

## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 5.1. Pendahuluan

Analisis dan pembahasan pada bab ini akan dijabarkan langkah-langkah analisis perhitungan evaluasi struktur Hotel Inna Garuda *Extention*. Langkah-langkah analisis perhitungan evaluasi diawali dengan evaluasi *tier 1*. Evaluasi *tier 1* dilakukan dengan *rapid visual screening* (RVS) mengacu pada pedoman FEMA 154 (1998) dan perhitungan *quick check* mengacu pada pedoman FEMA 310 (1998). Evaluasi ini membahas tentang analisis secara *visual* dari bangunan yang ditelitinya. Evaluasi *tier 1* dapat dilanjutkan pada analisis *tier 2* apabila hasil evaluasi *tier 1* tersebut tidak memenuhi syarat sesuai pedoman yang digunakannya.

Langkah analisis selanjutnya yaitu analisis evaluasi *tier 2*. Analisis evaluasi *tier 2* meliputi analisis gempa statik linier dan analisis gempa dinamik elastik linier. Kedua analisis tersebut mengacu pada standar kegempaan terbaru yaitu SNI 03-1729-2012 dan mengacu pada persyaratan beton SNI 2847-2013. Analisis *tier 2* membahas tentang perbandingan antara kekuatan struktur yang sudah ada dengan hasil analisis sesuai peraturan terbaru. Hasil perbandingan tersebut dihasilkan nilai berupa *demand capacity ratio* (DCR). Hasil dari DCR tersebut akan menentukan analisis ke tahapan berikutnya yaitu analisis *tier 3* dengan acuan peraturan FEMA 310 (1998).

Evaluasi *tier 3* adalah evaluasi terakhir yang digunakan dalam evaluasi kinerja struktur. Evaluasi tersebut menganalisis *level* kinerja struktur Hotel Inna Garuda *Extention* dengan menggunakan metoda analisis *pushover*. Analisis *pushover* dilakukan menggunakan bantuan *software* yaitu program ETAB's dengan versi 9.6. Analisis *tier 3* yang digunakan tersebut dapat diketahui seberapa besar tingkat kinerja struktur yang diteliti dan dapat diketahui kemungkinan letak kerusakan pada setiap komponen struktur. Pedoman yang digunakan pada analisis evaluasi *tier 3* yaitu FEMA 273 (1997), ATC-40 (1996), FEMA 356, dan FEMA 440. Evaluasi secara lengkap dan terperinci dapat diuraikan sebagai berikut ini.

## 5.2. Evaluasi Tahap 1 (*Tier 1 Evaluation*)

Analisis evaluasi yang pertama kali dilakukan adalah evaluasi yang dilakukan dengan cara *rapid visual screening* (RVS). Referensi yang dilakukan untuk *screening phase* pada penelitian ini adalah menggunakan referensi FEMA 154 (2002) dan FEMA 310 (1998). Bangunan Hotel Inna Garuda *Extention* berdasarkan Tabel 2.1 FEMA 154 (1998) termasuk ke dalam daerah wilayah gempa tinggi (*hight seismicity*). Hasil pengisian formulir RVS secara lengkap disajikan pada Tabel 5.1 dan referensi pengisian RVS tersebut dijelaskan pada sub bab berikut.

### 5.2.1. Analisis *Rapid Visual Screening* (RVS) menurut FEMA 154 (2002)

Dalam menentukan penggunaan *form* evaluasi FEMA 154 untuk *screening phase* harus berdasarkan pada seismisitasnya. Langkah awal adalah menentukan *region of seismicity definitions* yang didasarkan pada nilai *spectral acceleration response*. Hotel Inna Garuda *Extention* Yogyakarta terletak pada wilayah gempa zona tinggi sesuai Tabel 3.1, sehingga tabel atau *form* yang digunakan dalam RVS adalah seismitas tinggi. Hasil analisis evaluasi *screening* dapat dilihat pada Tabel 5.1.

#### a) Kepemilikan bangunan.

Kepemilikan bangunan gedung Inna Garuda *Extention* ini menurut Surat Ijin Mendirikan Bangunan (IMB) no: 464/R tertanggal 28-10-1989 adalah milik PT Natour yang diperuntukkan untuk perhotelan atau *residential*.

#### b) Jumlah penghuni

Bangunan dalam penelitian ini memiliki jumlah kamar yang disewakan sebanyak 120 kamar serta beberapa fasilitas antara lain kolam renang, lapangan tenis dan fasilitas lainnya. Jumlah orang yang berada dibangunan tersebut yaitu 101 – 1000 orang dalam kondisi semua kamar hotel terisi penuh termasuk karyawan.

Tabel 5.1 Hasil survey formulir rapid visual screening

**Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards**  
 FEMA-154 Data Collection Form **HIGH Seismicity**

Scale:

Address: Jalan Malioboro No. 60,  
Yogyakarta Zip \_\_\_\_\_

Other Identifiers \_\_\_\_\_

No. Stories 7 Year Built \_\_\_\_\_

Screened by Rizaldi Patria Date \_\_\_\_\_

Total Floor Area (sq. ft.) 18.782,465 m<sup>2</sup>

Building Name Hotel Inna Garuda Extension

Use Perhotelan

OCCUPANCY			SOIL		TYPE						FALLING HAZARDS				
Assembly	Govt	Office	Number of Persons		A	B	C	D	E	F	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Commercial	Historic	Residential			0 - 10	11 - 100	Hard Rock	Avg. Rock	Dense Soil	Stiff Soil	Soft Soil	Poor Soil	Unreinforced Chimneys	Parapets	Cladding
Emer. Services	Industrial	School	101-1000	1000+											

BASIC SCORE, MODIFIERS, AND FINAL SCORE, S															
BUILDING TYPE	W1	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM
Basic Score	4.4	3.8	2.8	3.0	3.2	2.8	2.0	2.5	2.8	1.6	2.6	2.4	2.8	2.8	1.8
Mid Rise (4 to 7 stories)	N/A	N/A	+0.2	+0.4	N/A	+0.4	+0.4	+0.4	+0.4	+0.2	N/A	+0.2	+0.4	+0.4	0.0
High Rise (> 7 stories)	N/A	N/A	+0.6	+0.8	N/A	+0.8	+0.8	+0.6	+0.8	+0.3	N/A	+0.4	N/A	+0.6	N/A
Vertical Irregularity	-2.5	-2.0	-1.0	-1.5	N/A	-1.0	-1.0	-1.5	-1.0	-1.0	N/A	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
Plan irregularity	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
Pre-Code	0.0	-1.0	-1.0	-0.8	-0.6	-0.8	-0.2	-1.2	-1.0	-0.2	-0.8	-0.8	-1.0	-0.8	-0.2
Post-Benchmark	+2.4	+2.4	+1.4	+1.4	N/A	+1.6	N/A	+1.4	+2.4	N/A	+2.4	N/A	+2.8	+2.6	N/A
Soil Type C	0.0	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
Soil Type D	0.0	-0.8	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
Soil Type E	0.0	-0.8	-1.2	-1.2	-1.0	-1.2	-0.8	-1.2	-0.8	-0.8	-0.4	-1.2	-0.4	-0.6	-0.8
<b>FINAL SCORE, S</b>	<b>0,5</b>														

**COMMENTS**

- Bangunan adanya pounding karena disamping kiri bangunan terdapat bangunan yang tidak menyatu.
- Adanya siteback yang terdapat didepannya.

Detailed Evaluation Required

**YES NO**

\* = Estimated, subjective, or unreliable data  
 DNK = Do Not Know  
 BR = Braced frame  
 FD = Flexible diaphragm  
 LM = Light metal  
 MRF = Moment-resisting frame  
 RC = Reinforced concrete  
 RD = Rigid diaphragm  
 SW = Shear wall  
 TU = Tilt up  
 URM INF = Unreinforced masonry infill

c) Tipe kondisi tanah

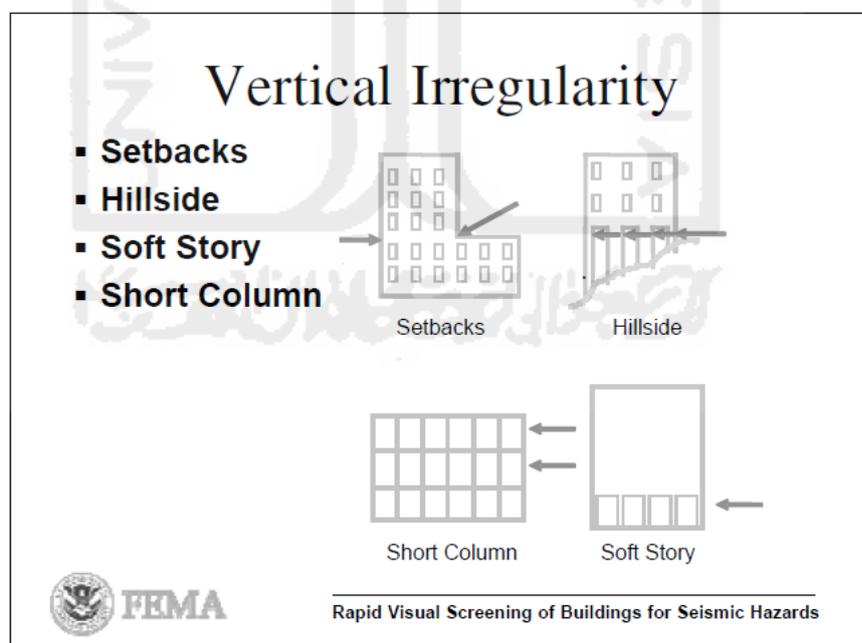
Fondasi yang digunakan dalam bangunan ini menggunakan fondasi tiang bor (*bore pile*) dengan diameter 100 cm dan 50 cm dengan kedalaman 12 m dan dari hasil pengujian tanah yaitu data sampel bor tanah ditetapkan kondisi tanah memiliki *type* tanah D atau tanah sedang.

d) Jumlah lantai

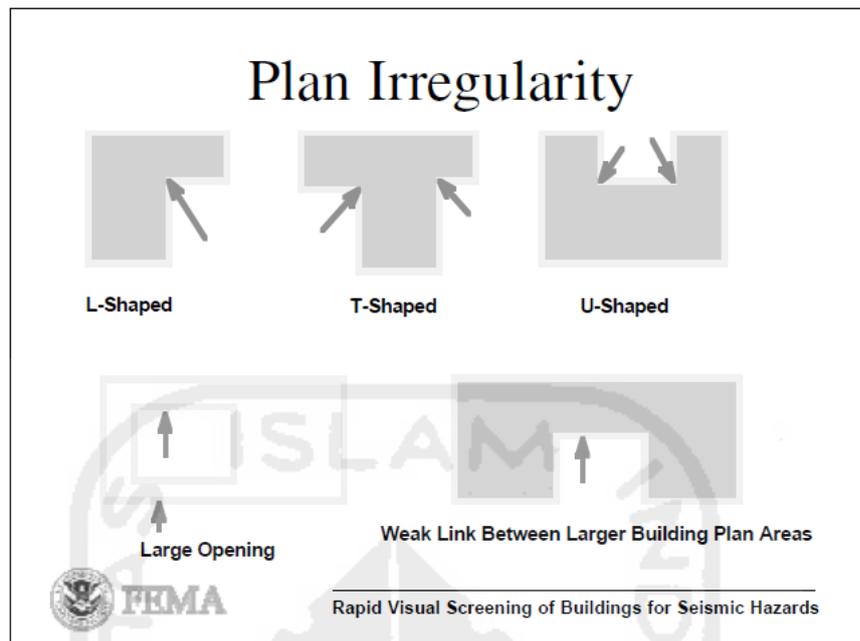
Bangunan sisi selatan memiliki luas bangunan seluas 6.247,21 m<sup>2</sup> dengan jumlah lantai 7,0 tingkat dan tinggi bangunan 26,00 m.

e) *Irregularity building*

Dalam panduan *student manual FEMA 154-SM Edition 2 / Juli 2005* dijelaskan bangunan-bangunan yang tidak regular baik denah maupun tampak bangunan seperti pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2. Penjelasan gambar tersebut dapat diaplikasikan ke bangunan Hotel Inna Garuda *Extention* bahwa bangunan Hotel Inna Garuda *Extention* termasuk bangunan yang *irregularity building* baik dari denah dan ketinggian.



Gambar 5.1 *Vertical irregularity*



Gambar 5.2 *Plan irregularity*

f) *Final score*

Hasil akhir analisa yang diperoleh dari *rapid visual screening* pada bangunan Hotel Inna Garuda *Extention* mendapatkan nilai sebesar 0,5 dari penjumlahan komponen-komponen karakteristik bangunan. Hasil yang diperoleh nilai  $S = 0,5$  menunjukkan probabilitas 1 dalam  $10^{0,5}$  yaitu sebesar 0,3162 (31,62%) yang dapat diartikan bahwa bangunan tersebut memiliki probabilitas akan runtuh bila terjadi gerakan tanah (*ground motion*). Hasilnya tersebut dikarenakan kurang memenuhi dari standar yang ditetapkan oleh FEMA yaitu 2,0, atau sebesar 0,01 (1,0%), sehingga perlu dilakukan evaluasi tingkat lanjut untuk mengetahui kinerja bangunan.

### 5.2.2. Hasil *quick check* untuk kekakuan dan kekuatan bangunan

Analisis percepatan respon spektra periode pendek dan periode panjang diperoleh hasil  $S_{DS}$  dan  $S_{DI}$  berturut-turut adalah 0,81 dan 0,475. Dalam Tabel 3.1 dapat diketahui bahwa *region of seismicity definitions* termasuk ke wilayah *high* (tinggi) dan termasuk ke dalam kelompok tipe bangunan C1 yaitu MRF (*concrete moment resisting frame building*) karena menggunakan struktur rangka beton

bertulang. Gedung Hotel Inna Garuda *Extention* ini termasuk ke dalam kategori *seismic use grup II* dan diharapkan memiliki tingkat kinerja *immediate occupancy (IO)* ketika terjadi gempa besar.

Langkah selanjutnya untuk *tier 1* setelah *rapid visual screening* yaitu dengan melakukan *quick check* atau perhitungan cepat untuk mengetahui kinerja kekakuan dan kekuatan bangunan dengan studi kasus Hotel Inna Garuda *Extention*. Berikut ini beberapa analisa perhitungan cepat untuk mengetahui kinerja bangunan.

a) Data bangunan gedung Hotel Inna Garuda *Extention*

Struktur bangunan gedung Hotel Inna Garuda *Extention* ini menggunakan struktur beton bertulang biasa. Bangunan gedung ini didirikan pada tahun 1989. Mutu beton yang dipakai dalam pelaksanaan sebesar K-225 yang setara dengan 19,04 MPa. Mutu beton tersebut tidak memenuhi dengan standar kegempaan yang tercantum dalam SNI 03-1726-2012 yang mana standar minimum mutu beton untuk bangunan tahan gempa sebesar K-310 atau setara dengan 26,23 MPa. Bangunan ini perlu dilakukan evaluasi lebih lanjut dikarenakan mutu beton tidak memenuhi standar kegempaan.

Untuk mutu baja tulangan yang dipakai yaitu mutu baja untuk ulir U40 atau setara dengan  $f_y = 400$  MPa sedangkan untuk baja polos U24 atau setara  $f_y = 240$  MPa. Mutu baja tersebut telah memenuhi standar minimal untuk bangunan tahan gempa atau telah sesuai dengan standar SNI 2012.

b) *Drift ratio* untuk rangka momen

Perhitungan cepat *drift ratio* dilakukan untuk mengetahui tingkat lemah (*weak story*) struktur dengan melihat persentase nilai *DR (drift ratio)*. Persamaan yang digunakan untuk perhitungan *DR* dapat dilihat pada persamaan (3.1) dan persamaan (3.2). Perhitungan kekakuan untuk mencari nilai *drift ratio* digunakan metode kekakuan kolom Muto (1975). Metode tersebut memberikan alternatif tata cara menghitung kekakuan kolom dengan memeperhitungkan kekakuan balok, Widodo (2001). Hal tersebut menunjukkan bahwa join-join dimungkinkan untuk berotasi.

Tabel 5.2 Hasil *drift ratio* dari kekakuan bangunan tiap lantai

Lantai	Tinggi kolom ( $h_c$ )(cm)	Kekakuan ( $k$ )				$V_j$ (Ton)	$DR$ (%)		Prosentase (%)	
		Balok ( $\text{cm}^3$ )		Kolom ( $\text{cm}^3$ )			Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
		Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y					
Atap	170	55742,6	50017,1	22373	22457,6	67,864	0,029	0,030	35,96	42,81
6	340	56615,7	50526	44746	44915,2	178,459	0,097	0,102	52,02	52,02
5	340	56615,7	50526	44746	44915,2	271,294	0,147	0,155	94,84	96,65
4	340	56615,7	50526	83831,5	84000,7	347,910	0,139	0,149	98,74	109,30
3	340	75541,5	56101,6	88174,30	88343,5	413,571	0,138	0,163	79,25	73,05
2	340	88178,2	77351,9	176619	176788	473,777	0,109	0,119	122,90	122,89
1	400	86698,3	76367,8	191731	191858	502,388	0,134	0,147		

\* Catatan: - Mutu Beton K225 =  $225 \times 0,83 / 9,81 = 19,04$  MPa  
-  $E = 4700\sqrt{f_c} = 4700\sqrt{19,04} = 20508,38$  MPa =  $209185,46$  kg/cm<sup>2</sup>

Langkah-langkah perhitungan *drift ratio* pada lantai 3 arah X Tabel 5.2 dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 j &= 3 \\
 n &= 7 \text{ lantai} \\
 W_j &= 6823,3143 \text{ ton} \\
 W &= 10360,8343 \text{ ton} \\
 n+j &= 3+7 = 10 \\
 n+l &= 7+1 = 8 \\
 V &= 502,388 \text{ ton (Pers 3.15)} \\
 V_j &= \left(\frac{10}{8}\right)\left(\frac{6823,3143}{10360,8343}\right)502,388 \\
 &= 413,57 \text{ ton} \\
 h_c &= 340 \text{ cm} \\
 k_b &= 75541,478 \text{ cm}^3 \text{ (Lampiran 4)} \\
 k_c &= 88343,5 \text{ cm}^3 \text{ (Lampiran 4)} \\
 k_c+k_b &= 75541,478 + 88343,5 \\
 &= 163884,9769 \text{ cm}^3 \\
 k_c \cdot k_b &= 75541,478 \cdot 88343,5 \\
 &= 6673598474 \text{ cm}^6
 \end{aligned}$$

$$DR = \left( \frac{163884,9769}{6673598474} \right) \cdot \left( \frac{340}{12.209185,46} \right) \cdot 413,57 \cdot 1000$$

$$= 0,00138 = 0,138 \%$$

$$\text{Prosentase } \textit{story drift} \text{ antara lantai 2 ke lantai 3} = \frac{0,138\%}{0,139\%} \cdot 100\% =$$

98,73%. Tabel 5.2 di atas dapat terlihat hasil prosentase *drift ratio* antar lantai pada gedung Inna Garuda *Extention*. Gedung atau bangunan yang dapat dikatakan memiliki tingkat lemah (*weak story*) menurut FEMA 310 jika, kekuatan sistem penahan gaya lateral di semua tingkat tidak harus kurang dari 80 % dari kekuatan tingkat yang berdekatan baik di atasnya maupun di bawahnya. Tabel 5.2 merupakan hasil perhitungan dari *drift ratio* kekakuan antar tingkat bangunan Hotel Inna Garuda *Extention*. Hasil tersebut dapat diketahui bahwa hasil analisisnya terdapat tingkat lemah (*weak story*) pada lantai 1 ke lantai 2 baik arah sumbu X maupun sumbu Y.

c) Tegangan geser kolom pada struktur beton

Perhitungan gaya geser kolom pada struktur beton ini parameter-parameter yang berpengaruh adalah jumlah kolom setiap lantai, jumlah portal, luasan total kolom yang berpengaruh dan gaya geser dasar tiap lantai. Persamaan (3.3) merupakan persamaan untuk perhitungan tegangan dasar kolom yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.3. Contoh perhitungan tegangan geser diambil data lantai 2 arah sumbu Y.

$$n_c = 42 \text{ buah}$$

$$n_f = 8 \text{ portal}$$

$$m = 1,3 \text{ (immediate occupancy performance)}$$

$$A_c = 17040000 \text{ mm}^2 \text{ (Lampiran 4)}$$

$$V_j = 4647755 \text{ N (Pers. 3.3)}$$

$$v_{avg} = \frac{1}{1,3} \cdot \left( \frac{42}{42-8} \right) \cdot \left( \frac{4647755}{17040000} \right)$$

$$= 0,2592 \text{ MPa} < (0,166\sqrt{f'_c})$$

Tabel 5.3 Hasil tegangan geser kolom pada struktur beton tiap lantai

Lantai	Jumlah Kolom ( $n_c$ )	$n_f$		Luas Kolom Ttl ( $\text{mm}^2$ )	$V_i$ (N)	$v_{avg}$	
		X	Y			X	Y
						MPa	MPa
Atap	0	7	7	0	665749		
6	50	7	7	9030000	1750684	0,1734	0,1734
5	50	7	7	9030000	2661390	0,2636	0,2636
4	50	7	7	11865000	3412998	0,2573	0,2573
3	50	7	7	12180000	4057133	0,2979	0,2979
2	56	7	8	17040000	4647755	0,2398	0,2448
1	61	7	8	20977500	4928430	0,2041	0,2080
Dasar	61	7	8	0			

Tipe Bangunan = *immediate occupancy performance*

Nilai faktor Modifikasi ( $m$ ) = 1,3

Hasil yang diperoleh dari tegangan geser kolom baik arah sumbu X dan arah sumbu Y pada semua lantai nilainya kurang dari  $0,166\sqrt{f'_c}$  (0,72434 MPa). Nilai tersebut yaitu nilai maksimal dari tegangan geser kolom yang distandarkan oleh FEMA 310. Nilai yang didapat dari tegangan geser pada bangunan gedung Hotel Inna Garuda *Extention* untuk setiap lantai memenuhi nilai yang distandarkan oleh FEMA 310, sehingga bangunan tersebut mampu menahan tegangan geser kolom tiap lantai.

d) Pemeriksaan tegangan aksial akibat gaya guling

Salah satu perhitungan pemeriksaan tegangan aksial akibat gaya guling pada lantai 4 arah sumbu X dapat dilihat sebagai berikut.

$$V_j = 3412997,9 \text{ N}$$

$$h_n = 15,8 \text{ m}$$

$$n_f = 7$$

$$L = 29,9 \text{ m}$$

$$m = 1,3 \text{ (immediate occupancy performance)}$$

$$P_{ot} = \frac{1}{1,3} \cdot \left(\frac{2}{3}\right) \cdot \left(\frac{3412997,9 \cdot 15,8}{29,9 \cdot 7}\right)$$

$$= 132126,3 \text{ N} < (0,3 \cdot f'_c \cdot A_c = 67772880 \text{ N})$$

Hasil keseluruhan perhitungan tegangan aksial akibat gaya guling pada bangunan gedung Hotel Inna Garuda *Extention* dapat dilihat pada Tabel 5.4, yaitu sebagai berikut.

Tabel 5.4 Hasil gaya aksial akibat gaya guling tiap lantai

Lantai	$V_i$ (N)	$h_n$ (m)	$n_f$		Panjang Total Rangka (m)		$P_{ot}$ (N)		Syarat FEMA 310 $P_{ot} < (0,3 \cdot f'_c \cdot A_c)$ (N)
			X	Y	X	Y	X	Y	
Atap	665748,7	26	7	7	29,9	29,9	42411,129	42411,129	25789680
6	1750683,9	22,6	7	7	29,9	29,9	96942,079	96942,079	51579360
5	2661390	19,2	7	7	29,9	29,9	125200,46	125200,46	51579360
4	3412997,9	15,8	7	7	29,9	29,9	132126,3	132126,3	67772880
3	4057132,9	12,4	7	7	31,975	28,13	115265,07	131004,76	69572160
2	4647754,5	9	7	8	31,975	28,13	95839,047	95310,314	97332480
1	4928429,7	5	7	8	31,975	33,9	56459,284	46596,605	119823480
Dasar	0	0	7	8	31,975	33,9	0	0	0

Saat terjadi gempa bumi dapat menimbulkan goyangan bangunan dapat berakibat bangunan tersebut terguling. Analisis di atas adalah analisis pengecekan gaya guling tiap lantai. Tabel 5.4 di atas merupakan hasil akhir analisis gaya aksial akibat gaya guling tiap lantai. Syarat yang ditentukan oleh FEMA 310 yaitu gaya aksial akibat gaya guling harus lebih kecil dari  $0,3 \cdot f'_c \cdot A_c$ . Dari rincian hasil perhitungan tegangan aksial akibat gaya guling pada Tabel 5.4 didapat hasil kurang dari yang disyaratkan oleh FEMA 310, sehingga bangunan tersebut memenuhi persyaratan. Hasil tersebut menandakan bangunan aman terhadap gaya aksial akibat gaya guling yang perhitungannya dilakukan secara *quick check* dengan menggunakan persamaan (3.4). Analisis perhitungan dilakukan dengan 2 arah gaya yaitu gaya arah X dan gaya arah Y.

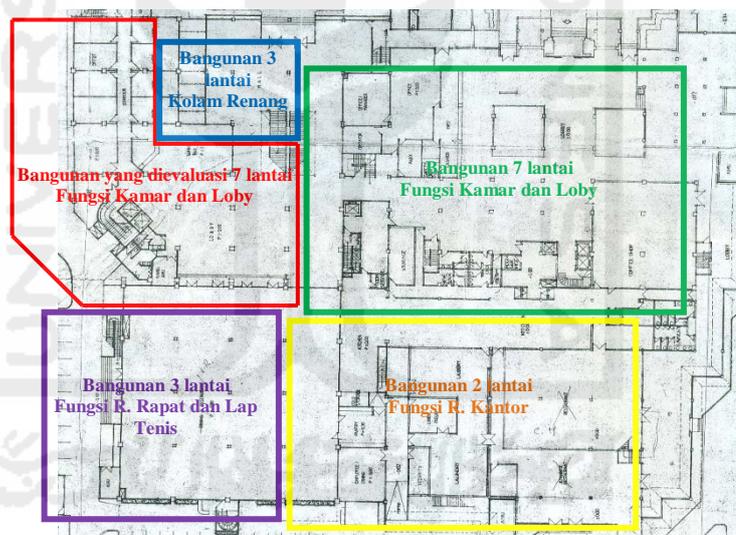
### 5.2.3. Checklist evaluasi tier 1 menurut standar FEMA 310

*Checklists* dibutuhkan sebagai fungsi wilayah kegunaan dan *level of performance* didaftarkan pada Tabel 3.3. *Checklists* yang dibutuhkan sesuai dengan Tabel 3.3 harus diselesaikan pada evaluasi tier 1. Setiap pernyataan evaluasi pada *checklist* harus diisi atau ditandai dengan pernyataan *compliant* (C),

*non-compliant* (NC) atau *non-applicable* (N/A). Pernyataan *compliant* (C) mengidentifikasi bahwa hal yang diperiksa dalam bagian evaluasi dapat diterima atau memenuhi kriteria yang digunakan, sedangkan *non-compliant* (NC) mengidentifikasi sebaliknya. Pernyataan *non-applicable* (N/A) yaitu mengidentifikasi bahwa bagian evaluasi tersebut tidak diaplikasikan atau diterapkan pada bangunan yang di evaluasinya.

Pada *checklist* evaluasi *tier 1* secara visual komponen struktur tipe C1 menggunakan form FEMA 310 (1998) terdapat beberapa bagian yang perlu dievaluasi pada komponen struktur antara lain sistem bangunan, sistem penahan gaya lateral serta hubungan kolom fondasi. Rincian *form* evaluasi pada komponen struktur tipe C1 dapat dilihat pada Lampiran 2 dan uraian hasil evaluasi pada tiap bagian adalah sebagai berikut.

a) Sistem bangunan



Gambar 5.3 Site plant Hotel Inna Garuda

Hasil evaluasi *checklist* pada sistem bangunan Hotel Inna Garuda *Extention* menurut FEMA 310 terdapat satu bagian sistem yang mengidentifikasi tidak memenuhi kriteria (NC) dan terdapat 2 bagian yang tidak diaplikasikan pada sistem bangunan (N/A). Bagian yang tidak memenuhi kriteria yaitu terdapat bangunan bersebelahan dengan bangunan yang dievaluasi dengan jarak kurang dari 4,0% dari tinggi bangunan yaitu 1,04 m dan dapat dilihat

pada Gambar 5.3. Dua bagian yang tidak diaplikasikan (N/A) yaitu pertama bangunan tidak memiliki tingkat mezanin didalam ruangan karena luasan lahan tiap lantai dipakai untuk ruang yang sesuai dengan fungsinya. Kedua angkur pasca tarik tidak diaplikasikan pada bangunan tersebut.

b) Sistem penahan gaya lateral

Sistem penahan gaya lateral ini memiki 4 bagian evaluasi yang 3 diantaranya telah memenuhi kriteria yang sesuai dengan FEMA 310 tetapi terdapat 1 bagian yang tidak memenuhi kriteria. Bagian yang tidak memenuhi kriteria yaitu bagian pemeriksaan tegangan geser pada kolom melebihi standar yang ditetapkan oleh FEMA 310 ( $0,166\sqrt{f'c}$ ) seperti pada Tabel 5.3. Hasil evaluasi sistem penahan gaya laeral secara keseluruhan dapat dilihat pada Lampiran 4.

c) Hubungan kolom dan fondasi

Penulangan kolom pada gedung ini diangkur kedalam fondasi serta panjang penyaluran tulangan pada kolom ke fondasi juga terpenuhi, sehingga dapat meningkatkan kapasitas tarik kolom. Pada bangunan gedung ini penyaluran beban dari kolom fondasi tidak terputus di balok, sehingga aman terhadap kerusakan akibat gaya gempa.

d) *Checklist* struktur pelengkap untuk bangunan tipe C1 pada sistem penahan gaya lateral

Pada Lampiran 2 merupakan hasil evaluasi *checklist* struktur pelengkap untuk bangunan tipe C1 yaitu *concrete moment frame*. Sistem penahan gaya lateral pada lantai dasar adalah balok sloof yang bukan merupakan komponen kolom dan pelat dasar sehingga memenuhi kriteria dari evaluasi struktur pelengkap. Bangunan Hotel Inna Garuda *Extention* ini merupakan bangunan dengan menggunakan material struktur beton bertulang dan tidak ada kombinasi dengan sistem struktur prategang atau sistem struktur pasca tarik, sehingga bagian ini dihasilkan *not applicable* (N/A).

Bagian tangga pada bangunan tersebut terdapat kolom pendek terkekang yang tinggi kolom tersebut kurang dari 75% tinggi tipikal antar lantai. Pada posisi tangga tersebut tinggi kolom pendek terkekang 2,20 m dengan tinggi tipikal bangunan 4,0 m dan nilai prosentasenya adalah 55%, sehingga hasilnya tidak

memenuhi kriteria yang ditetapkan oleh FEMA 310. Begitu pula pada bagian sambungan lewatan tulangan pada kolom kurang memenuhi kriteria yang mana dalam FEMA ditetapkan standar  $50d_b$  ( $50 \times 25 \text{ mm} = 1250 \text{ mm} = 1,25 \text{ m}$ ) dan hasil sambungan lewatan pada kolom terpasang sebesar  $40d_b$  yaitu 1,0 m dengan menggunakan tulangan diameter 25 mm.

Beberapa item pada bagaian evaluasi *checklist* struktur pelengkap telah memenuhi kriteria dari yang distandarkan oleh FEMA 310. Bagian yang memenuhi diantaranya adalah tentang kolom kuat balok lemah dengan penjelasan bahwa jumlah kuat nominal momen kolom yang terkecil harus 20% lebih besar dari jumlah kuat nominal balok dimuka hubungan balok kolom rangka. Sambungan lewatan untuk penulangan balok longitudinal harus ditempatkan lebih besar atau sama dengan  $I_b/4$  dari muka hubungan balok-kolom dan tidak boleh ditempatkan disekitar lokasi yang berpotensi terjadinya sendi plastis. Semua balok harus mempunyai sengkang dengan spasi sama dengan atau kurang dari  $d/2$  sepanjang panjangnya. Di lokasi yang berpotensi terjadinya sendi palstis sengkang tertutup pertama harus dipasang dengan spasi sama dengan atau kurang dari minimum sebesar  $8d_b$  atau  $d/4$ . Bagian yang lain yang memenuhi kriteria bahkan yang tidak memenuhi dan tidak diaplikasikan dapat dilihat secara detail pada Lampiran 1.

e) *Checklist* struktur pelengkap untuk bangunan tipe C1 pada sistem diafragma

Bagian sistem diafragma terdapat tiga item yang perlu di evaluasi dan satu diantara tiga bagian tersebut tidak terdapat pada rangakain tersebut (N/A). Bagian tersebut adalah bukaan pada diafragma harus ada penguatan pada sekeliling bukaan diafragma yang lebih dari 50% dari luas seluruh lantai tingkat. Pada bangunan Hotel Inna Garuda *Extentions* ini tidak terdapat bukaan pada bagian diafragma yang dengan prosentase 50% dari luas seluruh lantai tingkat. Dua item yang lainnya telah memenuhi kriteria yang ada dalam peraturan FEMA 310.

#### 5.2.4. Hasil Evaluasi Tier 1

Tahap analisis pengecekan *rapid visual screening* pada bangunan Hotel Inna Garuda *Extention* dengan menggunakan *form high seismicity* mendapatkan skor 0,5. Hasil *form high seismicity* tersebut dapat menunjukkan probabilitas kerusakan saat adanya gaya gempa. Skor yang didapat sebesar 0,5 mempunyai probabilitas kerusakan sebesar 31,62%. Syarat skor minimum yang ditentukan oleh standar FEMA 154 yaitu 2,0 dengan prosentase probabilitas kerusakan sebesar 1,0%. Hasil pengecekan evaluasi *rapid visual screening* pada bangunan tersebut tidak memenuhi ketentuan dari FEMA 154.

