



ST-12
PENGARUH PENAMBAHAN PENGAKU SEBAGAI ELEMEN PENAHAN GESER
PADA STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG
(Studi Kasus: Kantor Bupati Toraja Utara, Sulawesi Selatan)

Novianus Sandi Indranata^{1*} dan Jonie Tanijaya²

^{1*}*Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Jl Perintis Kemerdekaan Km.13, Makassar*

e-mail: sandyindranata11@gmail.com

²*Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Jl. Perintis Kemerdekaan Km.13, Makassar*

e-mail: jonie.tanijaya@gmail.com

ABSTRAK

Hal yang perlu diperhatikan dalam merencanakan struktur tahan gempa adalah gaya lateral, sehingga kekakuan vertikal struktur perlu ditingkatkan dengan menambahkan pengaku pada struktur bangunan. Penelitian ini melakukan perencanaan alternatif struktur gedung Kantor Bupati Toraja Utara, Sulawesi Selatan. Gedung yang awalnya dianalisis sebagai satu kesatuan, namun hasil analisis menunjukkan rotasi pada ragam getar pertama. Hal ini bertentangan dengan persyaratan aturan ragam getar (SNI 1726:2012) yang mensyaratkan ragam getar pertama dan kedua harus berupa translasi. Dalam penelitian ini gedung dianalisis sebagai satu kesatuan tanpa dan dengan pengaku untuk membandingkan perilaku struktur yang terjadi. Pengaku yang ditambahkan adalah pengaku tipe X dipasang secara konsentris. Analisis dilakukan dengan tidak merubah konfigurasi struktur *existing* kecuali dengan penambahan pengaku. Dimensi profil balok dan kolom baja, material dan pembebanan diambil sama dengan struktur *existing*. Hasil analisis yang dihasilkan adalah respons dinamis struktur yaitu periode getar fundamental, ragam getar, gaya geser dasar dan simpangan lateral yang terjadi, kontribusi pengaku, dan pengaruh P-delta pada struktur gedung tanpa dan dengan pengaku. Periode getar gedung dengan pengaku lebih kecil dibandingkan dengan gedung tanpa pengaku. Mode shape gedung dengan pengaku lebih stabil. Penggunaan pengaku menghasilkan nilai *base shear* yang lebih besar dibandingkan tanpa pengaku. Perbedaan nilai *base-shear* antara gedung dengan pengaku sebesar 133,31% dan 133,60% untuk gempa arah-X dan arah-Y secara berurutan. Pengaku sangat dominan memikul gaya lateral hingga mencapai 89,78% arah-x dan 88,68% arah-y. Pengaruh P-delta untuk gedung dengan pengaku pada kedua arah gempa tidak perlu dilakukan pengecekan P-delta karena nilai θ_x lebih kecil dari yang disyaratkan (θ_{max}).

Kata kunci: pengaku, periode getar ragam getar, gaya geser dasar, simpangan lateral, dan P-delta

PENDAHULUAN

Potensi runtuhnya struktur akibat beban gempa akan membahayakan keselamatan penghuni atau pemakai struktur [1]. Oleh karena itu pada daerah rawan gempa, para perencana dituntut merencanakan struktur yang mampu bertahan terhadap gempa. Hal yang perlu diperhatikan dalam merencanakan struktur tahan gempa yaitu gaya lateral. Akibat gaya lateral yang ditimbulkan oleh beban gempa, akan menyebabkan peningkatan respons struktur yang besar. Solusi dari permasalahan ini adalah peningkatan kekakuan vertikal struktur. Untuk meningkatkan kekakuan vertikal struktur, diantaranya yaitu dengan menambahkan beberapa elemen struktur penahan geser, diantaranya yaitu dengan menambahkan elemen struktur diagonal/pengaku (*bracing*), dinding geser (*shear wall*) atau dengan mengubah sambungan antar elemen struktur (*moment resisting frame*/rangka penahan momen) [2].

Penelitian ini melakukan analisis alternatif struktur gedung kantor bupati Toraja Utara, Kabupaten Toraja Utara, Panga, Sulawesi Selatan, dengan menggunakan pengaku sebagai elemen penahan geser. Gedung ini terdiri dari 4 lantai ditambah 1 lantai atap dan secara umum difungsikan untuk perkantoran. Dalam konsep perencanaan awal, hasil analisis menunjukkan bahwa terjadi rotasi pada ragam getar pertama. Hal ini bertentangan dengan persyaratan aturan ragam getar (SNI 1726:2012) yang mensyaratkan ragam getar pertama dan kedua harus berupa translasi. Hal inilah yang mendasari penulis untuk meneliti gedung tersebut dengan membuat analisis alternatif, yaitu gedung tersebut dianalisis dengan menggunakan pengaku sebagai elemen penahan geser. Pengaku yang digunakan adalah pengaku baja. Pengaku baja sebagai perkuatan struktur lebih umum digunakan karena tidak menambah berat struktur secara

signifikan dan juga tidak mengganggu dari segi arsitektural. Pengaku yang ditambahkan adalah pengaku tipe X dipasang secara konsentris.

