah terhadap peta gempa, fungsi bangunan, dan ketidakberaturan sistem strukturnya. Metode analisis struktur yang dapat digunakan adalah seperti analisis static ekivalen, respon spectrum, maupun riwayat waktu (*time history*) (Candra *et al.*, 2021; Wiryadi *et al.*, 2021).

Sistem struktur yang paling sederhana yang sering digunakan yaitu sistem rangka terbuka yang mana sistem struktur terdiri dari balok dan kolom. Sistem struktur ini paling disukai karena paling sederhana dan paling disukai arsitektur karena tidak banyak mengganggu secara estetika. Akan tetapi sistem ini memiliki kelemahan dari segi kekakuan yang rendah dibandingkan dengan sistem lainnya seperti bresing, dinding geser, maupun dinding pengisi. Kelemahan tersebut dikarenakan kekuatan utama dari sistem struktur ini adalah pada kolom dan join balok-kolomnya. Sehingga untuk memenuhi kekuatan dan kekakuan yang ditargetkan pada saat perencanaan membuat dimensi elemen strukturnya menjadi besar. Hal ini berhubungan dengan kelangsingan struktur juga, dimana jika struktur semakin langsing maka kekakuan akan semakin rendah dan tentu memerlukan dimensi struktur yang lebih besar jika diperlukan kekakuan yang lebih besar (Sudarsana *et al.*, 2021). Berbeda dibandingkan dengan sistem struktur dengan dinding geser, bresing, maupun struktur dinding pengisi yang mana kontribusi kekakuan tidak terfokus pada balok dan kolom. Kekakuan sistem struktur dengan dinding geser dan dinding pengisi sebagian besar berkontribusi dari dinding itu sendiri sehingga dimensi kolom dan balok dapat direduksi untuk efisiensi (Wiryadi and Sudarsana, 2019; Tubuh *et al.*, 2022; Wirawan *et al.*, 2023). Sedangkan struktur bresing menggunakan kekakuan dari kombinasi kolom, balok, dan bresing itu sendiri. Struktur bresing sering digunakan sebagai perkuatan struktur rangka terbuka karena tidak banyak menambah massa struktur dibandingkan dengan struktur dinding tetapi tetap dapat meningkatkan kekakuan struktur (Pradono, 2020; Tatang and Tjong, 2022).

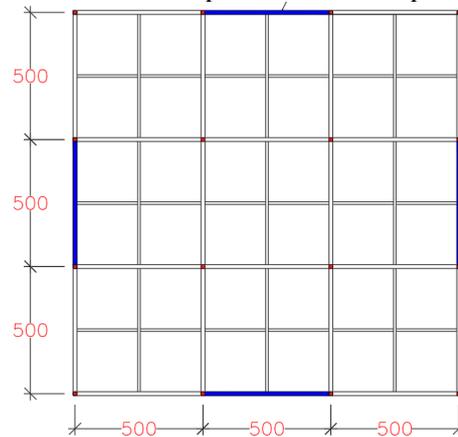
Sistem struktur rangka terbuka dengan penggunaan material baja dikenal memiliki simpangan yang besar ketika beban lateral bekerja yang disebabkan mutu yang tinggi sehingga dimensinya menjadi kecil dan tentu kekakuannya menjadi rendah. Hal ini menjadi kelemahan dari sistem struktur rangka terbuka dengan material baja, sehingga perlu dilakukan perkuatan untuk meningkatkan kekakuannya. Perkuatan struktur menggunakan bresing X memang mampu menahan gaya lateral akibat beban gempa. Namun adanya bresing X akan memberikan distribusi gaya pada joint balok dan kolom maka, diperlukan modifikasi struktur untuk melindungi joint sehingga struktur tetap mampu menahan gaya lateral tetapi tidak mengurangi kekuatan joint. Pada penelitian ini dilakukan modifikasi perkuatan struktur Bresing X dengan penambahan *Canggah Wang* dalam menahan beban gempa. *Canggah Wang* merupakan salah satu sistem struktur yang sering digunakan dalam bangunan-bangunan Bali yang strukturnya terbuat dari kayu seperti Bale Daging, Bale Daja, Bale Bengong, Bale Lantang, dan lainnya. Sistem ini menjadi pengaku utama pada bangunan karena join balok-kolomnya dibuat tidak terjepit atau tidak mampu menahan momen. *Canggah Wang* merupakan sistem struktur berupa batang diagonal pendek yang dipasang didekat kolom dan balok pada struktur bangunan Bali sebagai pengaku (Susila, Mandal and Swailes, 2012; Sutarja and Putra, 2022).