Pengecekan selain *rapid visual screening* adalah pengecekan *checklist* bangunan dan pengecekan *quick check* kekuatan struktur. Pengecekan tersebut masih termasuk di dalam evaluasi *tier 1*. Pengecekan *checklist* pada komponen struktur Hotel Inna Garuda *Extention* terdapat beberapa bagian yang dievaluasi tidak memenuhi kriteria *immediate occupancy* yang sesuai dengan acuan FEMA 310. Salah satu bagian yang tidak memenuhi kriteria dalam evaluasi *checklist* antara lain bagian bangunan yang bersebelahan. Bangunan yang bersebelahan tidak boleh berada di dekat bangunan yang dievaluasi dengan jarak kurang 4% dari tinggi bangunan, sedangkan bangunan yang di evaluasi pada penelitian ini berada di dekatnya kurang dari 4%. Bangunan yang dievaluasi dalam penelitian ini juga terdapat kolom pendek tekekang yang tidak memenuhi kriteria *checklist*.

Pengecekan *quick check* pada komponen struktur Hotel Inna Garuda *Extention* mempunyai bagian yang tidak memenuhi kriteria sesuai dengan FEMA 310. Kriteria yang tidak memenuhi dalam pengecekan *quick check* antara lain bangunan tersebut terdapat tingkat yang lemah (*weak story*) pada lantai 1 ke lantai 2 baik arah sumbu X dan arah sumbu Y. Hal tersebut dikarenakan adanya kekuatan sistem penahan gaya lateral kurang dari 80 % dari kekuatan tingkat yang berada didekatnya berdasarkan FEMA 310. Pada uraian evaluasi *tier 1* diatas terdapat beberapa hasil yang tidak memenuhi kriteria sesuai dengan acuan yang digunakannya, sehingga pada evaluasi *tier 1* dibutuhkan evaluasi lebih lanjut yaitu evaluasi *tier 2*.

### 5.3. Evaluasi Tahap 2 (*Tier 2 Evaluation*)

Evaluasi tahap 2 atau *tier 2* ini dilakukan karena terdapat beberapa item yang dievaluasi pada tahap 1 tidak memenuhi syarat kriteria yang ditentukan oleh FEMA 310. Beberapa analisis tersebut harus dievaluasi ke analisis yang lebih rinci dengan analisis beban gempa statik linier dan dengan bantuan program untuk analisa yaitu program ETAB'S dengan versi 9.6. Berikut ini adalah urutan analisis evaluasi *tier 2*.

#### 5.3.1. Analisis Gempa Statik Linier

##### 5.3.1.1. Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Setiap bangunan memiliki kategori resiko struktur bangunan gedung dan *non* gedung sesuai dengan standar SNI 1726-2012 tentang kegempaan. Bangunan ini mempunyai jenis pemanfaatan bangunan gedung apartemen atau rumah susun, sehingga sesuai dengan Tabel 3.9 bangunan gedung Inna Garuda *Extention* memenuhi kategori resiko bangunan II (dua). Dari kategori resiko tersebut dapat diketahui nilai faktor keutamaan gempa *I* dengan mengacu pada Tabel 3.9 sebesar 1,00.

##### 5.3.1.2. Analisis Respon Spektrum Menurut SNI 03-1726-2012

###### a) Data bangunan

Dalam analisis penelitian ini digunakan obyek penelitian Hotel Inna Garuda *Extention* dengan fungsi bangunan adalah perhotelan. Lokasi hotel yang berada di Jalan Malioboro no 60 Yogyakarta mempunyai kondisi jenis tanah sedang. Dalam perencanaan hotel tersebut ditetapkan mutu bahan yang digunakan yaitu untuk mutu beton adalah K-225 yang setara dengan  $f'c = 19,04$  MPa dan mutu baja untuk ulir U-40 atau setara dengan  $f_y = 400$  MPa, sedangkan untuk baja polos U-24 atau setara  $f_y = 240$  MPa. Dari hasil mutu bahan tersebut didapat modulus elastikitas 20508,38 MPa atau 209185,46 kg/cm<sup>2</sup>.

b) Kasifikasi situs tanah

Data tanah obyek penelitian untuk penelitian ini sangat terbatas dan untuk memperoleh hasil klasifikasi situs tidak bisa didapatkan baik dari parameter kecepatan rambat gelombang, penetrasi standar dan kuat geser. Untuk mendapatkan kalifikasi situs ini diambil dari sekeliling bangunan yang menggunakan data tanah dan diambil klasifikasi situs tanah sedang (SD).

c) Analisis spektrum respon desain seismik

Data parameter respon spektra percepatan di permukaan tanah untuk percepatan 0,2 detik ( $S_S$ ) dan 1,0 detik ( $S_I$ ) serta koefisien respon spektrum ( $C_{RS}$ ) dapat digunakan sesuai pada Gambar 3.4 sampai dengan Gambar 3.7. Data yang lain untuk perhitungan spektrum respon yaitu faktor amplifikasi baik untuk periode 0,2 detik dan 1,0 detik dapat digunakan sesuai Tabel 3.10 dan Tabel 3.11. Pada Tabel 5.5 merupakan hasil yang diperoleh dari data yang digunakan untuk analisis respon spektrum.

Tabel 5.5 Data perhitungan untuk analisis respon spektrum

Data	Simbol	Hasil
Respon spektrum percepatan 0,2 detik	$S_S$	1,35
Respon spektrum percepatan 1,0 detik	$S_I$	0,50
Koefisien respon spektrum 0,2 detik	$C_{RS}$ (0,2 dtk)	0,90
Koefisien respon spektrum 1,0 detik	$C_{RS}$ (1,0 dtk)	0,95
Faktor amplifikasi untuk periode 0,2 detik	$F_a$	1,00
Faktor amplifikasi untuk periode 1,0 detik	$F_v$	1,50

Dari Tabel 5.5 di atas nilai faktor amplifikasi baik periode pendek (0,2 detik) dan periode panjang (1,0 detik) didapat berdasarkan dari nilai respon spektrum percepatan baik perioda pendek dan perioda panjang. Langkah selanjutnya adalah mencari nilai  $S_{MS}$ ,  $S_{MI}$ ,  $S_{DS}$ ,  $S_{DI}$  dari persamaan (3.5) sampai dengan persamaan (3.8).

$$\begin{aligned} S_{MS} &= 1,00 \cdot 1,35 \\ &= 1,35 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{MI} &= 1,50 \cdot 0,50 \\ &= 0,75 \end{aligned}$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot 1,35 \cdot 0,90$$

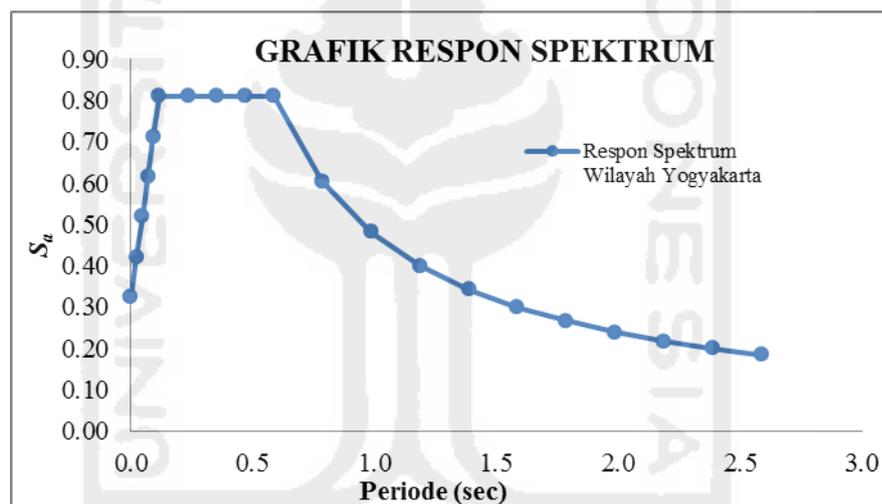
$$= 0,81$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} \cdot 0,75 \cdot 0,95$$

$$= 0,475$$

Nilai  $S_{DS}$ , dan  $S_{DI}$  dapat untuk menentukan kategori desain seismik yang mana ditetapkan dalam standar SNI 03-1726-2012 dengan menggunakan Tabel 3.12 dan Tabel 3.13, maka didapat kategori resiko “D” untuk perioda pendek sedangkan untuk perioda panjang didapat kategori resiko “D”

Dari hasil analisis di atas, dapat dibuat grafik respon spektrum yang dapat dilihat di Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Grafik respon spektrum hasil desain wilayah Kota Yogyakarta, tanah sedang

### 5.3.1.3. Faktor modifikasi respon ( $R$ )

Struktur bangunan gedung Hotel Inna Garuda *Extention* menggunakan bahan beton bertulang dengan sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus (SPRMK), didalam SNI 03-1726-2012 koefisien modifikasi respon ( $R$ ) didapat sebesar 8. Mengacu pada Tabel 3.16 batasan sistem struktur dan tinggi stuktur bangunan dengan sistem rangka SRPMK dan kategori resiko desain seismik “D” didapat hasil “TB” atau tidak dibatasi.

#### 5.3.1.4. Waktu Getar Alami Struktur ( $T$ ) dan Frekuensi ( $f$ )

Dalam analisa perhitungan periode fundamental pada penelitian menggunakan dua periode fundamental yaitu periode *uncrack* dan perioda *crack*. Untuk analisis kondisi *crack* merupakan kondisi balok sudah retak dan dapat dilakukan dengan cara mengganti nilai pada *momen of inertia about 2 axis* program ETAB's versi 9.6. Salah satu contoh analisa perhitngan nilai tersebut sebagai berikut.

Data:

Balok	: D1
Dimensi	: 40 x 54 cm
Lebar badan ( $bw$ )	: 40 cm
Tinggi balok ( $h$ )	: 54 cm
Lebar sayap ( $bf$ )	: 96 cm
Tinggi sayap ( $tf$ )	: 12 cm

Analisis:

$$\begin{aligned} \text{Inersia balok persegi } (I_p) &= 1/12 \cdot bf \cdot h^3 \\ &= 524880 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Titik berat penampang } (y) &= \frac{(A_1 \cdot y_1) + (A_2 \cdot y_2)}{A_1 + A_2} \\ &= \frac{(2160 \cdot 27) + (672 \cdot 6)}{2160 + 672} \end{aligned}$$

$$= 22,0169 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Inersia balok T } (I_t) &= (1/12 \cdot bw \cdot h^3) + (A_1 \cdot e_1^2) + (1/12 \cdot bf_e \cdot tf^3) + (A_2 \cdot e_2^2) \\ &= (1/12 \cdot 40 \cdot 54^3) + (2160 \cdot 4,983^2) + (1/12 \cdot 56 \cdot 12^2) + \\ &\quad (672 \cdot 16,017^2) \\ &= 758975,19 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\frac{I_p}{I_t} = 1,446$$

Analisis orde kedua elastik pada komponen balok lentur dengan tipe balok D1 didapat angka  $1,446 \times 0,35 = 0,506$ . Untuk tipe balok yang lain dapat di

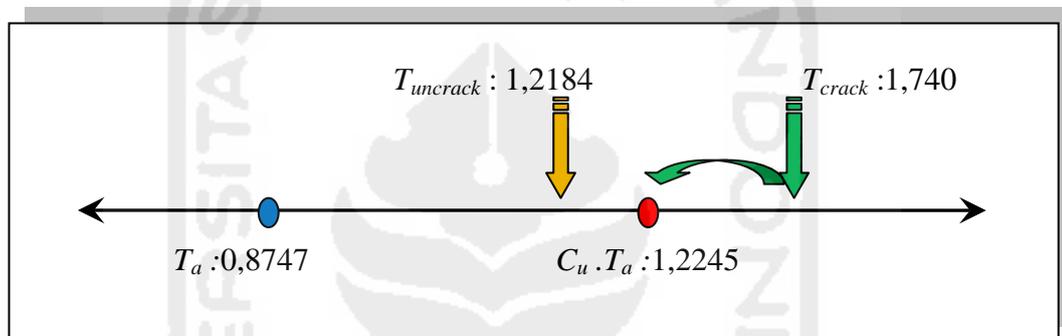
lihat pada Lampiran 4. Analisis pada ETAB's didapat hasil perioda fundamental *uncrack* dan perioda fundamental *crack*.

$$\begin{aligned} T_a &= 0,0466 \cdot 26,0^{0,9} \text{ (Pers. 3.9)} \\ &= 0,8747 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$T_{uncrack} = 1,2184 \text{ detik}$$

$$T_{crack} = 1,740 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned} C_u \cdot T_a &= 1,4 \cdot 0,8747 \\ &= 1,2245 \text{ detik} \end{aligned}$$



Gambar 5.5 Hasil analisis batas-batas perioda fundamental yang digunakan

Hasil analisis perioda fundamental struktur yang didapat untuk kondisi balok *uncrack* didapat hasil diantara  $T_a$  dan  $C_u \cdot T_a$  dengan nilai 1,2184 detik, akan tetapi untuk hasil kondisi balok *crack* melebihi batas maksimal yang di syaratkan oleh SNI 03-1726-2012 yaitu  $C_u \cdot T_a$  dengan nilai 1,2245 detik. Seperti terlihat pada Gambar 5.5, maka untuk analisis selanjutnya menggunakan perioda maksimal atau  $C_u \cdot T_a$  dengan nilai 1,2245 detik.

Dari pemodelan struktur *open frame* pada objek penelitian Hotel Inna Garuda *Extention* dengan tumpuan jepit di fondasi diperoleh waktu getar alami struktur ( $T$ ) dan frekuensi ( $f$ ) pada setiap mode (ragam getaran) seperti yang ditabelkan pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Waktu getar alami struktur ( $T$ ) dan frekuensi ( $f$ )

Mode	Balok <i>Uncrack</i>		Balok <i>Crack</i>	
	Period <i>Sec</i>	Frek <i>Cyc/Sec</i>	Period <i>Sec</i>	Frek <i>Cyc/Sec</i>
1	1,2184	0,8207	1,7403	0,5746
2	1,1737	0,8520	1,6815	0,5947
3	1,0925	0,9153	1,5318	0,6528
4	0,4760	2,1010	0,6327	1,5805
5	0,4597	2,1755	0,6179	1,6183
6	0,4233	2,3625	0,5619	1,7796
7	0,2848	3,5116	0,3499	2,8580
8	0,2737	3,6540	0,3396	2,9447
9	0,2547	3,9263	0,3136	3,1887
10	0,1971	5,0740	0,2311	4,3274
11	0,1863	5,3664	0,2240	4,4650
12	0,1756	5,6941	0,2102	4,7579

### 5.3.1.5. Gaya Geser Dasar Menurut SNI 03-1726-2012

Penentuan perioda fundamental struktur pada bangunan Hotel Inna Garuda *Extention* telah didapat dari analisa sebelumnya yang mana perioda struktur ( $T$ ) yang diambil sebesar 1,2245 detik.

Penentuan nilai koefisien *respon seismik* ( $C$ ) adalah sebagai berikut :

$$C = \frac{0,810}{\left(\frac{8,0}{1,0}\right)} \text{ (Pers. 3.11)}$$

$$= 0,10125$$

Nilai koefisien *respon seismik* ( $C$ ) di atas tidak perlu melebihi dari

$$C = \frac{0,475}{1,2245 \left(\frac{8,0}{1,0}\right)} \text{ (Pers. 3.12)}$$

$$= 0,04849$$

dan harus tidak kurang dari

$$C = 0,044 \cdot 0,810 \cdot 1,0 \text{ (Pers. 3.13)}$$

$$= 0,03564$$

sehingga nilai koefisien seismik diambil nilai  $C = 0,04849$ .

Untuk analisa gaya geser dasar dapat digunakan persamaan (3.15) pada bab sebelumnya, dan didapat hasil  $V = 501,81$  ton dengan nilai  $k = 1,36225$ .

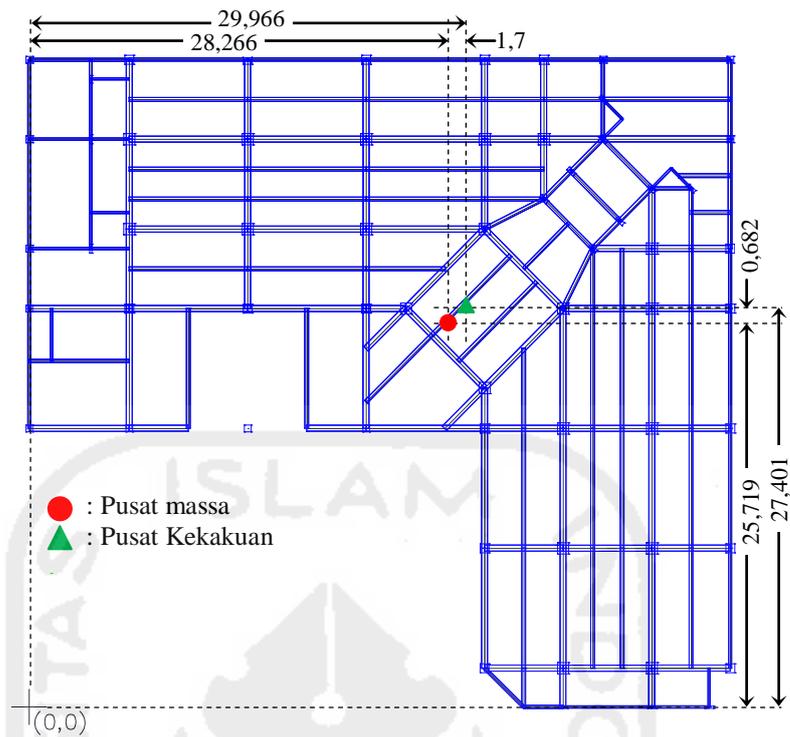
### 5.3.1.6. Pusat Massa, Pusat Kekakuan dan Eksentrisitas

Tabel 5.7 adalah hasil analisis yang diperoleh dari pusat massa, pusat kekakuan dan eksentrisitas bangunan untuk tiap lantai dengan menggunakan program ETAB'S. Untuk lebih jelas koordinat dari pusat masa dan pusat kekakuan dari Tabel 5.7 dapat dilihat pada Gambar 5.6 sampai dengan Gambar 5.12.

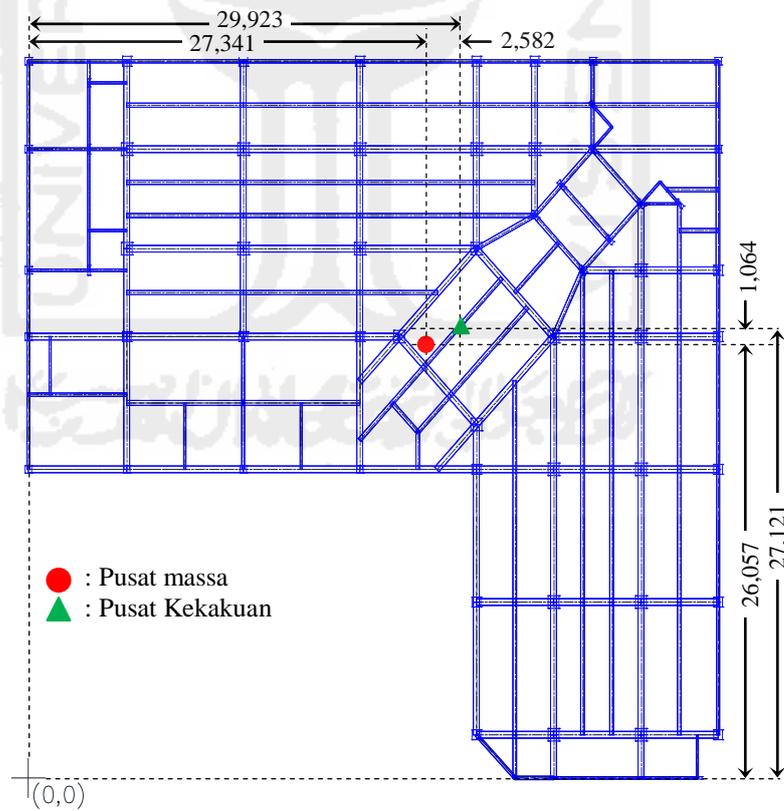
Tabel 5.7 Pusat massa, pusat kekakuan dan eksentrisitas

Lantai	Pusat Massa		Pusat Kekakuan		Eksentrisitas	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
1	28,266	25,719	29,966	26,401	1,7	0,682
2	27,341	26,057	29,923	27,121	2,582	1,064
3	28,306	25,791	29,619	27,182	1,313	1,391
4	30,184	25,526	29,85	27,111	-0,334	1,585
5	30,117	25,561	30,132	26,978	0,015	1,417
6	30,127	25,549	30,389	26,939	0,262	1,39
Atap	29,922	27,212	30,556	26,93	0,634	-0,282

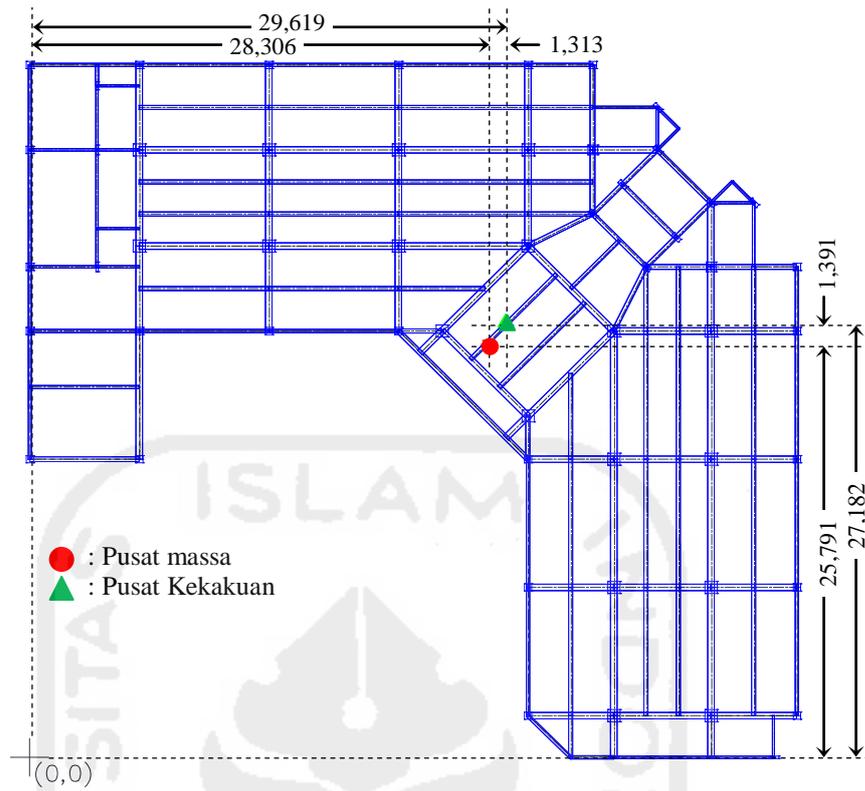
Eksentrisitas bangunan diatas dihasilkan dari selisih antara pusat kekakuan dengan pusat massa. Adanya eksentrisitas bangunan dikarenakan adanya beban grafitasi yang tidak simetris, sehingga titik antara pusat massa dengan titik pusat kekakuan berbeda. Eksentrisitas bangunan dapat mempengaruhi dari hasil analisis pada setiap komponen elemen struktur antara lain gaya geser, momen, puntir, dan aksial. Letak titik pusat massa dan titik pusat kekakuan serta jarak eksentrisitas pada tiap lantai dapat dilihat pada Gambar 5.6 sampai dengan Gambar 5.12.



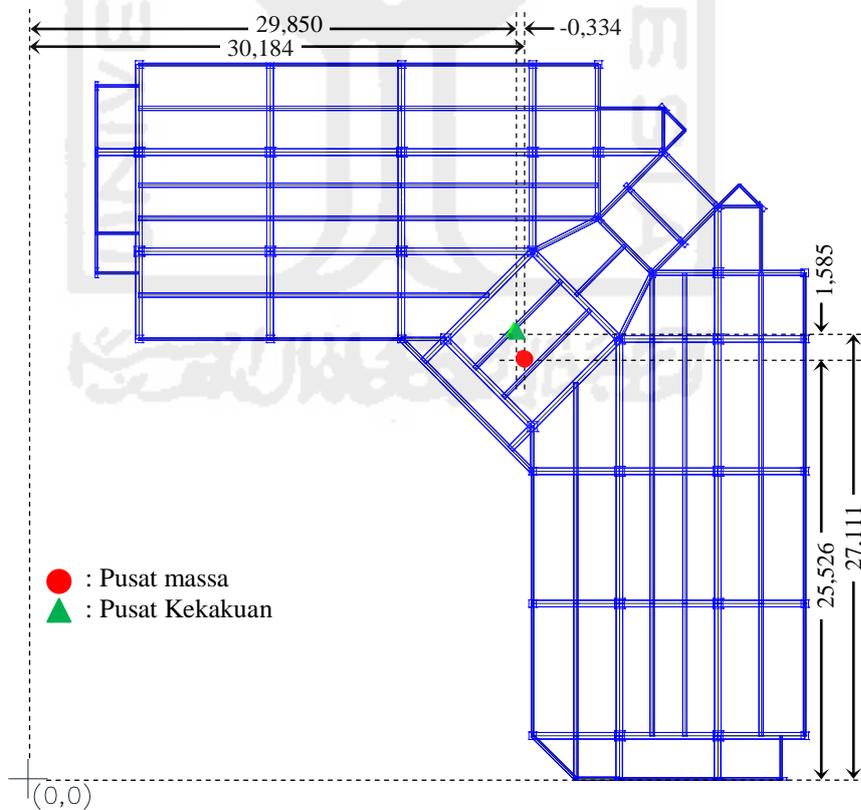
Gambar 5.6 Denah pusat massa dan pusat kekakuan struktur lantai 1



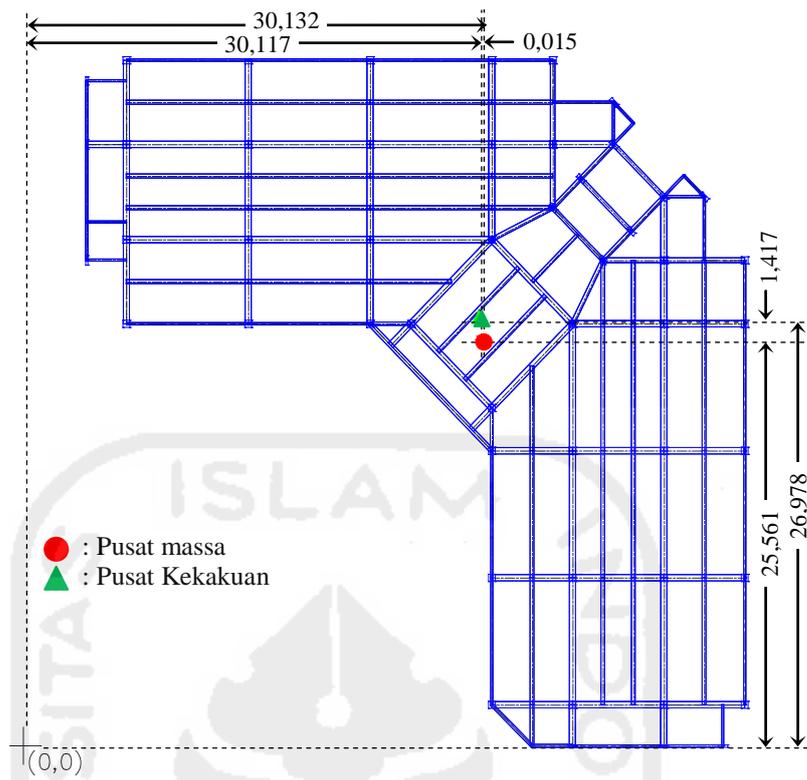
Gambar 5.7 Denah pusat massa dan pusat kekakuan struktur lantai 2



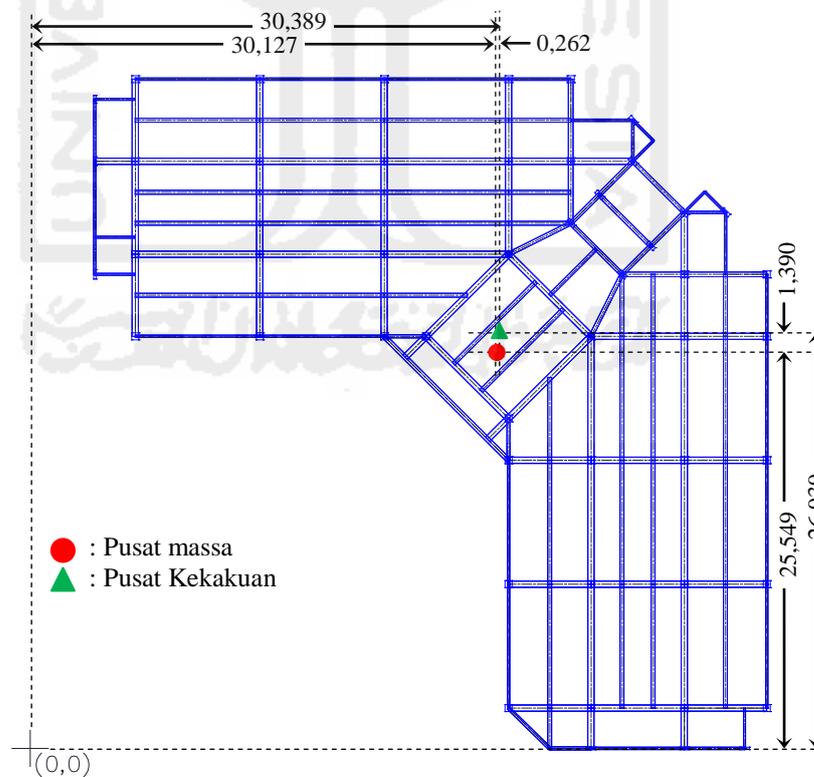
Gambar 5.8 Denah pusat massa dan pusat kekakuan struktur lantai 3



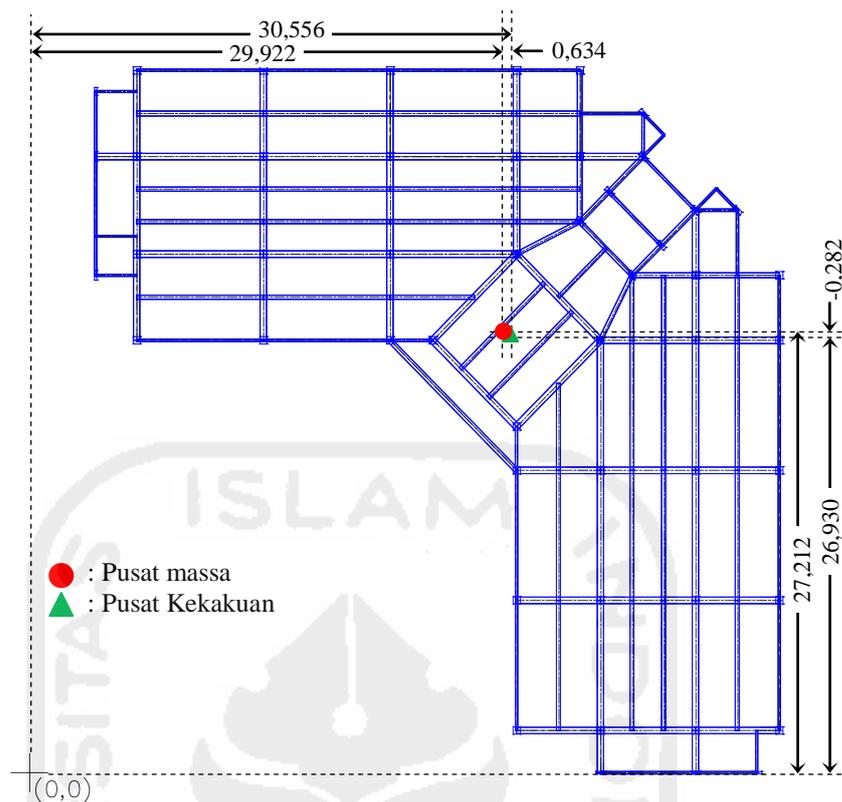
Gambar 5.9 Denah pusat massa dan pusat kekakuan struktur lantai 4



Gambar 5.10 Denah pusat massa dan pusat kekakuan struktur lantai 5



Gambar 5.11 Denah pusat massa dan pusat kekakuan struktur lantai 6



Gambar 5.12 Denah pusat massa dan pusat kekakuan struktur lantai atap

### 5.3.2. Analisis Gempa Dinamik Elastik Linier

Respon spektrum yang telah dianalisis sebelumnya digunakan untuk analisis beban gempa dinamik elastik. Analisis beban gempa dinamik elastik linier dimasukkan dalam program ETAB'S V. 9.6 begitu juga untuk pemodelannya.

#### 5.3.2.1. Partisipasi Massa

Diketahui bahwa partisipasi massa (*mass participation ratio*) harus memenuhi dengan syarat SNI 03 1726 2012 Pasal 7.9.1, dengan minimal 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau oleh model. Pada Tabel 5.8 dapat ditunjukkan nilai partisipasi massa untuk arah-x dan arah-y pada *mode-6* sudah melebihi 90% sehingga sudah memenuhi persyaratan.

Sesuai dengan pasal 7.9.2 SNI 1726 2012 untuk nilai respon spektrum harus dikoreksi dengan cara dikalikan dengan faktor ( $I_g/R$ ) dengan  $I$  adalah faktor keutamaan bangunan sebesar 1,0 dan  $R$  adalah faktor modifikasi respon (faktor

reduksi) yang nilainya diambil 8,0. Nilai  $g$  adalah nilai percepatan gravitasi bumi sebesar  $9,81 \text{ m/s}^2$ . Nilai koreksi untuk arah utama, pembebanan gempa dianggap efektif 100% yaitu:  $\frac{I}{R} g = \frac{1}{8,0} \cdot 9,81 = 1,226$ . Nilai koreksi untuk arah tegak lurus pada arah utama, pembebanan gempa dianggap efektif 30% yaitu:  $\frac{I}{R} g = \frac{1}{8,0} \cdot 9,81 \cdot 30\% = 0,368$ .