Hasil analisis yang diharapkan adalah respons dinamis struktur yaitu dengan membandingkan periode getar fundamental (*time period*), ragam getar (*mode shape*), gaya geser dasar (*base shear force*) dan simpangan lateral (*lateral displacement*) yang terjadi antara struktur portal tanpa dan dengan pengaku; meneliti berapa besar kontribusi pengaku sebagai elemen penahan geser serta pengaruh P-delta pada struktur gedung tersebut tanpa dan dengan pengaku.

DESKRIPSI UMUM GEDUNG

Gedung ini memiliki keunikan dari segi bentuk gedung yang dibuat miring pada kedua sisinya. Tinggi total gedung 19,60 m, diukur dari permukaan tanah, dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Gambar tampak gedung

Dimensi balok profil baja dan kolom komposit yang digunakan

Tabel 1. Dimensi balok profil baja yang digunakan

Nama	Dimensi
B1	WF588x300x20x12
B2	WF500x200x16x10
B3	WF450x200x14x9
B4	WF400x200x13x8
B5	WF350x175x11x7
B6	WF300x150x9x6.5
B7	WF250x125x9x6
B8	WF200x100x8x5.5
B9	WF150x75x7x5

Tabel 2. Dimensi kolom komposit yang digunakan

Nama	Dimensi
C1-A	WF588x300x20x12 dikompositkan menjadi 800 x 800
C1-B	WF500x200x16x10 dikompositkan menjadi 550 x 800
C2	WF450x200x14x9 dikompositkan menjadi 500 x 500
C-LIFT	WF400x200x13x8 dikompositkan menjadi 400 x 400

Material

- Mutu profil baja SS400 (tegangan leleh $f_y = 240$ MPa, tegangan tarik putus $f_u = 400$ MPa) serta mutu baut HTB-A325.
- Mutu beton dan baja tulangan yang digunakan adalah:
- Beton K-300 (kuat tekan silinder $f'_c = 25$ MPa) untuk struktur atas (pelat & kolom).
- Tulangan ulir BJTS40 (tegangan leleh $f_y = 390$ MPa, tegangan tarik putus $f_u = 500$ MPa).
- Tulangan ulir BJTS35 (tegangan leleh $f_y = 350$ MPa, tegangan tarik putus $f_u = 490$ MPa).
- Perbandingan nilai f_u/f_y hasil pengujian kuat tarik tulangan minimal 1,25.

Beban-beban yang bekerja

Beban mati (DL) dan beban mati tambahan (SIDL)

SIDL lantai 2-4 totalnya 138kg/m^2 terdiri dari:

Adukan semen 1 cm = 21kg/m^2

Penutup lantai keramik = 15kg/m^2

Lapisan pasir 3 cm = 48kg/m^2

Rangka + plafon = 18kg/m^2

Mechanical + electrical = 25kg/m^2

Bondek BMT 1,0 mm = 11kg/m^2

SIDL lantai atap totalnya 80kg/m^2 terdiri dari:

Adukan semen 1 cm = 21kg/m^2

Waterproofing = 5kg/m^2

Rangka + plafon = 18kg/m^2

Mechanical + electrical = 25kg/m^2

Bondek BMT 1,0 mm = 11kg/m^2

Beban hidup (LL) dalam kasus ini, beban hidup untuk lantai 2-4 dibagi menjadi tujuh zona. Sedangkan untuk lantai atap digunakan beban hidup 100kg/m^2 sesuai ketentuan SNI 1727:2013 Tabel 4-1 untuk lantai atap bidang datar.

Standar Peraturan yang Digunakan

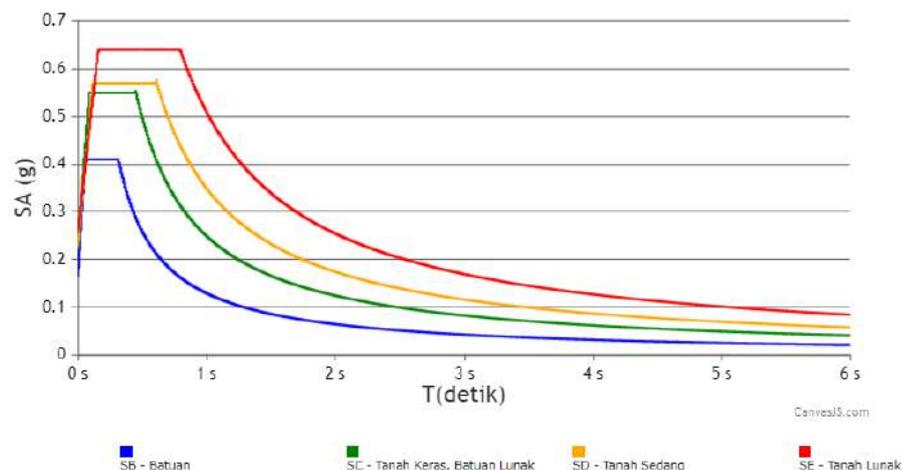
SNI 1726:2012 (Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung).

SNI 1727:2013 (Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain).

SNI 2847:2013 (Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung).

SNI 1729:2015 (Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural).

