

Analisis Kinerja Struktur Pada Konstruksi Baja Dan Konstruksi Beton Bertulang Dengan Analisa *Pushover* Statik Non-Linear Menggunakan Software ETABS

(Studi Kasus : Hotel Santika, Batam)

Fatkur Rizki^{1*}, Pujo Pamungkas²

^{1,2}*Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Internasional Batam, Jl. Gajah Mada, Baloi – Sei Ladi, Batam 29442*

**fatkurizki@gmail.com*

Abstract

The earthquake that occurred in Indonesia occurred damage to existing infrastructure, before also for residential buildings, hotels or offices. The earthquake was not approved by the buildings completely collapsed. By knowing the level of performance of the post-earthquake structure, we can find out whether the structure is appropriate or not. To support this, the planning concept used is earthquake-resistant building planning based on performance (seismic design based on performance). This concept can be used for old or new building types. One method that can be used to determine the level of performance is pushover analysis (non-linear static) which is useful for predicting the structural performance of a given lateral earthquake load. The load will be increased in one direction (monotonic) until there are elements of the structure that have broken/collapsed conditions. In this study, the object under study is a 10-story hotel located in the Zone 1 Earthquake Area with medium soil types. The type of construction studied is steel and reinforced concrete. The results of this study show that steel construction can withstand earthquake loads of 9847.9285 kN and maximum roof floor displacement of 617.58 mm, whereas for reinforced concrete construction can only withstand a load of 4485.89 kN and for displacement of the roof floor, i.e. 59.97 mm. However, both types of construction are still able to withstand the planned earthquake load of 466.92 kN for steel construction and 813.51 kN for reinforced concrete construction. The level of structure performance for both of them is still included in the Immediate Occupancy so that both structures are still quite safe and able to withstand greater earthquake loads.

Keywords : pushover analysis, structure performance level, inelastic, steel, reinforced concrete

Abstrak

Gempa Bumi yang terjadi di Negara Indonesia tentunya merusak infrastruktur-infrastruktur yang ada, terlebih juga untuk bangunan rumah tinggal, hotel ataupun perkantoran. Gempa tersebut tidak mutlak mengakibatkan bangunan-bangunan tersebut sepenuhnya runtuh. Dengan mengetahui level kinerja dari struktur pasca terjadinya gempa, kita dapat mengetahui apakah struktur tersebut masih layak digunakan atau tidak. Untuk mendukung hal tersebut, konsep perencanaan yang digunakan yaitu perencanaan bangunan tahan gempa yang berbasis kinerja (performance based seismic design). Konsep ini dapat digunakan untuk jenis bangunan lama ataupun baru. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui level kinerja tersebut yaitu analisa pushover (statik non linier) yang berguna untuk meramalkan performa struktur terhadap beban lateral gempa yang diberikan. Beban tersebut akan ditingkatkan dalam satu arah (monotonik) hingga terdapat elemen dari struktur yang mengalami kondisi putus/runtuh. Pada penelitian kali ini, objek yang diteliti adalah sebuah hotel 10 tingkat yang terletak di Wilayah Gempa Zona 1 dengan jenis tanah sedang. Jenis konstruksi yang diteliti adalah baja dan beton bertulang. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa untuk jenis konstruksi baja mampu menahan beban gempa sebesar 9847,9285 kN dan perpindahan lantai atap maksimumnya sejauh 617,58 mm, sedangkan untuk konstruksi beton bertulang hanya mampu menahan beban sebesar 4485,89 kN dan untuk perpindahan lantai atapnya yaitu 59,97 mm. Akan tetapi, kedua jenis konstruksi ini masih mampu untuk menahan beban gempa rencana sebesar 466,92 kN untuk konstruksi baja dan 813,51 kN untuk konstruksi beton bertulang. Level kinerja struktur untuk keduanya juga masih masuk kedalam *Immediate Occupancy*, sehingga kedua struktur masih cukup aman dan mampu menahan beban gempa yang lebih besar.

Kata kunci : analisa pushover, level kinerja struktur, inelastic, baja, beton bertulang

1. Pendahuluan

Pada Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dalam konsep ketiga SNI 1726, 1999, masih menggunakan konsep berbasis gaya (strength based) untuk perencanaan terhadap gempa, yang diartikan bahwa kriteria performa yang akan dituju tidak terlalu dinyatakan dengan jelas, akan tetapi tetap menjamin mekanismenya agar tidak terjadi keruntuhan total yang diakibatkan oleh gempa besar. Adapun perencanaan dengan menggunakan basis gaya ini berhasil mengurangi korban jiwa yang terjadi akibat beberapa gempa besar tetapi untuk kerugian material itu sendiri masih tidak dapat dihindari.[1]

Dari beberapa gempa besar yang telah terjadi di Indonesia tentunya banyak infrastruktur yang rusak, terlebih ke bangunan rumah penduduk dan gedung perkantoran. Meskipun di Kota Batam sendiri tidak termasuk kedalam zona gempa aktif, tentu dalam perencanaan pembangunan struktur harus tetap memperhitungkan beban gempa yang bertujuan untuk mengurangi korban jiwa serta kerugian material konstruksi tersebut.

Dalam perencanaan untuk perkuatan bangunan lama ataupun bangunan baru yang tahan gempa, perlu juga memperhitungkan aspek kinerja dengan menggunakan konsep perencanaan tahan gempa berbasis kinerja (performance based seismic design) yang tentunya harus dengan pemahaman realistik terhadap kesiapan pakai (occupancy), risiko keselamatan (life) serta kerugian harta (economic loss). Hal tersebut memiliki potensi untuk terjadi yang disebabkan oleh gempa yang akan datang. [2]

Adapun salah satu metode yang bisa digunakan dalam mendesain bangunan adalah dengan meningkatkan kinerja bangunan tersebut, dan untuk meningkatkan kinerja bangunannya dapat menggunakan bantuan simulasi pushover untuk menghitung penerimaan dari beban gempa tersebut ke konstruksi bangunan yang akan direncanakan. [3]

Analisa beban dorong statik (pushover) merupakan analisa statik non linier yang dapat digunakan sebagai alat untuk meramalkan performa struktur terhadap beban lateral. Untuk menjalankan simulasi pushover ini dapat menggunakan beberapa program seperti Ruaumoko, SAP2000 & ETABS. [4]

2. Tinjauan Pustaka

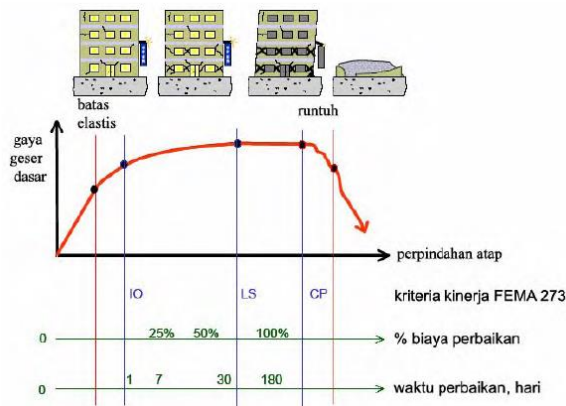
2.1 Perencanaan Tahan Gempa Berbasis Kinerja

