

# Analisis Pushover terhadap Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur Gedung Baja Komposit

ERMA DESIMALIANA\*, NESSA VALIANTINE DIREDDA,  
RIZKY SYAHPUTRA

Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

Email: [ermadesmaliana@itenas.ac.id](mailto:ermadesmaliana@itenas.ac.id)

## ABSTRAK

*Kota Bandung merupakan salah satu daerah dengan potensi bencana cukup tinggi yang disebabkan oleh alam terutama gempa bumi. Gempa bumi dapat menyebabkan terjadinya kerusakan baik struktural maupun nonstruktural pada gedung. Penggunaan material baja komposit pada elemen kolom menjadi solusi untuk mengatasi terjadinya kerusakan struktur gedung akibat beban gempa, karena memiliki kekuatan dan daktilitas yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat kinerja struktur gedung baja dengan kolom komposit terhadap ketidakberaturan horizontal menggunakan analisis pushover berdasarkan SNI 1726:2019 dan FEMA-356. Pemodelan gedung apartemen 10 lantai dengan variasi denah U, H dan L pada software ETABS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gedung baja komposit berbentuk denah U yang paling efektif dalam meredam beban gempa karena memiliki gaya geser dasar maksimum arah X sebesar 10.482,22 kN dan arah Y sebesar 10.498,57 kN serta drift maksimum arah X sebesar 0,944 dan arah Y sebesar 0,910. Selain itu, denah U juga dikategorikan tanpa ketidakberaturan torsi dengan tingkat kinerja struktur dikategorikan aman yaitu Immediate Occupancy (IO) berdasarkan FEMA-356.*

**Kata kunci:** *tingkat kinerja, ketidakberaturan horizontal, gedung baja komposit, analisis pushover*

## ABSTRACT

*Bandung city is one of high potential natural disaster areas, especially earthquakes. Earthquakes can occur either structural or nonstructural damage to buildings. The use of composite steel material in column elements is a solution to overcome building structure damages due to earthquake loads, because of its high strength and ductility. The study aimed to analyze the performance point of steel building structures with composite columns against horizontal irregularities using pushover analysis based on SNI 1726:2019 and FEMA-356. Modeling of 10-story apartment buildings with variations of U, H and L floor plans on ETABS software. The results show that U floor plans composite steel buildings are the most effective in dampening earthquake loads with maximum base shear forces of X and Y direction is 19,482.22 kN and 10,498.57 kN, and maximum drift of X and Y direction is 0.944 and 0.910. In addition, U floor plans also categorized without torsional irregularity and Immediate Occupancy (IO) for structural performance points based on FEMA-356.*

**Keywords:** *performance point, horizontal irregularities, composite steel buildings, pushover analysis*

## 1. PENDAHULUAN

Saat ini seringkali dijumpai struktur gedung tahan gempa dengan ketidakberaturan horizontal seperti gedung denah U, H dan L. Secara umum struktur gedung tahan gempa dengan ketidakberaturan horizontal sangat mudah mengalami puntir karena pusat massa dan pusat kekakuannya tidak berimpit. Oleh karena itu, perancangan struktur gedung tahan gempa dengan ketidakberaturan horizontal perlu memenuhi persyaratan khusus supaya mencegah terjadinya kerusakan dan keruntuhan akibat puntir. Adapun beberapa persyaratan ketidakberaturan horizontal yang perlu diperiksa sesuai dengan SNI 1726:2019 yaitu tipe 1(a) torsi, tipe 1(b) torsi berlebihan, tipe 2 sudut dalam, tipe 3 diskontinuitas diafragma, tipe 4 akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang dan tipe 5 sistem nonparalel.

Selain ketidakberaturan horizontal yang harus memenuhi persyaratan, struktur gedung tahan gempa sebaiknya juga memiliki kekuatan dan daktilitas yang tinggi. Hal ini didapatkan dengan cara penggunaan material baja komposit pada struktur gedung tahan gempa, terutama pada komponen struktural misalnya kolom. Dalam perancangan struktur gedung tahan gempa, kolom baja komposit beton lebih optimal karena dimensi penampang yang digunakan lebih kecil dan memiliki ketahanan terhadap bahaya kebakaran [1]. Material baja yang diselubungi beton akan mampu menahan tubrukan dari benda yang dijalankan manusia; serta mampu bertahan terhadap korosi karena mampu meminimalisir pengaruh dari udara, air, suhu dan asam klorida (garam) [2].