Tabel 5.8 *Mass participating ratio*

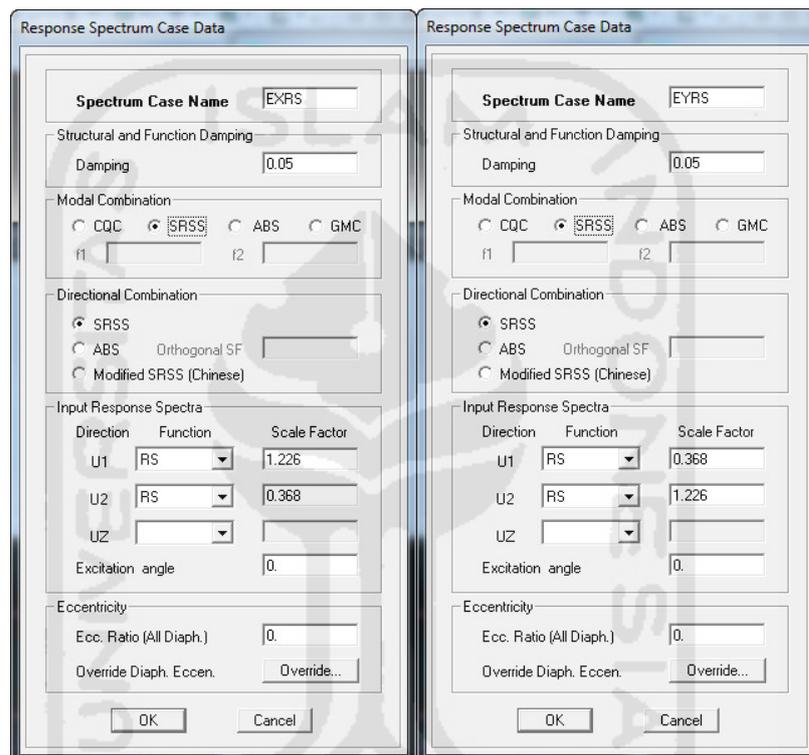
<i>Mode</i>	<i>Mass Participating Ratio</i>	
	<i>SumUX</i>	<i>SumUY</i>
1	59,7382	13,7764
2	71,4779	75,6069
3	76,8733	76,4220
4	79,7605	86,9102
5	89,8056	88,2205
6	90,8263	90,8517
7	92,5820	93,4750
8	95,1309	94,5890
9	95,3466	95,3707
10	96,1576	96,2411
11	97,0384	96,9506
12	97,1087	97,0779

### 5.3.2.2. Kontrol Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Untuk analisa gaya geser dasar untuk analisis dinamik elastik dapat dilakukan dengan menggunakan program ETABS dengan memasukkan data respon spektrum dan memasukkan koreksi respon spektrum untuk arah pembebanan gempa. Gambar 5.13 memperlihatkan input data arah pembebanan gempa.

Dalam peraturan keempaan SNI 03-1926-2012 pada pasal diterangkan bahwa gaya geser dasar ( $V$ ) harus dihitung dalam masing-masing dua arah horizontal orthogonal menggunakan perioda fundamental struktur yang dihitung ( $T$ ) dalam masing-masing arah. Bila perioda fundamental yang dihitung melebihi  $C_u T_a$ , maka  $C_u T_a$  harus digunakan sebagai pengganti dari  $T$  dalam arah itu.

Kombinasi respon untuk geser dasar ragam ( $V_t$ ) lebih kecil 85% dari gaya dasar yang dihitung ( $V$ ) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka harus dikalikan dengan  $0,85 \frac{V}{V_t}$ . Gambar 5.14 memperlihatkan hasil analisis  $V_t$  dan  $V$  dari program ETAB'S.



Gambar 5.13 Input data arah pembebanan gempa sebelum dikoreksi

Dapat diketahui hasil gaya geser dasar statik ( $V$ ) baik arah sumbu X dan sumbu Y nilainya sama yaitu 501,81 ton dan nilai untuk gaya geser dasar ragam nilainya lebih kecil dari  $0,85V$  (426,581 ton) dengan nilainya sebesar  $V_{tX} = 259,70$  ton untuk arah sumbu X dan sebesar  $V_{tY} = 278,79$  untuk arah sumbu Y.

Arah sumbu X

$$\begin{aligned} \frac{V}{V_{tX}} &= \frac{501,81}{259,70} \\ &= 1,9323 \end{aligned}$$

Hasil akhir untuk faktor skala arah subu X setelah dikalikan dengan  $\frac{I}{R}g$  adalah  $1,923 \times 1,226 = 2,3690$  dan untuk arah sebaliknya adalah  $30\% \times 2,3690 = 0,7107$

Story	Load	Loc	P	VX	VY	T	MX	MY
STORY3	EYRS	Bottom	0.00	131.09	220.77	7754.532	2422.352	1413.1
STORY2	EX	Top	0.00	-483.92	0.02	12552.843	-0.230	-4836.3
STORY2	EX	Bottom	0.00	-483.92	0.02	12552.843	-0.302	-6772.0
STORY2	EY	Top	0.00	0.02	-483.84	-14330.885	4835.595	0.192
STORY2	EY	Bottom	0.00	0.02	-483.84	-14330.885	6770.962	0.253
STORY2	EXRS	Top	0.00	238.59	153.93	5451.965	1461.432	2270.3
STORY2	EXRS	Bottom	0.00	238.59	153.93	5451.965	2016.756	3095.7
STORY2	EYRS	Top	0.00	151.06	257.70	8864.984	2422.352	1413.1
STORY2	EYRS	Bottom	0.00	151.06	257.70	8864.984	3343.044	1953.8
STORY1	EX	Top	0.00	-501.81	0.02	13014.362	-0.302	-6772.0
STORY1	EX	Bottom	0.00	-501.81	0.02	13014.362	-0.399	-9281.0
STORY1	EY	Top	0.00	0.02	-501.73	-14837.769	6770.962	0.253
STORY1	EY	Bottom	0.00	0.02	-501.73	-14837.769	9279.622	0.337
STORY1	EXRS	Top	0.00	259.70	166.97	6036.680	2016.756	3095.7
STORY1	EXRS	Bottom	0.00	259.70	166.97	6036.680	2781.631	4256.1
STORY1	EYRS	Top	0.00	164.19	278.79	9469.262	3343.044	1953.8
STORY1	EYRS	Bottom	0.00	164.19	278.79	9469.262	4620.516	2702.9

Gambar 5.14 Hasil *output* gaya geser dasar pada ETAB's

Arah sumbu Y

$$\frac{V}{V_{tY}} = \frac{501,73}{278,79} = 1,7997$$

Hasil akhir untuk faktor skala arah subu Y setelah dikalikan dengan  $\frac{I}{R}g$  adalah  $1,7997 \times 1,226 = 2,2064$  dan untuk arah sebaliknya adalah  $30\% \times 2,2064 = 0,6619$

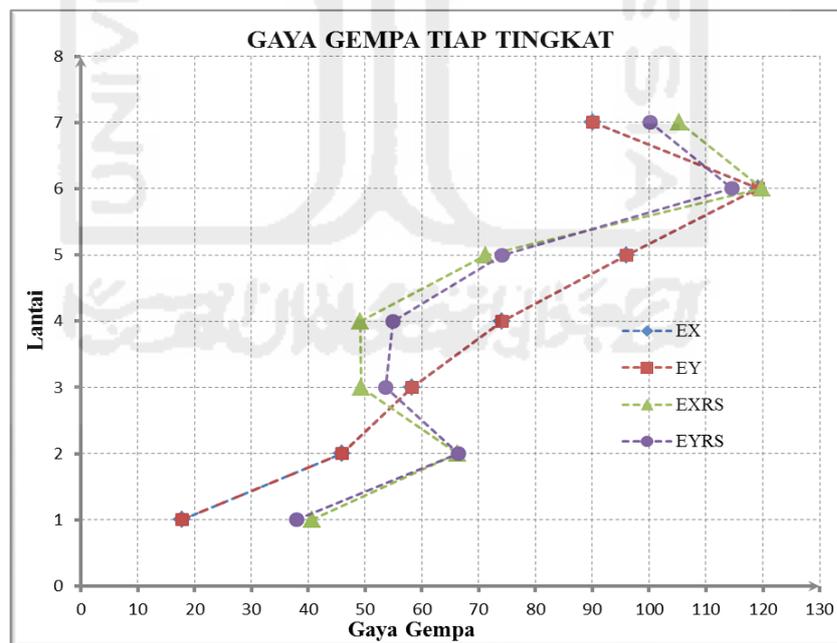
### 5.3.2.3. Gaya Gempa Tiap Tingkat ( $F_i$ )

Hasil perhitungan kontrol gaya geser dasar bangunan yang sudah memenuhi syarat dalam SNI 03-1726-2012 tersebut kemudian dimasukkan dalam program ETAB's. Dengan bantuan program ETAB's tersebut juga dapat

dihasilkan gaya gempa tiap tingkat baik dari statik ekuivalen maupun respon spektrum. Nilai gaya gempa tiap tingkat baik dari statik ekivalen maupun respon spektrum dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Gambar 5.15. Hasil tersebut ditampilkan untuk mempermudah membandingkan hasil dari nilai gaya gempa tiap tingkat baik dari statik ekivalen maupun respon spektrum.

Tabel 5.9 Gaya gempa tiap tingkat

Lantai	Statik Ekivalen		Respon Spektrum	
	EX	EY	EXRS	EYRS
1	17,86	17,86	40,76	37,94
2	45,94	45,94	66,3	66,44
3	58,34	58,31	49,24	53,58
4	74,13	74,13	49,23	54,92
5	95,95	95,99	71,19	74,12
6	119,24	119,22	119,88	114,6
7	90,14	90,09	105,21	100,17
Jumlah	501,6	501,54	501,81	501,77



Gambar 5.15 Ploting gaya gempa tiap tingkat statik ekivalen dan respon spektrum

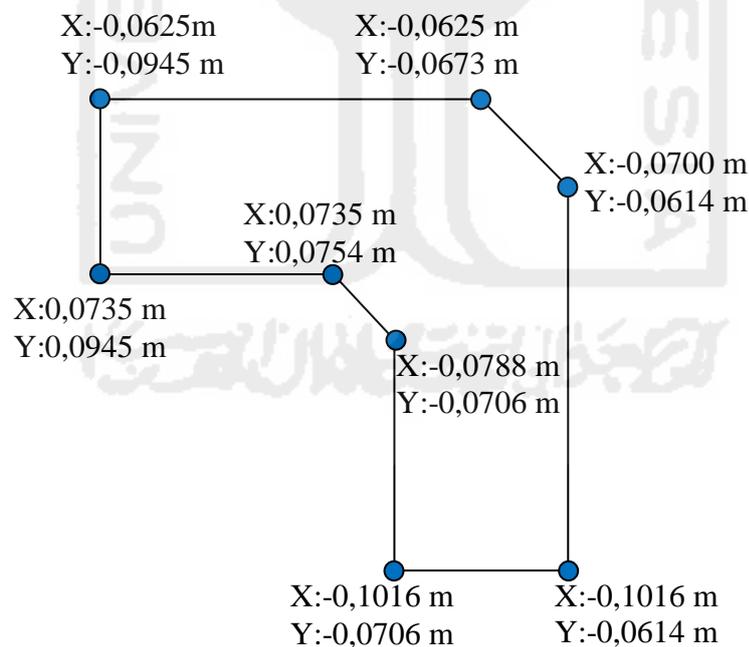
Bentuk dari kurva gaya gempa statik ekuivalen dan kurva gaya gempa respon spektrum sangat berbeda. Perbedaan bentuk dari kedua kurva dapat mempengaruhi hasil analisis nilai diagram dari setiap gaya dan momen. Bentuk dari kurva gaya gempa respon spektrum untuk arah sumbu X dan sumbu Y tetap sama namun nilai berbeda. Hal itu dikarenakan dipengaruhi oleh bentuk maupun geometri struktur bangunan tersebut.

#### 5.3.2.4. Kontrol Ketidakberaturan Bangunan

##### 1. Ketidakberaturan Horizontal

##### a. Ketidakberaturan torsi

Data nilai ketidakberaturan ini diambil dari hasil analisis *displacement* struktur tingkat atas dengan bantuan analisis menggunakan program ETAB's. Hasil dari data *displacement* tersebut diambil dari ujung-ujung stuktur dan kemudian dapat di petakan seperti pada Gambar 5.16.



Gambar 5.16 Hasil *displacement* pada ujung-ujung bangunan tingkat atas

Dari data *displacement* tersebut dapat dianalisis ketidakberaturan torsi pada tiap sumbu horizontal.

Arah sumbu X

$$\delta_{Xmin} = -0,0625 \text{ m}$$

$$\delta_{Xmax} = -0,1016 \text{ m}$$

$$\delta_{Xavg} = \frac{(-0,0625) + (-0,1016)}{2}$$

$$= -0,08205 \text{ m}$$

$$\frac{\delta_{Xmax}}{\delta_{avg}} = \frac{-0,1016}{-0,08205}$$

$$= 1,2383 > 1,2 \text{ (adanya ketidakberaturan torsi 1.a pada arah}$$

sumbu X)

Arah sumbu Y

$$\delta_{Ymin} = -0,0614 \text{ m}$$

$$\delta_{Ymax} = -0,0945 \text{ m}$$

$$\delta_{Yavg} = \frac{(-0,0614) + (-0,0945)}{2}$$

$$= -0,07795 \text{ m}$$

$$\frac{\delta_{Ymax}}{\delta_{avg}} = \frac{-0,0945}{-0,07795}$$

$$= 1,2123 > 1,2 \text{ (adanya ketidakberaturan torsi 1.a pada arah}$$

sumbu Y)

Dalam bab sebelumnya dijelaskan bahwa syarat tidak adanya ketidakberaturan torsi jika  $\frac{\delta_{Ymax}}{\delta_{avg}}$  kurang dari 1,2. Bangunan gedung Hotel Inna

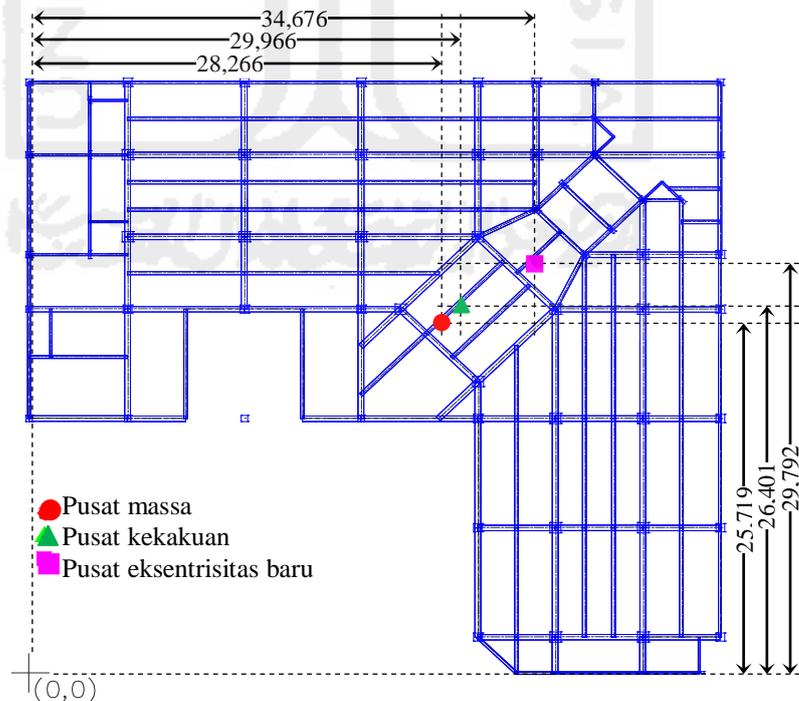
Garuda *Extention* ini memiliki nilai  $\frac{\delta_{Ymax}}{\delta_{avg}}$  lebih besar dari 1,2, sehingga

bangunan tersebut memiliki ketidakberaturan torsi 1.a. Hasil tersebut akan mempengaruhi letak eksentrisitas untuk memasukkan data gaya gempa di setiap lantai. Letak titik eksentrisitas baru dapat dilihat pada Tabel 5.10.

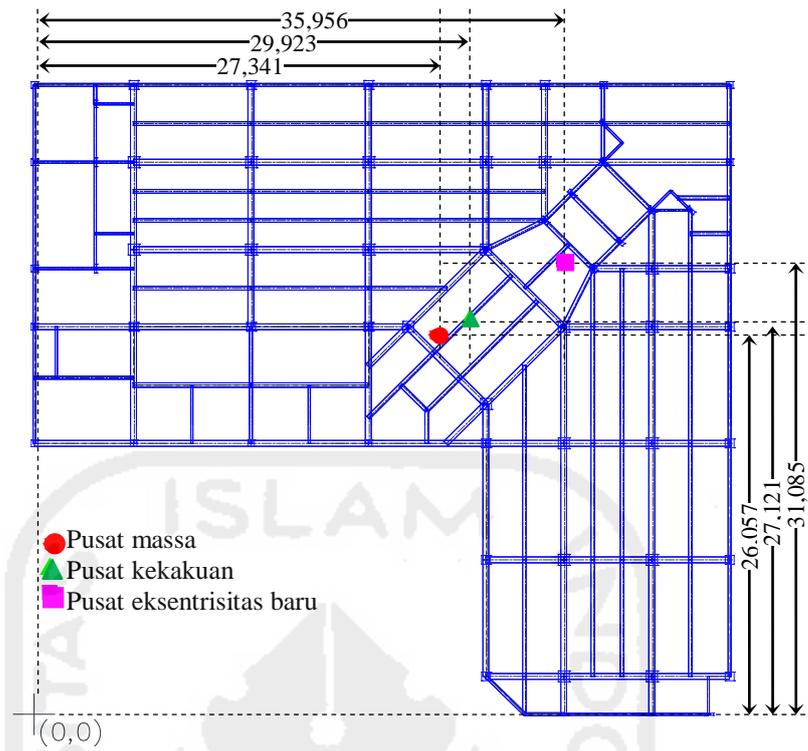
Tabel 5.10 Koordinat pusat massa, pusat kekakuan dan pusat eksentrisitas baru

Lantai	Pusat Massa		Pusat Kekakuan		Eksentrisitas Baru	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
1	28,266	25,719	29,966	26,401	34,676	29,7915
2	27,341	26,057	29,923	27,121	35,956	31,0845
3	28,306	25,791	29,619	27,182	33,7485	31,636
4	30,184	25,526	29,850	27,111	31,509	31,856
5	30,117	25,561	30,132	26,978	32,3145	31,471
6	30,127	25,549	30,389	26,939	32,942	31,3915
Atap	29,922	27,212	30,556	26,930	33,667	28,8745

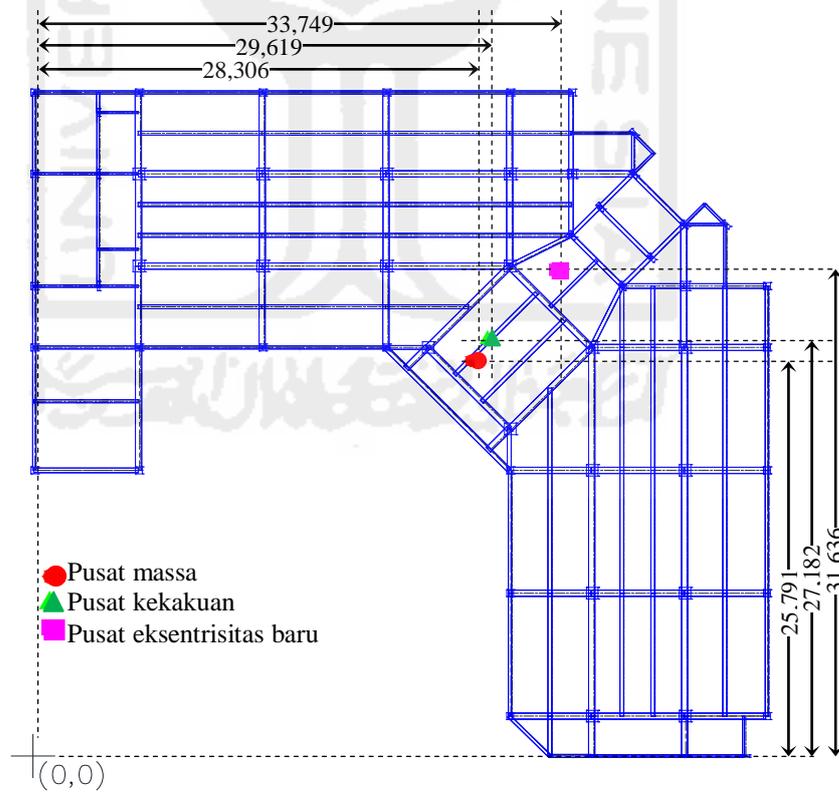
Dalam bangunan Hotel Inna Garuda *Extention* terdapat adanya ketidakberaturan torsi 1.a, maka pusat eksentrisitas untuk pembebanan gempa bergeser. Seberapa jauh pergeseran antara eksentrisitas dengan pusat massa dan pusat kekakuan dapat dilihat pada Tabel 5.10. Untuk melihat titik pergeseran tersebut secara *visual* dapat dilihat pada Gambar 5.17 sampai dengan Gambar 5.23. Gambar tersebut dapat terlihat jelas titik lokasi perpindahan pusat eksentrisitas baru untuk pembebanan gempa yang ditunjukkan dengan warna merah muda, sedangkan pusat pembebanan gempa awal yaitu pusat massa yang ditunjukkan dengan warna merah.



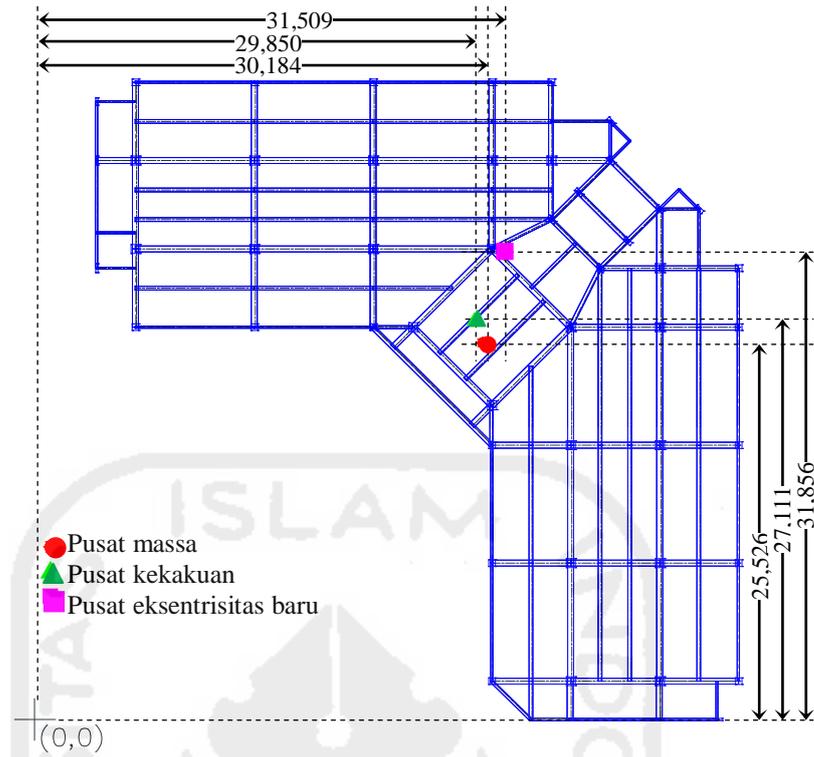
Gambar 5.17 Letak pusat massa, pusat kekakuan dan eksentrisitas baru lantai 1



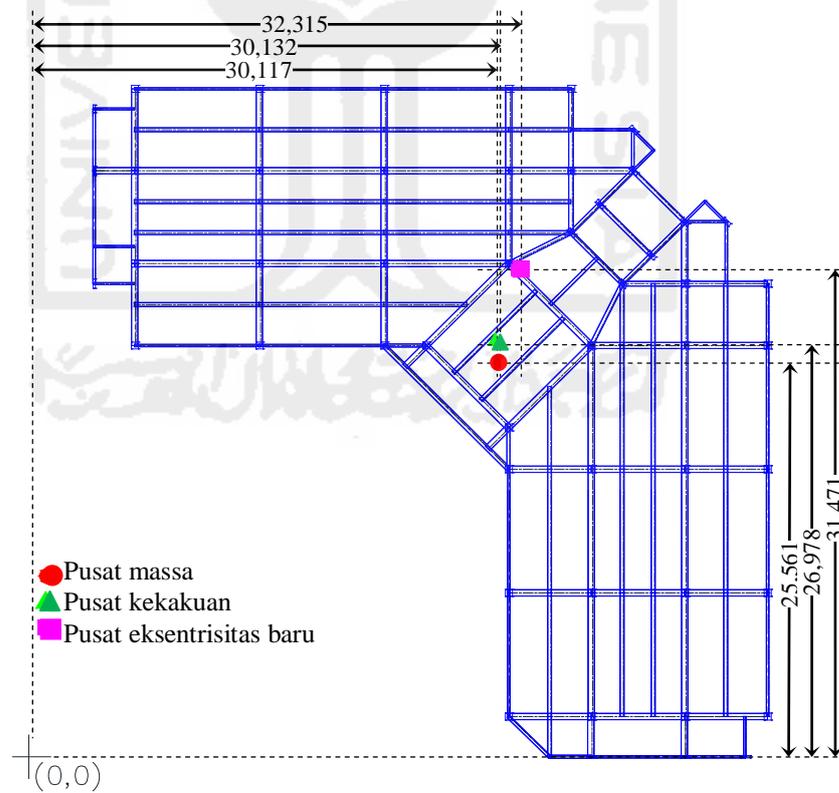
Gambar 5.18 Letak pusat massa, pusat kekakuan dan eksentrisitas baru lantai 2



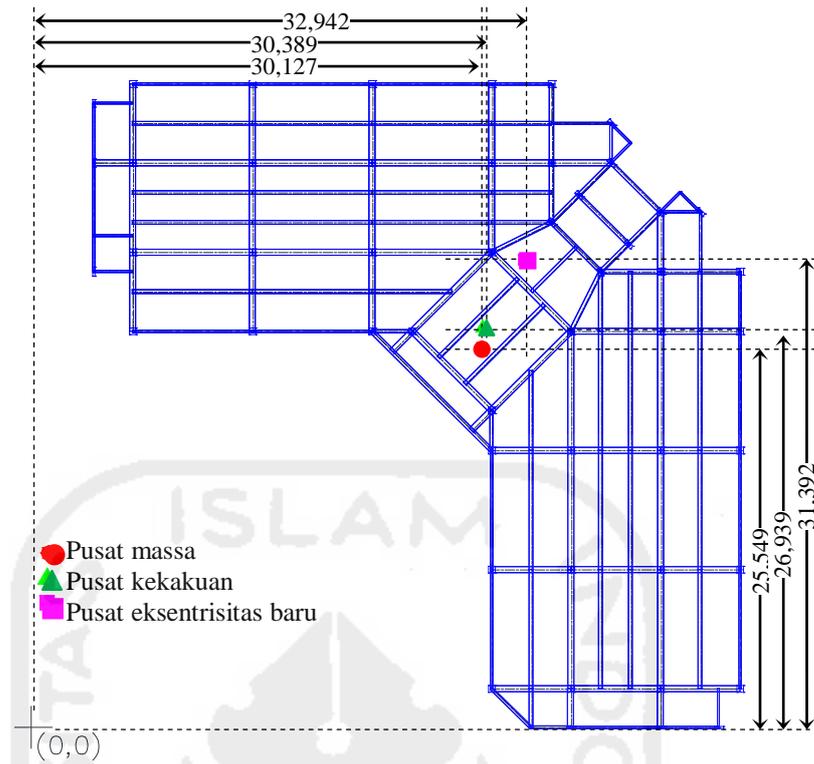
Gambar 5.19 Letak pusat massa, pusat kekakuan dan eksentrisitas baru lantai 3



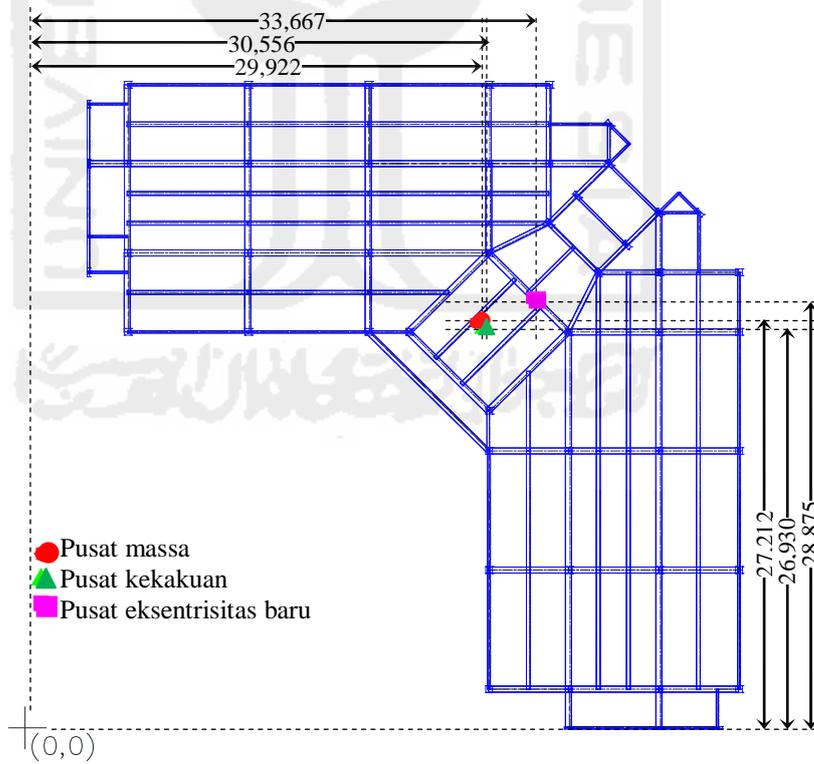
Gambar 5.20 Letak pusat massa, pusat kekakuan dan eksentrisitas baru lantai 4



Gambar 5.21 Letak pusat massa, pusat kekakuan dan eksentrisitas baru lantai 5



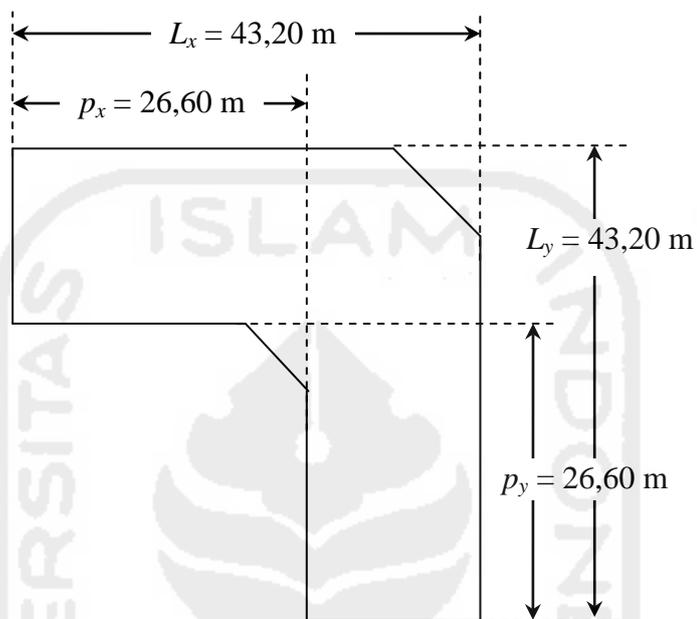
Gambar 5.22 Letak pusat massa, pusat kekakuan dan eksentrisitas baru lantai 6



Gambar 5.23 Letak pusat massa, pusat kekakuan dan eksentrisitas baru lantai atap

b. Ketidakberaturan sudut dalam

Dimensi bangunan secara keseluruhan pada gedung Hotel Inna Garuda *Extention* dapat digambarkan pada Gambar 5.24.



Gambar 5.24 Dimensi bangunan secara keseluruhan

Analisis untuk mengetahui ketidakberaturan sudut dalam adalah sebagai berikut :

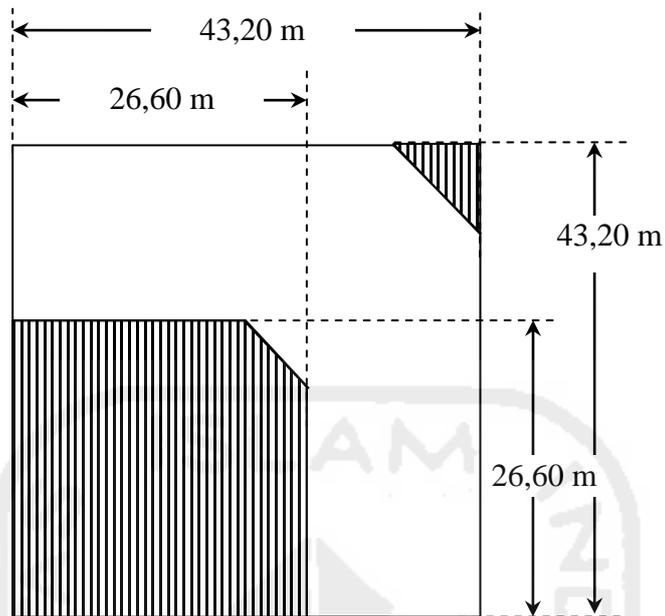
$$\frac{p_y}{L_y} = \frac{p_x}{L_x} = \frac{26,60}{43,20}$$

$$= 0,6157 > 0,15$$

Terlihat bahwa hasil analisis ketidakberaturan sudut dalam di atas nilainya lebih dari 0,15 dari standar SNI 03-1726-2012 yang berarti bahwa bangunan tersebut memiliki ketidakberaturan sudut dalam.

c. Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

Bentuk denah lantai dapat dilihat pada Gambar 5.25 untuk mengetahui adanya ketidakberaturan diskontinuitas diafragma.