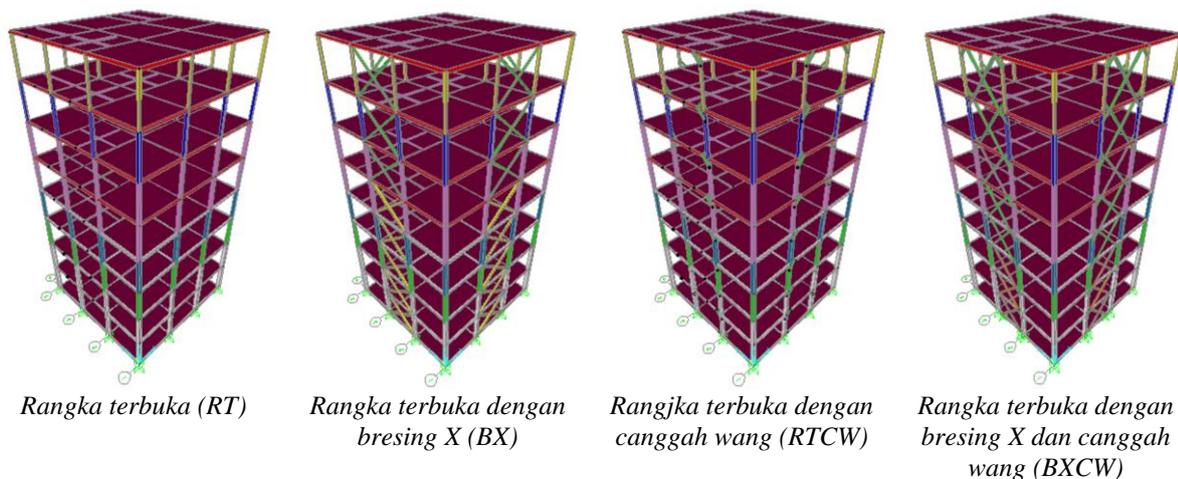
Gambar 1. *Canggah Wang* pada bangunan “Bale Bengong”
(sumber: Susila, Mandal and Swailes, 2012)

METODE PENELITIAN

Objek penelitian ini adalah struktur gedung yang memiliki 8 (depalan) tingkat yang memiliki fungsi sebagai apartemen. Gedung terletak pada wilayah gempa tinggi (D) sesuai dengan peta gempa Indonesia dan berdiri pada tanah sedang (Direktorat Bina Teknik Permukiman dan Perumahan, 2021). Pembebanan baik gravitasi dan gempa mengikuti ketentuan dari SNI 1727:2020 (BSN, 2020a) dan SNI 1726:2019 (BSN, 2019). Desain elemen struktur dilakukan sebagai rangka terbuka yang mengikuti ketentuan dari SNI 1729:2020 (BSN, 2020b). Detail geometri dan penempatan perkuatan bresing dan canggah wang dapat dilihat pada Gambar 1 dan pemodelan 3D seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Denah



Gambar 3. Pemodelan 3D

Struktur pertama merupakan struktur rangka terbuka (RT) merupakan struktur yang terdiri dari elemen struktur balok dan kolom. Struktur kedua adalah struktur RT diberikan perkuatan berupa bresing X (BX). Berikutnya adalah struktur RT yang diberikan hany aperkuatan rangka terbuka (RTCW). Terakhir adalah struktur RT diberikan kombinasi perkuatan bresing X dan canggah wang (BXCW). Keempat struktur tersebut diberikan beban gravitasi yang sama, elemen struktur balok dan kolom juga dibuat sama mengikuti struktur RT yang terlebih dahulu didesain mengikuti persyaratan dari peraturan. Untuk dimensi bresing dan canggah wang didesain juga agar kapasitasnya memenuhi persyaratan desain.