Struktur gedung rangka baja beton komposit pemikul momen khusus menunjukkan kinerja yang baik terhadap gempa besar dengan periode ulang 2500 tahun yaitu LS (*Live Safety*) sesuai peraturan FEMA-365 [3]. Struktur gedung komposit 6 lantai yang berfungsi sebagai kantor BPJN 1 Banda Aceh termasuk dalam kategori level kinerja IO (*Immediate Occupancy*), baik menggunakan analisis *time history* berdasarkan Peta Gempa Tahun 2012 [4] dan Peta Gempa Tahun 2017 [5] maupun analisis *pushover* sesuai dengan ATC-40 [6].

Oleh karena itu, penelitian ini akan menganalisis perbandingan tingkat kinerja struktur gedung komposit terhadap ketidakberaturan horizontal dengan variasi denah lantai U, H dan L berdasarkan peraturan SNI 1726:2019 untuk beban gempa dan SNI 1729:2020 untuk struktur komposit. Dalam penelitian ini, struktur komposit yang digunakan adalah kolom komposit yang menggunakan kombinasi profil baja IWF yang terbungkus dengan struktur beton bertulang. Hasil akhir penelitian akan didapatkan tipe denah lantai pada struktur gedung kolom komposit yang pola kerusakan dan perilaku strukturnya paling efektif menggunakan *pushover analysis* sesuai peraturan FEMA-365.

## 2. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu studi literatur dengan mengumpulkan data dan informasi tentang struktur gedung baja komposit yang akan dianalisis. Selanjutnya, melakukan *preliminary design* dimensi elemen struktur gedung baja komposit sesuai dengan SNI 1729:2020 dan memodelkan struktur gedung baja komposit pada *software* ETABS. Pemodelan struktur gedung baja komposit menggunakan 3 (tiga) variasi denah lantai yaitu model 1 denah lantai berbentuk U, model 2 denah lantai berbentuk H dan model 3 denah lantai berbentuk L yang ditampilkan pada **Gambar 1**. Tahapan selanjutnya yaitu menentukan beban hidup dan beban mati tambahan yang diaplikasikan pada struktur gedung baja komposit sesuai dengan persyaratan SNI 1727:2020, serta beban gempa sesuai dengan SNI 1726:2019. Analisis *capacity design* struktur gedung baja komposit dilakukan. Selain itu, dilakukan juga pemeriksaan terhadap periode struktur, gaya geser dasar dan simpangan. Apabila hasil pemeriksaannya tidak terpenuhi, maka dilakukan *redesign*. Akan tetapi, apabila hasil

pemeriksaannya terpenuhi, maka dilakukan analisis tingkat kinerja struktur gedung dengan *pushover analysis*.

### 2.1 Analisis Pushover

Analisis *pushover* berupa analisis statik nonlinier yang bertujuan untuk menganalisis perilaku sesimik struktur gedung [7]. Analisis *pushover* juga mensimulasikan beban seismik berupa beban dorong lateral statik ekuivalen yang diberikan secara bertahap pada setiap tingkat dalam satu arah hingga struktur gedung mengalami keruntuhan. Maka, akan didapatkan hubungan antara perpindahan dan gaya geser dasar pada titik kontrol, serta biasanya dipengaruhi oleh kombinasi beban mati dan 25% beban hidup yang disyaratkan [8].

### 2.2 Metode Target Peralihan FEMA 356

Metode target peralihan FEMA 356 merupakan metode pendekatan perhitungan numerik dengan memodifikasi respon elastik linier sistem struktur SDOF ekuivalen dengan faktor modifikasi  $C_0$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  dan  $C_3$  sehingga didapatkan nilai target peralihan [8]. Nilai target peralihan biasanya dipengaruhi oleh waktu getar alami fundamental efektif dan kondisi inelastik struktur gedung seperti tersaji pada Persamaan 1.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a (T_e / 2\pi)^2 g \quad \dots(1)$$

dengan:

$\delta_t$  = target peralihan,

$T_e$  = waktu getar alami fundamental efektif,

$C_0$  = faktor modifikasi untuk menampilkan deformasi spektra menjadi deformasi atap/puncak, seperti tersaji pada Tabel 1.

