

PERUBAHAN RESPONS STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG AKIBAT KOMPONEN NON-STRUKTURAL

Jusuf J. S. Pah¹ (yuserpbdaniel@yahoo.co.id)

Daryanda V. E. C. Nalle² (arynalle7@gmail.com)

Rosmiyati A. Bella³ (qazebo@yahoo.com)

ABSTRAK

Komponen non-struktural adalah salah satu komponen pelengkap sebuah bangunan yang dalam perencanaan sering hanya dianggap sebagai beban mati saja, tanpa melihat interaksi yang dapat ditimbulkan terhadap komponen struktural. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan respons struktur suatu bangunan yang diakibatkan oleh kontribusi dari komponen non-struktural. Model gedung yang dianalisis berupa gedung persegi dengan 10 lantai dengan ukuran 20 m x 20 m. Model gedung tersebut terdiri atas 5 variasi yaitu 1 model bangunan tanpa pengaruh komponen non-struktural (model S-NS0) dan 4 model bangunan dengan pengaruh komponen non-struktural (model S-NSIB, model S-NSACB, model S-NSBM, dan model S-NSB). Analisis ini dilakukan dengan memberikan beban dorong lateral (*pushover*) menggunakan *software* ETABS. Hasil analisis yang diperoleh adalah terdapatnya penurunan respons struktur yang dihasilkan dari bangunan tanpa komponen non-struktural ke bangunan dengan pengaruh komponen non-struktural. Besarnya penurunan yang terjadi mencapai angka 87,17% untuk respons gaya geser balok, 85,39% untuk momen tumpuan kiri, 91,30% untuk momen tumpuan kanan, 41,66 % untuk momen lapangan, 83,81% untuk lendutan balok, 41,23% untuk gaya geser kolom, 33,03% untuk gaya aksial kolom, 93,60% untuk momen maksimal kolom, dan 63,67% untuk perubahan *drift* total bangunan.

Kata Kunci: *Komponen Non-Struktural, Respons Struktur, Pushover*

ABSTRACT

A non-structural component is one of the supporting elements of a structure that is frequently only taken into account as a dead load during planning. This study was carried out to identify changes in a building's structural response brought on by contributions from non-structural elements. The building is modeled as a square structure with ten stories and a 20 m × 20 m span. The building model consists of 5 variations, namely 1 building model without the non-structural components (model S-NS0) and 4 building models with the non-structural components (model S-NSIB, model S-NSACB, model S-NSBM, and model S-NSB). This analysis was performed by providing a pushover using ETABS software. The findings are, there is a decrease in the reaction of structures when comparing buildings with and without the influence of non-structural components. The magnitude of the decline reached the figures of 87.17% for the beam shear force response, 85.39% for the left pedestal moment, 91.30% for the right fulcrum moment, 41.66% for the field moment, 83.81% for the beam deflection, 41.23% for the column shear force, 33.03% for the column axial force, 93.60% for the column maximum moment, and 63.67% for the total drift change of the building.

Key Words: *Non-Structural Components, Structural Response, Pushover*

PENDAHULUAN

Keberadaan komponen non-struktural dalam suatu gedung sering kali tidak terlalu diperhitungkan, terutama pada saat mendesain gedung dengan adanya pengaruh beban

¹ Prodi Teknik Sipil, FST Undana;

² Prodi Teknik Sipil, FST Undana (Penulis Korespondensi);

³ Prodi Teknik Sipil, FST Undana.

horizontal. Pada proses perencanaan komponen ini seringkali hanya diidealisasikan sebagai beban mati yang terbagi rata tanpa melihat interaksi yang dihasilkan terhadap komponen struktural bangunan. Walaupun sering diabaikan dalam perencanaan tetapi komponen non-struktural jika diperhatikan dengan cermat, condong untuk berinteraksi dengan komponen struktural gedung saat gedung terkena beban horizontal. Hasil dari interaksi antara dua komponen tersebut tentunya akan menghasilkan *output* yang berbeda jika dibandingkan dengan perlakuan sistem *open frame* yang biasa dipakai dalam pemodelan. Pada beberapa kasus gempa yang terjadi pada masa lampau ternyata dapat diamati bahwa komponen non-struktural turut memberikan pengaruh terhadap kemampuan gedung untuk memikul beban. Hal ini dapat diamati pada pasangan dinding yang merupakan salah satu komponen non-struktural. Komponen ikut mengalami kerusakan atau keretakan saat beban horizontal bekerja pada sebuah bangunan. Peristiwa lain yang sering terjadi pada bangunan ialah keruntuhan *soft story* yang diakibatkan karena konfigurasi komponen non-struktural (pasangan dinding) yang berbeda pada tiap lantai. Dari dua peristiwa interaksi ini menggambarkan bahwa sesungguhnya terdapat pengaruh yang diakibatkan oleh komponen non-struktural terhadap komponen struktural. Secara kedudukan tempat, daratan Indonesia berada pada pertemuan antara 3 lempeng utama dunia, yang menyebabkan Indonesia berada pada daerah atau kawasan rawan terjadinya gempa. Oleh karena itu intensitas terjadinya beban gempa terhadap bangunan yang berada di Indonesia akan lebih besar. Dengan demikian perhitungan dan perencanaan gedung di Indonesia seharusnya lebih detail dalam memperhatikan pengaruh dari beban horizontal dengan turut memperhitungkan pengaruh komponen non-struktural di dalamnya, agar respons suatu struktur terhadap beban tersebut dapat diprediksi dengan lebih tepat. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh yang diberikan komponen non-struktural terhadap perubahan respons struktur suatu bangunan gedung.