Struktur dimodel dan dianalisis menggunakan bantuan program SAP2000, teknik dan langkah pemodelan mengikuti tahapan perencanaan sehingga mendapatkan dimensi yang sesuai dengan kriteria (Gunawan, Giatmajaya and Wiryadi, 2021). Material struktur menggunakan baja dengan kuat leleh (f_y) 250 MPa, Modulus Elastisitas (E_y) 2×10^5 MPa. Pelat lantai dan pelat atap dimodelkan menggunakan material beton bertulang dengan mutu (f'_c) 25 MPa dan tidak berkontribusi terhadap kekakuan balok. Struktur disumsikan terjepit pada level sloof, sehingga pengaruh pondasi tidak diperhitungkan.

Beban gempa dikerjakan pada model dengan analisis respon spektrum yang mana fitur ini sudah tersedia pada program SAP2000. Data gempa diambil pada laman <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/> (Direktorat Bina Teknik Permukiman dan Perumahan, 2021) dengan titik lokasi di kota Mataram. Adapun nilai-nilai yang diinput adalah nilai periode percepatan spectral pendek (S_s), periode percepatan spectral 1 detik (S_1), dan kelas situs (*site class*) dengan masing-masing nilainya adalah 1,0426, 0,4066, dan D (tanah sedang). Besar beban gempa yang diperhitungkan berdasarkan periode struktur (T), koefisien percepatan spectral (C_s) yang dihitung berdasarkan S_s dan S_1 , faktor keutamaan (I_e) berat struktur dan bebannya (W_t), nilai faktor reduksi kekuatan (R) untuk RT $R=8$ dan $C_d=5,5$ sedangkan BX, RTCW dan BXCW $R= 6$ dan $C_d=5$, mengikuti Persamaan 1 (BSN, 2019).

$$V = \frac{C_s \cdot I_e \cdot W_t}{R} \quad (1)$$

Perilaku yang diamati antara lain periode struktur (T), simpangan maksimum, simpangan antar tingkat, dan gaya-gaya dalam pada kolom (momen, gaya lintang, gaya aksial). Hasil analisis disajikan dalam bentuk data dan kurva perbandingan serta pembahasannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

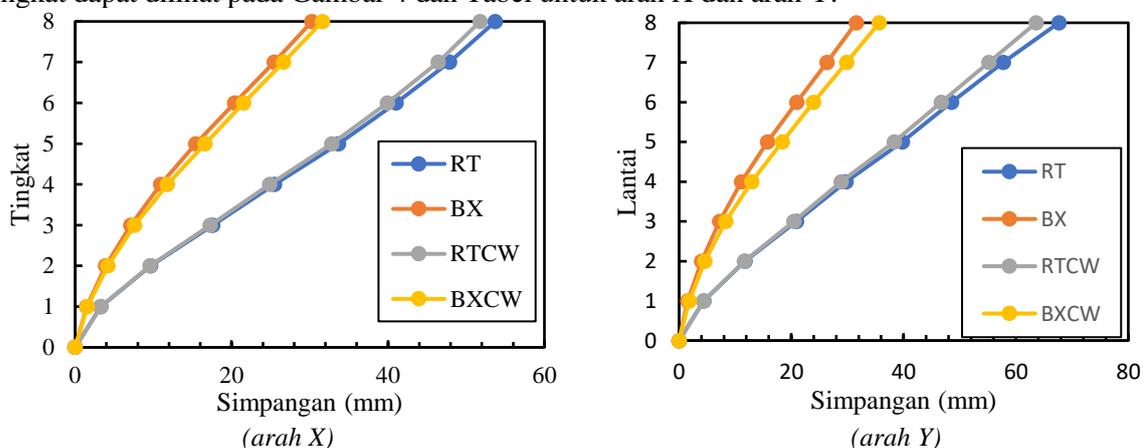
Periode (T) dan Gaya Geser Dasar (V)

Periode struktur atau periode fundamental ditentukan berdasarkan periode pada mode pertama masing-masing struktur. Berdasarkan hasil analisis didapatkan nilai periode struktur antara lain RT = 1,727 dt, BX = 0,791 dt, RTCW = 1,633, dan BXCW = 0,889. Hasil tersebut menunjukkan terjadi penurunan nilai periode struktur dari struktur RT yang diberikan perkuatan. Periode terkecil hingga terbesar berturut-turut yaitu BX, BXCW, RTCW, dan RT. Hal ini menunjukkan terjadinya peningkatan kekakuan akibat penambahan perkuatan baik bresing, canggah wang ataupun kombinasinya.