**Tabel 1. Faktor Modifikasi  $C_0$**

Faktor Modifikasi $C_0$			
Jumlah Lantai	Bangunan Geser		Bangunan Lainnya
	Pola Beban Segitiga	Pola Beban Seragam	Pola Beban Apapun
1	1	1	1
2	1,2	1,15	1,2
3	1,2	1,2	1,3
5	1,3	1,2	1,4
10+	1,3	1,2	1,5

$C_1$  = faktor modifikasi untuk menampilkan hubungan antara deformasi inelastik maksimum dengan deformasi respon elastik linier.

= 1,0 untuk  $T_e \geq T_s$

=  $[1 + (R - 1) T_s / T_e] / R$  untuk  $T_e \leq T_s$

$C_2$  = faktor modifikasi untuk menampilkan pengaruh dari bentuk histeretik pada respon deformasi maksimum struktur, seperti tersaji pada Tabel 2.

**Tabel 2. Faktor Modifikasi  $C_2$**

Faktor Modifikasi $C_2$				
Tingkat Kinerja Struktur	$T \leq 0,1 s$		$T \geq T_s s$	
	Tipe Rangka 1	Tipe Rangka 2	Tipe Rangka 1	Tipe Rangka 2
<i>Immediate Occupancy</i>	1	1	1	1
<i>Life Safety</i>	1,3	1	1,1	1
<i>Collapse Prevention</i>	1,5	1	1,2	1

- $C_3$  = faktor modifikasi untuk menampilkan peningkatan deformasi akibat pengaruh P-Delta.  
 = 1,0 untuk gedung yang kekakuan pasca leleh bernilai positif.  
 =  $1,0\{|\alpha| (R - 1)^{3/2}\} / T_e$  untuk gedung yang kekakuan pasca leleh bernilai negatif.
- $\alpha$  = rasio kekakuan pasca leleh.
- $R$  = rasio kekuatan  
 =  $[S_a / (V_y / W)] C_m$
- $S_a$  = akselerasi respon spektra pada waktu getar alami fundamental efektif dan rasio redaman pada arah yang ditinjau.
- $V_y$  = gaya geser dasar pada saat leleh.
- $W$  = berat efektif seismik.
- $C_m$  = faktor massa efektif, seperti tersaji pada Tabel 3.

**Tabel 3. Faktor Massa Efektif  $C_m$**

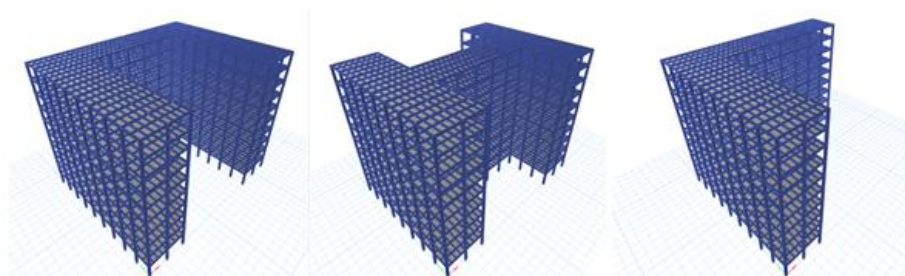
Faktor Massa Efektif $C_m$							
Jumlah Lantai	Rangka Momen Beton	Dinding Geser Beton	Spandrel Pilar Beton	Rangka Momen Baja	Rangka Bresing Beton Baja	Rangka Bresing Eksentrik Baja	Lainnya
1-2	1	1	1	1	1	1	1
3 or lebih	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1

- $g$  = percepatan gravitasi,  
 = 9,81 m/det<sup>2</sup>.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Struktur Gedung Baja Komposit

Struktur gedung baja komposit berfungsi sebagai apartemen 10 lantai, dengan tinggi tiap lantai 3,5 m dan lokasi di Jakarta. Gambar 1 menampilkan variasi denah struktur gedung baja komposit berupa U (model 4), H (model 5) dan L (model 6) yang diteliti. Adapun dimensi elemen struktur gedung ditampilkan pada Tabel 4.