TINJAUAN PUSTAKA

Komponen Non-Struktural

Sistem struktural pada sebuah gedung dirancang untuk mampu menerima atau menahan berbagai macam beban pada bangunan. Sebagai tambahan terhadap komponen struktural, terdapat komponen non-struktural. Komponen non-struktural merupakan elemen yang melekat pada atau bertempat di dalam bangunan atau sistem bangunan, tetapi bukan bagian dari sistem struktural bangunan yang menahan beban utama (Mondal dan Jain, 2005).

Dinding Sebagai Ekuivalen *Strut* Tekan Diagonal Menurut Fema 356

FEMA 356 merupakan pra-standar Amerika Serikat untuk bangunan akibat pengaruh gempa yang dikeluarkan oleh *Federal Emergency Management Agency*. Dokumen ini secara garis besar membahas dan menyajikan batas deformasi yang boleh dialami oleh komponen struktural dalam bangunan. Pada sub-bab 7 dalam peraturan ini secara spesifik membahas mengenai pelaksanaan analisis untuk dinding (*masonry*) pada sebuah bangunan.

Berdasarkan dokumen yang dikeluarkan oleh FEMA 356, kekakuan elastis yang dihasilkan dinding pengisi harus dihitung terlebih dahulu dengan memodelkan dinding tersebut sebagai *strut* tekan diagonal. Sebuah *strut* dengan lebar a dan tebal t memiliki luasan penampang A_{ms} . Lebar dari *strut* tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan dari Fema 356 berikut :

$$A_{ms} = 0,175 \times (\lambda_1 \times h_{col})^{-0,4} \times r_{inf} \quad (1)$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{E_{me} \times t_{inf} \times \sin 2\theta}{4 \times E_{fe} \times I_{c \text{ olx}} \times H_{inf}}} \quad (2)$$

Respons Struktur

Dalam merancang sebuah struktur, seorang perancang harus mampu menjamin terpenuhinya keselamatan dan fungsi pelayanan dari gedung dengan menentukan respons dari struktur secara tepat. Untuk dapat mampu memahami respons dari sebuah struktur, maka seorang perancang membutuhkan pengetahuan dasar mengenai karakteristik material dan ilmu mekanika statika dasar. Ilmu statika ini dibutuhkan untuk dapat mencari gaya dalam yang terjadi di sepanjang penampang komponen struktural (Hibbeler, 2012).

Selain untuk mencari gaya dalam yang terjadi, perancangan atau analisis struktur menurut Bauchau dan Craig (2009) adalah sebuah proses untuk mencari dan mengevaluasi deformasi dan tegangan yang terjadi di sepanjang objek.

Analisis Pushover Menurut ATC-40

Analisis statik non linear *pushover* (ATC 40, 1997) merupakan salah satu komponen *performance based design* yang menjadi sarana dalam mencari kapasitas dari suatu struktur. Analisis ini dilakukan dengan peningkatan beban statik tertentu dalam arah lateral secara proporsional pada struktur hingga struktur mencapai angka *displacement* tertentu. Prosedur analisisnya akan menjelaskan bagaimana mengidentifikasi bagian-bagian dari bangunan yang akan mengalami kegagalan terlebih dahulu. Seiring dengan penambahan beban akan ada elemen-elemen lain yang mengalami leleh dan mengalami deformasi (Wisnumurti, dkk, 2008).

Persentase Perubahan

Persentase perubahan merupakan konsep matematika yang digunakan untuk menggambarkan hubungan antara nilai awal (lama) dan nilai akhir (baru) yang saling terkait dalam bentuk nilai persentase. Konsep perhitungan ini dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{Persentase Perubahan} = \frac{\text{Nilai akhir} - \text{Nilai awal}}{\text{Nilai awal}} \times 100\% \quad (3)$$

Regresi

analisis regresi merupakan salah satu teknik statistik yang paling banyak digunakan untuk menganalisis data dengan banyak faktor. Metode ini lahir dari proses pemikiran konseptual logis dengan menggunakan persamaan untuk meramalkan atau menjelaskan hubungan antara variabel satu dan lainnya. Penggunaan regresi biasanya digambarkan dalam sebuah kurva atau grafik yang diberi nama *scatter diagram* (Montgomery, 2016).

1. Regresi Linier

Analisis regresi linier merupakan hubungan secara linear antara satu variabel bebas (x) dengan variabel terikat (y). Namun dalam penggunaannya seringkali menimbulkan kebingungan dengan konsep independen statistik. Dengan demikian variabel (x) seringkali disebut “*predictor*” atau “*regressor*”, dan variabel (y) disebut sebagai “*response*” (Montgomery, 2016). Formula yang digunakan dalam regresi linier untuk meramalkan hubungan antara dua variabel adalah sebagai berikut :

$$y = a + bx \quad (4)$$

$$b = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (5)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (6)$$

dengan:

y : variabel terikat

x : variabel bebas

a : perpotongan sumbu tegak

b : gradien atau kemiringan

2. Regresi Polinomial

Regresi polinomial merupakan pengembangan dari regresi linier, di mana pada regresi ini jumlah variabel bebas yang terlibat lebih dari satu nilai (Uyun, Jaya, dan Ransi., 2019). Rumusan yang digunakan dalam analisis regresi polinomial untuk meramalkan hubungan antara dua variabel adalah sebagai berikut.