Pada bangunan yang tinggi, fenomena gempa tentu merupakan salah satu gejala alam yang mempengaruhi bangunan tersebut. Hal ini juga didukung dengan letak wilayah Indonesia yang memiliki potensi untuk terjadinya gempa. [5]

Hal tersebut dikarenakan letak posisi geografis Indonesia pada jalur cincin api (*Ring of Fire*), yaitu pertemuan tiga lempeng tektonik besar dunia. [6]

Pada saat ini, perencanaan bangunan tahan gempa merujuk kepada peraturan perencanaan bangunan di tiap masing-masing negara. Peraturan tersebut bertujuan untuk menjamin keselamatan pengguna dari gempa yang bisa saja terjadi dan tentu pasti untuk mengurangi kerugian harta benda seperti material, dll. Akan tetapi jika hanya dengan metode seperti itu, belum bisa meninjau level kinerja bangunan terhadap gempa.

Proses perencanaan berbasis kinerja ini dapat dimulai dengan melakukan simulasi kinerja dari model rencana bangunan terhadap beban gempa. Keluaran yang dapat diberikan yaitu informasi tentang ketahanan/kerusakan struktur (*level of damage*), kesiapan pakai (*occupancy*) dari struktur itu serta tingkat keselamatan (*life*), tak lupa pula informasi tentang kerugian yang diakibatkan dari gejala alam tersebut (*economic loss*). Yang nantinya dari informasi tersebut dapat menetapkan kondisi apa yang dipilih, selanjutnya kondisi tersebut akan digunakan perencana sebagai pedomannya. [2]



Gambar 2.1. Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja
Sumber : (Dewobroto, 2005)

Federal Emergency Management Agency (FEMA) 273 (1997) adalah pedoman perencanaan berbasis kinerja yang level kinerjanya dapat dikategorikan sebagai berikut :

1. IO = *Immediate Occupancy*, segera dapat dipakai (terjadi kerusakan ringan pada struktur)
2. LS = *Life Safety*, keselamatan penghuni terjamin (kerusakan struktur masih kategori ringan dan belum berpotensi runtuh)
3. CP = *Collapse Prevention*, struktur sudah diambang keruntuhan dan tidak diperkenankan untuk digunakan kembali.

2.2 Analisa Statik Non-Linier (*Pushover Analysis*)

Analisa pushover merupakan suatu metode analisa statik non-linier dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung dianggap sebagai beban statik yang menangkap pada pusat massa tiap lantai yang nilai daripada beban tersebut ditingkatkan berangsur-angsur sampai terjadinya pelelehan (sendi plastis) pada struktur bangunan yang pertama kali. Dilanjutkan kembali peningkatan sampai berubah bentuk pasca-elastis ke kondisi plastis. [7]

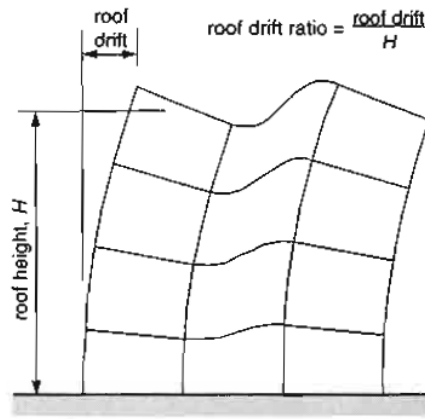
Pada proses pushover, akan menghasilkan kurva kapasitas yang memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan akan berubah perilaku menjadi non-linier. Kurva ini dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang dipakai sebagai beban dorong. Kurva pushover dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Analisa pushover memiliki tujuan untuk mengetahui deformasi serta gaya maksimum yang terjadi untuk meninjau bagian mana yang kritis. Dengan menggunakan analisa ini tentu dapat membantu dalam perencanaan bangunan tahan gempa asalkan sesuai dengan keterbatasan yang ada, yaitu adalah sebagai berikut : [2]

1. Hasil analisa pushover adalah sebuah pendekatan, hal ini dikarenakan perilaku gempa sebenarnya bersifat bolak-balik balik melalui siklusnya, sedangkan sifat pembebanan dari analisa ini adalah statik monotonik (bertahap dalam satu arah)
2. Didalam analisa, pola beban lateral yang digunakan itu sangat penting, oleh karena itu pemilihan polanya perlu diperhatikan

2.2.1 Level Kinerja Struktur

Dalam merencanakan bangunan yang mampu menahan gempa, sangat penting untuk mengetahui level kinerja struktur dari bangunan tersebut. Adapun level kinerja struktur yang direncanakan mengacu ke tabel dibawah ini yang bersumber dari ATC 40.



Gambar 2.2. Roof Drift dan Roof Drift Ratio
Sumber : ATC-40

Tabel 2.1. Batasan Rasio Drift Atap

No	Parameter	Performance Level			
		IO (Immediate Occupancy)	Damage Control	LS (Life Safety)	Structural Stability
1	Total Drift Maximum	0.01	0.01 s/d 0.02	0.02	$0.33 \frac{V_i}{P_i}$
2	Total Inelastic Drift Maximum	0.005	0.005 s/d 0.015	No Limit	No Limit

(Sumber : ATC 40, Tabel 11-2)

dimana :

V_i = total gaya geser lateral pada lantai x

P_i = total berat struktur pada lantai x

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

a. Maximum Drift = $D_t / (H \text{ Total})$

b. Maximum Inelastic Drift = $(D_t - D_1) / (H \text{ Total})$

dimana :

D_t = perpindahan (displacement) pada atap

D_1 = perpindahan (displacement) pada lantai 1 atau satu tingkat diatas lantai tumpuan

Untuk batas kinerja ultimit struktur menurut SNI-1726 yaitu perpindahan pada lantai atap harus lebih kecil dari 2% dikali ketinggian struktur.