Parameter gempa

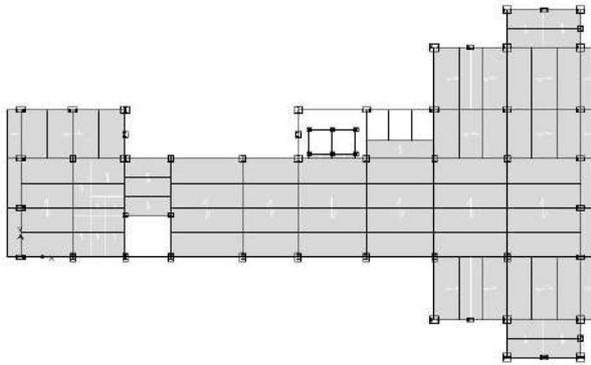


Gambar 2. Spektrum Respon Desain (Sumber: <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/>)

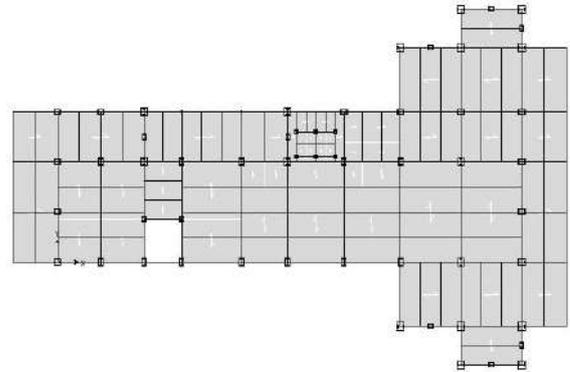
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan struktur

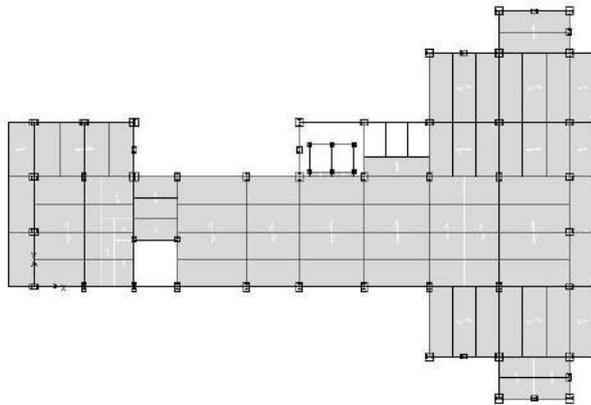
Pemodelan gedung dirancang sebagai struktur gedung dengan sistem rangka pemikul momen (gedung tanpa pengaku) dan sistem ganda (gedung dengan pengaku). Pemodelan awal dilakukan dengan bantuan piranti lunak ETABS dengan dimodelkan sebagai sebuah sistem *grid*, dengan *grid* sebagai garis titik berat dari elemen struktur yang dimodelkan. Berikut denah dan gambar 3D dari model gedung yang didesain dapat dilihat pada Gambar 3-9.