Gambar 5.25 Denah bukaan bangunan secara keseluruhan

$$\text{Luasan bukaan } (A_n) = 803,96 \text{ m}^2$$

$$\text{Luasan seluruhnya } (A_c) = 1866,24 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \frac{A_n}{A_c} &= \frac{803,96}{1866,24} \\ &= 0,4310 \\ &= 43,10 \% < 50\% \end{aligned}$$

Bangunan tersebut tidak memiliki ketidakberaturan diskontinuitas diafragma karena hasil dari perbandingan luasan diafragma bruto dengan luasan diafragma bukaan kurang dari 50 persen.

d. Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang

Bentuk bangunan dalam penelitian ini seperti pada halaman lampiran bahwa bangunan tersebut tidak memiliki ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang seperti yang dijelaskan pada Gambar 3.15. Bangunan dalam penelitian ini beban-beban pada stuktur utama mengarah sesuai dengan fungsinya sehingga tidak terjadi pergeseran melintang.

e. Ketidakberaturan sistem penahan *non* paralel

Bangunan ada ketidakberaturan sistem penahan gaya lateral vertikal parallel atau simetris terhadap sumbu *orthogonal* utama sistem penahan gaya gempa. Bangunan yang digunakan dalam penelitian ini memiliki elemen yang tidak vertikal terhadap sumbu-sumbu *orthogonal* utama sistem penahan gaya gempa. Terdapat beberapa elemen yang tidak simetris terhadap sumbu *orthogonal* utama yang letaknya di persimpangan bangunan atau didekat *lift* Hotel Inna Garuda *Extention*, sehingga dalam hal ini bangunan tersebut perlu adanya evaluasi lebih lanjut atau *tier 3* untuk memastikan kekuatan elemen tersebut.

## 2. Ketidakberaturan Vertikal

### a. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak

Tabel 5.11 di bawah terlihat nilai prosentase kekakuan tingkat di atasnya, dan tidak terdapat nilai yang kurang dari 70 % baik dari arah sumbu X dan arah sumbu Y. Kesimpulan dari ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak bahwa bangunan Gedung Inna Garuda *Extention* tidak memiliki kekakuan tingkat lunak dikarenakan nilai prosentase kekakuan ditingkat atasnya diatas dari 70%.

Tabel 5.11 Prosetase kekakuan lantai

Lantai	Tinggi kolom (hc)(cm)	Kekakuan (k) Kolom (cm <sup>3</sup> )		Prosentase (%)	
		Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
6	340	44915,2	44746	100,00	100,00
5	340	44915,2	44746	100,00	100,00
4	340	84000,7	83831.5	187,02	187,35
3	340	88343,5	88174.3	105,17	105,18
2	340	176788	176619	200,11	200,31
1	400	191858	191731	108,52	108,56
Dasar	500	191858	191731		

### b. Ketidakberaturan berat (*massa*)

Tabel 5.12 dibawah ini memperlihatkan prosentase dari berat antar tingkat yang ditinjau. Seberapa besar prosentase berat terhadap tingkat yang ditinjau dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 5.12 Prosetase berat (*massa*)

Lantai	Berat Per Lantai (Ton)	Prosentase berat tiap tingkat	
		di atas	di bawah
Atap	799,757712	183%	55%
6	1465,097914	100%	100%
5	1465,097914	102%	98%
4	1488,231514	108%	93%
3	1605,129293	116%	86%
2	1861,825535	90%	111%
1	1675,69439		

Prosentase berat tiap tingkat pada bangunan gedung Hotel Inna Garuda *Extention* masih dibawah dari 150 % dari tingkat didekatnya. Bangunan tersebut masih memenuhi persyaratan dari SNI 03-1729-2012 yang tidak memiliki ketidakberaturan berat atau *massa*.

c. Ketidakberaturan geometri vertikal

Bangunan gedung Hotel Inna Garuda *Extention* memiliki bentuk relatif sama dengan lantai dibawah maupun diatasnya dan tidak ada bentuk gometri vertikal yang disemua tingkat lebih dari 130 persen tingkat didekatnya. Sehingga bangunan ini tidak memiliki ketidakberaturan geometri vertikal. Untuk melihat bentuk bangunan tersebut dapat dilihat pada Lampiran 1.

d. Diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal.

Gambar 3.21 menjelaskan untuk ada tidaknya banagunan yang memiliki diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal. Pada studi kasus penelitian ini bangunan yang dipakai tidak ada pergeseran elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu. Sehingga bangunan ini memenuhi persyaratan untuk bangunan diskontinuitas arah bidang.

### 5.3.3. Demand Capacity Ratio (DCR) Akibat Kombinasi Beban Dinamik

#### 5.3.3.1. DCR Komponen Struktur Balok

##### a) DCR komponen struktur lentur balok

Perhitungan secara detail untuk menentukan nilai dari *deman capacity ratio* (DCR) dapat dilihat pada salah satu contoh perhitungan berikut ini. Data dalam perhitungan ini diambil salah satu data dalam analisisnya. Data yang dipakai menggunakan data Balok BA1 dengan *propertis* balok sebagai berikut ini.

Type balok	=	BA1	
lantai	=	Lantai 1	
no balok	=	B237	
dimensi ( $b \times ht$ )	=	25 x 60 cm	
penulangan			
lentur sisi atas	=	3D19	
sisi bawah	=	2D19	
geser	=	P10-120	
mutu beton ( $f'c$ )	=	19,04 MPa	
mutu baja			
tul. longitudinal ( $f_y$ )	=	380 MPa	
tul. transversal ( $f_{ys}$ )	=	240 MPa	
$\phi_o$	=	1,25	
$ds$	=	$2,50 + 1,00 + (1,9/2)$	= 4,45 cm
$ds'$	=	$2,50 + 1,00 + (1,9/2)$	= 4,45 cm
$d$	=	$60 - 4,45$	= 55,55 cm
$As$	=	$\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 1,9^2 \cdot 3$	= 8,509 cm <sup>2</sup> (Pers. 3.30)

$$\begin{aligned}
 A_s' &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 1,9^2 \cdot 2 &&= 5,673 \text{ cm}^2 \text{ (Pers. 3.30)} \\
 a &= (8,509 \cdot (380 \cdot 10,2) \cdot 1,25) - \left( \frac{5,673 \cdot (380 \cdot 10,2)}{0,85 \cdot (19,04 \cdot 10,2) \cdot 25} \right) \text{ (Pers. 3.34)} \\
 &= 5,862 \text{ cm} \\
 c &= \frac{5,862}{0,85} \\
 &= 6,896 \text{ cm} \\
 \varepsilon_s' &= \frac{6,896 - 4,45}{6,896} \cdot 0,003 \text{ (Pers. 3.5)} \\
 &= 0,00106 < 0,00185 \text{ (Baja desak belum leleh)} \\
 T_{s1} + T_{s2} &= 8,509 \cdot (380 \cdot 10,2) \text{ (Pers. 3. 31)} \\
 &= 32980,884 \text{ kgcm} \\
 C_c &= 0,85 \cdot (19,04 \cdot 10,2) \cdot a \cdot 25 \text{ (Pers. 3. 28)} \\
 &= 4126,92 \cdot a \text{ kgcm} \\
 C_s &= 5,673 \cdot \frac{a - 0,85 \cdot 4,45}{a} \cdot 0,003 \cdot 2100000 \text{ (Pers. 3.29)} \\
 &= \frac{35739,9a - 135186,1718}{a}
 \end{aligned}$$

dengan menggunakan keseimbangan gaya-gaya dalam pada balok, maka persamaan menjadi sebagai berikut.

$$T_{s1} + T_{s2} = C_c + C_s,$$

sehingga didapat nilai:

$$\begin{aligned}
 a &= 7,126 \text{ cm} \\
 c &= \frac{7,126}{0,85} \\
 &= 8,384 \text{ cm} \\
 \varepsilon_s' &= \frac{8,384 - 4,45}{8,384} \cdot 0,003 \text{ (Pers. 3.35)} \\
 &= 0,001408 < 0,00185 \text{ (Baja desak belum leleh)} \\
 f_s &= 0,001408 \cdot 2100000 \text{ (Pers. 3.37)}
 \end{aligned}$$

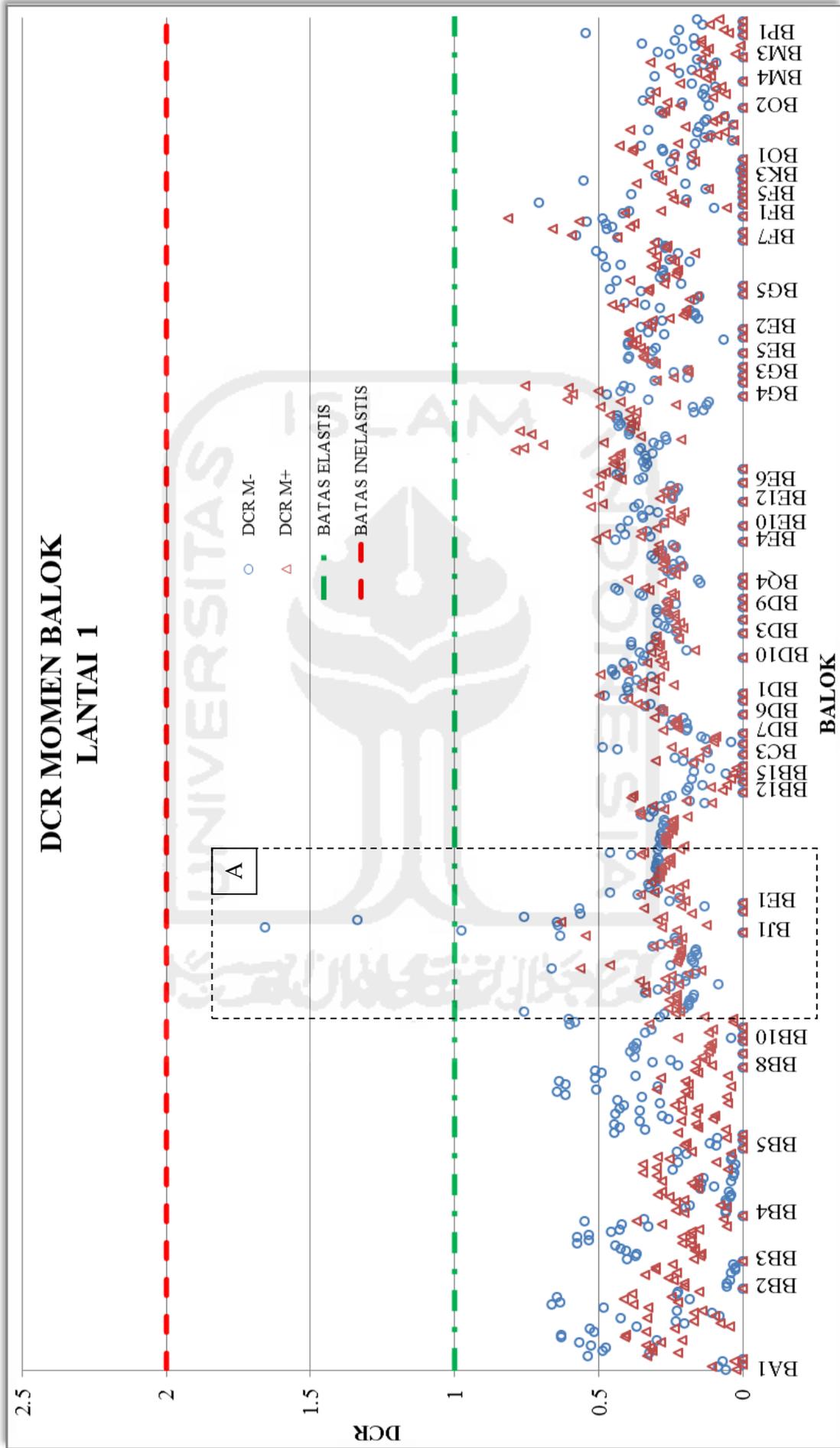
$$\begin{aligned}
 &= 2956,138 \text{ kg/cm}^2 \\
 Mn &= \{0,85 \cdot (19,04 \cdot 10,2) \cdot 7,126 \cdot 25 \cdot (55,55 - (7,126/2))\} + \{5,673 \cdot (380 \cdot \\
 &\quad 10,2) \cdot (55,55 - 4,45)\} \text{ (Pers. 3.40)} \\
 &= 23,963 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

Dari analisis struktur dengan menggunakan bantuan ETAB'S didapat hasil momen sebesar 1,736 tm, sehingga didapat nilai *DCR* sebagai berikut.

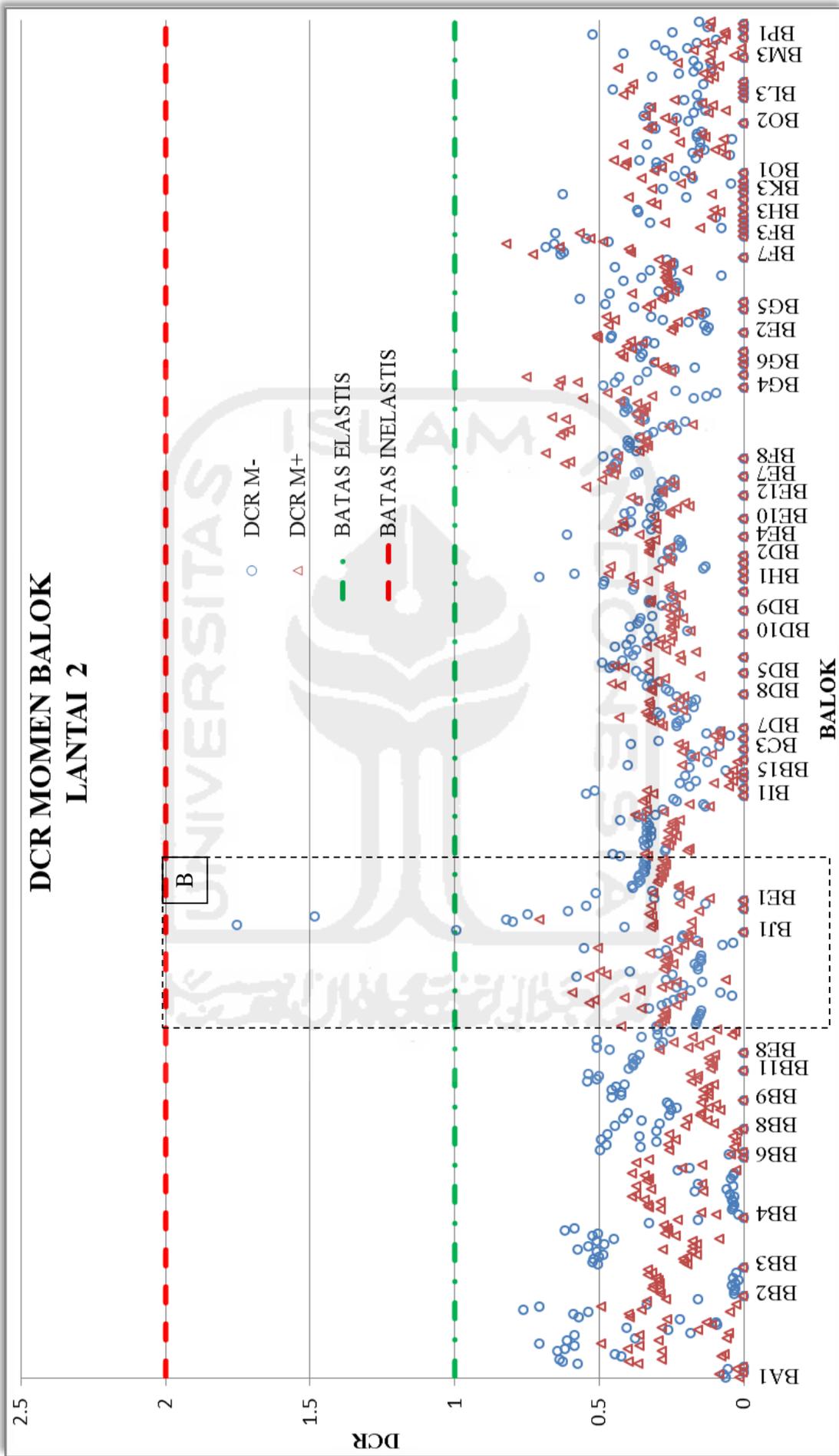
$$\begin{aligned}
 DCR &= \frac{1,736}{1,25 \cdot 23,963} \\
 &= 0,05796 < 1,0 \text{ (Elastik)}
 \end{aligned}$$

Perhitungan di atas merupakan salah satu contoh analisis *DCR* untuk momen balok. Analisis *DCR* momen balok yang lainnya dapat dilihat pada Lampiran 5. Hasil analisis *DCR* momen balok terbagi menjadi dua penyebaran yaitu penyebaran dari hasil momen negatif dan momen positif. Perhitungan *DCR* momen balok tersebut dilakukan untuk seluruh balok baik didaerah tumpun dan didaerah lapangan. Dalam struktur bangunan pada Hotel Inna Garuda Extention ini untuk tiap jenis balok bisa digunakan didaerah tumpuan maupun didaerah lapangan dengan menyesuaikan kebutuhan kekuatan balok pada daerah tersebut. Untuk mempermudah mengetahui penyebaran *DCR* momen balok tersebut, maka dikelompokkan atas tiap tingkat.

Penyebaran *DCR* momen balok dapat dilihat penyebarannya pada Gambar 5.26 sampai dengan Gambar 5.32. Dari hasil gambar tersebut terlihat banyak penyebaran nilai *DCR* momen balok. Banyaknya penyebaran nilai *DCR* tersebut dikarenakan pada balok dengan tipe tertentu memiliki lebih dari 1 nilai *DCR* namun memiliki hasil yang berbeda. Hal ini penelitian *DCR* pada balok dianalisis disetiap lokasi penempatan balok. Misalnya dalam satu lantai memiliki balok jenis BE1 yang digunakan di 7 lokasi grid struktur maka, nilai *DCR* balok juga memiliki 7 analisis baik di momen negatif maupun di momen positif.

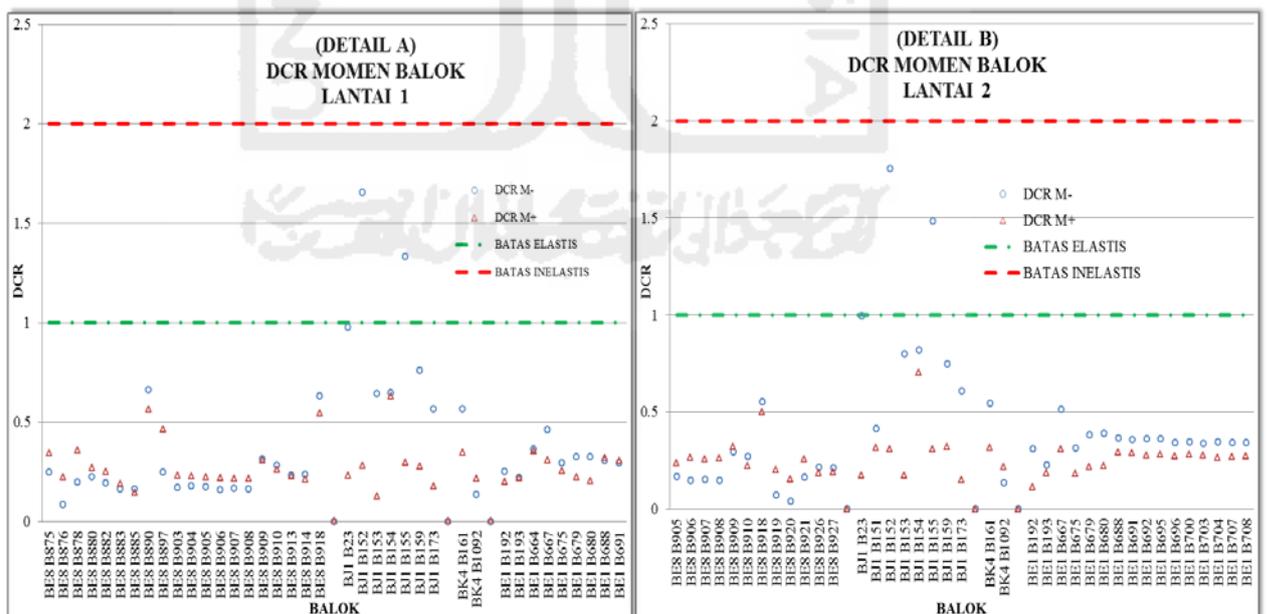


Gambar 5.26 Penyebaran nilai DCR momen balok lantai 1

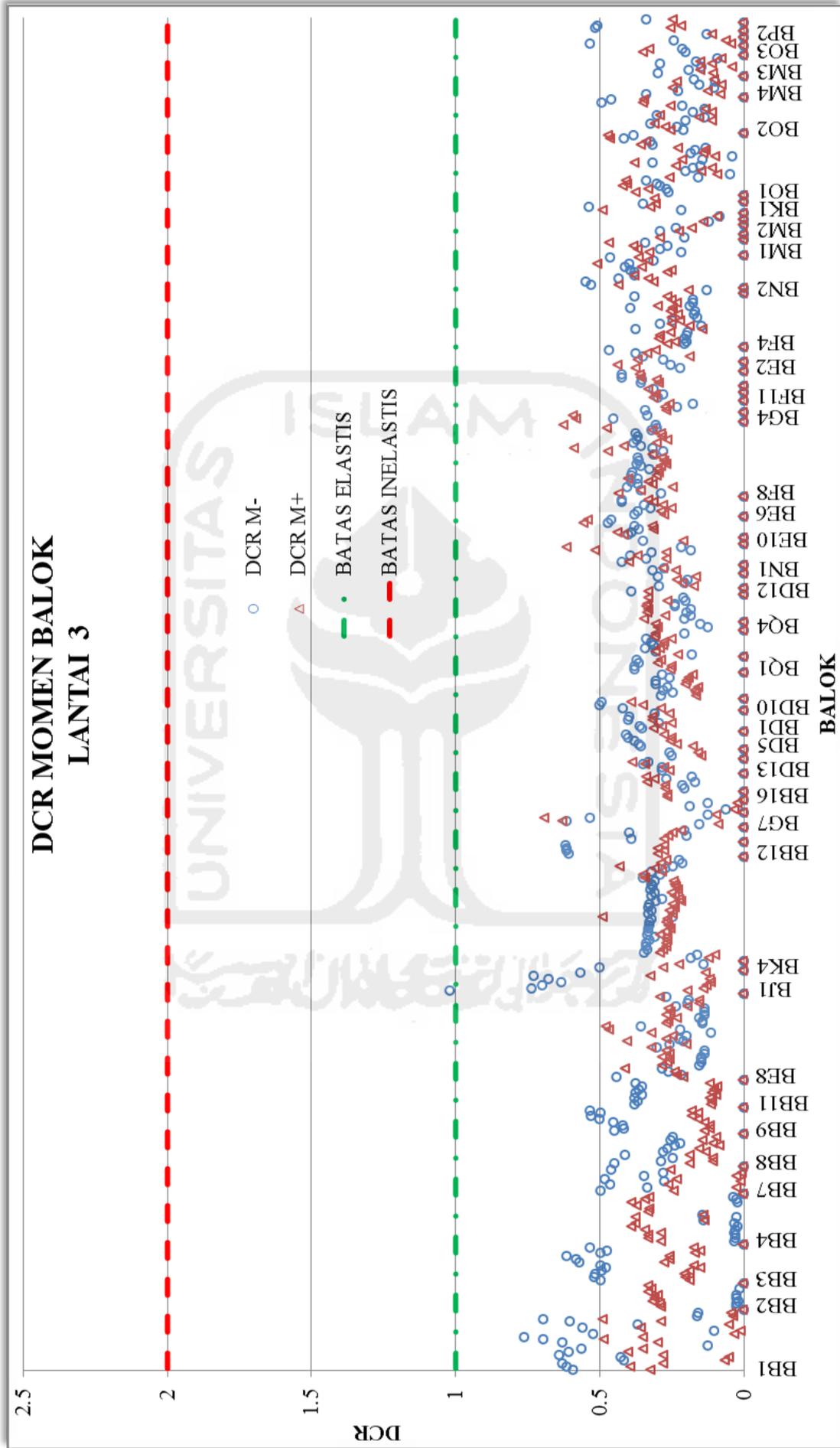


Gambar 5.27 Penyebaran nilai DCR momen balok lantai 2

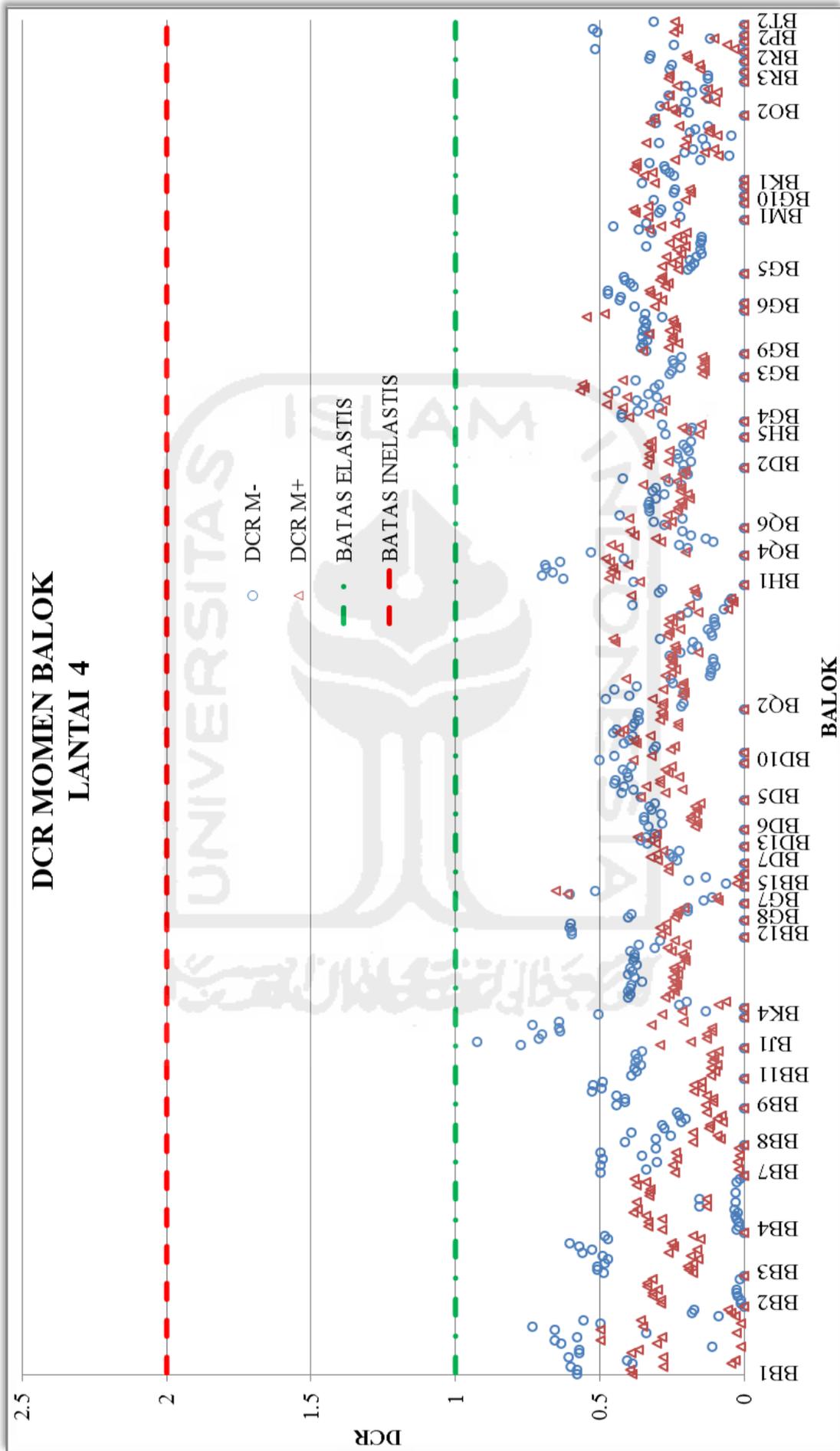
Gambar 5.26 sampai dengan Gambar 5.29 adalah gambar penyebaran nilai *DCR* untuk momen balok dari lantai 1 sampai dengan lantai 3. Gambar tersebut memperlihatkan adanya beberapa nilai dari *DCR* momen balok yang nilainya lebih dari 1 tetapi masih di bawah 2. Nilai *DCR* yang melebihi dari 1 tetapi masih kurang dari 2 tersebut sudah memasuki kondisi inelastik dengan tidak memerlukan analisis *pushover*, jika nilai *DCR* telah melebihi dari nilai 2, maka kondisi tersebut sudah memasuki kondisi inelastik dengan memerlukan analisis *pushover*. Kondisi-kondisi tersebut terdapat di dalam standar FEMA 356. Untuk Gambar 5.26 sampai dengan Gambar 5.28 nilai *DCR* momen balok lantai 1 sampai dengan lantai 3 ada beberapa sudah memasuki kondisi inelastik tetapi belum memerlukan analisis lebih lanjut yaitu analisis *pushover*. Pada Gambar 5.28 merupakan gambar detail yang nilai *DCR* sudah masuk kedalam kondisi inelastik namun belum memerlukan analisis *pushover*. Kondisi tersebut terdapat pada balok tipe BJ1 dengan nomor balok B152 dan balok tipe BJ1 dengan nomor balok B155. Balok tersebut yang mengalami kondisi inelastik hanya terjadi pada momen negatif, sedangkan pada momen positif masih dalam kondisi elastik.