Gaya geser dasar akibat beban gempa rencana menunjukkan nilai peningkatan dari struktur RT. Nilai gaya geser dasar dari terbesar ke terkecil berturut-turut adalah BX (663153 KN), BXCW (515391 KN), RTCW (388079 KN), dan RT (370725 KN) untuk arah X. sedangkan arah Y bekerja gaya geser dasar dari nilai terkecil dan terbesar yaitu BX (630011 KN), BXCW (570102 KN), RTCW (335224 KN), dan RT (315578 KN). Hal tersebut menunjukkan penambahan perkuatan bresing maupun canggah wang dapat meningkatkan kekuatan atau kapasitas gaya gempa. Periode struktur dan gaya geser dasar memiliki korelasi jika periode mengecil, gaya geser dasar meningkat sesuai dengan percepatan spectral yang bekerja pada struktur. Penambahan canggah wang sebagai perkuatan memberikan hasil yang baik walaupun hanya berupa batang kecil namun dapat meningkatkan kapasitas dalam menahan beban gempa.

Simpangan

Simpangan maksimum diukur berdasarkan nilai simpangan terbesar pada masing-masing lantai akibat dari beban gempa yang bekerja atau gaya geser dasar masing-masing struktur. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai simpangan maksimum terendah terjadi pada struktur BX, kemudian struktur BXCW, selanjutnya RTCW dan terbesar adalah struktur RT. Simpangan maksimum masing-masing tingkat dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel untuk arah X dan arah Y.



Gambar 4. Simpangan maksimum

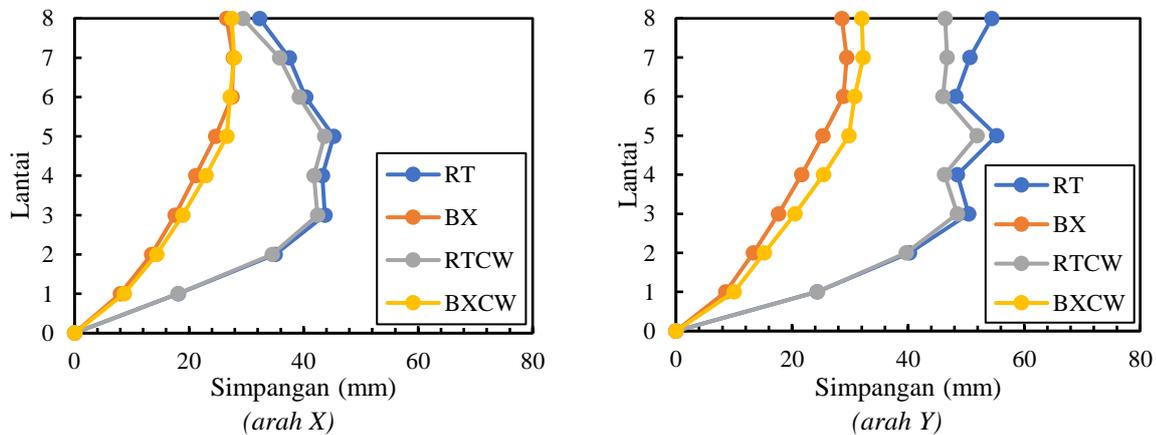
Tabel 1. Simpangan maksimum

Tingkat	Simpangan maksimum (mm)							
	RT		BX		RTCW		BXCW	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
8	53,737	67,640	30,280	31,542	51,787	63,597	31,617	35,649
7	47,858	57,746	25,455	26,342	46,446	55,165	26,631	29,827
6	41,040	48,535	20,413	20,991	39,941	46,671	21,559	23,962
5	33,703	39,772	15,415	15,745	32,814	38,305	16,619	18,360
4	25,477	29,724	10,942	11,137	24,872	28,874	11,790	12,943
3	17,608	20,909	7,095	7,204	17,269	20,462	7,616	8,316
2	9,664	11,743	3,901	3,988	9,559	11,647	4,177	4,591
1	3,293	4,426	1,453	1,560	3,287	4,424	1,571	1,826
0	0	0	0	0	0	0	0	0

Penurunan simpangan yang terjadi akibat penambahan perkuatan pada struktur RT selaras dengan hasil penurunan nilai periode struktur dan peningkatan gaya geser. Simpangan terkecil terjadi pada struktur BX, kemudian sstruktur BXCW dan struktur RTCW. Penambah canggah wang saja sebagai perkuatan dapat menurunkan nilai simpangan walupun tidak signifikan tetapi tetap mampu meningkatkan nilai kekakuan struktur.