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_nx^n \quad (7)$$

dengan:

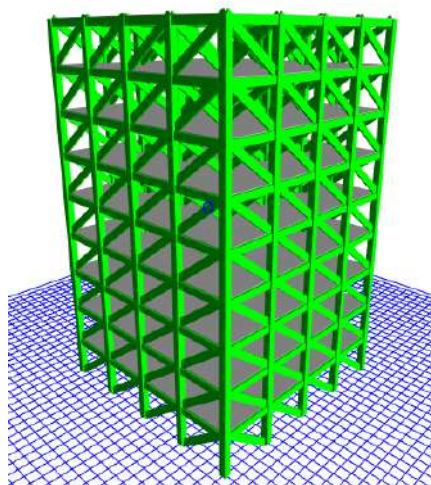
y : variabel terikat

x : variabel bebas

a : koefisien regresi parsial

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis data, yaitu kajian secara analisis terhadap perbandingan respons struktur yang dihasilkan dari tiap model bangunan. Penelitian ini diawali dengan tahapan *preliminary design* untuk menentukan dimensi awal dari tiap model gedung dan dimensi dari *strut* tekan diagonal, kemudian dilanjutkan pada tahap pemodelan menggunakan *software* ETABS dan diaplikasikan beban dorong *pushover*. Hasil dari analisis *pushover* kemudian yang dipakai dalam melihat perubahan data respons struktur yang terjadi. Penelitian ini dilakukan pada 5 model bangunan gedung yang dikonsepsikan sebagai gedung perkantoran (maka beban hidup yang bekerja menyesuaikan izin beban minimal untuk bangunan kantor) dengan dimensi 20 x 20 m dan tinggi 10 lantai, tinggi tipikal tiap lantai 3,75 m dengan menggunakan struktur beton bertulang bermutu 30 MPa. Contoh ilustrasi model gedung tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Ilustrasi Model Bangunan

Ilustrasi di atas merupakan contoh model bangunan dengan *strut* tekan diagonal, untuk model bangunan kontrol (tanpa *strut*) hanya berbeda pada tidak adanya *strut* pada model bangunan. Gedung tersebut dianalisis terhadap *full 3D DOF* pada *software* ETABS dengan arah sumbu dorong yang dipakai hanya perwakilan sumbu dorong x dikarenakan bentuk gedung yang simetris. Konsep analisis diteruskan dengan menggunakan metode regresi data terhadap hasil respons struktur yang didapat. Deskripsi gedung yang dimodelkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah.

Tabel 1. Deskripsi Model Tiap Gedung

No	Model Bangunan	Keterangan
1	S-NSO	Model struktur tanpa pengaruh komponen non-struktural
2	S-NSBM	Model struktur dengan pengaruh komponen non-struktural dinding pengisi bata merah yang dimodelkan sebagai <i>strut</i> tekan diagonal
3	S-NSACB	Model struktur dengan pengaruh komponen non-struktural dinding pengisi <i>aerated concrete blocks</i> yang dimodelkan sebagai <i>strut</i> tekan diagonal
4	S-NSB	Model struktur dengan pengaruh komponen non-struktural dinding pengisi batako yang dimodelkan sebagai <i>strut</i> tekan diagonal
5	S-NSIB	Model struktur dengan pengaruh komponen non-struktural dinding pengisi <i>interlocking bricks</i> yang dimodelkan sebagai <i>strut</i> tekan diagonal

Properti mekanis dinding pengisi tiap jenis bata yang digunakan diambil dari hasil penelitian yang telah dilakukan beberapa peneliti sebelumnya, rekapan data tersebut dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini

Tabel 2. Properti Mekanis Bata Penyusun Dinding

Jenis Bata	Massa Jenis (kg/m ³)	Kuat Tekan (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)	Rujukan
ACB	820	2,43	2419	Bhosale, 2020
Bata Merah	1992	2,89	3190	Radovanpovic, 2015
Batako	1500	2,9	6600	Radovanpovic, 2015
<i>Interlocking Bricks</i>	1812	2,47	2021	Patankar, 2020

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dimensi *Strut* Tekan Diagonal

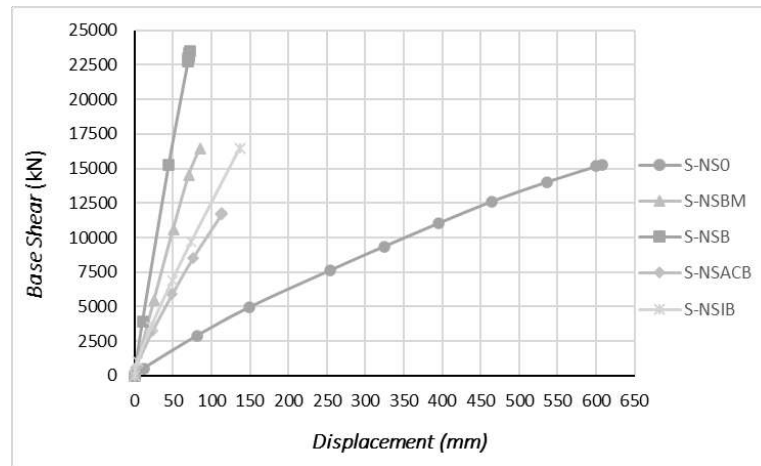
Rekapan hasil dimensi *strut* tekan diagonal yang telah dihitung menggunakan persamaan dari FEMA 356 dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Rekapan Dimensi *Strut* Tekan Diagonal