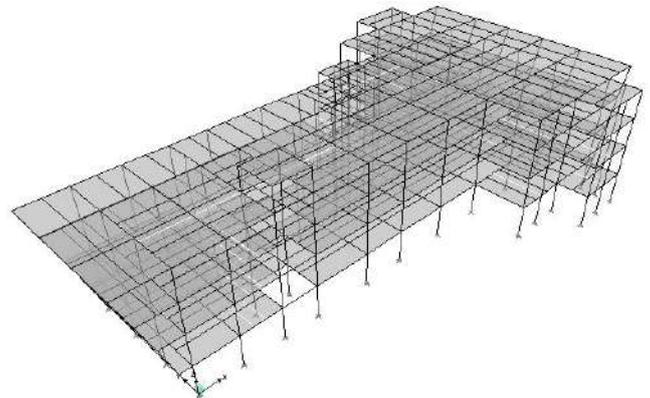
Gambar 3. Model denah lantai 1



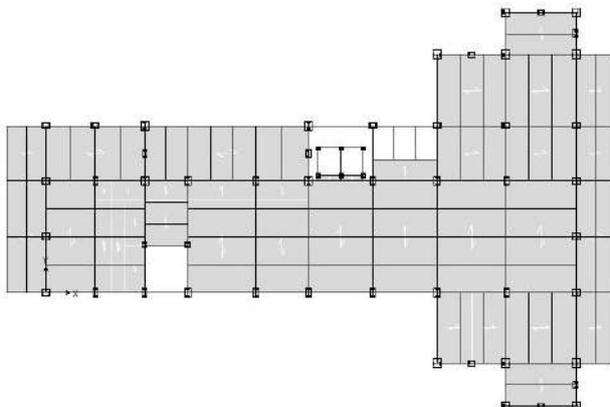
Gambar 6. Model denah lantai 4



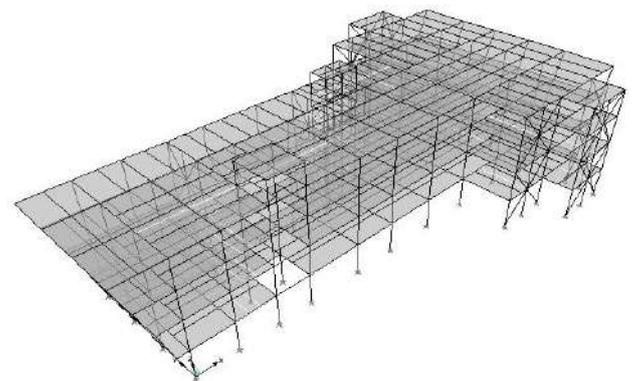
Gambar 4. Model denah lantai 2



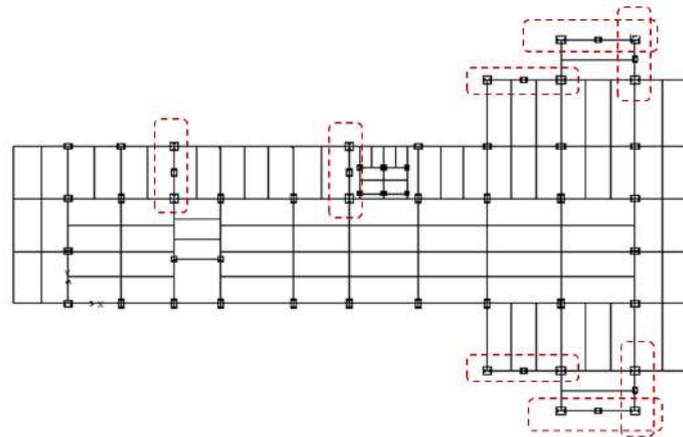
Gambar 7. Model 3D gedung tanpa pengaku



Gambar 5. Model denah lantai 3



Gambar 8. Model 3D gedung dengan pengaku



Gambar 9. Lokasi penempatan pengaku

Klasifikasi situs tanah

Klasifikasi situs ditentukan berdasarkan data penyelidikan tanah yang dilakukan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang. Perbedaan kedalaman tanah keras cukup ekstrim sehingga dalam menentukan daya dukung tidak digunakan rata-rata seluruh data secara langsung. Profil tanah diambil untuk kedalaman 30 m paling atas dari suatu situs dalam menentukan respon spektra rencana (SNI 1726:2012 Pasal 5.4). Nilai rata-rata parameter tanah untuk kedalaman 30 m sebesar 146 kg/cm². Jenis tanah didominasi oleh tanah lempung berkerikil. Nilai N-SPT ditentukan dengan menggunakan rumus Terzaghi untuk tanah lempung berdasarkan korelasi qc dengan nilai N-SPT. Sedangkan untuk nilai percepatan rambat gelombang dalam tanah ditentukan dengan persamaan dari Sun, dkk.

$$N = qc / 2,5 = 58$$

$$V_s = 17,84 qc^{0,301} = 320 \text{ m/s}$$

Untuk nilai $N > 50$ termasuk kelas situs SC. Sedangkan untuk $V_s < 350 \text{ m/s}$ termasuk kelas situs SD. Dengan demikian klasifikasi situs yang menentukan adalah kelas situs SD (SNI 1726:2012 pasal 5.3 Tabel 3).

Respons dinamis struktur

Periode Getar Fundamental (*Time Period*)

Berdasarkan nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x maka dipilih tipe struktur, semua sistem struktur lainnya dengan nilai C_t dan x yaitu:

$$C_{tx} = C_{ty} = 0,0488 ; x = 0,75$$

$$h_n = 19,6\text{m}$$

$$T_a = C_t h_n^x = 0,0488 \times 19,6^{0,75} = 0,455\text{s}$$

$$T_{max} = C_u T_a = 1,4 \times 0,455 = 0,637\text{s} \approx 0,64\text{s}$$

Pada SNI Gempa 03-1726-2012 Pasal 7.9.3 disebutkan bahwa untuk struktur gedung yang memiliki waktu getar alami yang berdekatan atau selisih nilainya kurang dari 15% harus dilakukan dengan metoda yang dikenal dengan Kombinasi Kuadratik Lengkap (*Complete Quadratic Combination* atau CQC). Jika waktu getar alami yang berjauhan, penjumlahan respons ragam tersebut dapat dilakukan dengan metoda yang dikenal dengan Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares* atau SRSS). Untuk menentukan tipe analisis ragam respons spektrum yang sesuai, maka selisih periode / waktu getar dihitung sebagai berikut:

$$\Delta T = (T1 - T2) / T1 \times 100\%$$

Tabel 3. Selisih periode getar struktur

Tanpa Pengaku				Dengan Pengaku				%Selisih Periode
Mode	T (s)	Selisih	Ket.	Mode	T (s)	Selisih	Ket.	
1	1,16			1	0,39			194,72%
2	0,93	19%	>15%	2	0,34	14%	<15%	174,81%
3	0,86	8%	<15%	3	0,33	2%	<15%	156,74%
4	0,21	75%	>15%	4	0,16	53%	>15%	35,02%
5	0,19	10%	<15%	5	0,14	8%	<15%	32,92%
6	0,19	4%	<15%	6	0,13	9%	<15%	40,25%
7	0,16	12%	<15%	7	0,13	2%	<15%	26,72%
8	0,16	4%	<15%	8	0,12	11%	<15%	36,44%
9	0,10	36%	>15%	9	0,08	27%	>15%	20,45%
10	0,10	6%	<15%	10	0,08	2%	<15%	15,93%
11	0,09	6%	<15%	11	0,07	10%	<15%	21,87%
12	0,08	11%	<15%	12	0,06	19%	>15%	33,20%
13	0,06	24%	>15%	13	0,05	17%	>15%	21,27%
14	0,05	19%	>15%	14	0,04	25%	>15%	30,92%
15	0,04	9%	<15%	15	0,03	19%	>15%	46,44%