Simpangan antar tingkat

Setelah menghitung simpangan maksimum, simpangan antar tingkat dapat ditentukan dengan mengalikan nilai simpangan maksimum dengan faktor pembesaran. Berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019, simpangan antar tingkat dihitung berdasarkan simpangan maksimum dikalikan faktor pembesaran simpangan lateral ($C_d = 5,5$) dan dibagi oleh faktor keutamaan ($I_e=1$) BSN, 2019). Ketentuan SNI 1716:2019, simpangan maksimal dan simpangan antar tingkat dibatasi oleh simpangan ijin yang nilainya tidak lebih besar dari 2% tinggi tingkat pada titik yang ditinjau. Hasil analisis simpangan antar tingkat dapat dilihat pada Gambar 5 dan Tabel 2.



Gambar 5. Simpangan antar-tingkat

Simpangan antar-tingkat yang terjadi menunjukkan kekakuan dari penambahan bresing maupun canggah wang berhasil. Penurunan signifikan terjadi pada struktur BX dan BXCW, sedangkan pada struktur RTCW penurunan yang terjadi tidak signifikan tetapi juga membuat struktur lebih kaku dibandingkan struktur RT. Hal tersebut selaras dengan nilai periode dan gaya geser dasar yang mana keberadaan bresing maupun canggah wang berkontribusi memperkaku struktur secara keseluruhan. Selain itu penambahan bresing (BX dan BXCW) menunjukkan perilaku yang lebih baik yang mana terlihat dari simpangan antar tingkat yang lebih konsisten dibanding dengan struktur RT dan RTCM.

Periode, simpangan, dan simpangan antar-tingkat mengalami penurunan sedangkan gaya geser dasar mengalami peningkatan akibat penambahan bresing maupun canggah wang. Hal ini menunjukkan

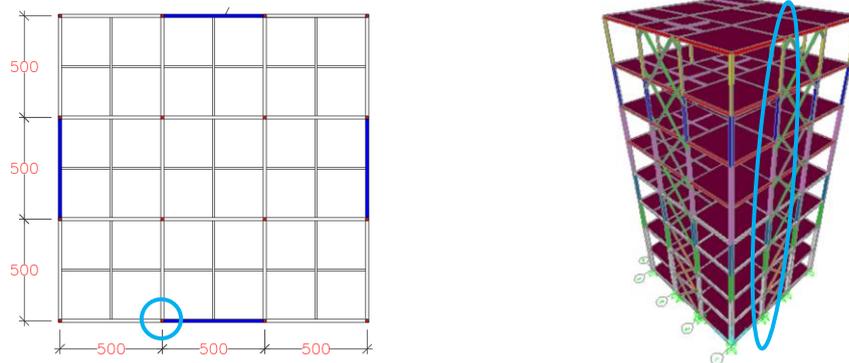
hubungan kekakuan struktur berbanding terbalik dengan periode, simpangan, dan simpangan antar tingkat. Tetapi kekakuan struktur menunjukkan hubungan sebanding dengan gaya geser dasar.

Tabel 2. Simpangan antar tingkat

Tingkat	Simpangan antar -tingkat (mm)							
	RT		BX		RTCW		BXCW	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
8	32,333	54,420	26,541	28,597	29,374	46,378	27,427	32,026
7	37,498	50,657	27,728	29,431	35,779	46,718	27,897	32,253
6	40,356	48,197	27,493	28,852	39,201	46,010	27,166	30,815
5	45,244	55,265	24,597	25,343	43,677	51,875	26,562	29,794
4	43,275	48,480	21,162	21,634	41,820	46,263	22,956	25,447
3	43,696	50,417	17,569	17,686	42,403	48,484	18,917	20,486
2	35,040	40,241	13,460	13,353	34,497	39,669	14,329	15,211
1	18,110	24,344	7,993	8,582	18,078	24,389	8,643	10,041
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