Gambar 5.28 Penyebaran nilai *DCR* momen balok detail A dan detail B

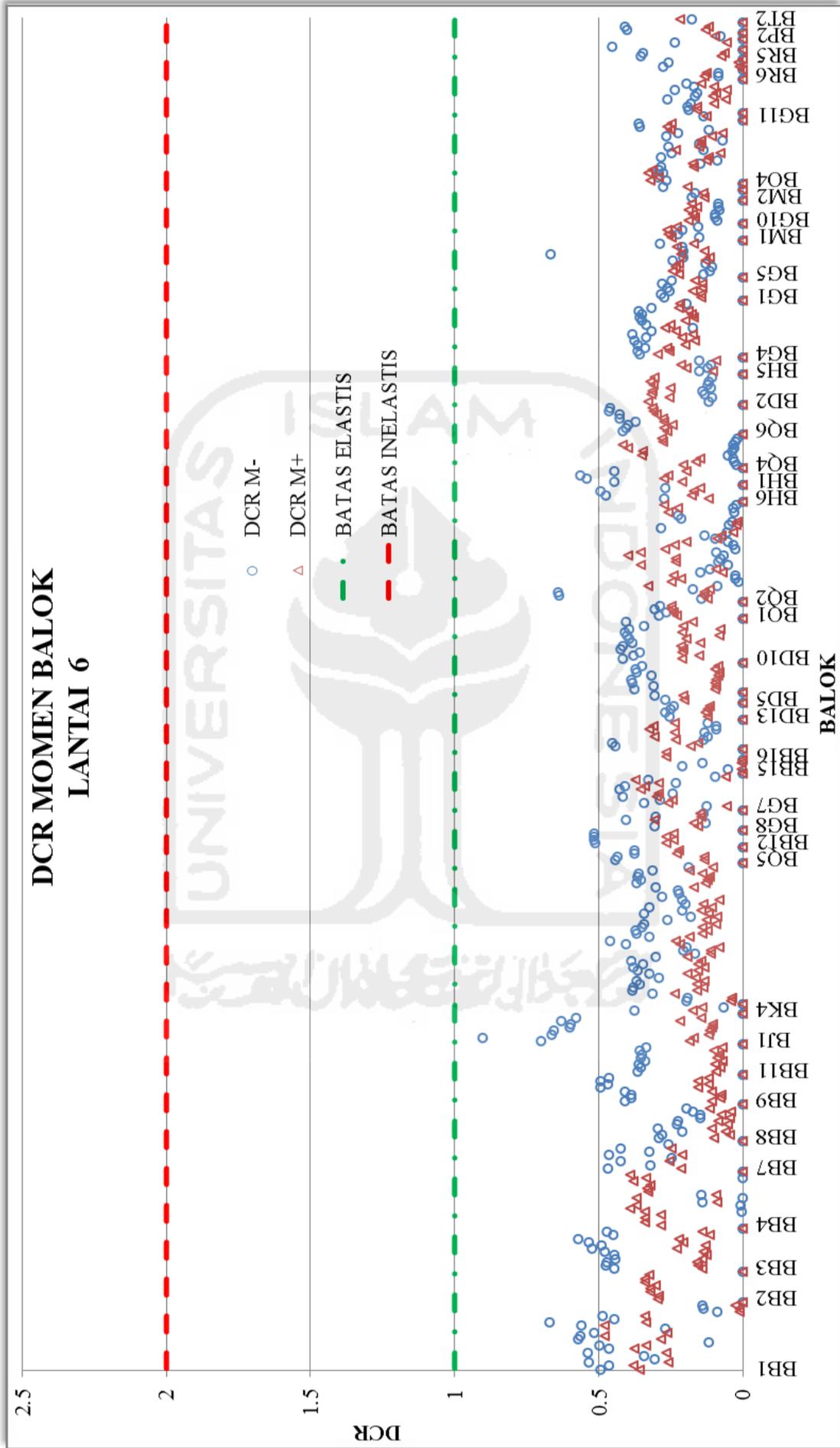


Gambar 5.29 Penyebaran nilai DCR momen balok lantai 3

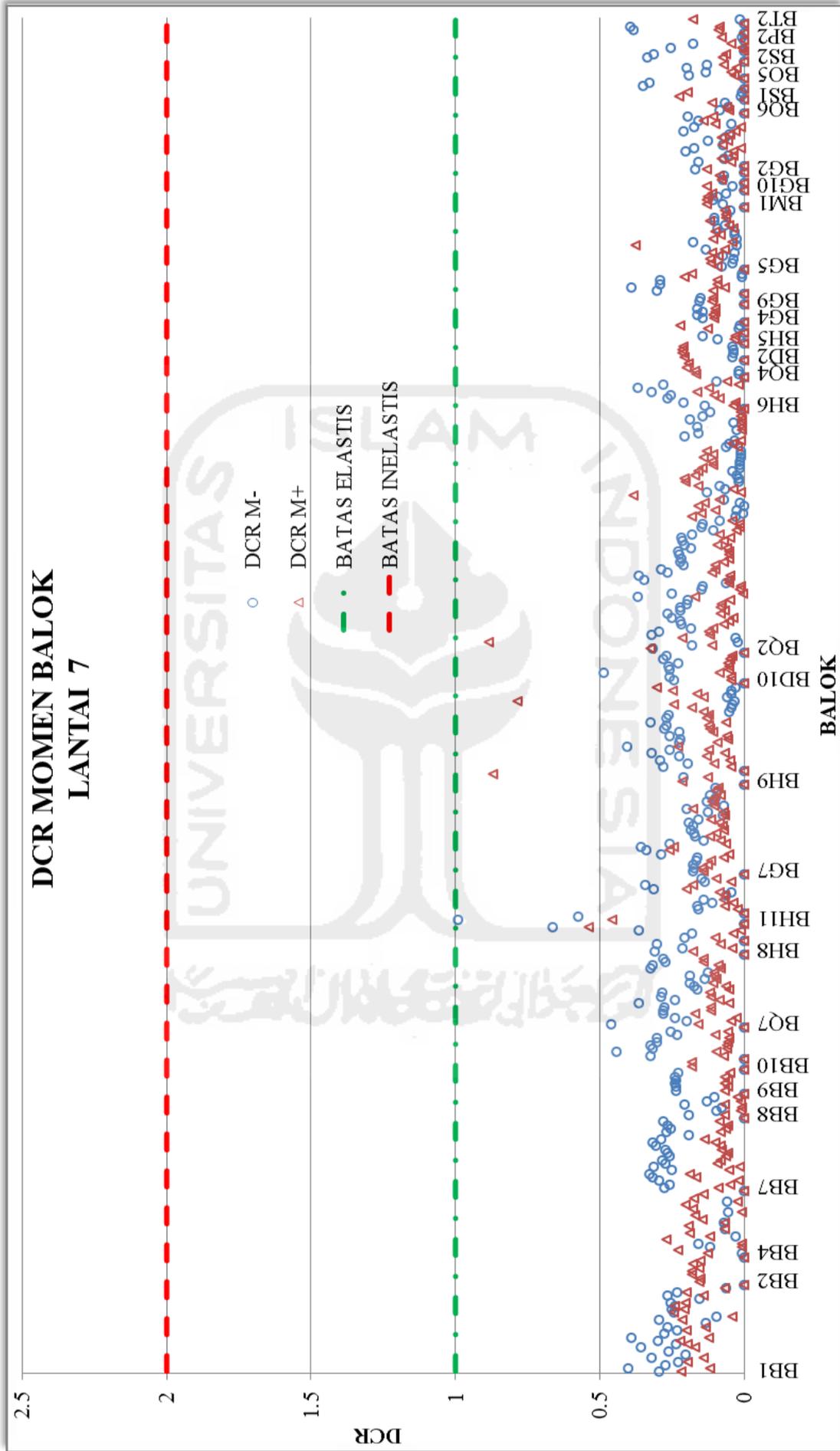


Gambar 5.30 Penyebaran nilai DCR momen balok lantai 4





Gambar 5.32 Penyebaran nilai DCR momen balok lantai 6



Gambar 5.33 Penyebaran nilai DCR momen balok lantai 7

Nilai *DCR* momen balok untuk lantai 4 sampai lantai 7 tidak ditemukan nilai yang melebihi dari angka 1,0, sehingga kondisi balok untuk lantai tersebut dalam kondisi elastik. Kondisi elastik yaitu kondisi struktur tersebut jika diberi gaya (ditarik, ditekan, atau dilenturkan), struktur tersebut akan mengalami memanjang, memendek, atau bengkok (deformasi). Kemudian gaya tersebut dihilangkan, dan struktur tersebut akan kembali keposisi, bentuk dan ukuran sesuai semula. Kondisi nilai *DCR* masih kurang dari 1,0, tidak memerlukan analisis struktur *pushover* karena, tidak memenuhi standar FEMA 356 jika dilakukan *pushover*. Nilai *DCR* momen balok yang masih kurang dari 1,0 untuk lantai 4 sampai dengan lantai 7 dapat dilihat pada Gambar 5.30 sampai dengan Gambar 5.33.

b) *DCR* komponen struktur geser balok

Perhitungan *DCR* balok selanjutnya yaitu analisis *DCR* untuk gaya geser balok. Perhitungan *DCR* geser balok secara detail dapat dilihat pada salah satu contoh perhitungan berikut ini. Data dalam perhitungan ini diambil salah satu data dalam analisisnya. Data yang dipakai menggunakan data Balok BA1 dengan *propertis* balok sebagai berikut ini.

Type balok	= BA1
lantai	= Lantai 1
no balok	= B237
dimensi ( $b \times h$ )	= 25 x 60 cm
penulangan	
lentur sisi atas	= 3D19
sisi bawah	= 2D19
geser	= P10-120
mutu beton ( $f'c$ )	= 19,04 MPa
mutu baja	
tul. longitudinal ( $f_y$ )	= 380 MPa
tul. transversal ( $f_{ys}$ )	= 240 MPa
$\phi_o$	= 1,25

$$\begin{aligned}
 ds &= 2,50 + 1,00 + (1,9/2) &= 4,45 \text{ cm} \\
 ds' &= 2,50 + 1,00 + (1,9/2) &= 4,45 \text{ cm} \\
 d &= 60 - 4,45 &= 55,55 \text{ cm} \\
 As &= \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 1,0^2 \cdot 2\right) \cdot \left(\frac{100}{12}\right) &= 13,095 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Vc &= 0,17 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{19,04} \cdot 250 \cdot 555,50 \text{ (Pers. 3.42)} \\
 &= 1030,0749 \text{ N} &= 10506,7637 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

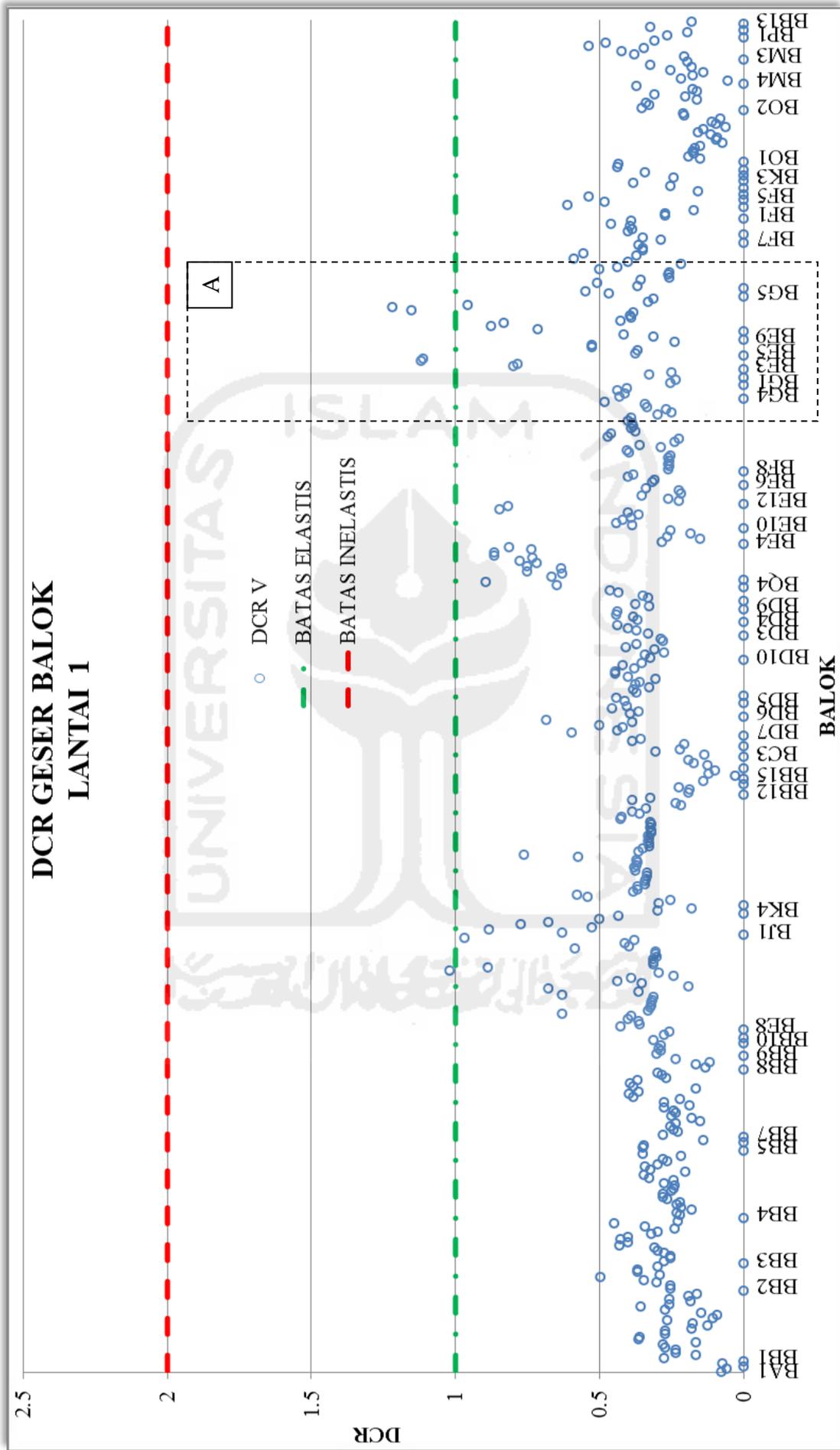
$$V_s = \frac{13,095 \cdot (240 \cdot 10,2) \cdot 55,55}{100} = 17807,7429 \text{ kg (Pers. 3.43)}$$

$$V_n = 10506,7637 + 17807,7429 = 28314,5066 \text{ kg (Pers. 3.41)}$$

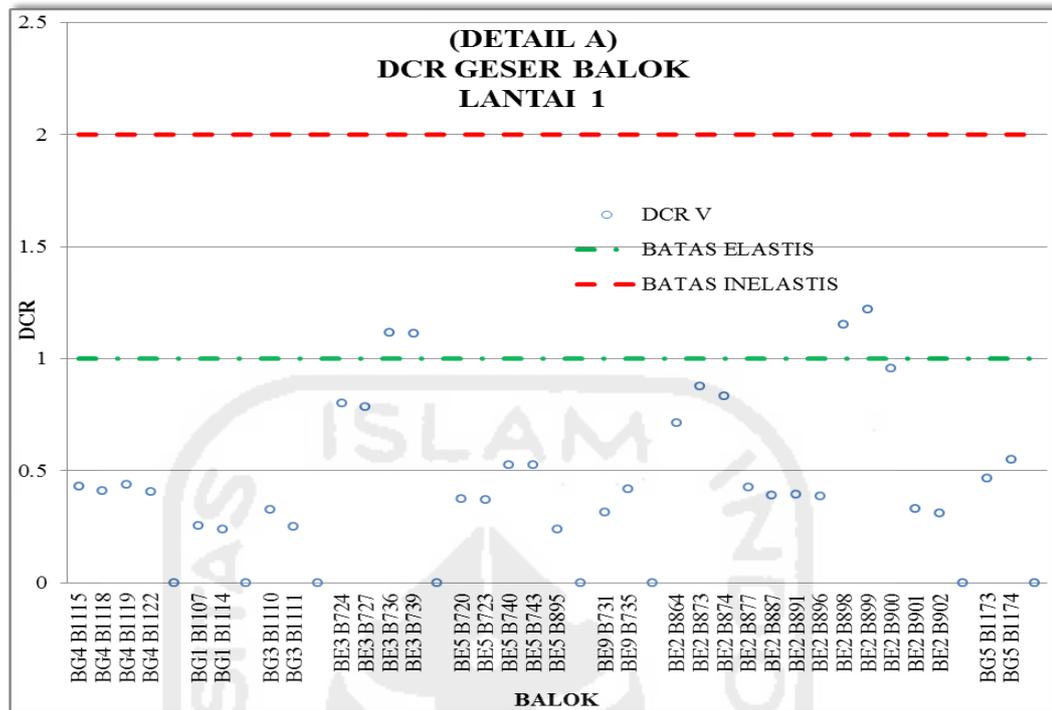
Analisis struktur dengan menggunakan bantuan ETAB'S didapat hasil gaya geser balok sebesar 2,65 ton, sehingga didapat nilai *DCR* sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 DCR &= \frac{2,65}{1,25 \cdot 28,314} \\
 &= 0,07487 < 1,0 \text{ (Elastik)}
 \end{aligned}$$

Data analisis perhitungan *DCR* geser balok yang lainnya dapat dilihat pada Lampiran 5. Hasil analisis *DCR* geser balok untuk keseluruhan hasilnya dapat di plotkan penyebarannya. Hasil plot penyebarannya dapat dilihat pada Gambar 5.34 sampai dengan Gambar 5.41.

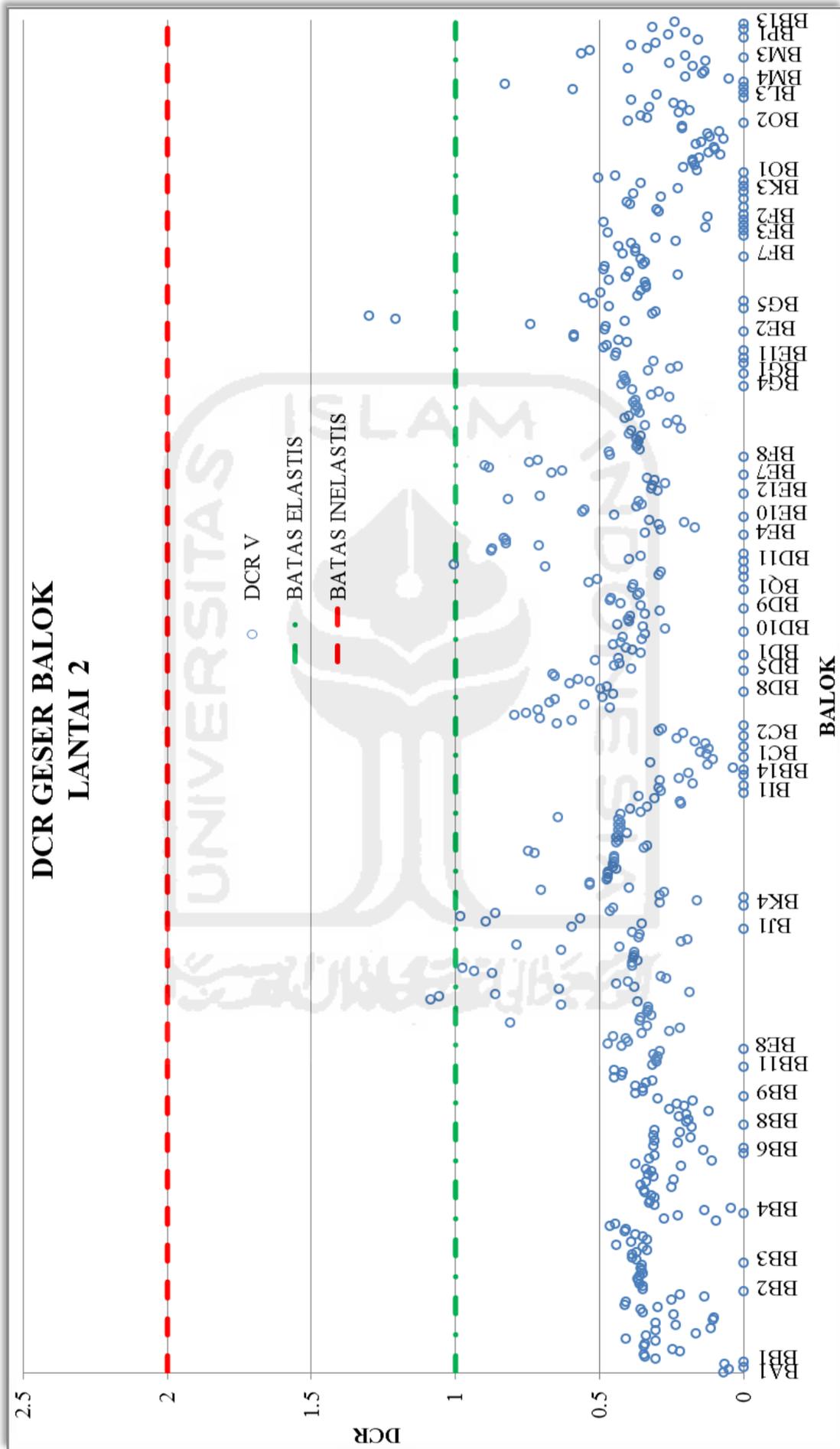


Gambar 5.34 Penyebaran nilai DCR geser balok lantai 1



Gambar 5.35 Penyebaran nilai *DCR* geser balok detail A

Nilai *demand capacity ratio* gaya geser balok yang didapat pada lantai 1 dapat dilihat pada Gambar 5.34. Gambar tersebut merupakan hasil nilai *DCR* geser dari keseluruhan balok pada lantai 1. Nilai *DCR* yang didapat pada geser balok terdapat empat balok yang berada pada kondisi inelastik dengan nilai *DCR* di atas 1,0. Kondisi tersebut kondisi tersebut masih sesuai dengan analisis *tier 2* sehingga tidak perlu dilakukan analisis lebih lanjut atau *tier 3*. Kondisi inelastik tersebut terdapat balok dengan tipe dan nomor balok BE3 B736, BE3 B739, BE2 B898, dan BE2 B899. Keempat balok tersebut memiliki dimensi balok 40x70 cm namun penulangan yang berbeda. Dilihat secara *visual* dimensi balok tersebut sudah cukup besar namun penulangan geser balok sangat mempengaruhi nilai dari *DCR*. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.35. Balok dengan kondisi elastik jika terkena dampak gaya gempa akan rawan mengakibatkan kerusakan geser balok dan dapat menurunkan kekuatan dari komponen balok tersebut.



Gambar 5.36 Penyebaran nilai DCR geser balok lantai 2

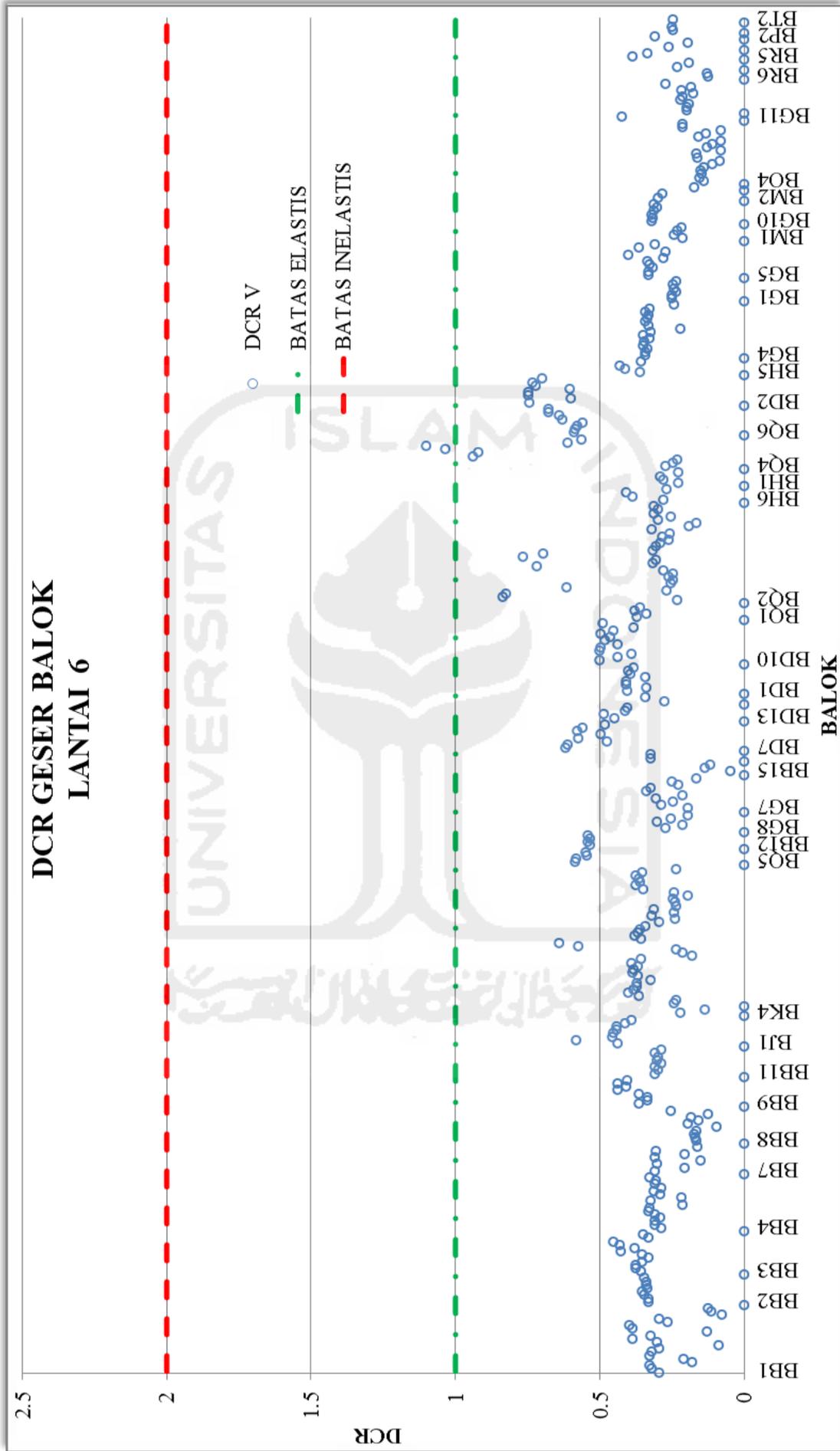


Terlihat jelas bahwa, nilai *DCR* geser balok pada struktur bangunan ini pada setiap lantai nilainya diatas 1,0. Hasil nilai tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.34 sampai dengan Gambar 5.41. Apabila nilai *DCR* di atas 1,0, maka struktur tersebut memasuki kondisi inelastik tetapi belum memasuki untuk analisis *pushover*. Perilaku kondisi inelastik sudah dijelaskan pada analisis *DCR* momen balok. Namun walau nilai *DCR* diatas 1,0, untuk struktur lantai 7 terlihat bahwa nilai *DCR* yang melebihi dari 1,0 paling sedikit dan tidak terlampaui jauh dari 1,0. Pada lantai 7 hanya terdapat 2 struktur balok yang nilainya melebihi 1,0 yaitu diantaranya pada balok BQ2 B562 dengan nilai *DCR* 1,006 dan balok BQ2 B641 dengan nilai *DCR* 1,0212. Hasil nilai penyebaran *DCR* geser balok pada lantai tersebut hampir seluruhnya memasuki kondisi elastik dengan nilai dibawah 1,0. Kondisi elastik struktur tersebut diberi gaya dan kemudian gaya tersebut dihilangkan, maka struktur tersebut akan kembali seperti semula.

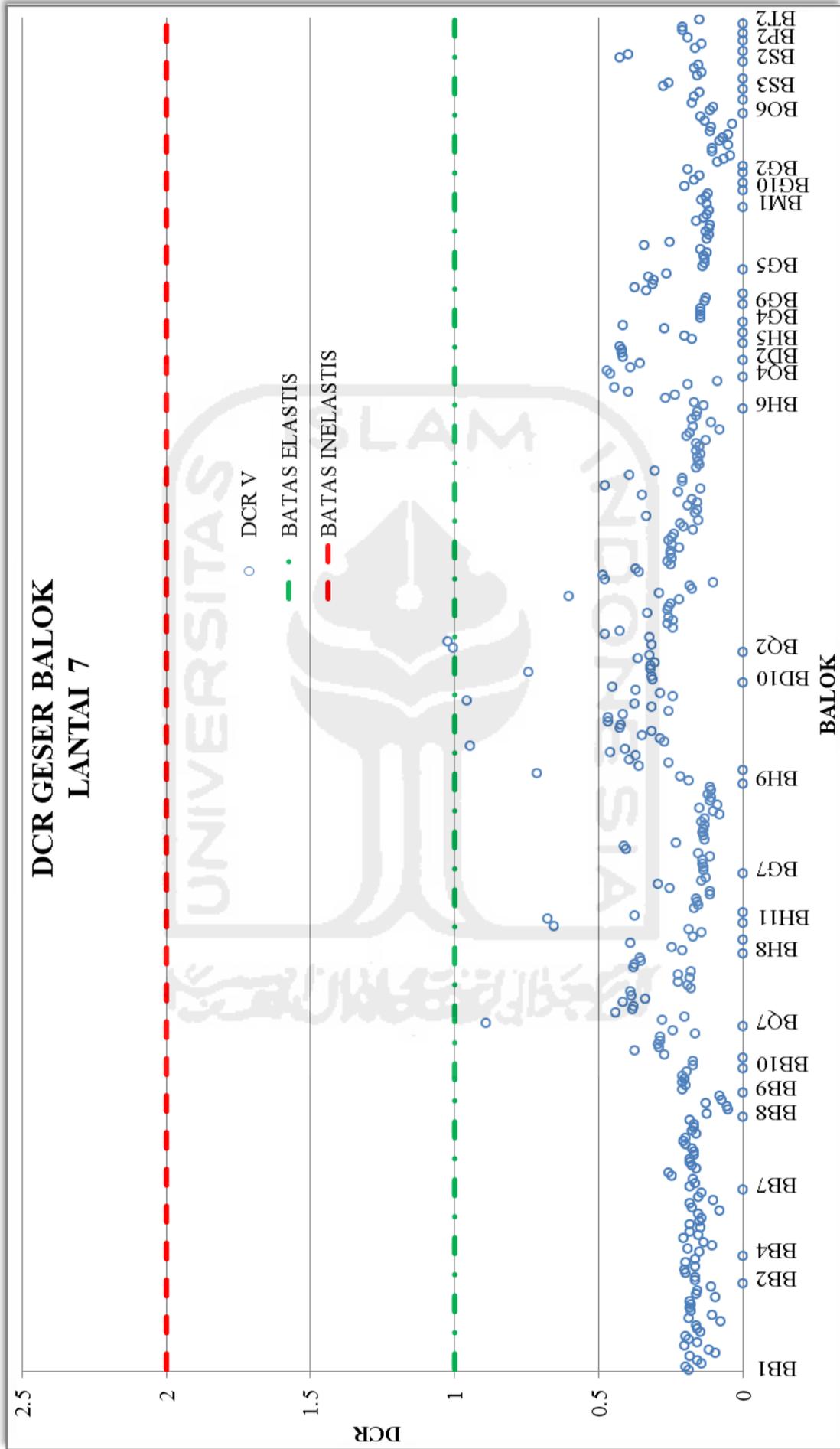
Bila dicermati hasil nilai *DCR* geser balok yang melebihi nilai 1,0 dari lantai 1 sampai dengan lantai 7 maka nilai tersebut banyak terjadi pada balok dengan tipe balok BE dan balok BG. Balok tersebut memiliki dimensi 40x70 cm untuk balok tipe BE dan 40x65 cm dengan tipe balok BQ. Ditinjau dari segi penulangan tulangan geser, kedua balok tersebut memiliki penulangan geser sama. Penulangan tulangan geser tersebut yaitu 2 kaki dengan diameter tulangan polos 10 mm dan jarak antar penulangan 25 cm. Dimungkinkan saat terjadi guncangan gaya gempa kedua balok tersebut hanya ditahan penulangan geser P10-25, sehingga penulangan tersebut kurang memenuhi dari gaya yang terjadi. Untuk detail dari dimensi dan penulangan geser balok dapat dilihat pada Lampiran 1 maupun Lampiran 2.







Gambar 5.40 Penyebaran nilai DCR geser balok lantai 6



Gambar 5.41 Penyebaran nilai *DCR* geser balok lantai 7

### 5.3.3.2. DCR Komponen Struktur Kolom

#### a) DCR komponen struktur aksial lentur kolom

Contoh data analisis perhitungan detail *demand capacity ratio* untuk aksial kolom maupun momen kolom dapat dilihat dibawah ini, sedangkan untuk data yang lainnya dapat ditabelkan pada Lampiran 5. Data yang digunakan untuk contoh perhitungan digunakan *type* kolom KA, dengan nama kolom KA C1 pada lantai 1. Data pada analisis struktur program ETAB's, untuk kolom KA C1 didapat hasil aksial kolom  $P_n$  sebesar 582,13 ton dan momen kolom arah X  $M_{nX}$  sebesar 88,637 tm. Data *propertis* balok dapat dilihat sebagai berikut.