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan pada Tabel 3, terlihat bahwa waktu getar struktur yang ada melebihi 15%, maka digunakan akar kuadrat jumlah kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares* atau SRSS) sesuai dengan persyaratan SNI Gempa 03-1726-2012 Pasal 7.9.3. Periode getar gedung dengan pengaku lebih kecil dibandingkan gedung tanpa pengaku. pada *mode* 1 yaitu sebesar 194,72% sedangkan pada *mode* 2 sebesar 174,81% dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 4. Batasan periode getar struktur

Tanpa Pengaku					Dengan Pengaku				
T _x	T _y	T _{max}	T _{x use}	T _{y use}	T _x	T _y	T _{max}	T _{x use}	T _{y use}
(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)
1,16	0,86	0,64	0,64	0,64	0,34	0,39	0,64	0,34	0,39

Terlihat bahwa periode getar struktur untuk gedung dengan pengaku lebih kecil dari batas periode getar maksimum. Sedangkan untuk gedung tanpa pengaku nilai periode getarnya melebihi batas periode getar maksimum, sehingga dalam kasus ini diambil periode getar sama dengan periode getar maksimum untuk gedung tanpa pengaku dapat dilihat pada Tabel 4. Batas periode getar maksimum digunakan untuk mencegah agar struktur tidak terlalu fleksibel saat gempa. Secara tidak langsung hal ini juga menunjukkan kalau gedung tanpa pengaku lebih fleksibel dibandingkan dengan gedung yang menggunakan pengaku.

Ragam Getar (*Mode Shape*)

Pada SNI Gempa 03-1726-2012 Pasal 7.9.1 disebutkan bahwa jumlah ragam yang ditinjau dalam penjumlahan respons harus menghasilkan partisipasi massa ragam terkombinasi minimum 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan Tabel 5 dan Tabel 6, jumlah partisipasi massa sudah mencapai lebih dari 90%, yaitu pada *mode* 4 sebesar 97,22% dan 90,16% masing-masing arah X dan Y untuk gedung tanpa pengaku dan pada *mode* 7 sebesar 96,15% dan 97,56% masing-masing arah X dan Y untuk gedung dengan pengaku. Hal ini telah sesuai dengan Pasal SNI Gempa 03-1726- 2012 Pasal 7.9.1. *Mode shape* gedung



dengan pengaku cenderung lebih stabil ditunjukkan dengan pola translasi pada mode 1 dan 2, berbeda dengan gedung tanpa pengaku menunjukkan pola rotasi pada *mode 2*. Hal ini menunjukkan penggunaan pengaku meningkatkan kekakuan gedung dan terlihat bahwa penggunaan pengaku mampu mengubah *mode shape* struktur yang awalnya berotasi akhirnya menjadi translasi pada *mode 2* (Tabel 5 dan Tabel 6).

Tabel 5. Ragam getar struktur tanpa pengaku

Mode	T	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	1,16	87,4	0,04	0	87,42	0,04	0	0,04	98,3	0,91	0,04	98,3	0,91
2	0,93	0,69	37,9	0	88,11	38,02	0	41,6	0,84	51,1	41,6	99,2	52,0
3	0,86	0,21	52,1	0	88,32	90,15	0	57,2	0,26	38,4	98,9	99,4	90,5
4	0,21	8,90	0,01	0	97,22	90,16	0	0	0,46	0,23	98,9	99,9	90,7
5	0,19	0,16	5,27	0	97,38	95,44	0	0,63	0,01	2,87	99,5	99,9	93,6
6	0,19	0,14	2,30	0	97,52	97,74	0	0,44	0,01	3,43	99,9	99,9	97,0
7	0,16	0	0,23	0	97,53	97,96	0	0,02	0	0,84	99,9	99,9	97,8
8	0,16	0,19	0	0	97,71	97,96	0	0	0,02	0,06	99,9	99,9	97,9
9	0,10	0	0,08	0	97,71	98,04	0	0	0	0,18	99,9	99,9	98,1
10	0,10	1,68	0	0	99,39	98,04	0	0	0	0,08	99,9	99,9	98,2
11	0,09	0,05	1,17	0	99,44	99,22	0	0,01	0	0,08	100	99,9	98,2
12	0,08	0,13	0,39	0	99,58	99,61	0	0	0	0,82	100	99,9	99,1
13	0,06	0,17	0,08	0	99,75	99,69	0	0	0	0,02	100	99,9	99,1
14	0,05	0,11	0,23	0	99,86	99,92	0	0	0	0	100	100	99,1
15	0,04	0,13	0,08	0	99,99	100	0	0	0	0	100	100	99,1