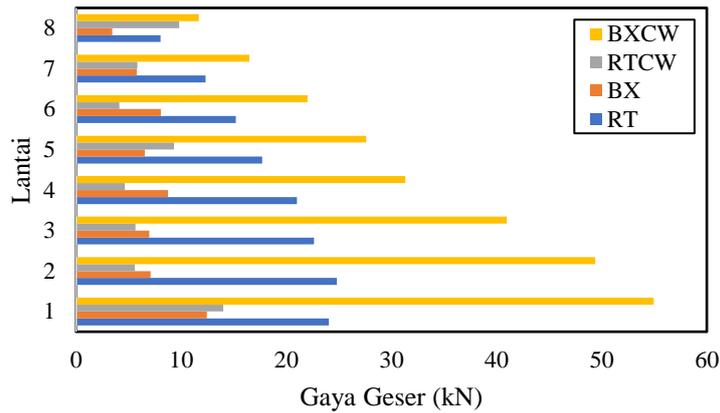
Gaya-gaya dalam kolom

Kolom yang ditinjau pada setiap struktur untuk mengetahui gaya-gaya dalam yang terjadi pada setiap struktur yaitu gaya maksimal pada kolom seperti pada Gambar 6 berikut. Kolom tersebut merupakan kolom yang berinteraksi langsung dengan perkuatan sehingga perubahan yang terjadi akan memberikan informasi bagaimana pengaruh penambahan bresing X maupun Canggah Wang. Gaya yang diamati antara lain gaya geser, gaya aksial, dan momen yang masing-masing disajikan pada Tabel 3 – Tabel 5 dan Gambar 7 – Gambar 9.



Gambar 6. Posisi kolom yang ditinjau

Gaya geser yang bekerja pada kolom menunjukkan perubahan akibat penambahan bresing maupun canggah wang. Penurunan gaya geser pada kolom terlihat pada struktur BX dan RTCW terhadap struktur RT, sedangkan BXCW mengalami peningkatan yang signifikan. Kombinasi bresing X dan canggah wang memberikan efek yang berbanding terbalik dengan penambahan yang diberikan secara terpisah. Peningkatan gaya geser yang signifikan ini menunjukkan gaya yang diterima dari perkuatan kombinasi bresing dan canggah wang besar dan didistribusikan ke kolom juga menjadi besar.

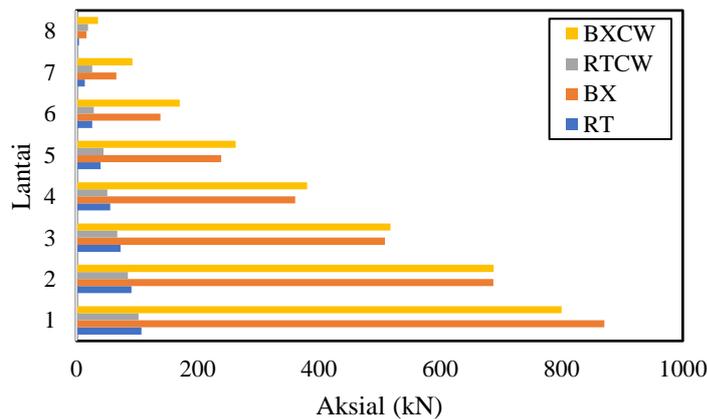


Gambar 7. Distribusi gaya geser pada kolom

Tabel 3. Gaya geser pada kolom

Lantai	RT	BX	RTCW	BXCW
8	8,024	3,441	9,818	11,687
7	12,314	5,786	5,835	16,469
6	15,191	8,075	4,123	22,031
5	17,716	6,547	9,322	27,588
4	21,028	8,749	4,634	31,338
3	22,629	6,977	5,653	40,972
2	24,799	7,084	5,582	49,373
1	24,055	12,455	14,009	54,942

Gaya aksial pada kolom juga mengalami perubahan yang signifikan pada struktur BX dan BXCW. Distribusi gaya yang diterima kolom mengalami peningkatan akibat penambahan bresing dan kombinasi bresing dan cangkah wang. Sedangkan pada struktur RTCW terjadi penurunan namun tidak signifikan. Hal ini menunjukkan perkuatan dengan bresing mengakibatkan gaya gempa yang bekerja sebagian besar terdistribusi pada sistem ini sehingga transfer gaya ke kolom yang berinteraksi langsung menjadi lebih besar.