Type kolom	= KA,
lantai	= Lantai 1,
no kolom	= C1,
nama kolom	= KA C1,
dimensi ( $b \times h$ )	= 75 x 75 cm,
penulangan	
lentur sisi atas	= 9D25,
sisi bawah	= 9D25,
geser	= 4P10-100,
mutu beton ( $f'_c$ )	= 19,04 MPa
mutu baja	
tul. longitudinal ( $f_y$ )	= 380 MPa
tul. transversal ( $f_{ys}$ )	= 240 MPa
$ds$	= 3,00 + 1,00 + (2,5/2) = 5,25 cm
$ds'$	= 3,00 + 1,00 + (2,5/2) = 5,25 cm
$d$	= 75 – 5,25 = 69,75 cm
$A_s$	= ( $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 2,5^2 \cdot 9$ ) = 44,1964 cm <sup>2</sup>
$e(X)$	= $\frac{88,637}{582,13} \cdot 100$ = 15,226 cm
$C_c$	= 0,85 . (19,04 . 10,2) . (c . 0,85) . 75 (Pers. 3.49)
	= 10521,821.c kg
$C_s$	= 44,1964 . ((380 . 10,2) – (0,85 . (19,04 . 10,2))) (Pers. 3.50)

$$= 164010,8177 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} T_s &= 44,1964 \cdot \left( \frac{69,75 - c}{c} \right) \cdot 0,003 \cdot 2100000 \text{ (Pers. 3.51)} \\ &= \frac{(19421003,07 - 278437,32 \cdot c)}{c} \text{ kg} \end{aligned}$$

$\Sigma M$  terhadap garis kerja  $P_n$  ( $e$  = eksentrisitas awal)

$$\left\{ 10521,821 \cdot c \left\{ \frac{0,85 \cdot c}{2} - \left( \frac{75}{2} - 15,226 \right) \right\} \right\} - \left\{ 164010,8177 \left\{ \left( \frac{75}{2} - 15,226 \right) - 5,25 \right\} \right\} - \left\{ \frac{(19421003,07 - 278437,32 \cdot c)}{c} \left\{ \left( \frac{75}{2} - 5,25 \right) + 15,226 \right\} \right\} = 0$$

dari penyelesaian diatas dapat disederhanakan menjadi :

$$10521,8025 c^3 - 551434,4028 c^2 + 24534404,59 c - 2169502190 = 0$$

atau

$$c^3 - 52,409 c^2 + 2331,764 c - 206190,762 = 0$$

dari analisis penyelesaian persamaan pangkat tiga diatas didapat akar persamaannya yaitu:

$$c = 65,174 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} a &= 65,174 \cdot 0,85 \\ &= 55,398 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cc &= 0,85 \cdot (19,04 \cdot 10,2) \cdot 55,398 \cdot 75 \text{ (Pers. 3.49)} \\ &= 685746,09 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$f_s = \left( \frac{69,75 - 65,174}{65,174} \cdot 0,003 \right) \cdot 2100000 \text{ (Pers. 3.47)}$$

$$= 442,366 \text{ kg/cm}^2 < 3876 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} T_s &= 44,1964 \cdot 442,366 \text{ (Pers. 3.51)} \\ &= 19550,990 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= 685746,09 + 164010,8177 - 19550,990 \text{ (Pers. 3.52)} \\ &= 830206,92 \text{ kg} \\ &= 830,206 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$M_n = 685746,09 \left( \frac{75}{2} - \frac{55,398}{2} \right) + 164010,82 \left( \frac{75}{2} - 5,25 \right) - 19550,99 \left( \frac{75}{2} - 5,25 \right)$$

$$= 126410,84 \text{ kg}$$

$$= 126,410 \text{ ton}$$

Perhitungan penyelesaian  $Mn_X Pn$  diatas dan  $Mn_X Pn$  dari analisis struktur menggunakan ETABS, maka dapat diketahui hasil analisis penyelesaian  $DCR$  baik untuk  $Mn_X$  dan  $Pn$  adalah sebagai berikut.

$$DCR_{Pn} = \frac{582,13}{1,25 \cdot 830,206}$$

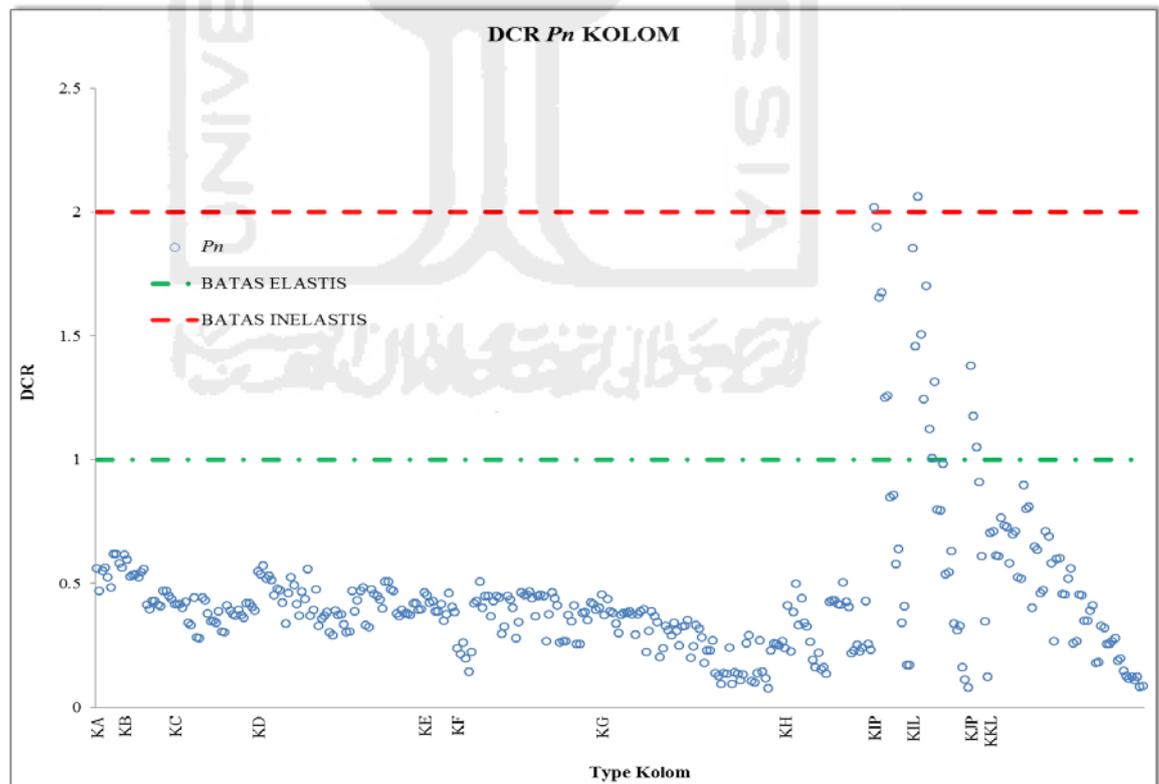
$$= 0,561 < 1,0 \text{ (Elastik)}$$

Untuk analisis penyelesaian  $DCR_{Mn(X)}$  dapat dilihat sebagai berikut.

$$DCR_{Mn(X)} = \frac{88,637}{1,25 \cdot 126,410}$$

$$= 0,561 < 1,0 \text{ (Elastik)}$$

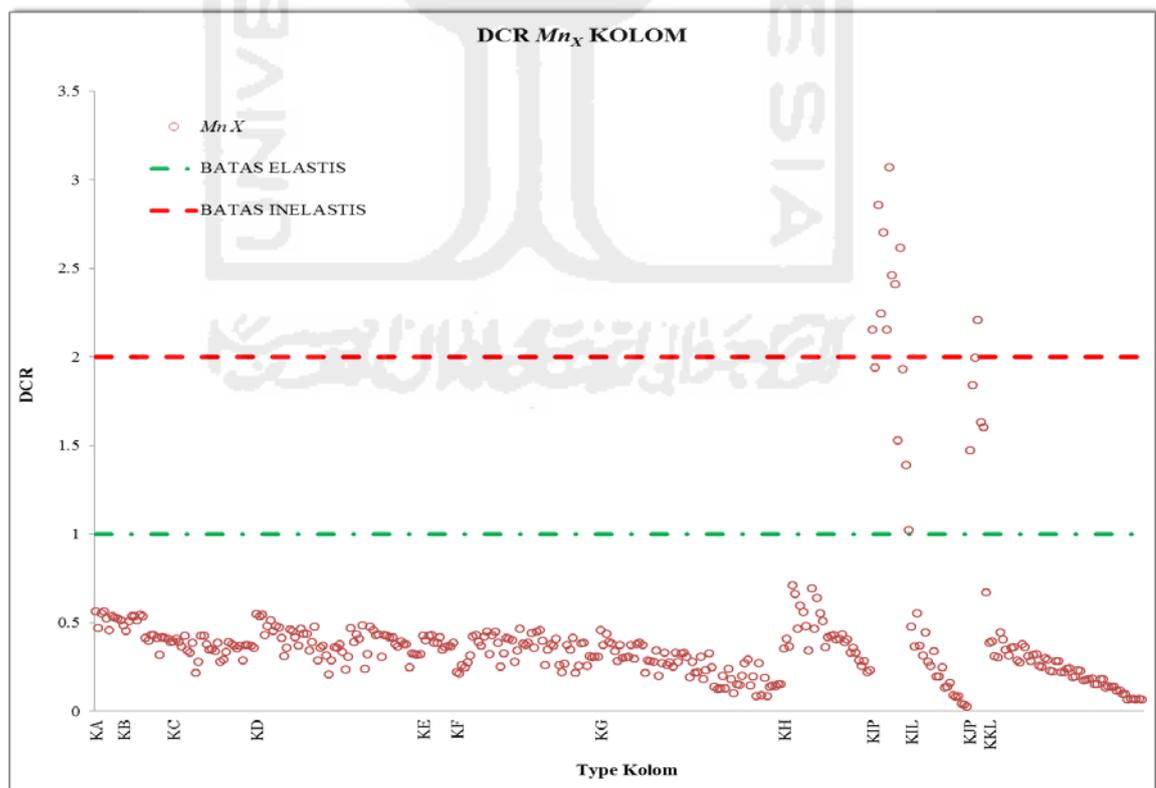
Untuk analisis hasil  $DCR$  yang lainnya baik  $Pn$ ,  $Mn_X$  maupun  $Mn_Y$  dapat dilihat pada Gambar 5.42 sampai dengan Gambar 5.48 berikut.



Gambar 5.42 Penyebaran nilai  $DCR$  aksial kolom ( $Pn$ )

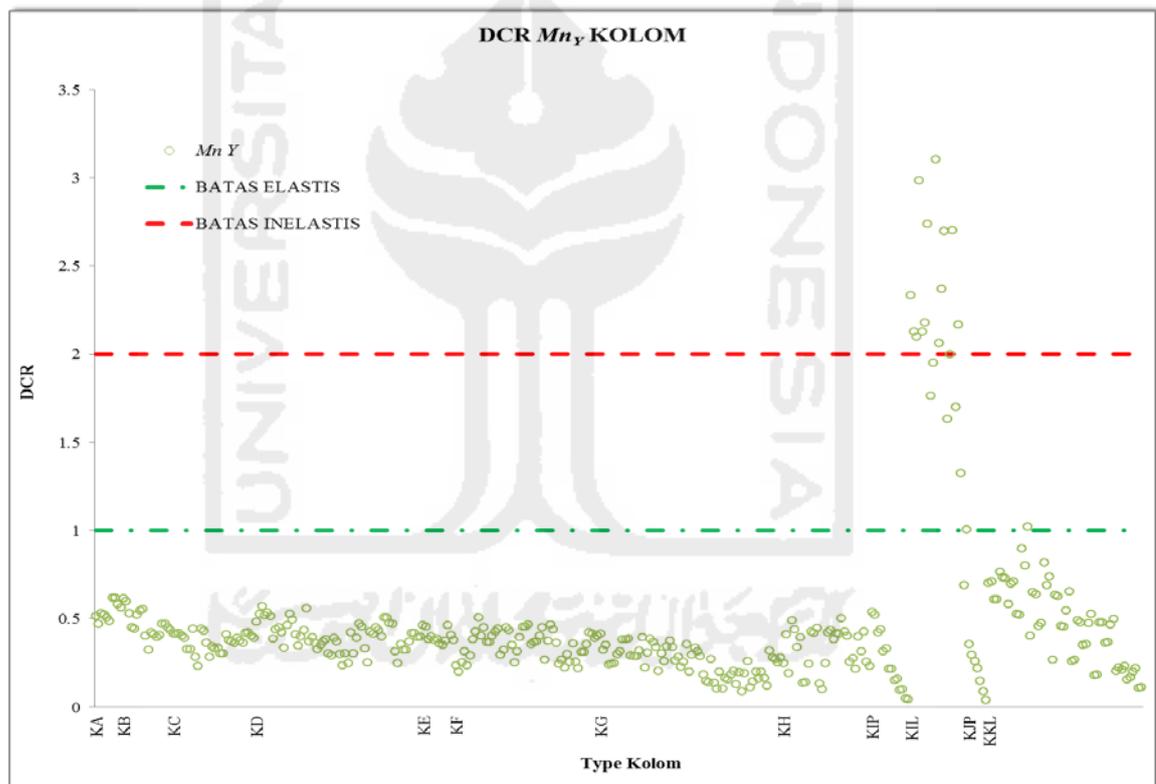
Gambar 5.40 diatas adalah gambar hasil penyebaran nilai  $DCR$  untuk gaya aksial kolom ( $P_n$ ). Terlihat pada gambar tersebut bahwa penyebaran nilai  $DCR$  aksial kolom sangat beragam. Sebagian besar nilainya masih dibawah 1,0 atau masih dalam kondisi elastik, tetapi terdapat juga nilai yang diantara 1,0 dan 2,0 yang berada dalam kondisi inelastik tetapi belum memerlukan analisis *pushover*. Kondisi tersebut terdapat 16 buah struktur yang berada kondisi inelastik tanpa *pushover*.

Terlihat dalam penyebaran nilai  $DCR$  aksial kolom terdapat 2 struktur kolom yang nilainya di atas 2,0 yang memasuki kondisi inelastik dengan memerlukan analisis lebih lanjut yaitu analisis *pushover*. Struktur kolom yang nilainya di atas 2,0 terdapat pada lantai 1 dengan rincian jenis kolom KIP pada nama KIP C43 dan jenis kolom KIL pada nama KIL C50. Nilai  $DCR$  pada struktur kolom KIP C43 dan KIL C50 yang berada dalam kondisi inelastik dan harus dianalisis *pushover* berturut-turut bernilai 2,018 dan 2,061.



Gambar 5.43 Penyebaran nilai  $DCR$  momen kolom arah X ( $Mn_X$ )

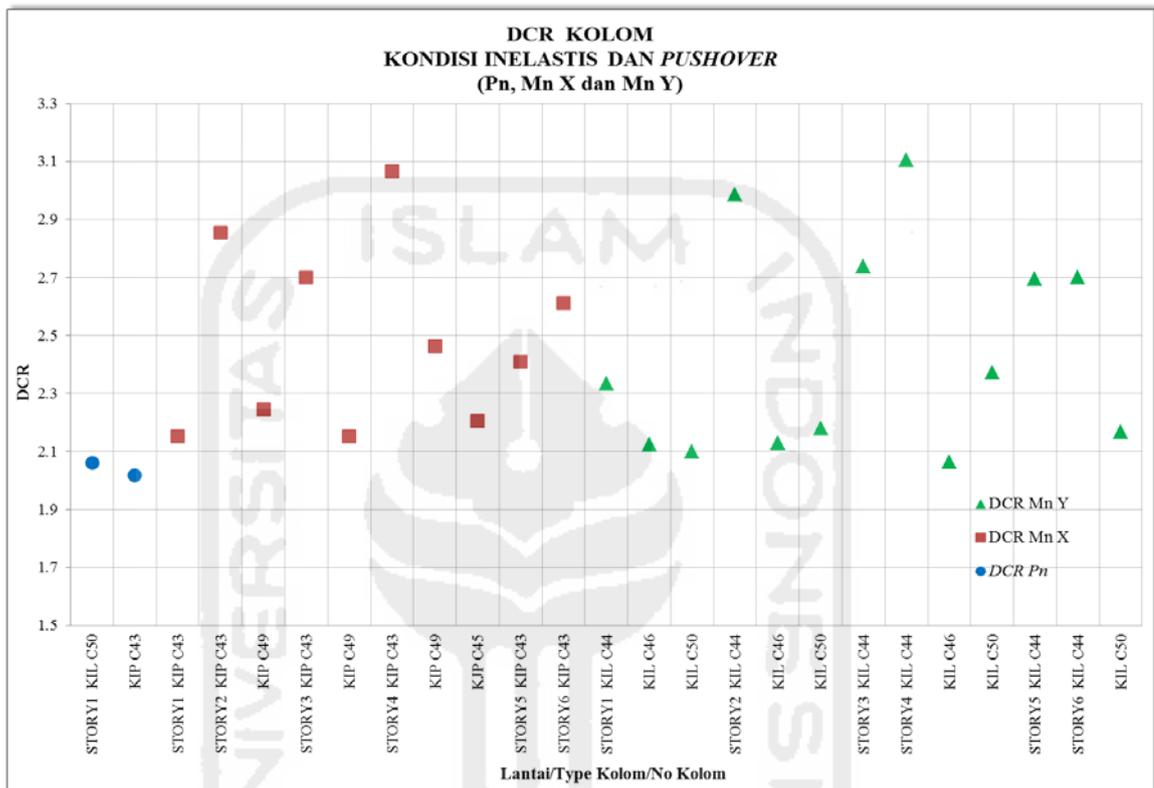
Terdapat 10 (sepuluh) struktur kolom yang berada diatas nilai 2,0 dengan kondisi inelastik yang memerlukan *pushover*. Kondisi tersebut terdapat pada struktur kolom dengan analisis *DCR* momen kolom arah X. Jumlah struktur tersebut lebih banyak dari pada struktur *DCR* aksial kolom yang hanya terdapat 2 struktur kolom yang berada pada kondisi inelastik dengan analisis *pushover*. Jika dilihat lebih cermat untuk kondisi inelastik dengan analisis *pushover* hanya terdapat pada struktur kolom pipih dengan perbandingan  $ht/b > 2,0$ . Struktur tersebut memiliki dimensi 15x60 cm dan untuk memperjelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.43.



Gambar 5.44 Penyebaran nilai *DCR* momen kolom arah Y ( $Mn_Y$ )

Penyebaran nilai *DCR* yang lebih dari 2,0 pada momen kolom arah Y lebih banyak lagi dari pada momen kolom arah X. Terdapat 13 struktur dalam kondisi inelastik dengan *pushover*. Sebanyak 13 struktur tersebut seluruhnya terdapat pada *type* kolom KIL dengan dimensi struktur 15x60 cm. Hasil tersebut

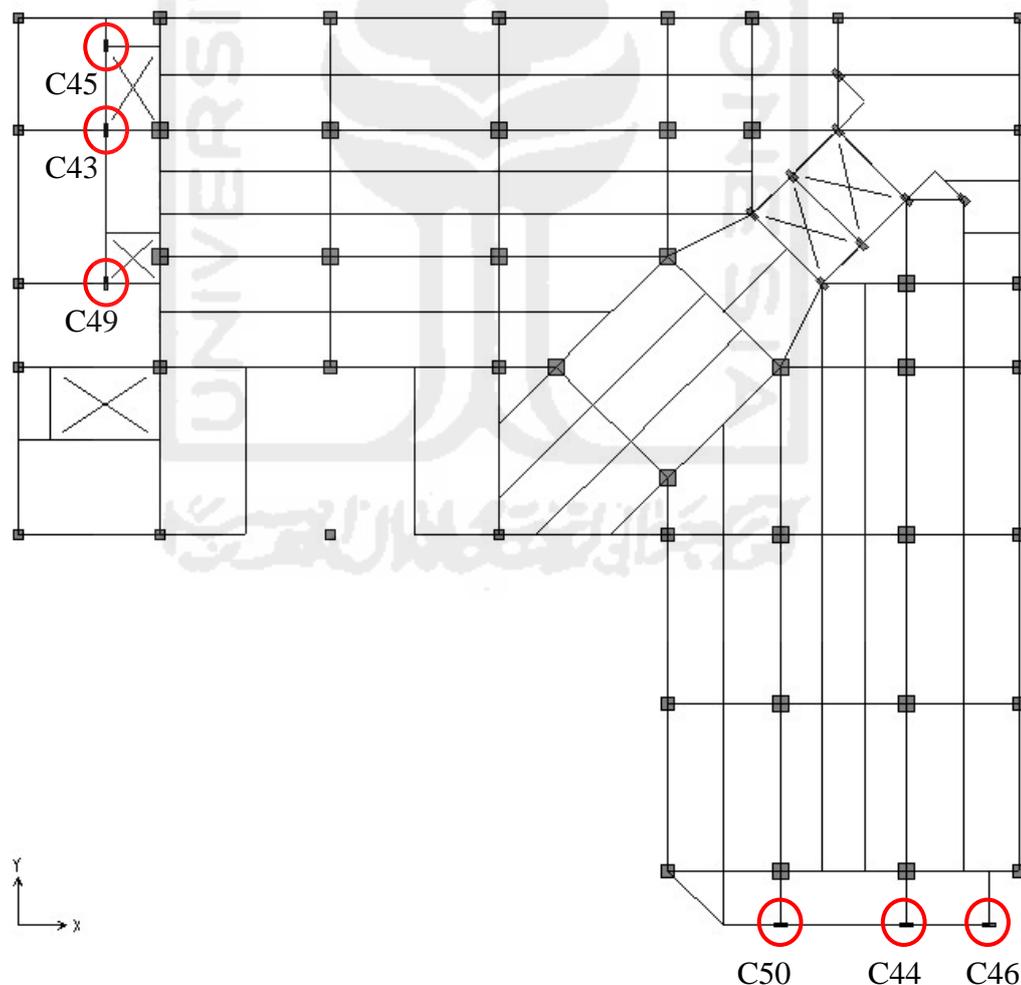
dapat dilihat pada Gambar 5.44 di atas. Sisa struktur yang lainnya berada pada kondisi inelastik tanpa *pushover* dan kondisi elastik. Tetapi sebagian besar struktur berada kondisi elastik seperti yang terlihat pada gambar di atas.



Gambar 5.45 Penyebaran nilai  $DCR$  kolom kondisi inelastis *pushover* ( $P_n$ ,  $M_n X$  dan  $M_n Y$ )

Seerti yang telah dijelaskan di atas bahwa nilai  $DCR$  diatas 2,0 terjadi pada kolom pipih, oleh karena itu peneliti akan memperjelas penyebaran data seperti pada Gambar 5.45. Titik lingkaran berwarna biru memperlihatkan  $DCR$  aksial kolom ( $P_n$ ), titik kotak berwarna merah memperlihatkan  $DCR$  momen kolom arah X ( $M_n X$ ), dan titik segitiga warna hijau memperlihatkan  $DCR$  momen kolom arah Y ( $M_n Y$ ). Gambar tersebut dapat terlihat jelas bahwa kolom yang perlu dianalisis lebih lanjut terjadi hampir pada seluruh kolom tipe KI. Perlu dicatat bahwa kode L menjelaskan posisi kolom *landscape* dan kode P menjelaskan posisi kolom *portrait*). Selain kolom pipih tipe KI yang perlu dianalisis lebih lanjut ternyata terdapat satu kolom pipih lainnya tipe KJ. Kedua tipe kolom

tersebut masih termasuk kolom pipih dengan dimensi kolom 15x60 cm untuk tipe kolom KI sedangkan 15x50 untuk tipe kolom KJ. Pada tipe kolom KI akan terjadi kerusakan jika mendapatkan gaya aksial dan momen baik dari kedua arah. Pada kolom tipe KJ akan rusak jika mendapatkan momen ke arah X. Keseluruhan kerusakan-kerusakan pada kolom pipih terjadi ke arah sumbu lemah, sebagaimana terkait pada Gambar 5.46. Apabila sebaran nilai DCR kolom yang lebih besar dari 2,0 diplot ke Gambar 5.46, maka lokasi as kolom tersebut dapat ditunjukkan pada titik C43, C45, C49, C44, C46, dan C50. Titik C43, C45, dan C49 tersebut terpasang kolom dengan posisi *portrait* dan akan rusak jika mendapatkan gaya ke arah sumbu X, sedangkan pada titik C44, C46, dan C50 terpasang kolom dengan posisi *landscape* dan akan rusak jika mendapatkan gaya ke arah sumbu Y.



Gambar 5.46 Titik kerusakan pada kolom pipih

Kolom pipih jika dilihat dari segi arsitektural memang dapat menampilkan kesan keindahan pada komponen struktur karena terkamufase oleh dinding-dinding pasangan. Namun demikian, penggunaan kolom pipih terlalu banyak dan tidak tepat sasaran kekuatan struktur akan menimbulkan masalah serius ketika bangunan tersebut dilanda beban gempa.

b) DCR komponen struktur geser kolom

Perhitungan *DCR* kolom selanjutnya yaitu analisis *DCR* untuk gaya geser kolom. Perhitungan *DCR* geser kolom secara detail dapat dilihat pada salah satu contoh perhitungan berikut ini. Perhitungan *DCR* gaya geser kolom terdiri dari 2 arah yaitu arah X dan arah Y. Data dalam perhitungan ini diambil salah satu data dalam analisisnya. Data yang dipakai menggunakan data Kolom KA arah X dengan *propertis* kolom sebagai berikut ini.

Type kolom	=	KA	
lantai	=	Lantai 1	
no kolom	=	C1	
nama kolom	=	KA C1	
dimensi ( <i>b x ht</i> )	=	75 x 75 cm	
penulangan			
lentur sisi atas	=	9D25	
sisi bawah	=	9D25	
geser	=	4P10-10	
mutu beton ( <i>f'c</i> )	=	19,04 MPa	
mutu baja			
tul. longitudinal ( <i>fy</i> )	=	380 MPa	
tul. transversal ( <i>fys</i> )	=	240 MPa	
<i>ds</i>	=	3,00 + 1,00 + (2,5/2)	= 5,25 cm
<i>ds'</i>	=	3,00 + 1,00 + (2,5/2)	= 5,25 cm
<i>s</i>	=	75 – 5,25	= 69,75 cm
<i>As</i>	=	$(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 1,0^2 \cdot 4) \cdot \left(\frac{100}{10}\right)$	= 31,429 cm <sup>2</sup>

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{19,04} \cdot 750 \cdot 697,50 \text{ (Pers. 3.60)}$$

$$= 3804,08 \text{ N} \quad = 38801,65 \text{ kg}$$

$$V_s = \frac{31,429 \cdot (240 \cdot 10,2) \cdot 69,75}{100} = 53663,657 \text{ kg (Pers. 3.61)}$$

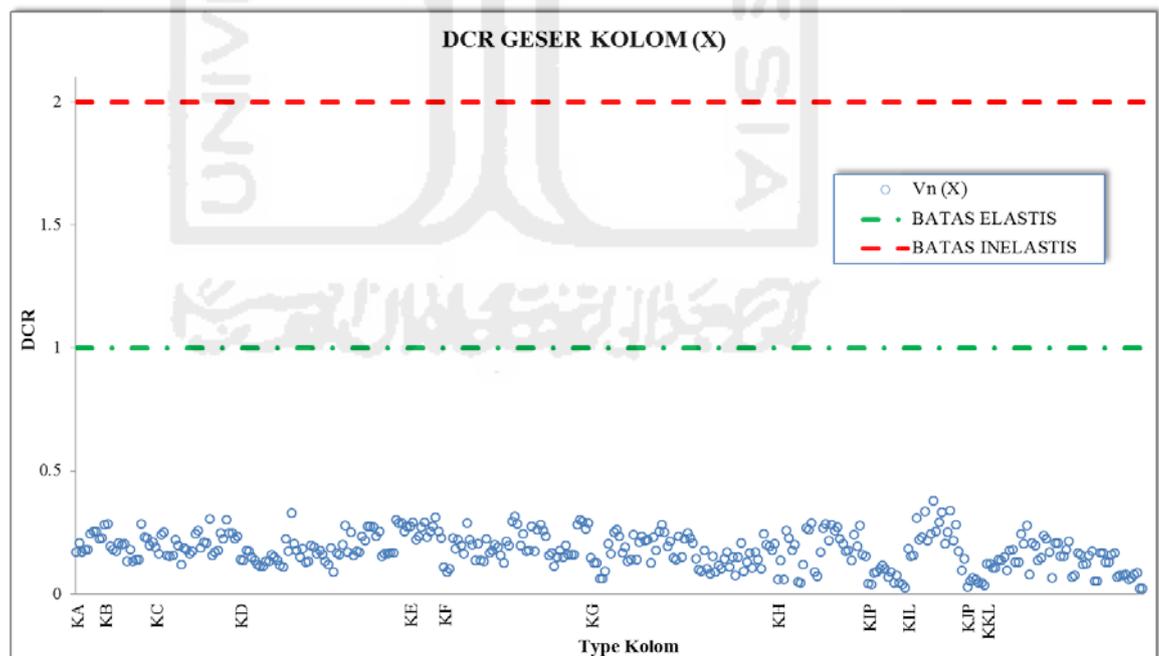
$$V_n = 38801,65 + 53663,657 \text{ (Pers. 3.59)}$$

$$= 92465,31 \text{ kg}$$

$$= 92,465 \text{ ton}$$

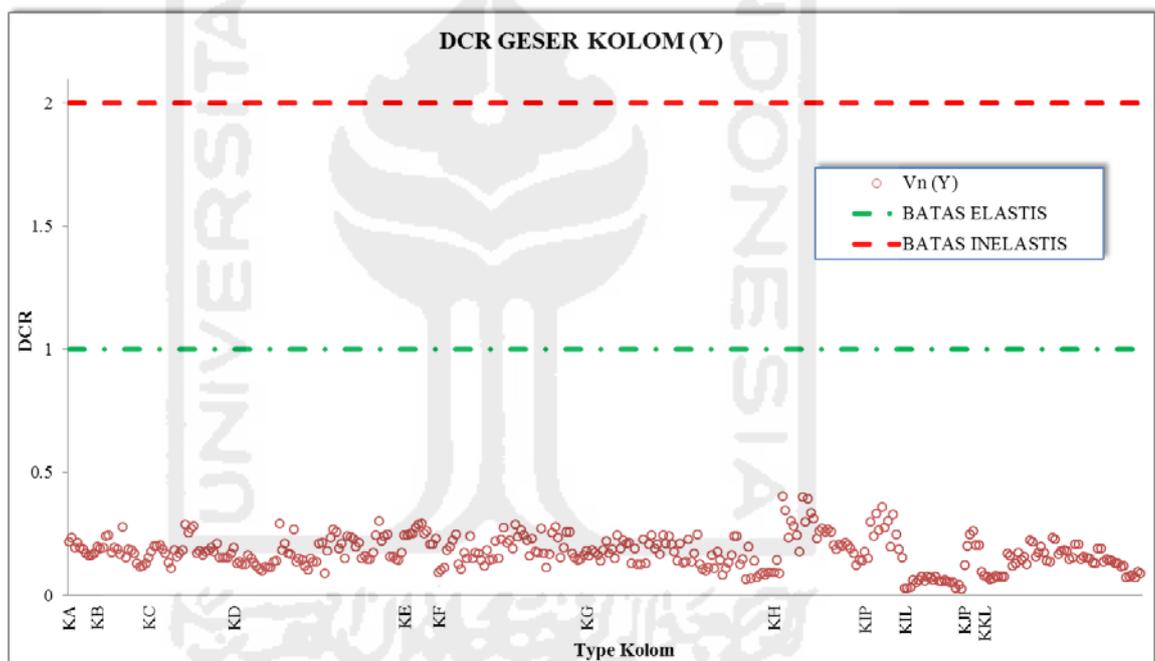
Penyelesaian persamaan *DCR* untuk geser kolom arah X diatas diperlukan data dari analisis program ETAB's. Gaya geser kolom arah X yang didapat dari program ETAB's diperoleh nilai sebesar  $V_{nX}$  19,53 ton, sehingga penyelesaian persamaan *DCR* geser kolom arah X adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} DCR &= \frac{19,53}{1,25 \cdot 92,465} \\ &= 0,169 < 1,0 \text{ (Elastik)} \end{aligned}$$



Gambar 5.47 Penyebaran dilai *DCR* geser kolom arah X

Hasil dari nilai *DCR* gaya geser kolom pada arah X dan arah Y sangat bagus dikarenakan hasil dari nilai tersebut tidak memsauti dalam kondisi inelastik tanpa *pushover* maupun kondisi inelastik dengan *pushover*. Seluruh nilai yang didapat pada kondisi elastik dengan nilai *DCR* di bawah 1,0. Hasil tersebut dapat diperlihatkan pada gambat *DCR* geser kolom arah X dan arah Y berturut-turut pada Gambar 5.47 sampai dengan Gambar 5.48. Kondisi struktur tersebut bisa didapat nilai yang bagus dikarenakan struktur kolom mempunyai dimensi dan penulangan yang cukup bagus. Hal itu dapat ditunjukkan pada gambar penulangan struktur terutama pada struktur kolom yang terdapat pada Lampiran 5.



Gambar 5.48 Penyebaran nilai *DCR* geser kolom arah Y

#### 5.3.4. Hasil Evaluasi Tier 2

Uraian analisis *DCR* sudah dijelaskan untuk penyelesaian perhitungan nilai *DCR* dari berbagai komponen struktur. Analisis penyelesaian komponen struktur meliputi analisis momen balok, geser balok, momen kolom, aksial kolom dan geser kolom. Dari hasil penyelesaian dan penjelasan, maka dapat diambil kesimpulan untuk evaluasi tier 2. Kesimpulan evaluasi tier 2 pada struktur

bangunan Hotel Inna Garuda *Extention* Yogyakarta adalah perlu dilakukan analisis lebih lanjut yaitu analisis *tier 3* dengan metoda analisis *pushover*. Analisis tersebut harus dilakukan karena pada analisis penyelesaian nilai *DCR* aksial kolom terdapat nilai yang melebihi dari angka 2,0. Analisis yang lain pada *tier 2* didapat bangunan Hotel Inna Garuda *Extention* Yogyakarta termasuk bangunan dengan kondisi struktur ketidakberaturan (*irregularity*). Disisi lain yang mempengaruhi dari nilai *DCR* lebih dari 2,0 dikarenakan bangunan tersebut terdapat kolom pipih yang kurang mampu menahan gaya pada sumbu lemah kolom. Standar FEMA 356 menyatakan bahwa prosedur analisis linier tidak dapat digunakan apabila, jika pada satu atau lebih komponen nilai  $DCR > 2,0$  dan terdapat adanya ketidakberaturan (*irregularities*) pada struktur, maka prosedur analisis linier tidak dapat digunakan lagi sehingga perlu dilakuakan analisis *tier 3*.

#### **5.4. Evaluasi Tahap 3 (*Tier 3 Evaluation*)**

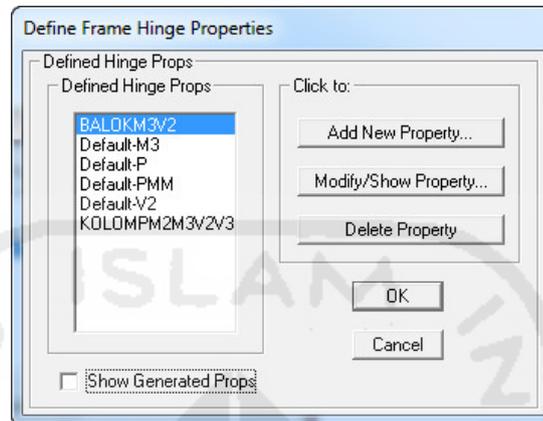
Analisis evaluasi tahap 3 menggunakan analisis *pushover* atau analisis statis *nonlinear*. Analisis *pushover* merupakan salah satu komponen *performance based level* yang menjadi sarana dalam mencari kurva kapasitas dari suatu struktur. Dasar dari analisis *pushover* yaitu memberikan pola beban statik tertentu dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap pada suatu struktur sampai struktur tersebut mencapai target *displacement* tertentu atau mencapai pola keruntuhan tertentu.

Evaluasi tahap 3 atau analisis *pushover* pada bangunan gedung Hotel Inna Garuda *Extention* perlu dilakukan karena pada evaluasi tahap 2 sebelumnya terdapat beberapa elemen struktur yang nilai *DCR* melebihi angka 2,0. Analisis *pushover* dilakukan dengan menggunakan bantuan program ETAB's dengan versi 9.6.

##### **5.4.1. Pengaturan *Hinge Properties***

Perilaku leleh dan pasca leleh pada elemen struktur dapat dimodelkan dalam *hinges properties*. *Hinges properties* hanya dapat dipakai dalam elemen rangka saja. Adapun *type hinges* yang tersedia adalah geser (*major shear, V3*),

momen (*major moment*, M3), aksial (*aksial*, P), kombinasi aksial momen (*Coupled*, P – M2 – M3).

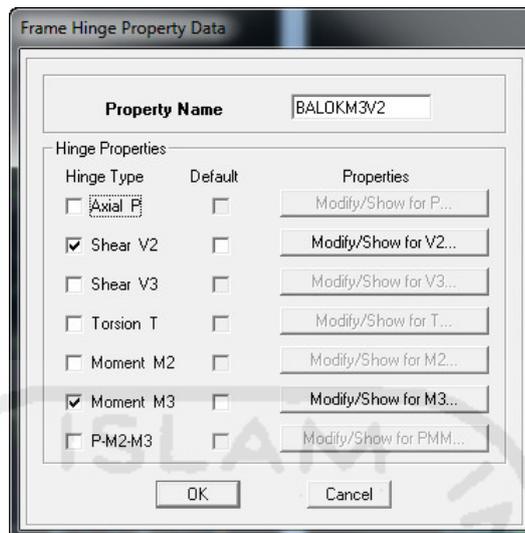


Gambar 5.49 Pemilihan dari *frame hinge properties*

Didalam program ETAB's akan dilakukan pendefinisian *hinge* dengan pendefinisian sebanyak dua nama *hinge* yaitu BALOK M3V2 dan KOLOM PM2M3V2V3. Pembuatan dan pengaturan *hinge properties* pada tiap-tiap elemen tersebut dapat dilakukan dengan cara memilih *define* kemudian *frame nonlinear hinge properties*. Keluar kotak seperti pada Gambar 5.49 kemudian pilih *add new property*.