2.2.2 Batas Simpangan Antar Tingkat

Dalam analisisnya, batas simpangan antar tingkat atau lantai tidak boleh melebihi ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

Tabel 2.2. Simpangan Antar Tingkat

No	Struktur	Kategori Resiko		
		I & II	III	IV
1	Struktur selain dinding geser batu bata, struktur <4 tingkat dengan partisi, langit-langit, dinding interior, dan sistem dinding exterior dinding yang didesain mengakomodasi simpangan antar lantai.	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
2	Struktur dinding geser kantilever (batu bata)	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
3	Struktur dinding geser (batu bata lainnya)	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
	Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

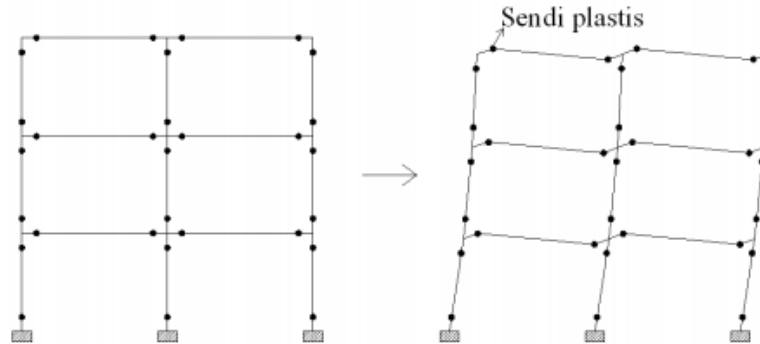
(Sumber : SNI 1726:2012, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung. Tabel 16)

dimana :

h_{sx} = tinggi tingkat dibawah tingkat x

2.3 Sendi Plastis

Bentuk ketidakmampuan dari elemen struktur (kolom serta balok) untuk menahan gaya dalam disebut Sendi plastis (hinge), atau dengan kata lain jika struktur bangunan menerima beban gempa yang melebihi tingkat elastisitas kekakuan strukturnya maka akan muncul sendi plastis. "Kolom kuat balok lemah" merupakan konsep desain yang harus disesuaikan oleh perencana terhadap perencanaan yang sedang dikerjakan. Karena jika terjadi keruntuhan struktur, diharapkan yang runtuh adalah balok-balok terlebih dahulu baru dilanjutkan dengan kolom. Jika kolom dahulu maka dipastikan struktur akan langsung hancur.



Gambar 2.3. Sendi Plastis pada Balok dan Kolom
Sumber : (Dewobroto, 2005)

3. Metode Penelitian

Dalam melakukan penelitian analisa statik *pushover*, terdapat data-data yang digunakan, diantara lain yaitu :

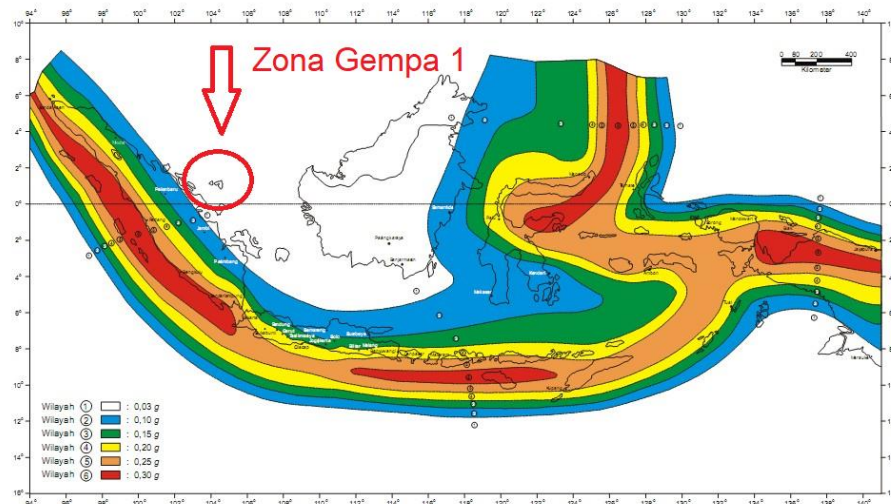
A. Konfirugasi Gedung

Tabel 3.1. Konfigurasi Gedung

Konfigurasi Gedung	
Lantai	Tinggi Lantai
Lantai <i>Machine Roof</i>	3,4 m
Lantai Atap	3,4 m
Lantai 9	3,4 m
Lantai 8	3,4 m
Lantai 7	3,4 m
Lantai 6	3,4 m
Lantai 5	3,4 m
Lantai 3	3,4 m
Lantai 2	4,4 m
Lantai LG	5 m
Basement	3,25 m

B. Bangunan obyek penelitian terletak diwilayah zona gempa 1, adapun data yang didapat, yaitu :

- a) Fungsi Bangunan = Gedung apartement / hotel
- b) Faktor Keutamaan (I_e) = 1,0
- c) Jenis Tanah = Sedang
- d) Lokasi = Lintang : 1.1297820143095156
= Bujur : 104.05242210772246
- e) Nilai S_s = 0,059
- f) Nilai S_1 = 0,086



Gambar 3.1. Peta Zona Gempa Indonesia

Sumber : SNI 1726:2003, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung

Metode penelitian sendiri yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah analisa dengan bantuan program ETABS yang mana dari data-data yang sudah diambil, akan dilanjutkan ke tahap pemodelan. Didalam tahap pemodelan ini, desain bangunan yang direncanakan akan divisualisasikan dengan bantuan program ETABS 2016. Dari gambar denah obyek studi kasus yang diambil, jenis penampang profil yang awalnya beton bertulang juga dimodifikasi menjadi baja. Sehingga dilakukan analisa pushover untuk jenis konstruksi beton bertulang dan baja. Analisa perencanaan terhadap kedua jenis konstruksi ini menggunakan metode trial and error, yaitu dimensi dari elemen balok ataupun kolom dimodifikasi tetapi tetap diharuskan lulus dalam capacity design check pada program. Didalam tahap ini juga akan dimasukkan pembebanan-pembebanan rencana berdasarkan PPURG yang mempengaruhi bangunan.

Untuk mendapatkan beban lateral yang akan digunakan untuk beban rencana pada analisa pushover, maka data-data gempa yang diperoleh akan diolah untuk membuat diagram respons spektrum. Nantinya dari diagram tersebut didapatkan periode puncak dari percepatan gempa pada wilayah yang ditinjau.

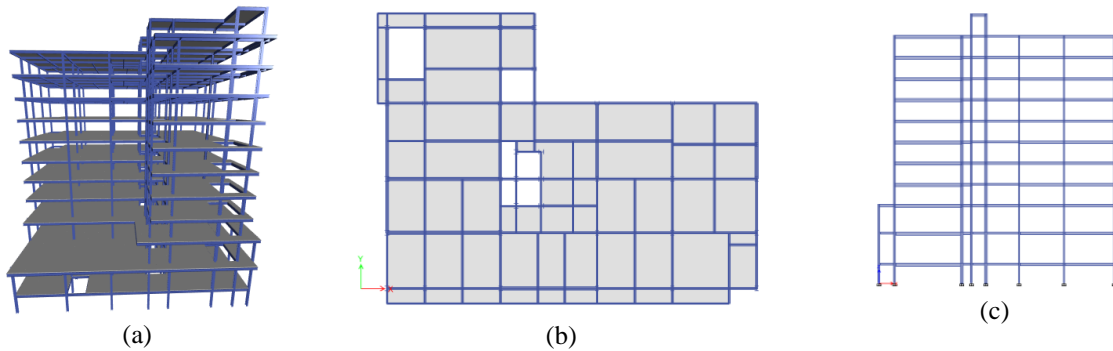
Selanjutnya akan meninjau partisipasi massa menggunakan analisa modal yang bertujuan untuk mengetahui perilaku dinamis bangunan serta waktu getar alami. Massa dan kekakuan lateral bangunan merupakan parameter yang berpengaruh pada analisa modal. Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.1, partisipasi massa paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah ortogonal untuk jumlah pola getar yang ditinjau dalam penjumlahan respon ragam. Sehingga selanjutnya struktur dapat dilanjutkan ke tahap analisa pushover.