**Gambar 1. Tampak 3D struktur gedung baja komposit denah U (model 4), denah H (model 5) dan denah L (model 6)**

**Tabel 4. Dimensi Elemen Struktur Gedung Baja Komposit**

Elemen Struktur	Dimensi	Lokasi
Kolom Komposit	Beton 500x500 dan W10x112	Lantai Dasar – Lantai 5
	Beton 450x450 dan W10x54	Lantai 6 – Lantai 10
Balok Induk	W16x40	Lantai 1 – Lantai 10
Balok Anak	W10x21	Lantai 1 – Lantai 10
Pelat	Steel deck t = 120 mm	Lantai 1 – Lantai 10

### 3.2 Evaluasi Tingkat Kinerja Struktur Berdasarkan FEMA 356

**Tabel 5** menampilkan hasil evaluasi tingkat kinerja struktur gedung baja komposit sesuai dengan FEMA 356 dari analisis statik non linier semua model, untuk nilai *drift* aktual, baik pada arah-X maupun arah-Y, dikategorikan sebagai *Immediate Occupancy* (IO). Kategori ini menunjukkan bahwa struktur gedung baja komposit masih tergolong aman untuk dihuni, sehingga tidak terdapat kegagalan struktur mengurangi risiko korban jiwa. Struktur gedung baja komposit hanya terdapat sedikit kegagalan apabila terjadi gempa bumi, sehingga dapat segera beroperasi kembali.

**Tabel 5. Tingkat Kinerja Struktur Baja Komposit**

Model Struktur Arah Beban	Denah Bentuk U		Denah Bentuk H		Denah Bentuk L	
	X	Y	X	Y	X	Y
$W$ [kN]	71.392,66	71.392,66	64.075,37	64.075,37	50.795,31	50.795,31
$V_y$ [kN]	10.482,22	10.498,57	10.654,94	8.746,28	8.285,31	11.970,70
$T_e$ [detik]	1,552	1,562	1,570	1,610	1,433	1,530
$\delta_y$ [m]	0,150	0,140	0,165	0,139	0,145	0,200
$C_0$	1,343	1,285	1,289	1,292	1,388	1,175
$C_1$	1	1	1	1	1	1
$C_2$	1	1	1	1	1	1
$C_3$	1	1	1	1	1	1
$C_m$	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
$S_a$	0,411	0,409	0,407	0,397	0,445	0,417
$\delta_T$ [m]	0,330	0,319	0,321	0,330	0,315	0,285
Tinggi Struktur [m]	35	35	35	35	35	35
Daktilitas, $\mu$	2,205	2,270	1,942	2,377	2,179	1,429
Drift Aktual [%]	0,944	0,910	0,918	0,944	0,900	0,814
Tingkat Kinerja	<i>Immediate Occupancy</i>					

Berdasarkan **Tabel 5** pada arah X, denah bentuk H memiliki kemampuan dalam menahan beban lateral paling besar sebesar 10.654,94 kN dengan *drift* sebesar 0,918. Sementara itu, denah bentuk U mampu menahan beban lateral maksimum yaitu 10.482,22 kN dengan drift sebesar 0,944. Selanjutnya, denah bentuk L memiliki kemampuan maksimum menahan beban lateral yaitu 8.285,310 kN dengan *drift* sebesar 0,900.

Pada arah Y, beban lateral maksimum yang dapat ditahan oleh denah bentuk L merupakan yang paling besar yaitu 11.970,70 kN dengan *drift* sebesar 0,814. Sedangkan, denah bentuk U mampu menahan beban lateral maksimum yaitu 10.498,57 kN dengan *drift* sebesar 0,910 m. Selanjutnya, denah bentuk H memiliki kemampuan maksimum menahan beban lateral yaitu 8.746,28 kN dengan *drift* hanya sebesar 0,944.

### 3.3 Ketidakberaturan Horizontal Struktur

Berdasarkan rasio antara simpangan maksimum dengan rata-rata simpangan pada Tabel 6, denah bentuk L memiliki nilai rasio antara 1,2 dan 1,4 untuk arah Y sehingga model ini termasuk ketidakberaturan torsi (1a) sesuai dengan SNI 1726:2019. Sementara itu, model denah, baik bentuk U maupun bentuk H, memiliki nilai rasio kurang dari 1,2 untuk arah X dan Y sehingga dapat dikategorikan tanpa ketidakberaturan torsi.