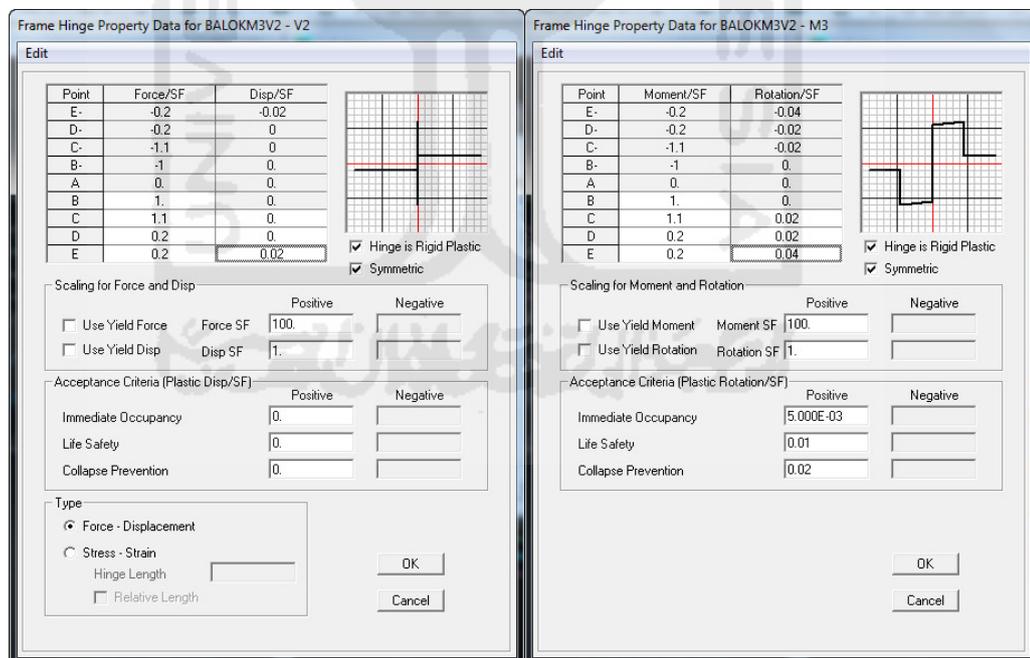
1. *Hinge properties* BALOK M3V2

Pengaturan *hinge properties* BALOK M3V2 dapat dilakukan dengan menekan ikon *add new property*, sehingga akan keluar *frame hinge property data* seperti pada Gambar 5.49. *Hinge properties* elemen BALOK M3V2 dapat di dipilih pada tipe *momen* (M3) dan tipe *shear* (V2) kemudian dipilih *modify/show* setiap tipe tersebut dan diatur berdasarkan pada peraturan FEMA 273 (1997) dan ATC 40 (1996).



Gambar 5.50 Pemilihan tipe – tipe *hinge property* balok

Pengisian data pada kotak form *frame hinge property data* untuk tipe *shear* (V2) dan tipe *moment* (M3) dapat dilihat pada Gambar 5.51 berikut ini.



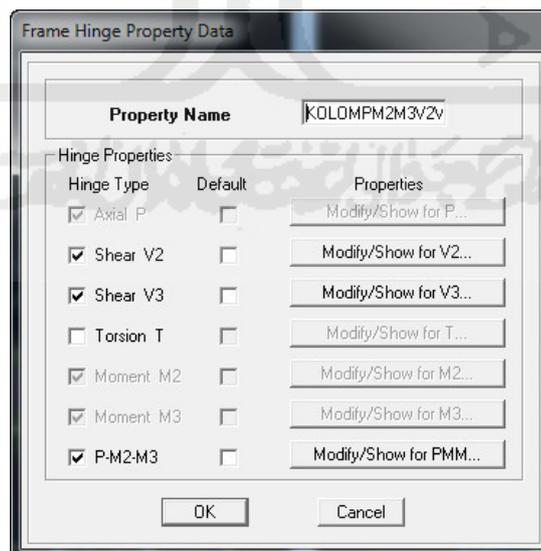
Gambar 5.51 Pengaturan *frame hinge property* balok V2 dan M3

Tabel 5.13 Prosedur pengisian *frame hinge properties* balok

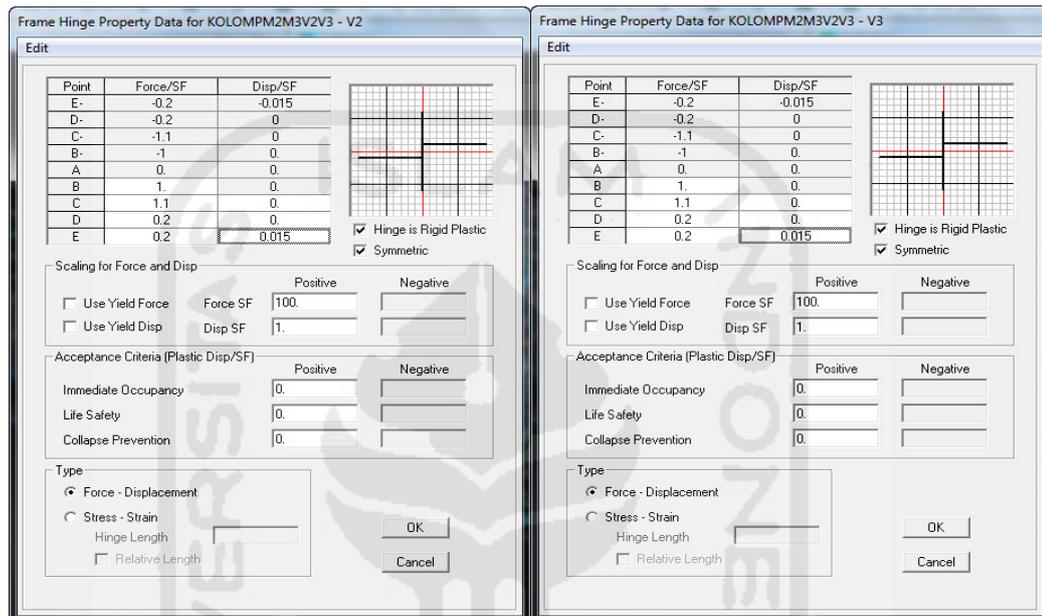
Uraian		Shear (V2)		Moment (M3)		
a.	Data <i>Moment-Rotation</i>	<i>Point</i>	<i>Force</i>	<i>Disp</i>	<i>Moment</i>	<i>Rotation</i>
		A	0	0	0	0
		B	1	0	1	0
		C	1,1	0	1,1	0,02
		D	0,2	0	0,2	0,02
E	0,2	0,2	0,2	0,04		
b.	Pilih Opsi	<i>Symmetric</i>		<i>Symmetric</i>		
c.	<i>Scaling for Moment and Rotation</i>	<i>Moment</i>	100		100	
		<i>Rotation</i>	1		1	
d.	<i>Acceptance Criteria</i>	IO	0		0,005	
		LS	0		0,01	
		CP	0		0,02	
e.	<i>Type</i>	<i>Force - Displacement</i>		-		

Prosedur yang diperlukan dalam penentuan nilai *hinge properties* mengacu pada standar FEMA 273 (1997) *Table 6-6* atau ATC 40 (1996) *Table 9-6*. Pengisian data *frame hinge properties* baik untuk tipe *shear (V2)* dan tipe *momen (M3)* dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut ini.

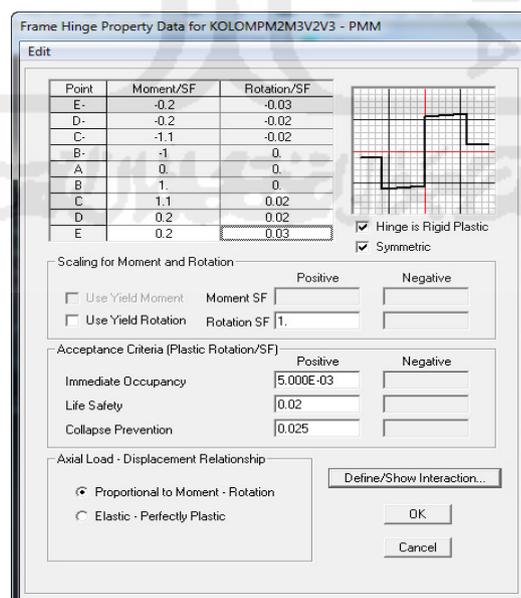
## 2. *Hinge properties* KOLOM PM2M3V2V3

Gambar 5.52 Pemilihan tipe-tipe *hinge properties* kolom

Langkah berikutnya yaitu pengaturan *hinge properties* untuk KOLOM PM2M3V2V3. Pengaturan *hinge properties* untuk KOLOM PM2M3V2V3 terdiri dari tiga tipe *hinge* yaitu *shear* (V2), *shear* (V3) dan P-M2-M3. Pemilihan tipe-tipe *hinge properties* tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.52.



(a) *Frame hinge properties* geser (V2)      (b) *Frame hinge properties* geser (V3)



(c) *Frame hinge properties* P-M2-M3

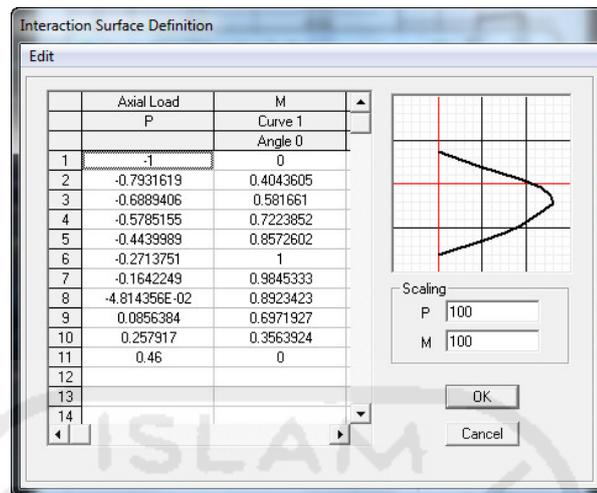
Gambar 5.53 Pengisian data *frame hinge properties* pada kolom

Pengisian data *frame hinge properties* baik untuk tipe *shear* (V2), *shear* (V3) maupun P-M2-M3 mengacu berdasarkan standar FEMA 273 (1997) *Table 6-7* atau ATC 40 (1996) *Table 9-7*. Hasil pengisian data *frame hinge properties* tersebut dapat ditampilkan pada Gambar 5.53 (a) dan Gambar 5.53 (b) untuk *shear* (V2) dan *shear* (V3), sedangkan untuk P-M2-M3 dapat ditampilkan pada Gambar 5.53 (c).

Tabel 5.14 Prosedur pengisian *frame hinge properties* kolom

Uraian		<i>Shear</i> (V2)		<i>Shear</i> (V3)		PMM		
a.	<i>Data Moment-Rotation</i>	<i>Point</i>	<i>Force</i>	<i>Disp</i>	<i>Force</i>	<i>Disp</i>	<i>Moment</i>	<i>Rotation</i>
		A	0	0	0	0	0	0
		B	1	0	1	0	1	0
		C	1,1	0	1,1	0	1,1	0,02
		D	0,2	0	0,2	0	0,2	0,02
	E	0,2	0,15	0,2	0,15	0,2	0,03	
b.	<i>Pilih Opsi</i>	<i>Symmetric</i>		<i>Symmetric</i>		<i>Symmetric</i>		
c.	<i>Scaling for Moment and Rotation</i>	<i>Moment</i>	100		100		-	
		<i>Rotation</i>	1		1		1	
d.	<i>Acceptance Criteria</i>	IO	0		0		0,005	
		LS	0		0		0,02	
		CP	0		0		0,025	
e.	<i>Type</i>	<i>Force - Displacemen</i>		<i>Force - Displacemen</i>		-		
f.	<i>Axial Load – Displacement</i>	-		-		<i>Proportional to Moment-Rotation</i>		

Prosedur yang diperlukan untuk melengkapi form pengisian *frame hinge properties* data untuk KOLOM PM2M3V2V3 dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut ini. *Interaction surface* kolom di program ETAB's dapat dilihat pada Gambar 5.54 berikut ini.



Gambar 5.54 *Interaction surface* kolom di program ETAB's

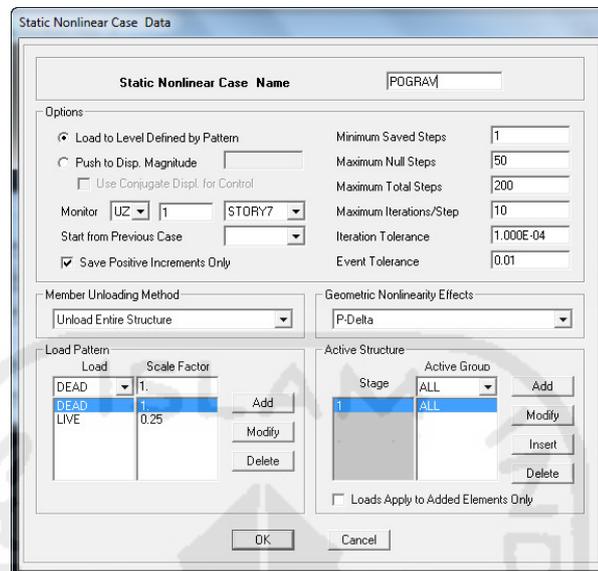
#### 5.4.2. Pendefinisian *Pushover Load Case*

Analisis *pushover* pada struktur Gedung Hotel Inna Garuda *Extention* digunakan 3 *pushover load case*. Pertama yaitu analisis *pushover* grafitasi (POGRAV) yang mana beban *pushover*-nya menggunakan beban mati dan beban hidup. Analisis *pushover* kedua yaitu analisis *pushover* Arah X (PUSHRX) dengan beban lateral arah X dari *respons spectrum*. Terakhir analisis yaitu analisis *pushover* Arah Y (PUSHRY) dengan beban seperti PUSHX namun arah beban yaitu arah Y.

##### 1. Pendefinisian *pushover* grafitasi (POGRAV)

*Pushover* grafitasi yaitu kondisi *nonlinear* stuktur diberikan pembebanan berupa *pushover* beban mati dan beban hidup. Penambahan *load case* POGRAV di *define* → *static nonlinear/pushover case* → *add new case*. Selanjutnya pemodifikasian nilai dari POGRAV dapat dilihat pada Gambar 5.55 dan pengisian data *load case* sebagai berikut ini.

- a) *Static nonlinear case name* : POGRAV;
- b) *option* : - *load to level defined by pattern*;  
- *monitor UZ, 1 ,STORY 7*  
- *save positive increments only*; dan
- c) *load pattern* : *dead* = 1,0  
*live* = 0,25.

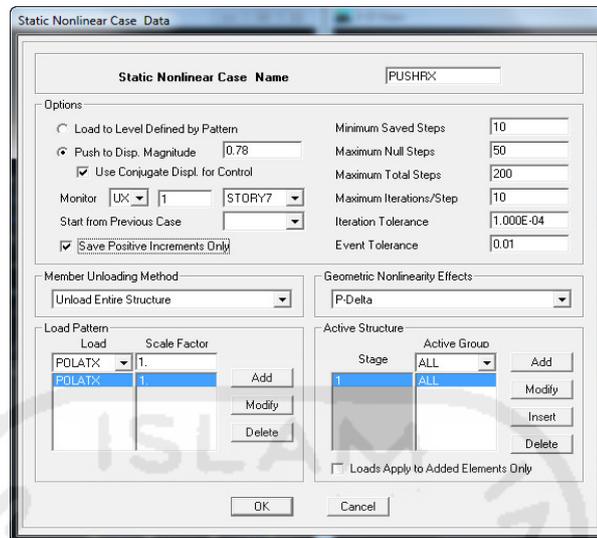


Gambar 5.55 Pendefinisian *pushover* beban gravitasi

## 2. Pendefinisian *pushover* lateral (PUSHRX dan PUSHRX)

*Pushover* lateral yaitu kondisi *nonlinear* stuktur diberikan pembebanan berupa *pushover* beban lateral baik dari arah X maupun dari arah Y. Penambahan *Load Case* PUSHRX di *Define* → *Static Nonlinear/ Pushover Case* → *Add New Case*. Selanjutnya pemodifikasian nilai dari PUSHRX dapat dilihat pada Gambar 5.56 dan pengisian data *load case* sebagai berikut ini.

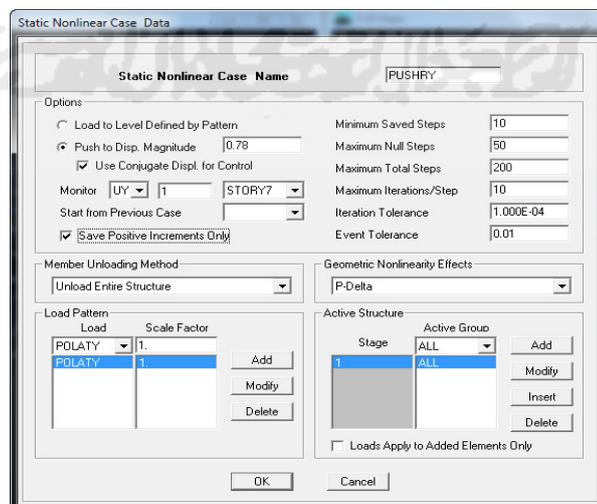
- a) *Static nonlinear case name* : PUSHRX;
- b) *option* : - *push to disp. magnitude* 0,52 (26 m x 2%)  
 - *monitor* UX, 1 ,STORY 7  
 - *save positive Increments Only*;
- c) *member unloading method* : *unload entire structure*; dan
- d) *load pattern* : POLATX = 1,0.



Gambar 5.56 Pendefinisian *pushover* lateral arah X

Pendefinisian *pushover* lateral arah Y atau PUSHRY dapat dilihat pada Gambar 5.57 dan pengisian data *load case* sebagai berikut ini.

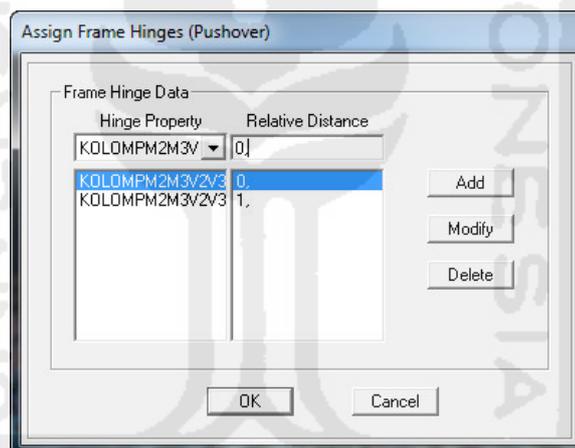
- a) *Static nonlinear case name* : PUSHRY;
- b) *option* : - *push to disp. magnitude* 0,52 (26 m x 2%)  
- *monitor* UY, 1 ,STORY 7  
- *save positive increments only*;
- c) *member unloading method* : *unload entire structure*; dan
- d) *load pattern* : POLATY = 1,0.



Gambar 5.57 Pendefinisian *pushover* lateral arah Y

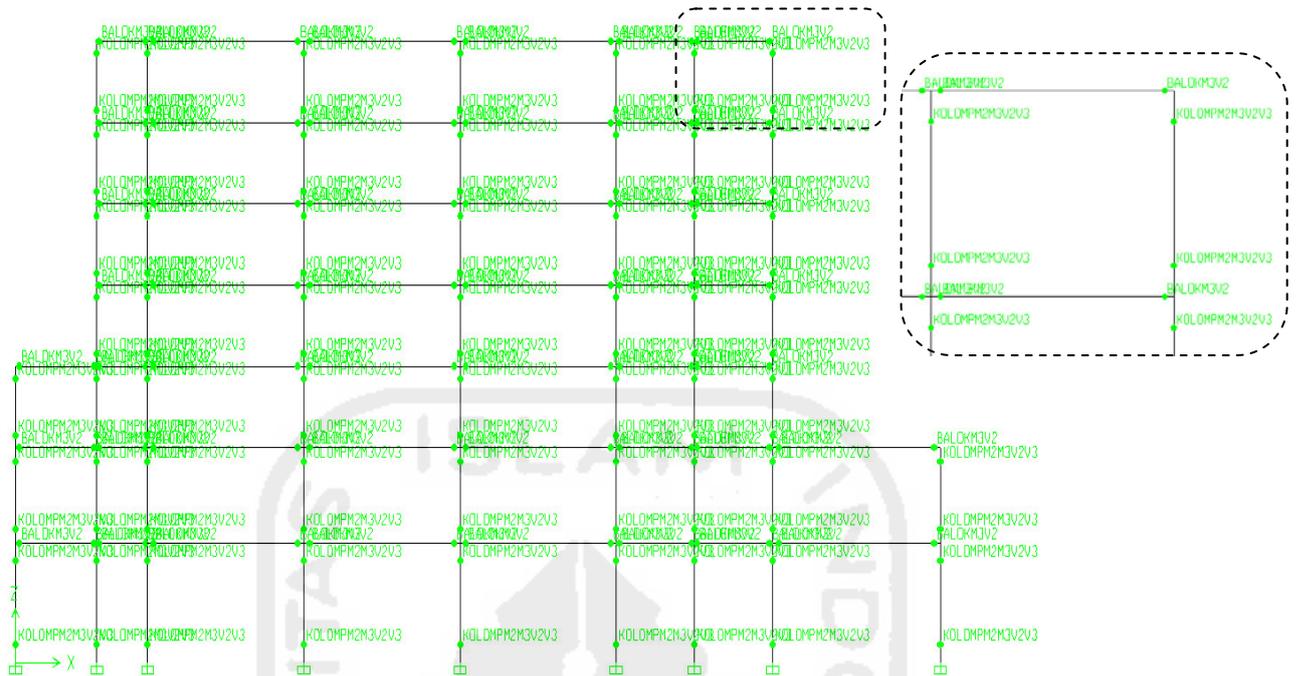
### 5.4.3. Pengaturan *Frame Nonlinear Hinges* Tiap Elemen

Setiap komponen balok dan kolom perlu dilakukan pengaturan sendi plastis (*hinge*) setiap ujung komponen elemen tersebut. Pengaturan *hinge* pada komponen balok digunakan *hinge properties* BALOK M3V2, sedangkan untuk komponen kolom digunakan *hinge properties* KOLOM PM2M3V2V3. Pengaturan di dalam program ETAB'S dilakukan dengan cara memilih pada *assign* → *frame/line* → *frame nonlinear hinges*. Pemilihan untuk elemen balok atau kolom dapat dilakukan dengan memilih pada *dropdown hinge property* kemudian memasukkan nilai 0 untuk ujung sendi plastis awal dan atau nilai 1 untuk ujung sendi plastis akhir. Contoh pengaturan *frame nonlinear hinge* pada kolom dapat dilihat pada Gambar 5.58 berikut ini.

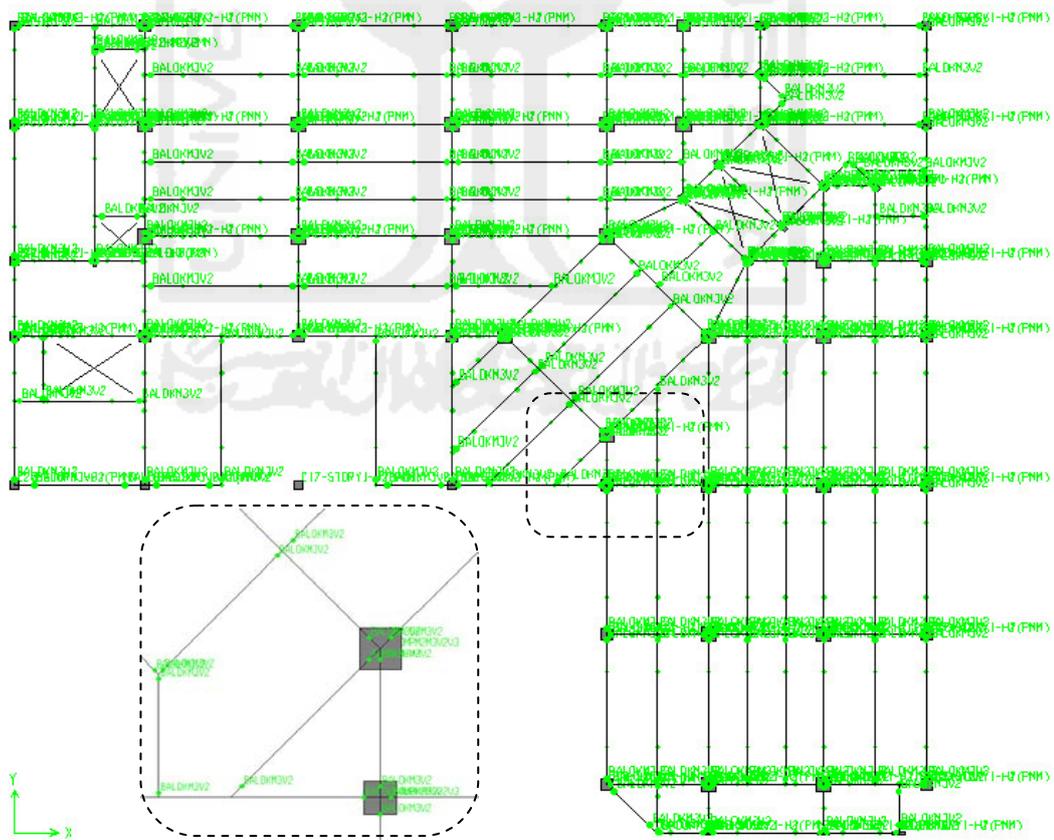


Gambar 5.58 Pengaturan *frame nonlinear hinge* pada kolom

Hasil akhir pengaturan *frame nonlinear hinge* untuk setiap elemen struktur baik untuk balok maupun kolom dapat dilihat pada Gambar 5.59 sampai dengan Gambar 5.60.



Gambar 5.59 *Frame nonlinear hinge* tiap elemen struktur pada portal



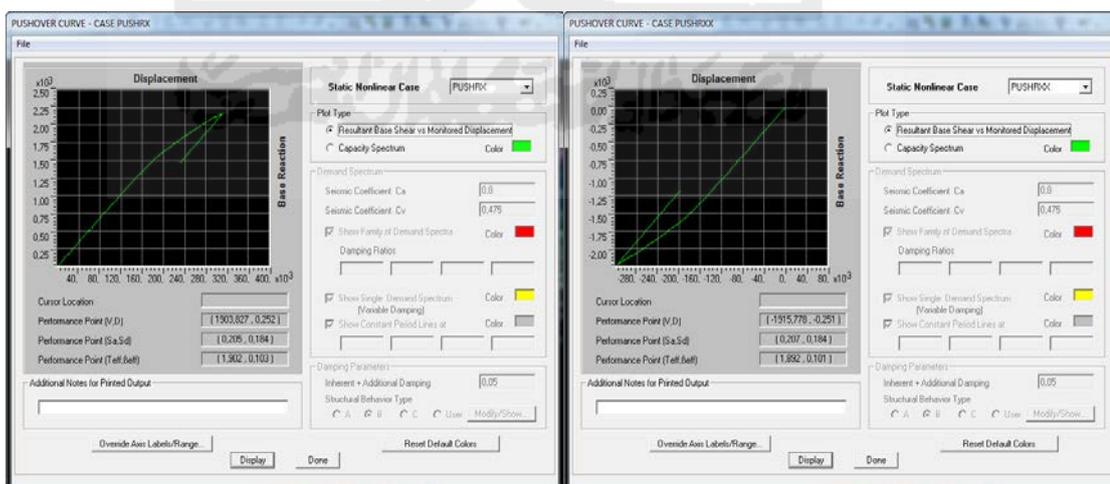
Gambar 5.60 *Frame nonlinear hinge* tiap elemen struktur pada denah

#### 5.4.4. Hasil Analisis *Pushover*

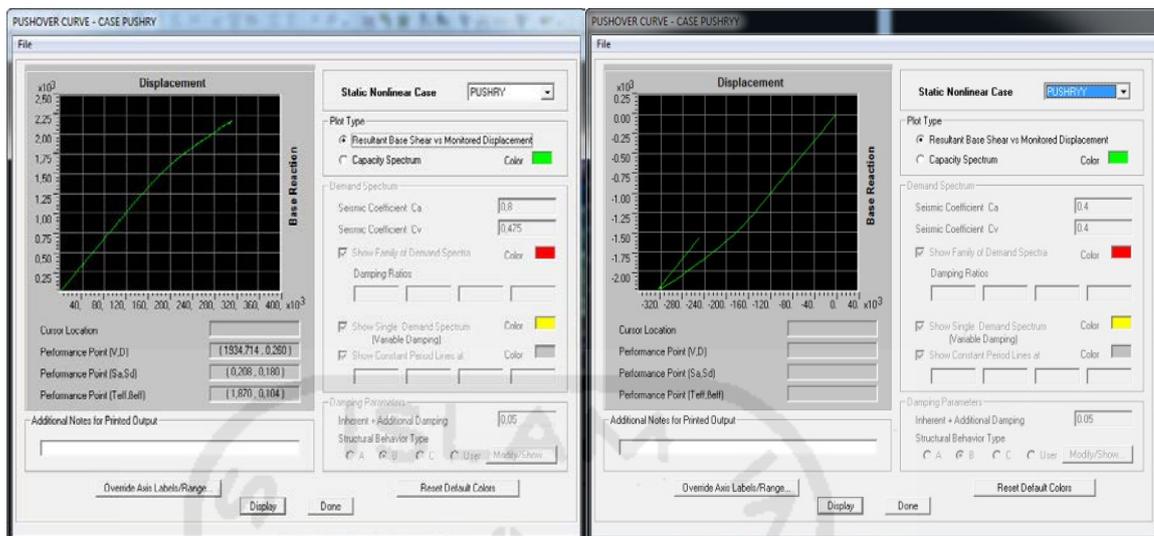
Analisis hasil target perpindahan baik pada sítiap komponen yang berupa kurva kapasitas dan titik kinerja digunakan 5 metode analisis yaitu metoda spektrum kapasitas ATC-40, metode kofisien perpindahan FEMA 356, metoda koefisien perpindahan yang diperbarui FEMA 440, kinerja batas ultimit menurut SNI 1726-2012, dan metode manual.

##### 5.4.4.1. Kurva Kapasitas

Hubungan antara perpindahan lateral lantai atap dan gaya geser dasar digambarkan dalam suatu kurva yang menggambarkan kapasitas struktur dan dinamakan kurva kapasitas (*capacity curve*). Kurva kapasitas yang didapatkan dari analisis *pushover* menggambarkan kekuatan struktur yang besarnya sangat tergantung dari kemampuan momen deformasi dari masing-masing komponen struktur. Cara termudah untuk membuat kurva ini adalah dengan mendorong struktur secara bertahap (*pushover*) dan mencatat hubungan antara gaya geser dasar (*bases hear*) dan perpindahan atap akibat beban lateral yang dikerjakan pada struktur dengan pola pembebanan tertentu. Hasil kurva kapasitas setelah dianalisis *pushover* dengan bantuan program ETAB's pada bangunan gedung Hotel Inna Garuda *Extention* baik arah X maupun arah Y dapat dilihat pada Gambar 5.61 dan Gambar 5.62 berikut ini.



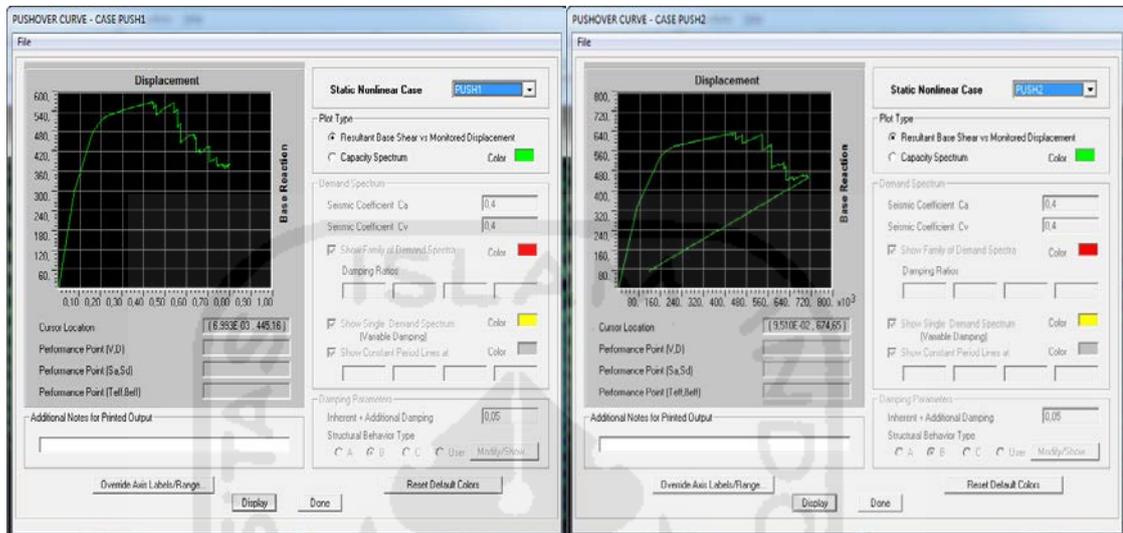
Gambar 5.61 Kurva kapasitas Hotel Inna Garuda *Extention* arah X

a. *Pushover* dari barat ke timurb. *Pushover* dari timur ke baratGambar 5.62 Kurva kapasitas Hotel Inna Garuda *Extention* arah Y

Kurva kapasitas pada stuktur gedung Hotel Inna Garuda *Extention* di atas tidak cukup baik dikarenakan hasil kurva kapasitas di titik tertentu hasilnya langsung berhenti. Hasil kurva kapasitas tersebut tidak mengalami penurunan gaya *base shear* sedangkan *displacement* tetap bertambah seperti kurva kapasitas pada Gambar 5.63. Data propertis bangunan dari kurva kapasitas pada Gambar 5.63 tersebut dapat dilihat pada Lampiran 6. Hasil kurva kapasitas yang tidak cukup baik dipengaruhi dari geometri struktur bangunan, mempunyai banyak *type* atau jenis struktur elemen dan ketinggian atau banyaknya tingkat.