Setelah itu jika sudah didapatkan perioda getar dari struktur dari tahap sebelumnya, maka perioda tersebut akan ditentukan perioda fundamentalnya. Perioda fundamental tersebut berguna untuk menentukan faktor seismik gempa serta gaya geser dasar gempa yang nantinya akan digunakan untuk mengetahui total distribusi gaya gempa baik dari arah vertikal maupun horizontal.

Langkah penelitian yang terakhir yaitu meninjau kemampuan struktur untuk menahan beban lateral gempa dengan menggunakan metode analisa statik non-linier / pushover. Jenis beban yang digunakan adalah dalam bentuk akselerasi. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa lama struktur mampu bertahan terhadap pergerakan dari beban lateral yang diberikan, baik dari beban lateral arah X maupun arah Y.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pemodelan Struktur



Gambar 4.1. Tampak (a). 3D , (b) Atas , (c) Samping (Software) Struktur
Sumber : Hasil Penelitian

Keterangan	b (mm)	h (mm)	tf (mm)	tw (mm)
W16x26	398,8	139,7	8,8	6,4
W16x31	403,9	140,5	11,2	7
W16x36	403,9	177,5	10,9	7,5
W16x40	406,4	177,8	12,8	7,7
W16x45	408,9	178,8	14,8	8,8
W16x67	414	259,1	16,9	10
W18x35	449,6	152,4	10,8	7,6
W18x46	459,7	153,9	15,4	9,1
W18x65	467,4	192,8	19,1	11,4

(a)

Keterangan	b (mm)	h (mm)	tf (mm)	tw (mm)
W12x96	322,6	309,9	23	14
W12x106	327,7	309,9	25	15,5
W12x120	332,7	312,4	28,2	18
W14x132	373,4	373,4	26,2	16,4
W14x145	375,9	393,7	27,7	17,3
W14x159	381	396,2	30,2	18,9
W14x233	406,4	403,9	43,7	27,2
W14x257	416,6	406,4	48	30
W14x283	424,2	408,9	52,6	32,8

(b)

Gambar 4.2. Data Penampang (a) Balok , (b) Kolom Konstruksi Baja

Sumber : Hasil Penelitian

Keterangan	Dimensi		Material	
	b (mm)	h (mm)	Tul. Pokok	Tul. Senggang
B1-ABC	300	750	BjTS 40	BjTS 24
B1-F	300	800	BjTS 40	BjTS 24
B2-A	300	550	BjTS 40	BjTS 24
B3-A	300	450	BjTS 40	BjTS 24
B4-A	400	800	BjTS 40	BjTS 24
B5-B	250	500	BjTS 40	BjTS 24
B6	500	1000	BjTS 40	BjTS 24

(a)

Keterangan	Dimensi		Material	
	b (mm)	h (mm)	Tul. Pokok	Tul. Senggang
K1-A	450	800	BjTS 40	BjTS 24
K2	500	800	BjTS 40	BjTS 24
K2A	700	1000	BjTS 40	BjTS 24
K3-B	400	800	BjTS 40	BjTS 24
K4	400	800	BjTS 40	BjTS 24

(b)

Gambar 4.3. Data Penampang (a) Balok , (b) Kolom Konstruksi Beton Bertulang

Sumber : Hasil Penelitian

4.2. Rekapitulasi Berat Struktur

Story	Berat Struktur (kg)	Berat Struktur Efektif (kg)
Grid Top	41298,83842	36405,09418
Grid Atap	365804,5412	315505,1875
StoryAtap	534909,1394	411020,178
Story10	533030,7035	409141,7422
Story9	535707,1576	411818,1963
Story8	533481,9928	409593,0315
Story7	536902,9291	413013,9677
Story6	533696,1767	409807,2153
Story5	538229,1655	414340,2041
Story3	636237,7249	492648,1595
Story2	743865,6089	531792,8895
LG	656172,9679	506152,1547
Jumlah Total	6189336,946	4761238,021

(a)

Story	Berat Struktur (kg)	Berat Struktur Efektif (kg)
Grid Top	100743,1605	95849,41627
Grid Atap	661919,1658	611619,812
StoryAtap	827657,6701	703768,7087
Story10	827657,6701	703768,7087
Story9	827657,6701	703768,7087
Story8	827657,6701	703768,7087
Story7	827657,6701	703768,7087
Story6	832277,6045	708388,6431
Story5	832277,6045	708388,6431
Story3	1005975,053	862385,4875
Story2	1157895,19	945822,4709
LG	994185,4537	844164,6405
Jumlah Total	9723561,582	8295462,657

(b)

Gambar 4.4. Rekapitulasi Berat Struktur Normal dan Efektif (a) Konstruksi Baja , (b) Konstruksi Beton Bertulang

Sumber : Hasil Penelitian

4.3 Analisis Gempa

Berdasarkan dari perhitungan desain respons spektrum dan analisa statik ekuivalen, didapatkan nilai faktor seismik gempa (C_s) yaitu 0,01. Sehingga didapatkan besar beban rencana gempa untuk wilayah zona gempa 1 adalah :