**Tabel 6. Ratio Story Drifts**

Lantai	Load Case/Combo	Ratio					
		Dir. X			Dir. Y		
		Denah Bentuk U	Denah Bentuk H	Denah Bentuk L	Denah Bentuk U	Denah Bentuk H	Denah Bentuk L
10	EQ Max	1,098	1,001	1,144	1,014	1,010	1,230
9	EQ Max	1,088	1,002	1,125	1,014	1,012	1,197
8	EQ Max	1,087	1,002	1,121	1,014	1,013	1,190
7	EQ Max	1,087	1,002	1,119	1,014	1,013	1,185
6	EQ Max	1,086	1,002	1,116	1,014	1,012	1,180
5	EQ Max	1,088	1,002	1,119	1,015	1,012	1,185
4	EQ Max	1,086	1,002	1,117	1,014	1,012	1,181
3	EQ Max	1,084	1,002	1,114	1,014	1,012	1,176
2	EQ Max	1,081	1,002	1,111	1,013	1,012	1,165
1	EQ Max	1,074	1,002	1,105	1,012	1,012	1,145

#### 4. KESIMPULAN

Secara keseluruhan, dari analisis dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa struktur gedung baja komposit memiliki kemampuan pemikul gaya geser dasar yang paling besar, baik pada arah X maupun arah Y, terdapat pada denah bentuk U. Pada arah X gaya geser dasar sebesar 10.482,22 kN dengan *drift* aktual sebesar 0,944; sedangkan pada arah Y sebesar 10.498,57 kN dengan *drift* aktual sebesar 0,910. Struktur gedung baja komposit memiliki periode efektif yang paling kecil, baik pada arah X maupun arah Y, pada denah bentuk L. Pada arah X periode efektif sebesar 1,433 detik; sedangkan pada arah Y sebesar 1,533 detik. Struktur gedung baja komposit memiliki daktilitas yang paling besar yaitu denah bentuk U sebesar 2,205 arah X dan 2,270 arah Y. Berdasarkan metode target perpindahan FEMA 365, tingkat kinerja struktur gedung baja komposit dengan semua variasi ketidakberaturan denah termasuk ke dalam kategori IO (*Immediate Occupancy*) karena memiliki nilai drift kurang dari 1%. Model denah bentuk U memiliki nilai rasio kurang dari 1,2 untuk arah X dan Y sehingga dapat dikategorikan tanpa ketidakberaturan torsi.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa struktur gedung baja komposit denah bentuk U memiliki perilaku dan kinerja struktur yang paling baik terhadap ketidakberaturan, daktilitas, gaya geser dasar serta drift sehingga direkomendasikan penggunaannya di lapangan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alfirdaus, A.P., Dapas, S.O. & Handono, B.D., (2019). "Evaluasi Teknis Penggunaan Kolom Komposit Baja Beton pada Bangunan Bertingkat Banyak", *Jurnal Sipil Statik*, 7(2), pp. 285-290.
- [2] Setiawan, A., (2008). *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*, Edisi ke-2, Erlangga, Jakarta.
- [3] Anthony, Savitri, T.F.Y. & Santoso, H., (2019). "Evaluasi Kinerja Sistem Rangka Baja Beton Komposit Pemikul Momen Khusus yang Didesain Berdasarkan SNI 1729:2015", [Daring]. Tersedia pada: <https://media.neliti.com/media/publications/79943-ID-evaluasi-kinerja-sistem-rangka-baja-dan.pdf>.

- [4] Munandar, A., (2019). "Analisis Kinerja Struktur Bangunan Komposit Baja-Beton dengan Time History Analysis Berdasarkan Peta Gempa 2012", [Daring]. Tersedia pada: <https://etd.unsyiah.ac.id/index.php?p=abstract&abstractID=67506>.
- [5] Maulida, C., (2020). "Analisis Kinerja Struktur Bangunan Komposit Baja-Beton dengan Analisis Time History Menggunakan Peta Gempa 2017", [Daring]. Tersedia pada: <https://etd.unsyiah.ac.id/index.php?p=abstract&abstractID=76182>.
- [6] Ramadhana, H., (2020). "Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Komposit Baja-Beton dengan Analisis Pushover Berdasarkan Data Peta Gempa Tahun 2017", [Daring]. Tersedia pada: <https://etd.unsyiah.ac.id/index.php?p=abstract&abstractID=75990>.
- [7] Nuranita, B., Desimaliana, E. & Sobana, N.A.S., (2022). "Analisis Pushover terhadap Variasi Penampang Kolom pada Struktur Gedung *Special Plate Shear Wall*," *Journal of Sustainable Construction*, 2(1), pp. 285-290.
- [8] Masbudi, Purwanto, E. & Supriyadi, A., (2015). "Evaluasi Kinerja Struktur Gedung dengan Analisis Pushover (Studi Kasus: Gedung Bedah Sentral Terpadu Rumah Sakit Bethesda Yogyakarta)," *e-JurnalMatriks Teknik Sipil, ...(...)*, pp. 1056-1064.