Tabel 6. Periode getar struktur dengan pengaku

Mode	T	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	0,39	8	85,4	0	0	85,45	0	99,5	0	0,30	99,5	0	0,30
2	0,34	85,0	0	0	85,08	85,45	0	0	99,4	0,12	99,5	99,4	0,41
3	0,33	0,12	0,21	0	85,20	85,65	0	0,27	0,13	84,4	99,7	99,5	84,8
4	0,16	0,03	0	0	85,23	85,65	0	0	0,04	0	99,7	99,6	84,8
5	0,14	0,03	0,31	0	85,26	85,97	0	0,06	0,03	0,50	99,8	99,6	85,3
6	0,13	10,6	0,24	0	95,95	86,21	0	0	0,13	0,15	99,8	99,7	85,4
7	0,13	0,20	11,3	0	96,15	97,56	0	0,08	0	0,90	99,9	99,7	86,3
8	0,12	0,36	0,27	0	96,50	97,82	0	0	0	8,40	99,9	99,7	94,7
9	0,08	0,06	0,16	0	96,56	97,98	0	0,01	0,01	0,37	99,9	99,7	95,1
10	0,08	1,64	0,02	0	98,20	98,00	0	0	0,09	0,09	99,9	99,8	95,2
11	0,07	0,03	1,44	0	98,23	99,44	0	0,06	0	0,10	99,9	99,8	95,3
12	0,06	0,96	0	0	99,19	99,44	0	0	0,03	0,19	99,9	99,9	95,5
13	0,05	0,03	0,41	0	99,22	99,86	0	0	0	0,02	99,9	99,9	95,5
14	0,04	0,48	0,07	0	99,69	99,92	0	0	0	0,08	99,9	99,9	95,6
15	0,03	0,27	0,04	0	99,97	99,97	0	0	0,01	0	99,9	99,9	95,6

Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Pada SNI Gempa 03-1726-2002 Pasal 7.1.3 disebutkan bahwa gaya geser dasar (V) harus dihitung dalam masing-masing dua arah horizontal ortogonal menggunakan periode fundamental struktur (T) yang dihitung dalam masing-masing arah dan mengikuti pasal 7.8. *Base shear* untuk masing-masing arah gempa, yaitu RSX dan RXY hasil analisis dinamik tanpa skala untuk gedung tanpa dan dengan pengaku dapat dilihat pada Tabel 7. Sedang *base shear* untuk masing-masing arah gempa, yaitu VX dan VY hasil analisis statik tanpa skala untuk gedung dengan dan tanpa pengaku dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 7. Hasil analisis dinamik tanpa skala

Tanpa Pengaku		Dengan Pengaku	
RSX _{uns}	RSY _{uns}	RSX _{uns}	RSY _{uns}
(ton)	(ton)	(ton)	(ton)
49,57	47,04	178,00	178,91

Tabel 8. Hasil analisis statik

Tanpa Pengaku				Dengan Pengaku			
V _{statikX}	V _{statikY}	0,85V _{statikX}	0,85V _{statikY}	V _{statikX}	V _{statikY}	0,85V _{statikX}	0,85V _{statikY}
(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)
217,91	217,91	185,23	185,23	508,85	508,52	432,52	432,24

Perbedaan nilai *base shear* struktur sebelum diskalakan pada Tabel 7 terlihat bahwa penggunaan pengaku menghasilkan nilai *base shear* yang lebih besar dibandingkan struktur tanpa pengaku. Namun nilai ini masih perlu diskalakan dengan syarat 85% *base shear* statik sesuai persyaratan dalam SNI 1726:2012. Hal ini menunjukkan gaya gempa desain cenderung lebih besar untuk gedung yang menggunakan pengaku, walaupun gaya gempa desain lebih besar namun perilaku gedung cenderung lebih stabil dengan *mode shape* translasi, dapat dilihat pada Tabel 6.

Nilai faktor skala gaya gempa yang digunakan pada Tabel 9, terlihat bahwa nilai faktor skala gedung tanpa pengaku lebih tinggi dibandingkan menggunakan pengaku. Nilai *base shear* setelah diskalakan untuk gedung tanpa pengaku sebesar 185,39 ton dan 185,34 ton untuk gempa arah X dan Y. Nilai *base shear* setelah diskalakan untuk gedung dengan pengaku sebesar 432,54 ton dan 432,96 ton untuk gempa arah X dan Y secara berurutan pada Tabel 10. Nilai *base shear* yang lebih tinggi disebabkan pengaruh kekakuan gedung yang lebih tinggi akibat menggunakan pengaku.