No	Dinding	Lebar <i>Strut</i> (mm)
1	Bata Merah	669
2	Batako	622
3	<i>Aerated Concrete Blocks</i>	733
4	<i>Interlocking Bricks</i>	717

Hasil Analisis Pushover

Hasil analisis ini berupa kinerja struktur bangunan yang dinyatakan dalam kurva *force vs displacement*. Rekapitan hasil *pushover* tersebut terhadap 5 model bangunan yang dianalisis dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Hasil Analisis Pushover

Performance Point

Performance point yang terjadi pada tiap bangunan dihitung menggunakan nilai perbandingan simpangan maksimum yang terjadi terhadap nilai total tinggi bangunan, rekapitan data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Performance Point Model Bangunan

Model	Total Step	Performance Point
S-NS0	10	Damage Control
S-NSBM	12	N/A
S-NSB	6	N/A
S-NSACB	7	N/A
S-NSIB	6	N/A

Pola Ragam Sendi Plastis

Sendi plastis yang terjadi pada 5 model gedung yang dianalisis memiliki pola ragam yang bervariasi, rekapitan data pada Tabel 5 di bawah ini menunjukkan taraf dan status pertama kali terjadinya mode sendi plastis pada gedung.

Tabel 5. First Hinge Appeared

Model	First Hinge Appeared	
	Hinge State	Hinge Status
S-NS0	Step 1	Step 3
S-NSBM	Step 1	Step 4
S-NSB	Step 1	Step 3
S-NSACB	Step 1	Step 4
S-NSIB	Step 1	Step 5

Basis Step Acuan Respons Struktur

Berdasarkan parameter-parameter yang didapat pada hasil analisis *pushover* dan data sendi plastis yang terjadi menunjukkan bahwa *step* ke-3 pada analisis *pushover* dipilih sebagai acuan *step* dasar yang digunakan sebagai basis data respons struktur yang dianalisis. Hal ini disebabkan

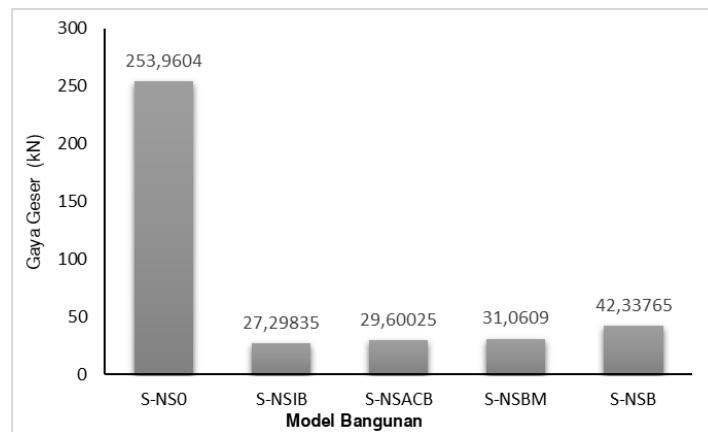
karena pada *step* ke-3 merupakan *step* terkecil terjadinya taraf sendi plastis pertama kali. Semua data yang ditampilkan pada hasil analisis merupakan data respons struktur yang berasal dari *step* acuan tersebut

Perubahan Respons Struktur

Perubahan respons struktur yang terjadi ditinjau terhadap elemen balok dan kolom dengan mengambil parameter gaya dalam seperti gaya geser, gaya aksial, momen, lendutan, dan simpangan. Perubahan data ditinjau berdasarkan perbandingan nilai dari model pertama ke nilai respons rerata 4 model ber-*strut* tekan diagonal

1. Gaya Geser Balok

Respons struktur gaya geser balok dapat dilihat pada Gambar 3. di bawah ini.



Gambar 3. Rekapian Gaya Geser Balok

Dari data yang disajikan di atas terdapat penurunan respons struktur yang terjadi dari model tanpa strut ke model dengan strut tekan diagonal, persentase penurunan tersebut dapat dilihat pada Tabel 6. di bawah ini.

Tabel 6. Persentase Perubahan Respons Gaya Geser Balok

Model	Δ
S-NS0 ke S-NSIB	-89,25%
S-NSIB ke S-NSACB	8,43%
S-NSACB ke S-NSBM	4,93%
S-NSBM ke S-NSB	36,31%
S-NS0 ke Rerata Model dengan <i>Strut</i>	-87,17%

Trendline laju perubahan data di atas dapat dilihat pada Tabel 7 di bawah ini.