A. Konstruksi Baja

$$V_x = V_y = 0,01 \times 4761238,021 = 47612,38021 \text{ kg}$$

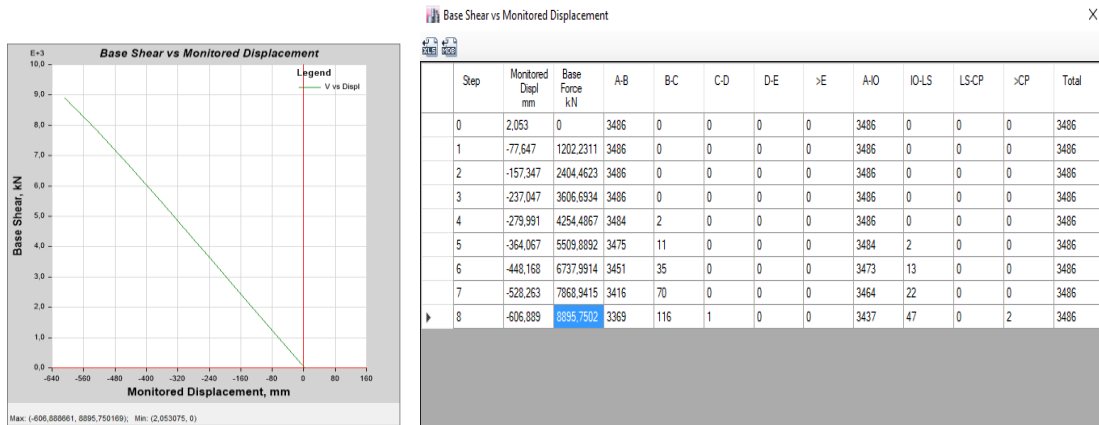
B. Konstruksi Beton Bertulang

$$V_x = V_y = 0,01 \times 8295462,6570 = 82954,62657 \text{ kg}$$

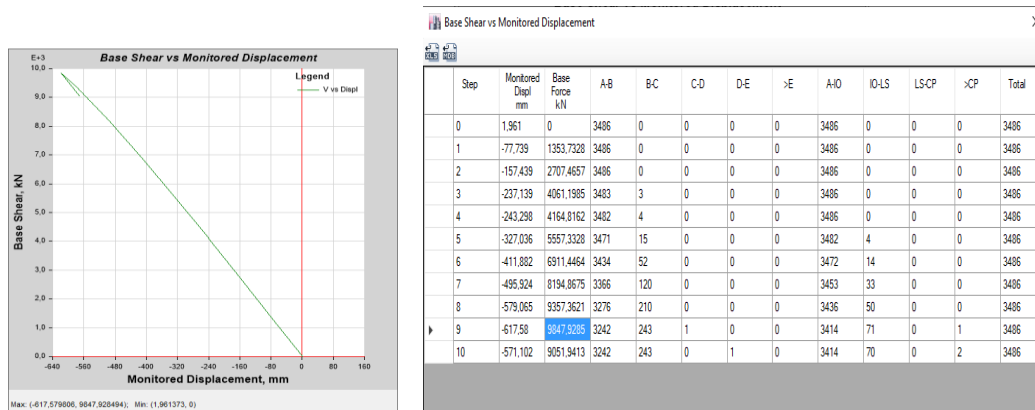
4.4. Analisa Pushover

4.4.1 Evaluasi Kinerja Struktur

A. Konstruksi Baja

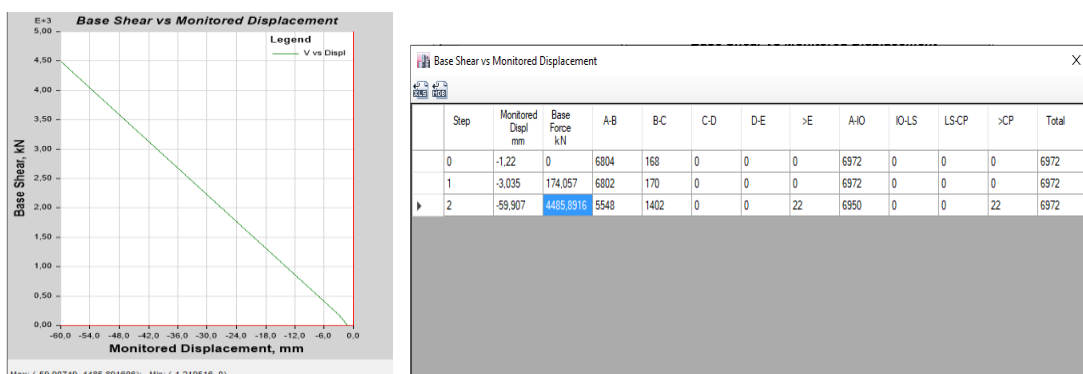


Gambar 4.5. Kurva dan Nilai Gaya Geser Dasar vs Perpindahan Arah (X) Konstruksi Baja
Sumber : Hasil Penelitian

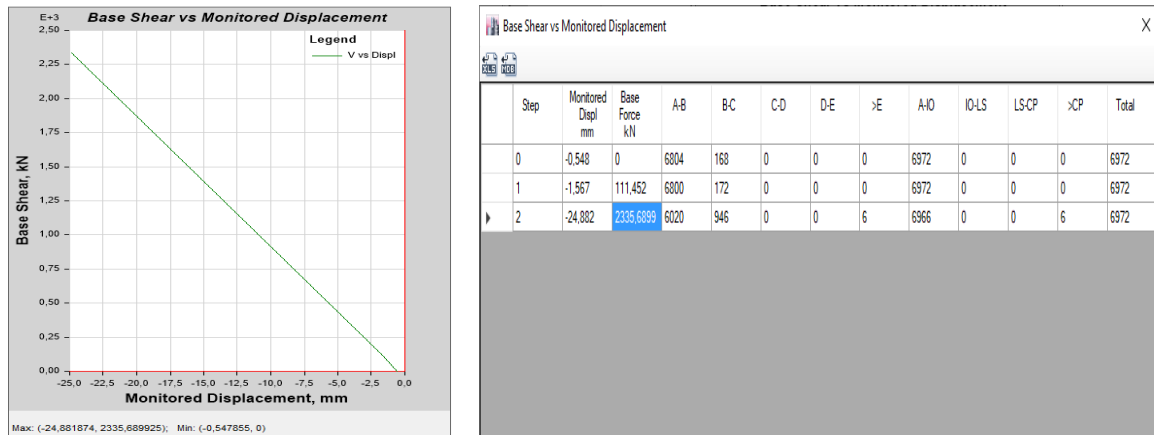


Gambar 4.6. Kurva dan Nilai Gaya Geser Dasar vs Perpindahan Arah (Y) Konstruksi Baja
Sumber : Hasil Penelitian

B. Konstruksi Beton Bertulang



Gambar 4.7. Kurva dan Nilai Gaya Geser Dasar vs Perpindahan Arah (X) Konstruksi Beton Bertulang
Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 4.8. Kurva dan Nilai Gaya Geser Dasar vs Perpindahan Arah (Y) Konstruksi Beton Bertulang
Sumber : Hasil Penelitian

Dalam melakukan analisa pushover perpindahan pada lantai atap tidak boleh melebihi batas kinerja ultimit dari struktur.

$$\text{Batas Kinerja Ultimit} = 0,02 \times 39850 \text{ mm} = 757 \text{ mm}$$

4.4.2 Level Kinerja Struktur

Berdasarkan total iterasi analisa pushover dari kedua jenis konstruksi yang berbeda, maka diambil batasan maximal gaya geser maksimum yaitu 4500 kN untuk arah X dan 3000 kN untuk arah Y. Hal ini bertujuan untuk melihat level kinerja struktur jika diberi gaya geser dasar yang kurang lebih sama sehingga perbandingannya adil.