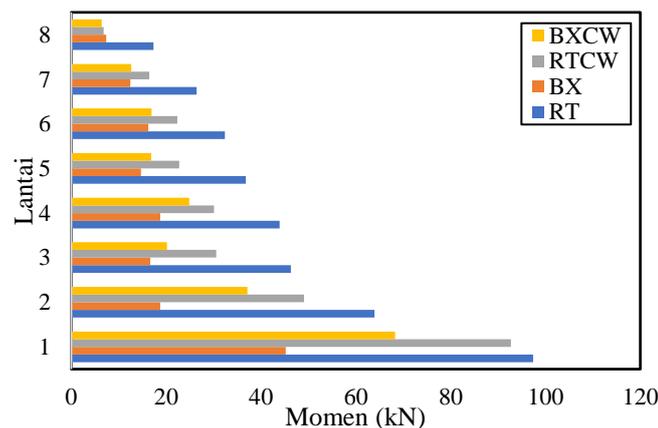


Gambar 8. Gaya aksial pada kolom

Tabel 4. Gaya aksial pada kolom

Lantai	RT	BX	RTCW	BXCW
8	4,308	16,714	19,172	35,368
7	13,976	65,91	25,893	92,634
6	26,181	138,761	28,558	170,525
5	40,054	238,663	44,895	262,496
4	55,747	360,868	51,174	380,468
3	72,83	508,676	67,238	518,142
2	91	687,702	84,938	688,468
1	107,383	870,761	102,529	800,401

Kolom menerima distribusi momen mengalami penurunan akibat penambahan perkuatan yang ditambahkan. Penurunan gaya yang diterima kolom terjadi pada setiap tingkat baik untuk struktur BX, BXCW, maupun RTCW terhadap struktur RT. Penurunan ini menunjukkan distribusi momen yang menurun yang disebabkan oleh perubahan transfer gaya yang sebagian diserap oleh bresing maupun canggah wang. Hal ini tentu memberikan efek efisiensi pada kolom yang mana tulangan lentur yang diperlukan untuk menahan momen menjadi lebih sedikit. Penurunan yang signifikan terjadi pada struktur BX dan BXCW yang mana hal tersebut menunjukkan perkuatan bresing X dan canggah wang dapat mengalihkan Sebagian gaya yang bekerja akibat beban gempa.



Gambar 9. Momen pada kolom

Tabel 5. Momen 8 lantai

Lantai	RT	BX	RTCW	BXCW
8	17,3712	7,3463	6,8026	6,3957
7	26,4302	12,4552	16,4664	12,6416
6	32,4078	16,2375	22,337	16,9697
5	36,7837	14,7056	22,7454	16,8744
4	43,9193	18,799	30,1053	24,8568
3	46,3373	16,6851	30,5701	20,1753
2	63,9587	18,7802	49,1066	37,1793
1	97,4225	45,2418	92,721	68,2615

Distribusi gaya yang terjadi pada kolom mengalami perubahan akibat penambahan bresing X, canggah wang, maupun kombinasinya. Gaya aksial dan gaya geser cenderung meningkat pada kolom tetapi momen cenderung menurun. Efisiensi kolom mungkin dapat dilakukan dengan memperhatikan perubahan gaya-gaya yang terjadi serta peningkatan kekakuan struktur. Selain itu canggah wang juga dapat memberikan perlindungan bagi joint balok-kolom karena perubahan distribusi momen yang menurun pada kolom.

SIMPULAN

Struktur rangka terbuka yang terdiri dari balok dan kolom menjadi elemen utama yang berkontribusi dalam kekakuan struktur tersebut. Kelemahan struktur rangka terbuka adalah kekakuan yang rendah apalagi dengan material baja yang elemen strukturnya lebih kecil dibandingkan struktur beton karena mutu baja lebih tinggi. Penambahan pengaku lateral berupa bresing maupun canggah wang mampu meningkatkan kekakuan struktur baja rangka terbuka secara signifikan. Periode struktur, simpangan, dan simpangan antar-tingkat berbanding terbalik terhadap kekakuan struktur. Sedangkan gaya geser dasar meningkat sebanding dengan peningkatan kekakuan struktur. Distribusi gaya akibat penambahan bresing X maupun canggah wang memberikan perubahan pada kolom sehingga kolom mengalami perubahan menerima gaya untuk dapat diefisienkan dari sisi kapasitas momen. Penambahan canggah wang juga dapat melindungi join balok-kolom karena momen pada kolom menurun.