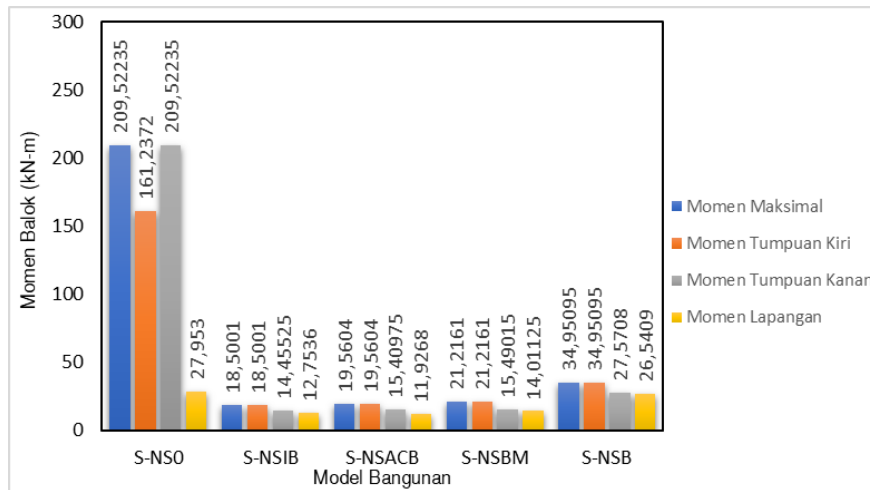
Tabel 7. Trendline Perubahan Gaya Geser Balok

Model	Type Regresi	Persamaan Regresi	R ²
Gaya Geser	Linear	$Y = -0,1122x + 253,96$	1
Balok	Polinomial	$Y = 2 \times 10^{-8}x^2 - 0,003x + 21,562$	0,9949

Tipe regresi linear diterapkan pada perubahan data model I ke data Model II, sedangkan tipe regresi polinomial diterapkan pada laju perubahan data dari model II sampai model V

2. Momen Balok

Respons struktur momen balok dapat dilihat pada Gambar 4. di bawah.



Gambar 4. Rekapitan Momen Balok

Dari data yang disajikan di atas terdapat penurunan respons struktur yang terjadi dari model tanpa strut ke model dengan strut tekan diagonal, persentase penurunan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini.

Model	Δ	Model	Δ
S-NSO ke S-NSIB	-91,17%	S-NSO ke S-NSIB	-88,53%
S NSIB ke S-NSACB	5,73%	S NSIB ke S-NSACB	5,73%
S-NSACB ke S-NSBM	8,46%	S-NSACB ke S-NSBM	8,46%
S-NSBM ke S-NSB	64,74%	S-NSBM ke S-NSB	64,74%
S-NSO ke Rerata Model dengan Strut	-88,76%	S-NSO ke Rerata Model dengan Strut	-85,39%
(a) Momen Maksimal		(b) Momen Tumpuan Kiri	
Model	Δ	Model	Δ
S-NSO ke S-NSIB	-93,10%	S-NSO ke S-NSIB	-54,37%
S NSIB ke S-NSACB	6,60%	S NSIB ke S-NSACB	-6,48%
S-NSACB ke S-NSBM	0,52%	S-NSACB ke S-NSBM	17,48%
S-NSBM ke S-NSB	77,99%	S-NSBM ke S-NSB	89,43%
S-NSO ke Rerata Model dengan Strut	-91,30%	S-NSO ke Rerata Model dengan Strut	-41,66%
(c) Momen Tumpuan Kanan		(d) Momen Lapangan	

Gambar 5. Persentase Perubahan Respons Momen Balok

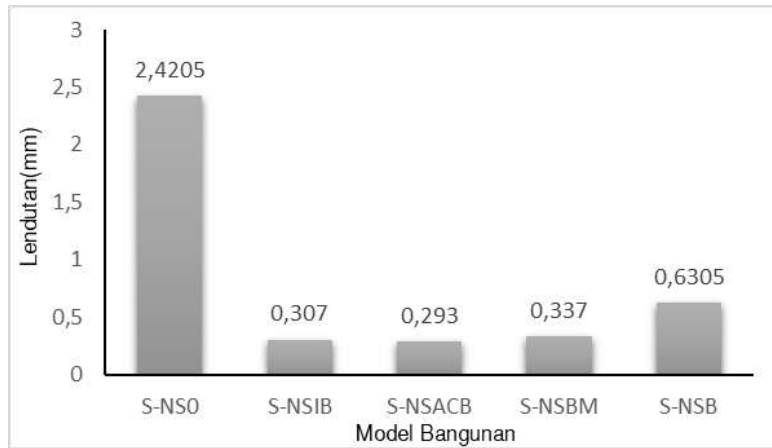
Data trendline perubahan momen balok dapat dilihat pada Tabel 8 di bawah ini.

Tabel 8. Trendline Perubahan Momen Balok

Model	Type Regresi	Persamaan Regresi	R ²
Momen	Linear	Y = -0,706x + 161,24	1
Tumpuan Kiri	Polinomial	Y = 3,73 x 10 ⁻⁷ x ² - 0,000352x + 16,361	0,9998
Momen	Linear	Y = -0,0965x + 209,51	1
Tumpuan Kanan	Polinomial	Y = 5,84 x 10 ⁻⁷ x ² - 0,00224x + 16,897	0,9966
Momen	Linear	Y = -0,0075x + 27,953	1
Lapangan	Polinomial	Y = 5,63 x 10 ⁻⁷ x ² - 0,00175x + 13,5603	0,9946
Gaya	Linear	Y = -0,0945x + 209,52	1
Geser Kolom	Polinomial	Y = 3,73 x 10 ⁻⁷ x ² - 0,000352x + 16,361	0,9998

3. Lendutan Balok

Respons struktur gaya geser balok dapat dilihat pada Gambar 6. di bawah ini.