Tabel 4.1. Evaluasi Kinerja Struktur Ditinjau (Baja dan Beton Bertulang)

Jenis Konstruksi	Arah Pushover	No Iterasi	Gaya Geser (kN)	D _t (mm)	D ₁ (mm)
Baja	X	4	4254,486	279,991	19,653
	Y	2	2707,465	157,439	10,525
Beton Bertulang	X	2	4485,89	59,97	4,401
	Y	2	2335,69	24,882	1,386

(Sumber : Hasil Penelitian)

Sehingga, dari nilai perpindahan pada atap diatas, dapat ditentukan level kinerja struktur untuk masing-masing jenis konstruksi seperti tertuang pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.2. Level Kinerja Struktur

Jenis Konstruksi	Gaya Arah	Max Drift (mm)	Max Inelastic Drift (mm)	Level Struktur
Baja	X	0,00702	0,00653	<i>Immediate Occupancy</i>
	Y	0,00395	0,00368	<i>Immediate Occupancy</i>
Beton Bertulang	X	0,0015	0,0014	<i>Immediate Occupancy</i>
	Y	0,00063	0,0006	<i>Immediate Occupancy</i>

(Sumber : Hasil Penelitian)

4.4.3 Kontrol Batas Simpangan Izin Antar Tingkat

A. Konstruksi Baja

Story	Elevation (m)	Location	X-Dir	Dis (mm)	Batas Simpangan	Keterangan
Grid Top	43,25	Top	0,00161	269,81	0,068	OK
Grid Atap	39,85	Top	0,002007	282,794	0,068	OK
StoryAtap	36,45	Top	0,002685	277,193	0,068	OK
Story10	33,05	Top	0,003923	269,156	0,068	OK
Story9	29,65	Top	0,004521	255,818	0,068	OK
Story8	26,25	Top	0,006323	240,447	0,068	OK
Story7	22,85	Top	0,006547	218,95	0,068	OK
Story6	19,45	Top	0,008591	196,689	0,068	OK
Story5	16,05	Top	0,008388	167,478	0,068	OK
Story3	12,65	Top	0,012146	138,893	0,088	OK
Story2	8,25	Top	0,012708	83,194	0,1	OK
LG	3,25	Top	0,006047	19,653	0,065	OK
Base	0	Top	0	0		

(a)

Story	Elevation (m)	Location	Y-Dir	Dis (m)	Batas Simpangan	Keterangan
Grid Top	43,25	Top	0,001136	164,427	0,068	OK
Grid Atap	39,85	Top	0,001245	160,707	0,068	OK
StoryAtap	36,45	Top	0,001836	156,473	0,068	OK
Story10	33,05	Top	0,002507	150,232	0,068	OK
Story9	29,65	Top	0,003073	142,751	0,068	OK
Story8	26,25	Top	0,00377	134,635	0,068	OK
Story7	22,85	Top	0,004248	123,414	0,068	OK
Story6	19,45	Top	0,004958	110,98	0,068	OK
Story5	16,05	Top	0,005251	94,933	0,068	OK
Story3	12,65	Top	0,007404	77,773	0,088	OK
Story2	8,25	Top	0,006934	45,195	0,1	OK
LG	3,25	Top	0,003238	10,525	0,065	OK
Base	0	Top	0	0		

(b)

Gambar 4.9. Kontrol Batas Simpangan Gaya (a) (X) , (b) (Y) Konstruksi Baja
Sumber : Hasil Penelitian

B. Konstruksi Beton Bertulang

Story	Elevation (m)	Location	X-Dir	Dis (mm)	Batas Simpangan	Keterangan
Grid Top	43,25	Top	0,000412	59,916	0,068	OK
Grid Atap	39,85	Top	0,000513	60,103	0,068	OK
StoryAtap	36,45	Top	0,000669	59,083	0,068	OK
Story10	33,05	Top	0,000846	57,496	0,068	OK
Story9	29,65	Top	0,001041	55,241	0,068	OK
Story8	26,25	Top	0,001255	52,276	0,068	OK
Story7	22,85	Top	0,001481	48,539	0,068	OK
Story6	19,45	Top	0,00172	43,933	0,068	OK
Story5	16,05	Top	0,002028	38,317	0,068	OK
Story3	12,65	Top	0,002807	31,444	0,088	OK
Story2	8,25	Top	0,002928	18,68	0,1	OK
LG	3,25	Top	0,001243	4,041	0,065	OK
Base	0	Top	0	0		

(a)

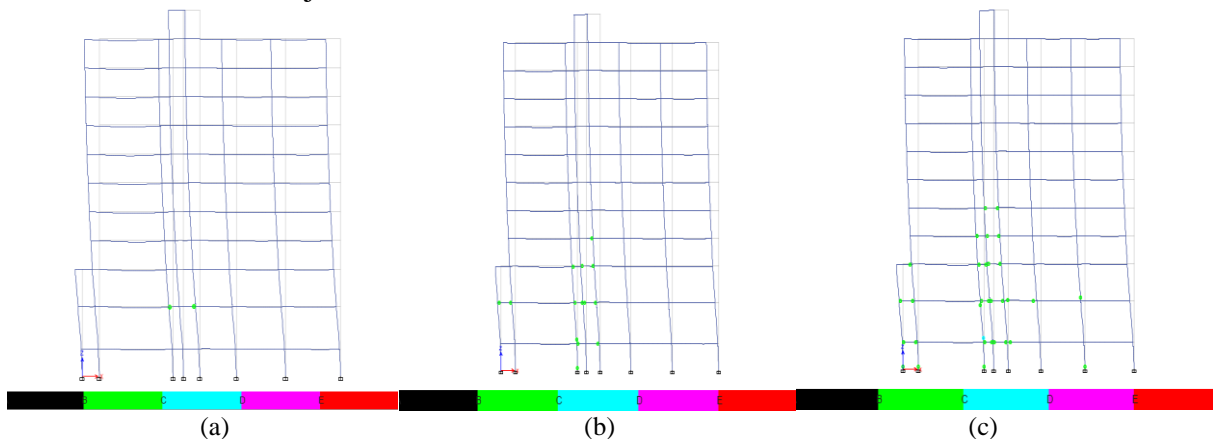
Story	Elevation (m)	Location	Y-Dir	Dis (m)	Batas Simpangan	Keterangan
Grid Top	43,25	Top	0,00032	28,715	0,068	OK
Grid Atap	39,85	Top	0,000297	27,75	0,068	OK
StoryAtap	36,45	Top	0,000382	26,739	0,068	OK
Story10	33,05	Top	0,000471	25,442	0,068	OK
Story9	29,65	Top	0,000563	23,841	0,068	OK
Story8	26,25	Top	0,000659	21,926	0,068	OK
Story7	22,85	Top	0,000758	19,685	0,068	OK
Story6	19,45	Top	0,000859	17,108	0,068	OK
Story5	16,05	Top	0,000946	14,187	0,068	OK
Story3	12,65	Top	0,001069	10,974	0,088	OK
Story2	8,25	Top	0,000992	6,347	0,1	OK
LG	3,25	Top	0,000427	1,386	0,065	OK
Base	0	Top	0	0		