Tabel 9. Faktor skala gempa

Tanpa Pengaku		Dengan Pengaku	
FS _{gempa X}	FS _{gempa Y}	FS _{gempa X}	FS _{gempa Y}
3,74	3,94	2,43	2,42

Tabel 10. Hasil analisis dinamik setelah diskalakan

Tanpa Pengaku				Dengan Pengaku			
RSX _{scaled}	0,85V _{statikx}	RSY _{scaled}	0,85V _{statiky}	RSX _{scaled}	0,85V _{statikx}	RSY _{scaled}	0,85V _{statiky}
ton	ton	ton	ton	ton	ton	Ton	ton
185,39	185,23	185,34	185,23	432,54	432,52	432,96	432,24



Perbedaan nilai *base shear*:

$$\text{Untuk arah X} = ((432,54 - 185,39)/185,39) \times 100\% = 133,31\%$$

$$\text{Untuk arah Y} = ((432,96 - 185,34)/185,34) \times 100\% = 133,60\%$$

Perbedaan nilai *base shear* antara gedung dengan pengaku dan tanpa pengaku adalah sebesar 133,31% dan 133,60% untuk gempa arah X dan arah Y secara berurutan. Nilai *base shear* yang dihasilkan berbeda jauh. Dalam hal ini terlihat pengaruh kekakuan dimana struktur dengan kekakuan yang lebih besar cenderung memiliki nilai *base shear* yang lebih besar pula.

Simpangan Lateral

Menentukan nilai batasan simpangan (*displacement limit*) pada gedung dengan uraian perhitungan sebagai berikut:

$$h \text{ (tinggi gedung)} = 19,60 \text{ m}$$

$$\text{Displacement limit} = 0,02 \times h = 0,02 \times 19,60 \text{ m} = 0,392 \text{ m} = 392 \text{ mm}$$

Dari hasil analisis dengan bantuan perangkat lunak ETABS diperoleh nilai simpangan lateral untuk gedung tanpa pengaku dan dengan pengaku. Nilai simpangan lateral elastis tanpa faktor perbesaran defleksi (C_d) untuk gedung tanpa dan dengan pengaku untuk gempa arah X dan Y dan nilai simpangan lateral inelastic gedung akibat gempa arah X dan Y untuk gedung tanpa dan dengan pengaku dengan faktor perbesaran defleksi $C_d = 5,50$ nilai dapat dilihat pada Tabel 11.

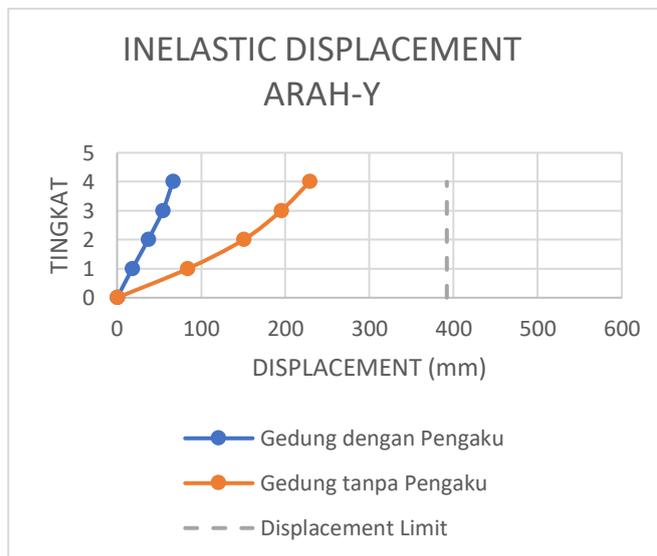
Tabel 11. Simpangan lateral elastis dan inelastis gedung tanpa pengaku dan dengan pengaku

Lantai	Elastis				Inelastis			
	Tanpa Pengaku		Dengan Pengaku		Tanpa Pengaku		Dengan Pengaku	
	Arah		Arah		Arah		Arah	
	UX (mm)	UY (mm)	UX (mm)	UY (mm)	UX (mm)	UY (mm)	UX (mm)	UY (mm)
Atap	48,4477	41,6523	9,647	13,2494	266,462	229,088	48,235	66,247
Lt 4	39,7401	35,4487	7,7157	10,855	218,571	194,968	38,578	54,275
Lt 3	29,559	27,3516	4,8867	7,398	162,575	150,434	24,433	36,99
Lt 2	15,7879	15,2565	2,3185	3,6032	86,8335	83,9108	11,592	18,016
Base	0	0	0	0	0	0	0	0

Nilai simpangan inelastis untuk gedung tanpa pengaku dan gedung dengan pengaku masih memenuhi batas simpangan dimana batas maksimum simpangan yang terjadi hanya diizinkan sebesar 392 mm. Sehingga, penggunaan pengaku secara efektif terbukti mampu meningkatkan kekakuan gedung. Gambar 10 dan Gambar 11 menunjukkan perbedaan nilai simpangan yang sangat signifikan antara gedung tanpa pengaku dan dengan pengaku.



Gambar 10. Simpanan lateral inelastis arah X



Gambar 11. Simpanan lateral inelastis arah Y

Kontribusi Pengaku

Dalam SNI 1726:2012, disyaratkan sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus harus mampu menahan paling sedikit 25% gaya gempa yang ditetapkan. Sedangkan dalam penelitian ini, gaya geser yang dipikul oleh portal lebih kecil dari 25% (10,22% untuk pengaku arah X dan 11,32% untuk pengaku arah Y), dapat dilihat pada Tabel 12. Dalam hal ini menunjukkan bahwa dimensi struktur yang direncanakan masih harus diperbesar untuk memenuhi standar SNI. Jadi dapat disimpulkan bahwa penggunaan pengaku secara efektif terbukti mampu meningkatkan kekakuan gedung pada gedung tidak beraturan.