Gambar 6. Rekapitan Lentutan Balok

Dari data yang disajikan di atas terdapat penurunan respons struktur yang terjadi dari model tanpa strut ke model dengan strut tekan diagonal, persentase penurunan tersebut dapat dilihat pada Tabel 9 di bawah ini.

Tabel 9. Persentase Perubahan Respons Lentutan Balok

Model	Δ
S-NS0 ke S-NSIB	-87,32%
S-NSIB ke S-NSACB	-4,56%
S-NSACB ke S-NSBM	15,02%
S-NSBM ke S-NSB	87,09%
S-NS0 ke Rerata Model dengan Strut	-83,81%

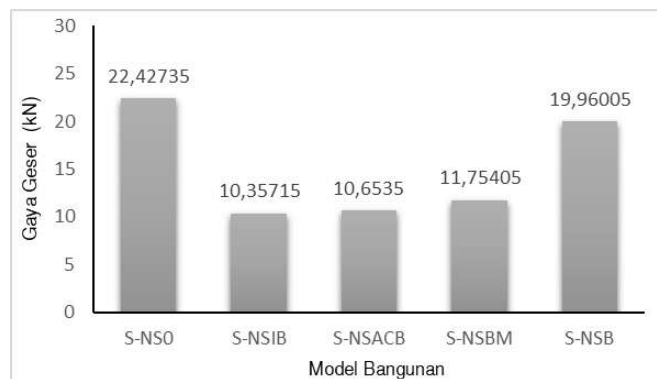
Data trendline perubahan lentutan balok dapat dilihat pada Tabel 10 di bawah ini.

Tabel 10. Trendline Perubahan Lentutan Balok

Model	Type Regresi	Persamaan Regresi	R ²
Gaya Geser Kolom	Linear	$Y = -0,001x + 2,4205$	1
	Polinomial	$Y = 1,31 \times 10^{-8}x^2 - 4,1 \times 10^{-5}x + 0,3275$	0,9966

4. Gaya Geser Kolom

Respons struktur gaya geser kolom dapat dilihat pada Gambar 7. di bawah ini.



Gambar 7. Rekapitan Gaya Geser Kolom

Dari data yang disajikan di atas terdapat penurunan respons struktur yang terjadi dari model tanpa strut ke model dengan strut tekan diagonal, persentase penurunan tersebut dapat dilihat pada Tabel 11 di bawah ini.

Tabel 11. Persentase Perubahan Respons Gaya Geser Kolom

Model	Δ
S-NS0 ke S-NSIB	-53,82%
S-NSIB ke S-NSACB	2,86%
S-NSACB ke S-NSBM	10,33%
S-NSBM ke S-NSB	69,81%
S-NS0 ke Rerata Model dengan <i>Strut</i>	-41,23%

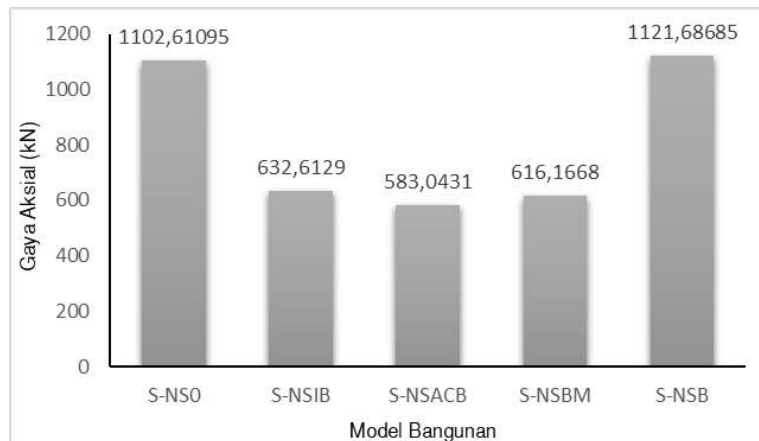
Data *trendline* perubahan gaya geser kolom dapat dilihat pada Tabel 12 di bawah ini.

Tabel 12. Trendline Gaya Geser Kolom

Model	Tipe Regresi	Persamaan Regresi	R ²
Gaya Geser Kolom	Linear	$Y = -0,006x + 22,427$	1
	Polinomial	$Y = 2,64 \times 10^{-7}x^2 - 0,0002x + 9,5864$	0,999

5. Gaya Aksial Kolom

Respons struktur gaya aksial kolom dapat dilihat pada Gambar 8. di bawah ini.



Gambar 8. Rekapan Gaya Aksial Kolom

Dari data yang disajikan di atas terdapat penurunan respons struktur yang terjadi dari model tanpa strut ke model dengan strut tekan diagonal, persentase penurunan tersebut dapat dilihat pada Tabel 13 di bawah ini.