(b)

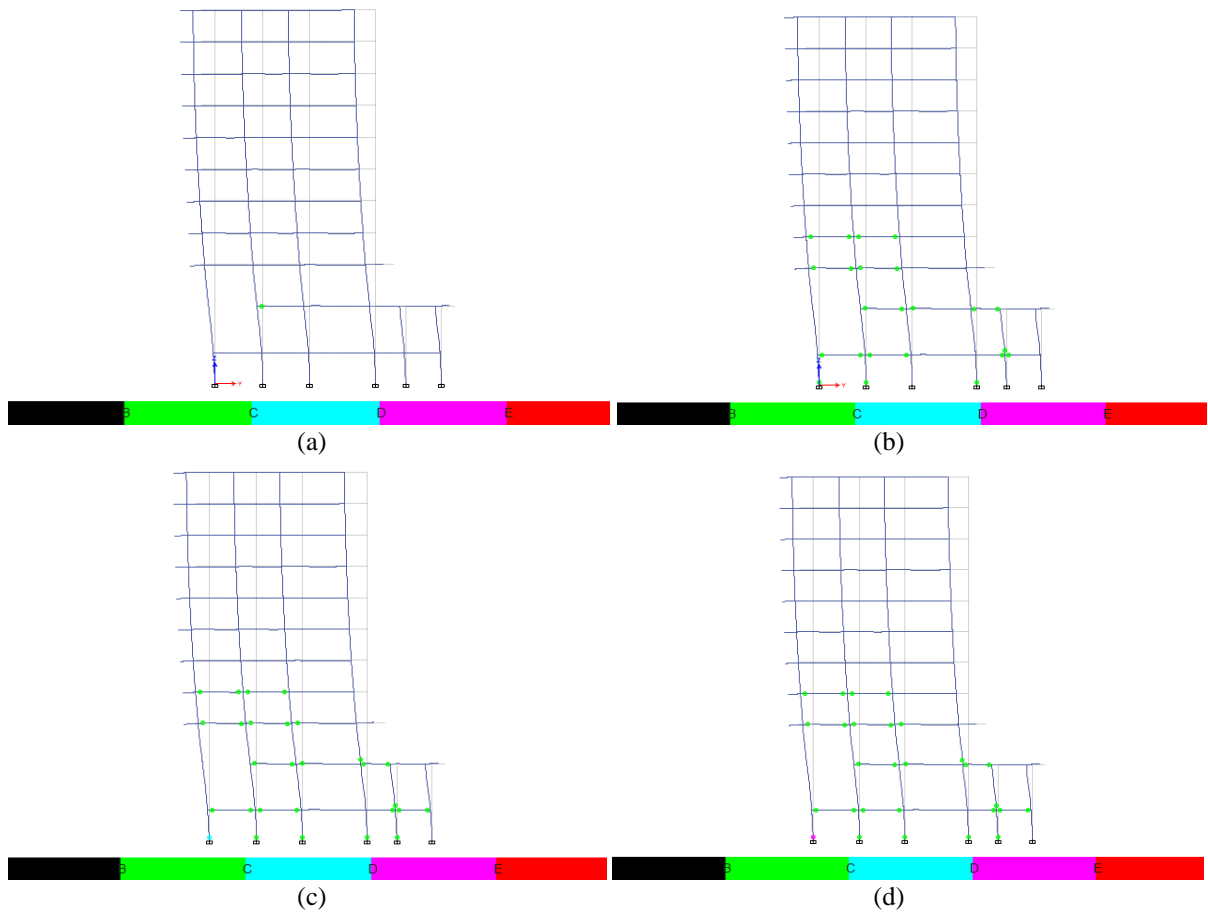
Gambar 4.10. Kontrol Batas Simpangan Gaya (a) (X) , (b) (Y) Konstruksi Beton Bertulang
Sumber : Hasil Penelitian

4.4.4 Skema Distribusi Sendi Plastis

A. Konstruksi Baja

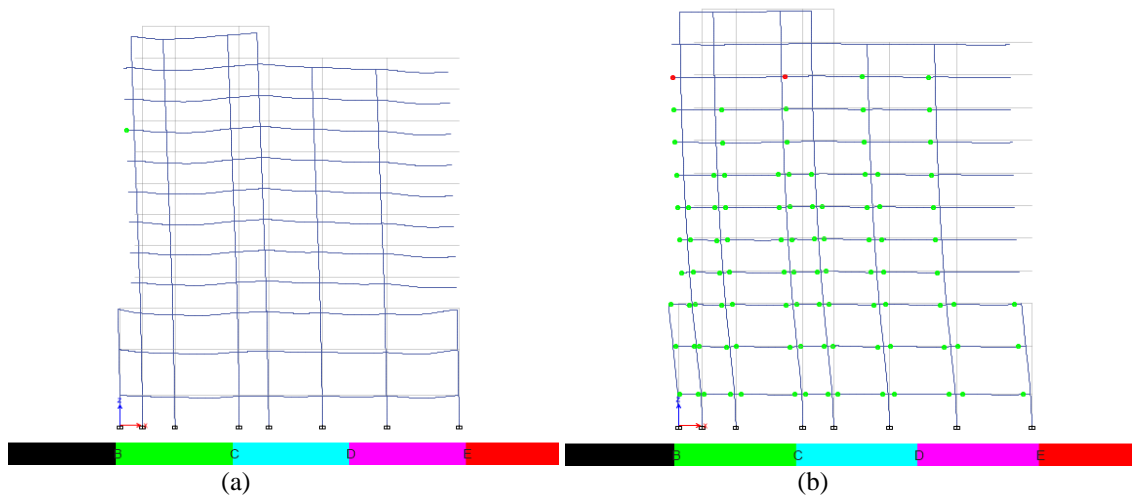


Gambar 4.11. Skema Perilaku Sendi Plastis (a) (X-S4) , (b) (X-S6) , (c) (X-S8) Konstruksi Baja
Sumber : Hasil Penelitian