Penelitian ini terbatas pada penggunaan bresing X dan canggah wang yang terbatas juga. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk berbagai macam bresing dan konfigurasi canggah wang, tingkat struktru yang bervariasi serta analisis nonlinier untuk mendapatkan informasi yang lebih banyak dan detail. Sehingga dapat memberikan pertimbangan dalam memilih sistem struktur yang sesuai dengan kebutuhan perencanaan. Begitu juga pada model RTCW dan BXCW pada analisis digunakan nilai R dan Cd yang masih sama dengan nilai BX karena masih meninjau analisis linier, untuk nilai R lebih lanjut akan dilakukan analisis nonlinier.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional (2019) SNI 1726:2019 Tata Cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional (2020a) SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.
- Badan Standardisasi Nasional (2020b) SNI 1729 2020 Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja. Jakarta.
- Candra, I.M.A. *et al.* (2021) 'Analisis Perilaku Struktur Gedung Fakultas Pariwisata Universitas Udayana Akibat Beban Gempa Dengan Metode Respon Spektrum', *Jurnal Ilmiah Teknik Unmas*, 1(2), pp. 24–29.
- Direktorat Bina Teknik Permukiman dan Perumahan (2021) *Desain Spektra Indonesia*, Direktorat Jendral Cipta Karya Kementerian PUPR. Available at: <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>.
- Gunawan, I.P.A.S., Giatmajaya, I.W. and Wiryadi, I.G.G. (2021) 'Analisis Dan Pemodelan Struktur Gedung Rumah Sakit Pada Wilayah Gempa Tinggi', *Jurnal Ilmiah Teknik Unmas*, 1(1), pp. 7–13.
- Pradono, M.H. (2020) 'KAJIAN PERKUATAN STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG DENGAN METODA BRESING', *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana*, 14(2). Available at: <https://doi.org/10.29122/jstmb.v14i2.3839>.
- Sudarsana, I.K. *et al.* (2021) 'Analisis Pengaruh Kelangsingan Struktur terhadap Perilaku Dinamis Struktur Gedung Beton Bertulang', in *Konferensi Nasional Teknik Sipil 15*. Semarang: Universitas Katolik Soegijapranata, pp. 770–780.
- Susila, G.A., Mandal, P. and Swailes, T. (2012) 'A Comparison of the Structural Performance of Low-Rise Timber Framed Buildings and Masonry Buildings in a Developing Country (Indonesia)', in *Joint Conference APSEC-ICCER*.
- Sutarja, I.N. and Putra, I.D.G.A.D. (2022) 'Ergonomics in the Contemporary Balinese Building: the Integration between Architectural and Structural Aspects', *Civil Engineering and Architecture*, 10(2), pp. 501–512. Available at: <https://doi.org/10.13189/cea.2022.100210>.
- Tatang, D.J. and Tjong, L.F. (2022) 'Studi Komparasi Perilaku Gedung Beton Bertulang dengan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 Menggunakan Dinding Geser dan Rangka Bresing Konsentrik Inverted-V', *Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil*, 15(2). Available at: <https://doi.org/10.23917/dts.v15i2.19715>.
- Tubuh, I.K.D.K. *et al.* (2022) 'Modeling and Validation of Experimental Test Results on Infilled Frame with Eccentric Reinforced Opening', in *5th International Conference on Sustainable Development*. Denpasar: Universitas Mahasaraswati Denpasar, pp. 189–198.

- Wirawan, I.P.A.P. *et al.* (2023) 'Analytical study on behaviour and performance of infilled frame structure with reinforced eccentric opening', *Journal of Applied Engineering Science*, 21(2), pp. 481–490. Available at: <https://doi.org/10.5937/jaes0-40596>.
- Wiryadi, I.G.G. *et al.* (2021) 'Analisis Riwayat Waktu Perilaku Struktur Gedung SMA Negeri 9 Denpasar', *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 10(2), pp. 43–52.
- Wiryadi, I.G.G. and Sudarsana, I.K. (2019) 'Analisis Pengaruh Bentuk Dinding Geser Beton Bertulang Terhadap Kapasitas dan Luas Tulangan', *Jurnal Spektran*, 7(2), pp. 187–194.