Tabel 13. Persentase Perubahan Respons Gaya Aksial Kolom

Model	Δ
S-NS0 ke S-NSIB	-42,63%
S-NSIB ke S-NSACB	-7,84%
S-NSACB ke S-NSBM	5,68%
S-NSBM ke S-NSB	82,04%
S-NS0 ke Rerata Model dengan <i>Strut</i>	-33,03%

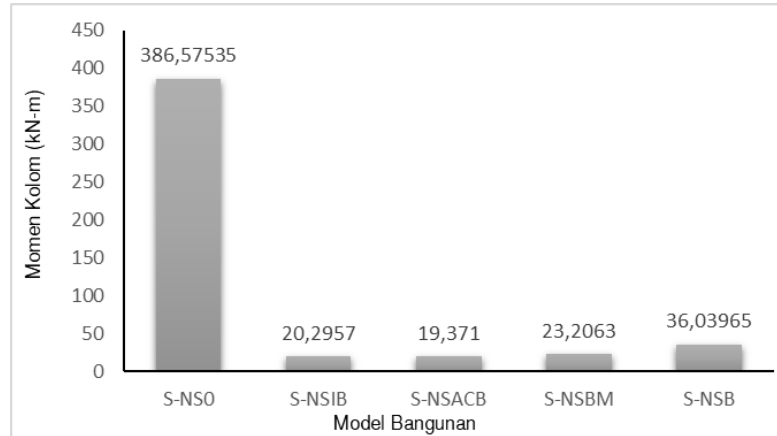
Data *trendline* perubahan gaya aksial kolom dapat dilihat pada Tabel 14 di bawah.

Tabel 14. Trendline Gaya Aksial Kolom

Model	Tipe Regresi	Persamaan Regresi	R ²
Gaya Geser Kolom	Linear	$Y = -0,2326x + 1102,6$	1
	Polinomial	$Y = 3,53 \times 10^{-5}x^2 - 0,1947x + 868,83$	0,9964

6. Momen Kolom

Respons struktur momen kolom dapat dilihat pada Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. Rekapitan Momen Kolom

Dari data yang disajikan di atas terdapat penurunan respons struktur yang terjadi dari model tanpa strut ke model dengan strut tekan diagonal, persentase penurunan tersebut dapat dilihat pada Tabel 15 di bawah ini.

Tabel 15. Persentase Perubahan Respons Momen Kolom

Model	Δ
S-NS0 ke S-NSIB	-94,75%
S-NSIB ke S-NSACB	-7,84%
S-NSACB ke S-NSBM	5,68%
S-NSBM ke S-NSB	82,04%
S-NS0 ke Rerata Model dengan <i>Strut</i>	-93,60%

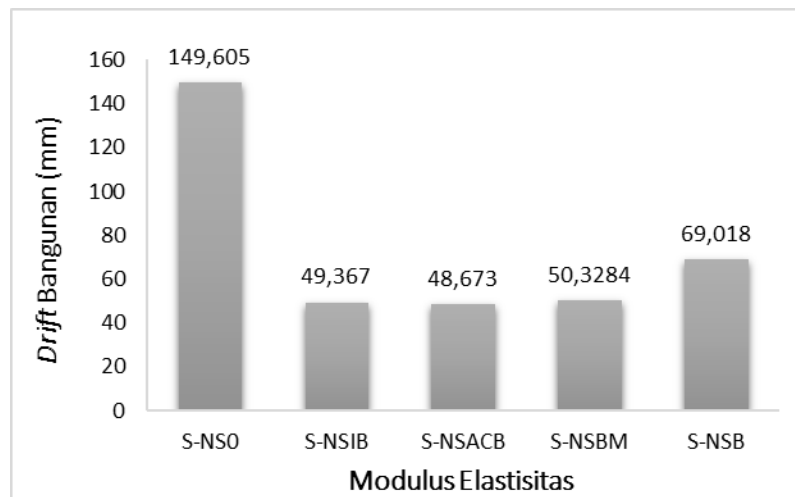
Data *trendline* perubahan momen kolom dapat dilihat pada Tabel 16 di bawah ini.

Tabel 16. Trendline Momen Kolom

Model	Tipe Regresi	Persamaan Regresi	R ²
Gaya Geser Kolom	Linear	$Y = -0,1812x + 386,58$	1
	Polinomial	$Y = 2,7 \times 10^{-7}x^2 - 0,0013x + 15,91$	0,999

7. Simpangan Total Bangunan

Respons struktur simpangan total bangunan yang diambil pada hasil *step* ke-3 analisis *pushover* dapat dilihat pada Gambar 10 di bawah.



Gambar 10. Rekap Simpanan Total Bangunan

Dari data yang disajikan di atas terdapat penurunan respons struktur yang terjadi dari model tanpa strut ke model dengan strut tekan diagonal, persentase penurunan tersebut dapat dilihat pada Tabel 17 di bawah ini.

Tabel 17. Persentase Perubahan Simpanan Total Bangunan

Model	Δ
S-NS0 ke S-NSIB	-67,00%
S-NSIB ke S-NSACB	-1,41%
S-NSACB ke S-NSBM	3,34%
S-NSBM ke S-NSB	37,14%
S-NS0 ke Rerata Model dengan <i>Strut</i>	-63,67%

Pembahasan

Berdasarkan hasil yang didapat dari analisis perubahan data yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa keberadaan komponen non-struktural dinding yang dimodelkan sebagai *strut* tekan diagonal terbukti ikut berperan menambah kekakuan pada komponen struktural bangunan. Hal ini dapat dilihat dari terjadinya penurunan respons struktur pada tiap elemen balok maupun kolom, juga dapat dilihat dari simpangan total sebelum gedung mencapai titik dorong maksimal (*collapse*) yang angkanya semakin mengecil. Pada hasil simpangan total juga dapat dilihat bahwa perbedaan nilai yang terjadi pada bangunan ber-*strut* hanya menyatakan 10-30% (tinjauan pada hasil *step pushover* ke-3) dari bangunan kontrol, hal ini bisa terjadi karena penempatan elemen *strut* yang dilakukan secara menyeluruh pada tiap elemen struktural. Dengan demikian perlu adanya optimalisasi penempatan *strut* tekan diagonal agar dapat mencapai desain bangunan yang sesuai karena pada nilai *performance point* pada keempat model bangunan dengan opsi *full strut* pada penelitian ini terbukti tidak terdapat titik temu kapasitasnya.

KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil penelitian perubahan respons struktur akibat komponen non-struktural yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa keberadaan komponen non-struktural dinding yang dimodelkan sebagai *strut* tekan diagonal memberikan kekakuan tambahan pada bangunan sehingga menyebabkan respons struktur yang dihasilkan menjadi lebih kecil bila dibandingkan dengan sistem *open frame*.
2. Pada perhitungan perubahan respons gaya geser balok, ditemukan terjadinya penurunan respons struktur dari model tanpa pengaruh komponen non-struktural ke model dengan

pengaruh komponen non-struktural sebesar 87,17% dengan korelasi *trendline* data (R^2) mencapai nilai 99,49%. Untuk respons struktur momen tumpuan balok juga didapat penurunan respons struktur dengan tingkat penurunan 85,39% untuk momen tumpuan kiri dan 91,30% untuk momen tumpuan kanan dengan masing-masing menghasilkan korelasi *trendline* perubahan data (R^2) 99,98% dan 99,66%. Hal yang sama juga terjadi pada kasus perubahan respons momen lapangan, ditemukan terjadinya penurunan sebesar 41,66% dengan korelasi *trendline* perubahan data (R^2) 99,46%. Nilai lendutan yang dihasilkan balok juga ikut mengalami penurunan sebesar 83,81% dengan korelasi *trendline* perubahan data (R^2) 99,66%.

3. Pada perhitungan perubahan respons struktur yang terjadi pada kolom juga didapat hasil yang serupa. Terjadi penurunan respons struktur dari model bangunan tanpa *strut* ke model bangunan dengan pengaruh *strut*. Pada kasus respons struktur gaya geser kolom didapat penurunan sebesar 41,23% dengan korelasi *trendline* perubahan data (R^2) 99,99%. Hal yang sama juga terjadi pada perubahan respons struktur gaya aksial kolom, terdapat penurunan respons struktur sebesar 33,03% dengan korelasi *trendline* perubahan data (R^2) 99,64%. Pada momen maksimal kolom juga terjadi penurunan respons struktur sebesar 93,60% dengan korelasi *trendline* perubahan data (R^2) 98,78%. Pada perhitungan perubahan *drift* total bangunan juga mengalami penurunan respons dengan nilai penurunan sebesar 63,67%.

Daftar Pustaka

- ATC.(1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building* (Vol. 1). Applied Technology Council, California, USA.
- Bauchau, O. A., & Craig, J. I (2009). *Structural Analysis : With Applications to Aerospace Structures*. Springer Dordrecht Heidelberg, London
- Bhosale, Avadhoot., dkk. (2020). Mechanical and Physical Properties of Cellular Lightweight Concrete Block Masonry. *Construction and Building Materials, Elsevier International Journals*. Diakses dari <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820306267>
- Computer & Structures, INC. (2017). *CSI Analysis Reference Manual for SAP2000, ETABS, SAFE, and CSiBridge*. CSI California, America.
- FEMA 356.(2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington DC.
- Hibbeler, R. C (2012). *Structural Analysis, 8th Edition*. Pearsons Pretince Hall. United Kingdom
- Mondal, G., & Jain, S. K. (2005). Design Of Non-Structural Elements For Buildings: A Review Of Codal Provisions. *The Indian Concrete Journal, India*. Diakses dari <http://www.iitk.ac.in/nicee/RP/2005NonStructuralCodeICJ.pdf>
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2016). *Introduction to Linear Regression Analysis, 5th Edition*. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey.
- Patankar, M. A. (2020). Comparative Study on Interlocking Block Masonry and Conventional Brick Masonry under Different Experimental Investigations. *International Journal of Advanced in Management, Technology and Engineering Sciences*, 8(4). Diakses dari <https://www.ijamtes.org/gallery/29.april-ijamtes-388.pdf>
- Radovanović, Zeljka., dkk. (2015). The Mechanical Properties of Masonry Walls - Analysis of the Test Results. *International Scientific Conference Urban Civil Engineering and Municipal Facilities, SPbUCEMF-2015*. Diakses dari <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815018093>

- Uyun, F. R., Jaya, L., & Ransi, N. (2019). Penerapan Metode Regresi Polinomial Orde N pada Pengembangan Aplikasi Inventory (Studi Kasus Pt. Landipo Niaga Raya). *Jurnal semanTIK UHO*. Diakses dari [Penerapan Metode Regresi Polinomial Orde N Pada Pengembangan Aplikasi Inventory \(Studi Kasus Pt. Landipo Niaga Raya\) | Semantic Scholar](#)
- Wisnumurti. Cahya, I., & Anas, A. (2008). Analisis Pushover Pada Gedung Tidak Beraturan Dengan Study Kasus Pada Gedung Baru Fia Unibraw. *Jurnal Rekayasa Sipil Vol. II No.1 Universitas Brawijaya Malang*. Diakses dari <https://rekayasasipil.ub.ac.id/index.php/rs/article/download/126/113>