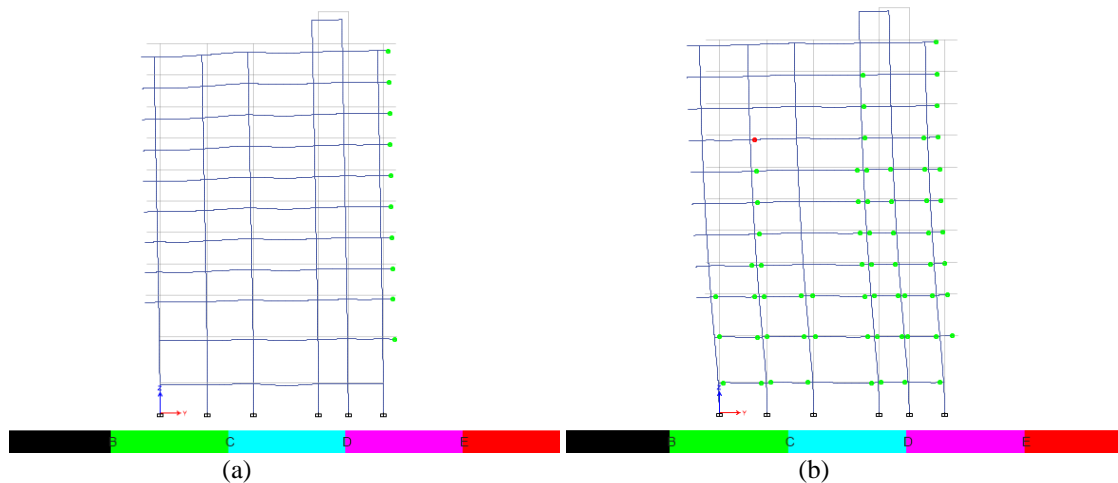


Gambar 4.12. Skema Perilaku Sendi Plastis (a) (Y-S5) , (b) (Y-S8) , (c) (Y-S9) , (d) (Y-S10) Konstruksi Baja
Sumber : Hasil Penelitian

B. Konstruksi Beton Bertulang



Gambar 4.13. Skema Perilaku Sendi Plastis (a) (X-S1) , (b) (X-S2) Konstruksi Beton Bertulang
Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 4.14. Skema Perilaku Sendi Plastis (a) (Y-S1), (b) (Y-S2 Konstruksi Beton Bertulang
Sumber : Hasil Penelitian

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Gaya beban lateral gempa rencana yang diperoleh dari percepatan tanah wilayah zona gempa 1 yaitu 47612,38 kg (466,92 kN) untuk konstruksi baja dan 82954,63 kg (813,51 kN) untuk konstruksi beton bertulang.

Gaya geser dasar maksimum yang dapat ditahan oleh jenis konstruksi baja hingga sampai batas perpindahan atap tertarget untuk arah X adalah 8895,75 kN (8 step) dan arah Y yaitu 9847,9285 kN (10 step), Perpindahan lantai atap maksimum untuk kedua arah adalah 606,89 mm dan 617,58 mm. Sedangkan untuk jenis konstruksi beton bertulang, gaya geser dasar yang dapat ditahan akibat pushover arah X yaitu 4485,89 kN (2 step) dan akibat arah Y yaitu 2335,69 kN (2 step). Perpindahan pada lantai atap dari jenis konstruksi ini akibat arah X yaitu 59,97 mm dan Y yaitu 24,882 mm.

Dilihat dari skema distribusi sendi plastis, kedua jenis konstruksi sesuai dengan prinsip bangunan tahan gempa yaitu kolom kuat balok lemah.

Total iterasi yang dihasilkan program tidakimbang, sehingga batasan gaya geser dasar untuk kedua jenis konstruksi diambil 4500 kN untuk arah X dan 3000 kN untuk arah Y. Kedua besaran gaya geser ini masih lebih tinggi dari pada gaya lateral beban rencana.

Level kinerja struktur menurut ATC-40 berdasarkan gaya geser maksimum sesuai batasan pada Poin 5 untuk konstruksi baja masih termasuk kedalam kondisi Immediate Occupancy. Dalam artian bahwa kondisi struktur pasca diberikan beban hanya akan terjadi kerusakan yang tidak berarti dan segera dapat untuk digunakan kembali. Sedangkan untuk level kinerja struktur konstruksi beton bertulang masih kedalam Immediate Occupancy, yang berarti struktur hanya mengalami kerusakan minor, meskipun terdapat balok yang mencapai kondisi runtuh / putus, tetapi secara keseluruhan struktur masih dapat digunakan dengan baik.

Level kinerja struktur pada kedua jenis konstruksi memang masih masuk kedalam Immediate Occupancy, tetapi konstruksi baja lebih kuat karena lebih elastis daripada beton yang cenderung lebih kaku.

Simpangan antar tingkat yang terjadi akibat pushover untuk kedua jenis konstruksi gedung, semua masih dibawah batas simpangan menurut SNI 1726:2012. Sehingga struktur dapat dikatakan memenuhi persyaratan.

Kesimpulan terakhir yang dapat diberikan adalah perencanaan bangunan tahan gempa berbasis kinerja akan menghasilkan informasi sejauh mana suatu gaya gempa yang direduksi akan mempengaruhi struktur dan dapat dijadikan pedoman oleh pada insyinyur sipil dalam merencanakan gedung ataupun mengevaluasi bangunan yang sudah ada.



5.2 Saran

Untuk pengembangan dari skripsi ini, penulis dapat mengatakan jika pemahaman perencanaan berbasis kinerja untuk struktur sangat diperlukan agar hasil bisa lebih akurat dan diperlukan penelitian dari metode-metode lain agar hasil yang didapat lebih akurat. Hal ini dikarenakan tingkat resiko dari pergerakan gempa yang akan terjadi itu bersifat tidak pasti, dan hasil ini hanya berupa pendekatan.

Daftar Pustaka

- [1] *Applied Technology Council (ATC) 40, Seismic Evaluation and retrofit of Concrete Buildings*, Volume 1, California. 1996.
- [2] Dewobroto, W. (2005). Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover. *Seminar Bidang Kajian*, 28.
- [3] Sikumbang, A. B., Surbakti, B., Sipil, D. T., Utara, U. S., Pengajar, S., Teknik, D., & Utara, U. S. (2014). *ANALISIS EFEKTIFITAS PENEMPATAN TUNED MASS DAMPER PADA m □ □ □ c u □ □ ku □ p m u*. 1–15.
- [4] Carr, A.J., Ruamoko, *Inelastic Dynamic Analysis*, University of Canterbury, New Zealand. 1998.
- [5] Oktopianto, Y., & Andayani, R. (2013). Evaluasi Kinerja Struktur Beton Bertulang Dengan Pushover Analysis. *Proceeding PESAT (Psikologi, Ekonomi, Sastra, Arsitektur & Teknik Sipil)*, 5, 8–9.
- [6] Manurung, R. J. F. (2017). *Static Nonlinear Pushover Analysis Untuk Performance Based Design Pada Gedung Pascasarjana Fakultas MIPA UGM*.
- [7] Utomo, C. (2012). *Evaluasi Struktur Dengan Pushover Analysis Pada Gedung Kalibata Residences Jakarta*.