Tabel 12. Kontribusi pengaku

Pengaku arah-X				Pengaku arah-Y			
$V_{\text{pengaku-X}}$ (ton)	$V_{\text{sum-X}}$ (ton)	% dipikul pengaku	% dipikul frame	$V_{\text{pengaku-Y}}$ (ton)	$V_{\text{sum-Y}}$ (ton)	% dipikul pengaku	% dipikul frame
419,38	442,50	89,78%	10,22%	402,85	439,41	88,68%	11,32%



Hasil pada Tabel 12 menunjukkan bahwa masih perlu dilakukan pengecekan terhadap elemen *frame* untuk penentuan dimensi *frame* (kolom dan balok) yang tepat.

Pengaruh P-delta

Hasil yang diperoleh pada Tabel 13 menunjukkan bahwa untuk kedua arah gempa pada kedua gedung tidak perlu dilakukan pengecekan P-delta karena nilai θ_x lebih kecil dari yang disyaratkan (θ_{maks}).

Tabel 13. Pengaruh P-delta untuk gedung tanpa pengaku dan dengan pengaku

Lantai	Tanpa Pengaku						Dengan Pengaku					
	Arah-x			Arah-y			Arah-x			Arah-y		
	θ_x	θ_{maks}	Cek	θ_x	θ_{maks}	Cek	θ_x	θ_{maks}	Cek	θ_x	θ_{maks}	Cek
Atap	0,008	0,090	Ok	0,007	0,090	Ok	0,0013	0,10	Ok	0,0016	0,10	Ok
Lt 4	0,010	0,090	Ok	0,009	0,090	Ok	0,0014	0,10	Ok	0,0018	0,10	Ok
Lt 3	0,014	0,090	Ok	0,014	0,090	Ok	0,0014	0,10	Ok	0,0020	0,10	Ok
Lt 2	0,019	0,090	Ok	0,021	0,090	Ok	0,0015	0,10	Ok	0,0024	0,10	Ok
Base	0	0	Ok	0	0,090	Ok	0	0,10	Ok	0	0	Ok

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang dijelaskan bagian sebelumnya, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

Hasil analisis respons dinamis struktur menghasilkan:

- Periode getar gedung dengan pengaku lebih kecil dibandingkan gedung tanpa pengaku. Pada *mode* 1 perbedaan periode getar sebesar 194,72% sedangkan pada *mode* 2 sebesar 174,81%, hal ini menunjukkan bahwa penggunaan pengaku meningkatkan kekakuan gedung.
- *Mode shape* gedung dengan pengaku cenderung lebih stabil ditunjukkan dengan pola translasi pada *mode* 1 dan 2, berbeda dengan gedung tanpa pengaku menunjukkan pola rotasi pada *mode* 2. Hal ini menunjukkan penggunaan pengaku meningkatkan kekakuan gedung dan terlihat bahwa penggunaan pengaku mampu mengubah *mode shape* struktur yang awalnya berotasi akhirnya menjadi translasi pada *mode* 2.
- Penggunaan pengaku menghasilkan nilai *base shear* yang lebih besar dibandingkan tanpa pengaku. Perbedaan nilai *base shear* antara gedung dengan pengaku sebesar 133,31% dan 133,60% untuk gempa arah X dan arah Y secara berurutan.
- Kontribusi *frame* untuk kedua arah masih lebih kecil dari 25%. Hal ini menunjukkan bahwa masih perlu dilakukan pengecekan terhadap elemen *frame* untuk penentuan dimensi *frame* (kolom dan balok) yang tepat.
- Pengaruh P-delta untuk gedung dengan pengaku pada kedua arah gempa tidak perlu dilakukan pengecekan P-delta karena nilai θ_x lebih kecil dari yang disyaratkan (θ_{maks}).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Youssef, M.A., Ghaffarzadeh, H., Nehdi, M., 2007, Seismic Performance of RC Frames with Concentric Internal Steel Bracing.
- [2] Thoeng, S., Taniyaya, J., & Kalangi, H.T., 2016, Kinerja Struktur Portal Baja dengan Pengaku Konsentris dan Eksentris.

KoNTekS17

Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-17

- [3] Bambang Budiono, 2016, contoh Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Dinding Struktur Khusus di Jakarta.
- [4] Badan Standardisasi Nasional, 2013, Beban minimum untuk perancangan bangunan. Gedung dan struktur lain (SNI 1727:2013), Jakarta.
- [5] Badan Standardisasi Nasional, 2013, Persyaratan beton struktural untuk bangunan. Gedung (SNI 2847:2013), Jakarta.
- [6] Badan Standardisasi Nasional, 2012, Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk Struktur bangunan gedung dan non gedung (SNI 1726:2012), Jakarta.
- [7] Badan Standardisasi Nasional, 2015, Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural (SNI 1729:2015), Jakarta.