Hasil *export* data kurva kapasitas dari program ETAB's dapat disajikan pada Tabel 5.15 di bawah ini. Hasil pada tabel tersebut dapat terlihat bahwa berhentinya langkah analisis *pushover* (*step*) setiap arah berbeda. Langkah analisis *pushover* sumbu arah X dari utara ke selatan berhenti pada *step* 37 dengan nilai maksimum simpangan 0,3112 meter dan gaya dasar sebesar 2155,9597 ton dan dari arah selatan ke utara berhenti pada *step* 36 dengan nilai maksimum simpangan 0,3169 meter dan gaya dasar sebesar 2227,8406 ton, sedangkan langkah analisis *pushover* sumbu arah Y dari barat ke timur berhenti pada *step* 36 dengan nilai maksimum simpangan 0,3117 meter dan gaya dasar sebesar 2172,41

ton dan dari arah timur ke barat berhenti pada *step* 39 dengan nilai maksimum simpangan 0,3248 dan gaya dasar sebesar 2226,4404 ton.



a. *Pushover* dari barat ke timur

b. *Pushover* dari utara ke selatan

Gambar 5.63 Kurva kapasitas bangunan reguler

Tabel 5.15 Hasil *export* data kurva kapasitas dari program ETAB's

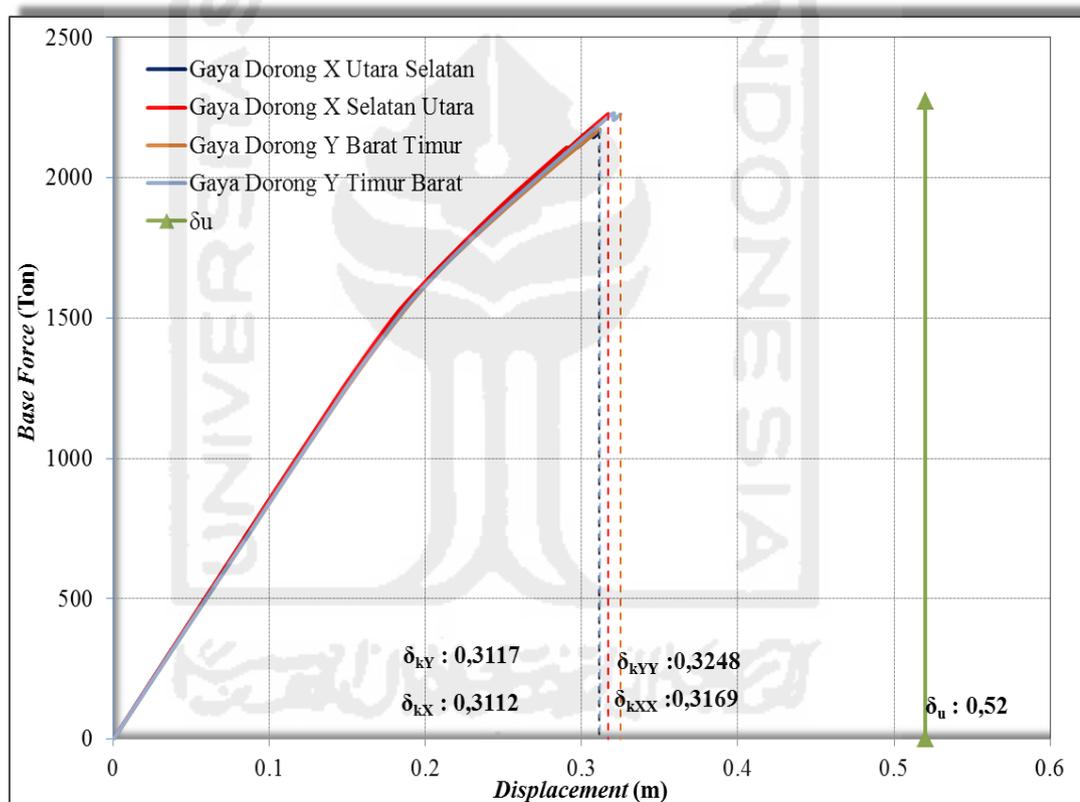
Step	Gaya dorong arah X				Gaya dorong arah Y			
	Utara ke Selatan		Selatan ke Utara		Barat ke Timur		Timur ke Barat	
	Displacement	Base Force	Displacement	Base Force	Displacement	Base Force	Displacement	Base Force
	(m)	(ton)	(m)	(ton)	(m)	(ton)	(m)	(ton)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,0078	66,7177	0,0078	66,7177	0,0078	65,6678	0,0078	65,6678
2	0,0156	133,4356	0,0156	133,4353	0,0156	131,3355	0,0156	131,336
3	0,0234	200,1534	0,0234	200,1527	0,0234	197,0028	0,0234	197,0044
4	0,0312	266,8714	0,0312	266,8698	0,0312	262,67	0,0312	262,673
5	0,039	333,5892	0,039	333,5869	0,039	328,3369	0,039	328,3418
6	0,0468	400,3073	0,0468	400,3038	0,0468	394,0035	0,0468	394,0109
7	0,0546	467,0255	0,0546	467,0208	0,0546	459,6699	0,0546	459,6799
8	0,0624	533,744	0,0624	533,7377	0,0624	525,3361	0,0624	525,3502
9	0,0702	600,4627	0,0702	600,4543	0,0702	591,0021	0,0702	591,0204
10	0,078	667,1815	0,078	667,1706	0,078	656,6678	0,078	656,6909
11	0,0858	733,9005	0,0858	733,8868	0,0858	722,3335	0,0858	722,3615
12	0,0936	800,6196	0,0936	800,6027	0,0936	787,9994	0,0936	788,0325

Tabel 5.15 Hasil *export* data kurva kapasitas dari program ETAB's (lanjutan)

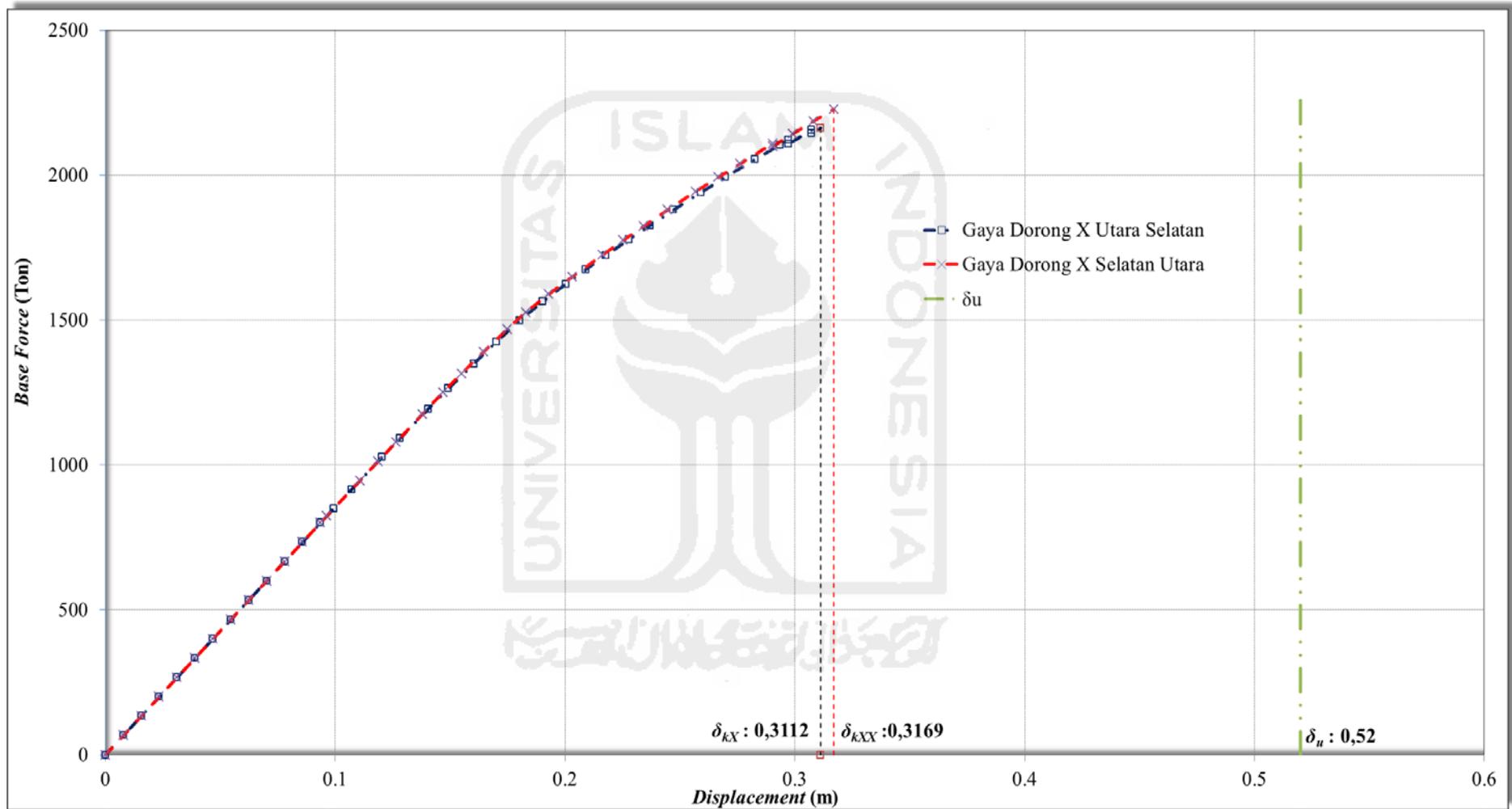
Step	Gaya dorong arah X				Gaya dorong arah Y			
	Utara ke Selatan		Selatan ke Utara		Barat ke Timur		Timur ke Barat	
	<i>Displacement</i>	<i>Base Force</i>						
	(m)	(ton)	(m)	(ton)	(m)	(ton)	(m)	(ton)
13	0,0993	849,5693	0,0963	824,1003	0,1014	853,665	0,0985	829,5777
14	0,1071	915,8248	0,1108	946,4487	0,1037	873,1608	0,1063	895,0945
15	0,1204	1027,6362	0,1186	1012,3695	0,1115	938,431	0,1141	960,3751
16	0,1282	1092,0452	0,1264	1078,2903	0,1237	1040,0941	0,1219	1025,6558
17	0,1406	1194,5236	0,1379	1175,3231	0,1315	1104,4274	0,1297	1090,9366
18	0,1493	1264,2787	0,147	1251,8364	0,1424	1193,8911	0,1399	1175,9696
19	0,1603	1349,4694	0,155	1315,9902	0,1521	1272,0472	0,1494	1254,6396
20	0,1701	1424,5959	0,1646	1391,5267	0,162	1349,172	0,1588	1329,1703
21	0,1802	1498,2603	0,175	1469,5835	0,1727	1429,2749	0,1674	1393,8486
22	0,1903	1563,9875	0,1829	1526,8539	0,181	1489,1688	0,1767	1462,4658
23	0,2003	1624,3341	0,1929	1589,2269	0,1912	1560,6472	0,1861	1530,4811
24	0,2091	1674,675	0,2031	1649,4961	0,2019	1627,5752	0,1945	1586,1136
25	0,2177	1723,1553	0,2164	1725,204	0,2118	1685,6882	0,2055	1651,0844
26	0,2277	1777,563	0,2252	1774,7178	0,2197	1728,6748	0,2158	1709,8452
27	0,2371	1827,2166	0,2342	1824,1481	0,2302	1784,2776	0,227	1771,2195
28	0,2472	1880,2285	0,2446	1880,1362	0,2436	1852,4362	0,2349	1813,4905
29	0,2592	1940,6836	0,2568	1943,6641	0,2538	1903,3802	0,2429	1855,6389
30	0,2698	1993,3774	0,2668	1993,3794	0,2631	1948,7029	0,2514	1898,4637
31	0,2827	2054,8772	0,2763	2040,1908	0,2728	1995,402	0,2615	1948,9626
32	0,2935	2104,2725	0,2904	2108,304	0,2821	2039,2805	0,2717	1999,6567
33	0,2972	2120,9497	0,2904	2100,0706	0,291	2080,6863	0,2822	2050,9031
34	0,2972	2108,2893	0,2992	2143,5049	0,3018	2129,7209	0,2913	2095,1433
35	0,3073	2155,9507	0,3081	2186,4773	0,3098	2164,324	0,3013	2143,1331
36	0,3073	2143,9553	0,3169	2227,8406	0,3117	2172,4941	0,3098	2182,4041
37	0,3112	2162,574					0,3202	2229,9075
38							0,3202	2205,7283
39							0,3248	2226,4404

Keempat hasil *displacement* atau simpangan *pushover* di atas keseluruhannya masih di bawah nilai maksimum yang disyaratkan oleh SNI 1726-2012 sebesar 2,0% dari tinggi total bangunan atau sebesar 0,52 meter. Struktur gedung ini dapat dikatakan memenuhi syarat simpangan yang disyaratkan oleh peraturan. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 5.65 sampai dengan Gambar 5.66.

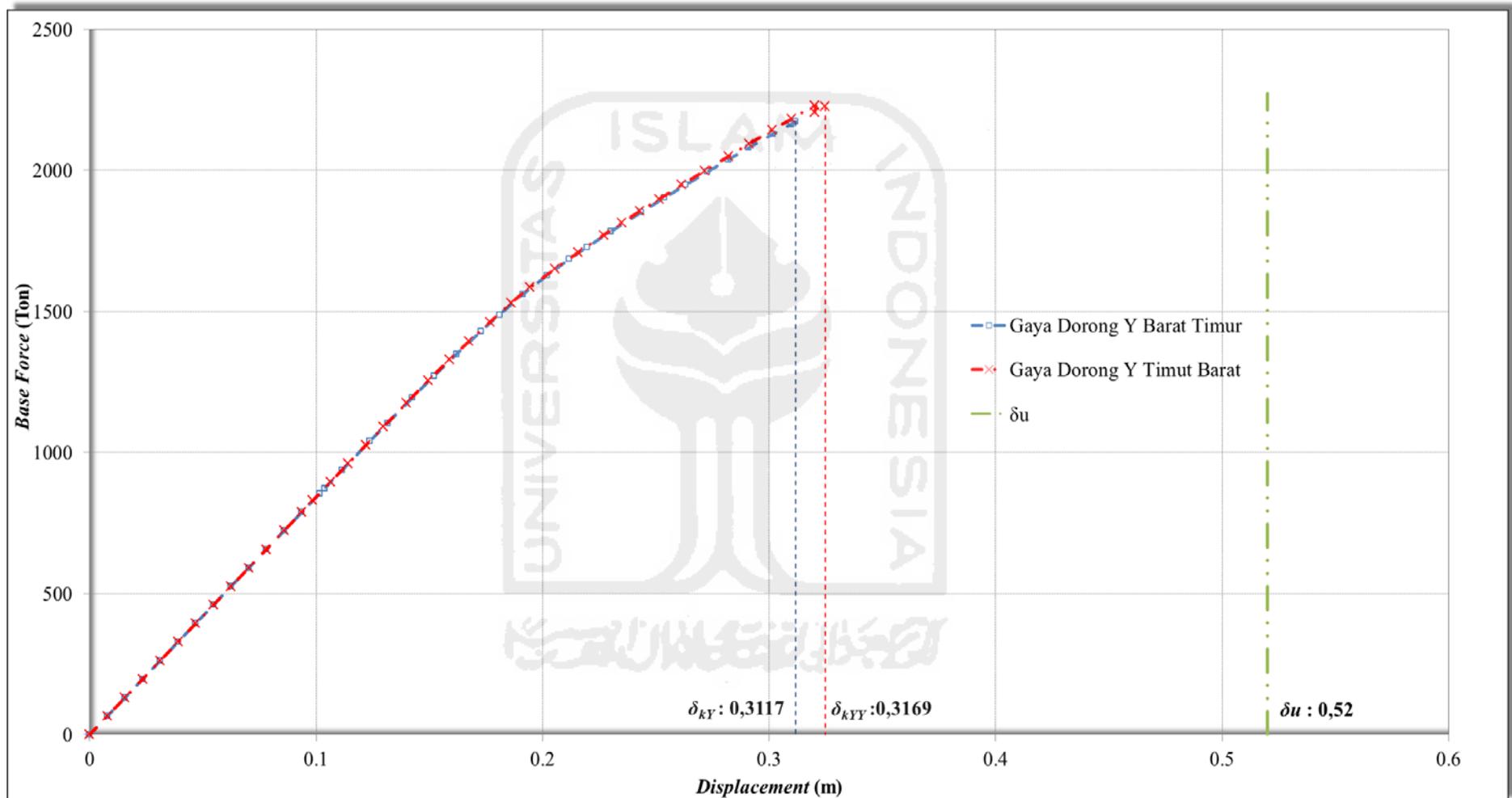
Hasil penggabungan grafik kurva kapasitas dari keempat arah *pushover* dapat dilihat pada Gambar 5.64. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa nilai dari keempat arah *pushover* hampir mendekati sama sehingga grafik kurva kapasitas juga berimpit. Berimpitnya kurva kapasitas dikarenakan nilai perbandingan atau gradien dari *base force* dengan *displacement* nilainya mendekati sama. Hal tersebut menandakan struktur bangunan Hotel Inna Garuda *Extention* dengan denah berbentuk “L”, jika dianalisis dengan *pushover* hasil kekuatan dari keempat arah mampu menahan gaya dorong hampir sama.



Gambar 5.64 Hasil kurva kapasitas dari analisis *pushover* keempat arah



Gambar 5.65 Hasil kurva kapasitas dari analisis *pushover* arah X



Gambar 5.66 Hasil kurva kapasitas dari analisis *pushover* arah Y

#### 5.4.4.2. Titik Kinerja

Gaya dan simpangan setiap komponen / elemen dihitung terhadap “simpangan tertentu” di titik kontrol yang disebut sebagai “simpangan target” dengan notasi  $\delta_t$  dan dianggap sebagai perpindahan maksimum yang terjadi saat bangunan mengalami gempa rencana. Untuk mendapatkan perilaku struktur pasca keruntuhan, maka perlu dibuat analisa *pushover* untuk membuat kurva hubungan gaya geser dasar dan simpangan lateral titik kontrol sampai dengan 150% dari target perpindahan.

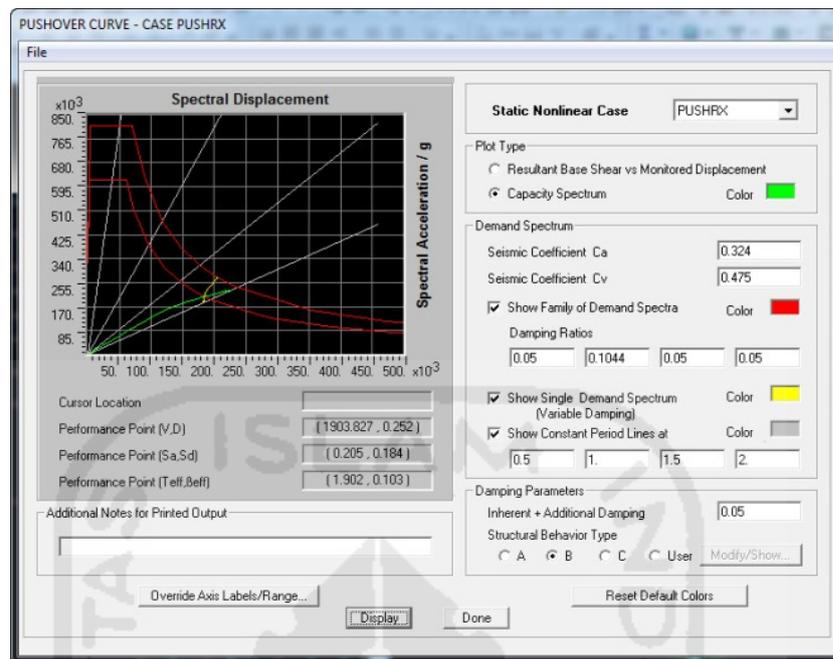
##### A. Metode Spektrum Kapasitas ATC-40

Berdasarkan peraturan dari ATC 40, prosedur analisis *pushover* untuk menentukan titik kinerja terdapat tiga prosedur. Namun yang digunakan dalam analisis ini adalah prosedur B. Tahapan analisis *pushover* dengan prosedur B adalah sebagai berikut.

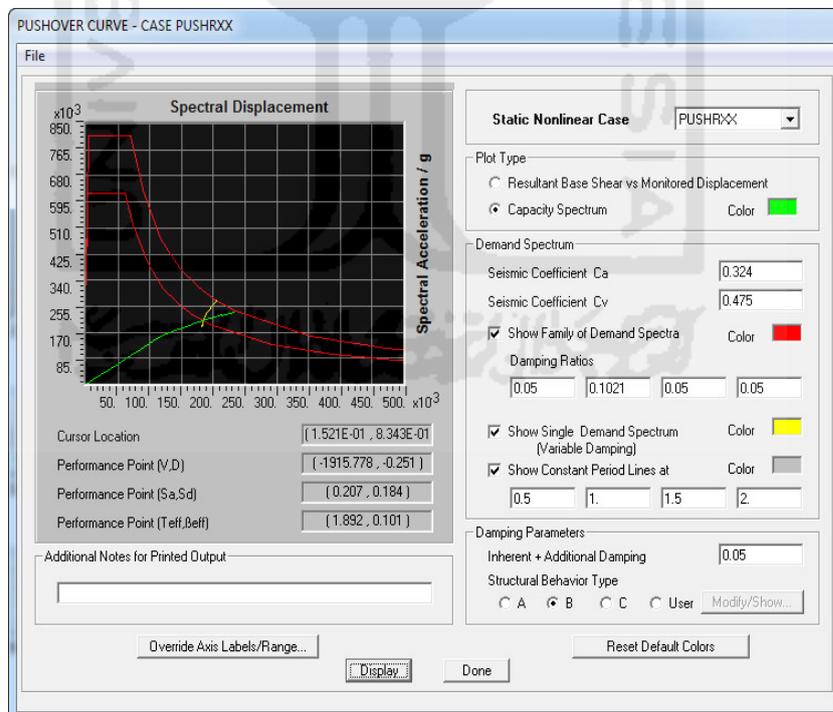
1. Mengembangkan redaman 5% pada respon spektrum sesuai dengan prosedur yang tersedia pada ATC 40 bab 4;
2. penggambaran respon spektrum dengan redaman 5% dan diturunkan pada grafik yang sama. Hal ini akan lebih mudah jika spektrum diplot sesuai dengan nilai – nilai redaman efektif ( $\beta_{eff}$ ) dimulai dari 5% dengan nilai maksimum yang diizinkan untuk jenis perilaku struktur bangunan;
3. ubah kurva kapasitas menjadi spektrum kapasitas dengan persamaan berikut. Selanjutnya plot spektrum kapasitas pada grafik yang sama dengan *demand*;
4. mengembangkan representasi *bilinear* dari spektrum kapasitas; dan
5. menghitung redaman efektif untuk berbagai perpindahan titik  $a^*$ , dan  $d^*$ .

Kemiringan segmen pasca leleh digambarkan dengan kurva *bilinear*

Dari kurva respon spektrum rencana sesuai dengan SNI 03-1726-2012 untuk bangunan dengan kota Yogyakarta dan kondisi tanah sedang, diperoleh nilai  $C_a = 0,81$  dan  $C_v = 0,475$  yang diperlukan sebagai input data pada program ETAB's, selanjutnya hitungan sepenuhnya dianalisis oleh komputer.

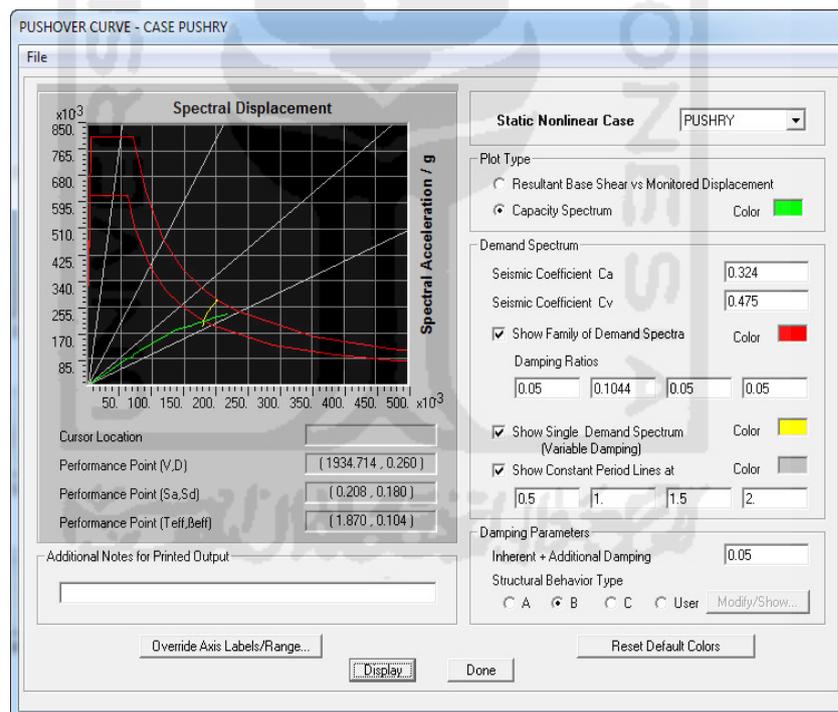


Gambar 5.67 Spektrum kapasitas *pushover* arah X utara ke selatan, simpangan target  $\delta_t$  sebesar 0,252 m

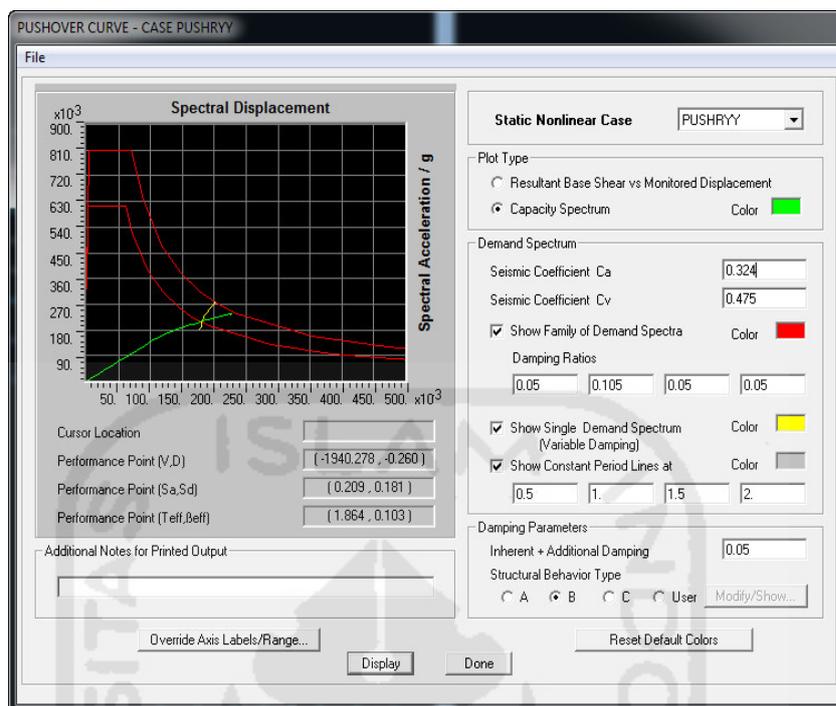


Gambar 5.68 Spektrum kapasitas *pushover* arah X selatan ke utara, simpangan target  $\delta_t$  sebesar 0,251 m

Terlihat pada Gambar 5.67 bahwa hasil simpangan target untuk arah X utara ke selatan diperoleh hasil  $\delta_t = 0,252$  dan gaya geser dasar target  $V_t = 1903,827$  ton  $> V_y = 1460,9$  ton, maka berdasarkan metode spektrum kapasitas perilaku struktur arah X pada gempa rencana utara ke selatan telah mengalami kondisi inelastik yang disebabkan pelelehan pada sendi-sendi plastisnya. Disisi lain, bila *pushover* arah X dari selatan ke utara diperoleh hasil simpangan target sebesar  $\delta_t = 0.251$  m seperti pada Gambar 5.68, sedangkan nilai gaya geser dasar targetnya diperoleh sebesar  $V_t = 1915,778$  ton lebih besar dari pada  $V_y = 1695$  ton sehingga pada *pushover* arah X dari selatan ke utara telah mengalami kondisi *inelastik* yang disebabkan oleh pelelehan pada sendi-sendi plastisnya sesuai metode spektrum kapasitas ATC-40.



Gambar 5.69 Spektrum kapasitas *pushover* arah Y barat ke timur, simpangan target  $\delta_t$  sebesar 0,260 m



Gambar 5.70 Spektrum kapasitas *pushover* arah Y timur ke barat, simpangan target  $\delta_t$  sebesar 0,26 m

Terlihat pada Gambar 5.69 bahwa hasil simpangan target untuk arah Y barat ke timur diperoleh hasil  $\delta_t = 0,260$  dan gaya geser dasar target  $V_t = 1934,714$  ton lebih besar dari pada  $V_y = 1738$  ton, maka berdasarkan metode spektrum kapasitas perilaku struktur arah Y pada gempa rencana barat ke timur bersifat *inelastik*. Disisi lain, bila *pushover* arah Y dari timur ke barat diperoleh hasil simpangan target sebesar  $\delta_t = 0,260$  m seperti pada Gambar 5.70, sedangkan nilai gaya geser dasar targetnya diperoleh sebesar  $V_t = 1940,278$  ton lebih besar dari pada  $V_y = 1671$  ton sehingga pada *pushover* arah Y dari timur ke barat telah mengalami kondisi inelastik yang disebabkan oleh pelelehan pada sendi-sendi plastisnya sesuai metode spektrum kapasitas.

Berdasarkan hasil dari analisis spektrum kapasitas pada program ETAB's sesuai Gambar 5.67 sampai dengan Gambar 5.70, maka dapat diambil data seperti pada Tabel 5.16 berikut ini.

Tabel 5.16 *Performance point* dengan metode ATC-40 (SNI 03-1726-2012)

Arah Beban Lateral		Gaya Geser Dasar ( $V_y$ ) (Ton)	<i>Performance Point</i>					
			$V_t$ (ton)	$\delta_t$ (m)	$S_a$	$S_d$	$T_{eff}$	$\beta_{eff}$
X	Utara Selatan	1460,900	1903,827	0,252	0,205	0,184	1,902	0,103
	Selatan Utara	1695,000	1915,778	0,251	0,207	0,184	1,892	0,101
Y	Barat Timur	1738,000	1934,714	0,260	0,208	0,180	1,870	0,104
	Timut Barat	1671,000	1940,278	0,26	0,209	0,181	1,864	0,103

Level kinerja struktur bangunan dapat diketahui dengan melihat batasan rasio *drift* atap yang dievaluasi pada *performance point*, dengan parameter yang ditinjau adalah maksimum total *drift*. Dari hasil maksimum total *drift*, akan dikoreksi pada batasan rasio *drift* atap menurut ATC-40 (1996) pada Tabel 3.17.

a) Arah beban lateral X

*Pushover* utara ke selatan

$$\text{Drift maksimum akibat beban lateral} = \frac{0,252}{26,00} = 0,00969$$

Level kinerja struktur gedung adalah *immediate occupancy (IO)*

$$\text{Drift inelastic maksimum beban lateral} = \frac{(0,252 - 0,0078)}{26,00} = 0,00939$$

Level kinerja struktur *nonlinear* adalah *immediate occupancy (IO)*

*Pushover* selatan ke utara

$$\text{Drift maksimum akibat beban lateral} = \frac{0,251}{26,00} = 0,00965$$

Level kinerja struktur gedung adalah *immediate occupancy (IO)*

$$\text{Drift inelastic maksimum beban lateral} = \frac{(0,251 - 0,0078)}{26,00} = 0,00935$$

Level kinerja struktur *nonlinear* adalah *immediate occupancy (IO)*

## b) Arah beban lateral Y

*Pushover* barat ke timur

$$\text{Drift maksimum akibat beban lateral} = \frac{0,260}{26,00} = 0,01$$

*Level* kinerja struktur gedung adalah *immediate occupancy (IO)*

$$\text{Drift inelastic maksimum beban lateral} = \frac{(0,260 - 0,0078)}{26,00} = 0,0097$$

*Level* kinerja struktur *nonlinear* adalah *immediate occupancy (IO)*

*Pushover* timur ke barat

$$\text{Drift maksimum akibat beban lateral} = \frac{0,260}{26,00} = 0,01$$

*Level* kinerja struktur gedung adalah *immediate occupancy (IO)*

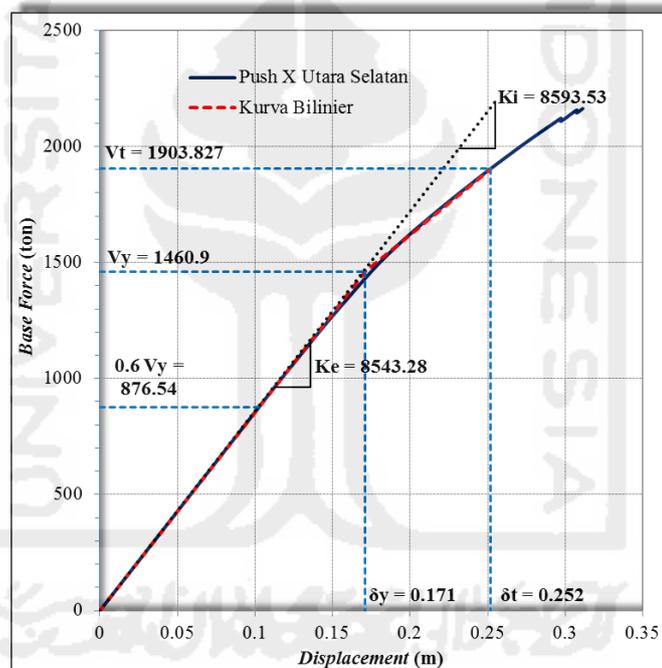
$$\text{Drift inelastic maksimum beban lateral} = \frac{(0,26 - 0,0078)}{26,00} = 0,00097$$

*Level* kinerja struktur *nonlinear* adalah *immediate occupancy (IO)*

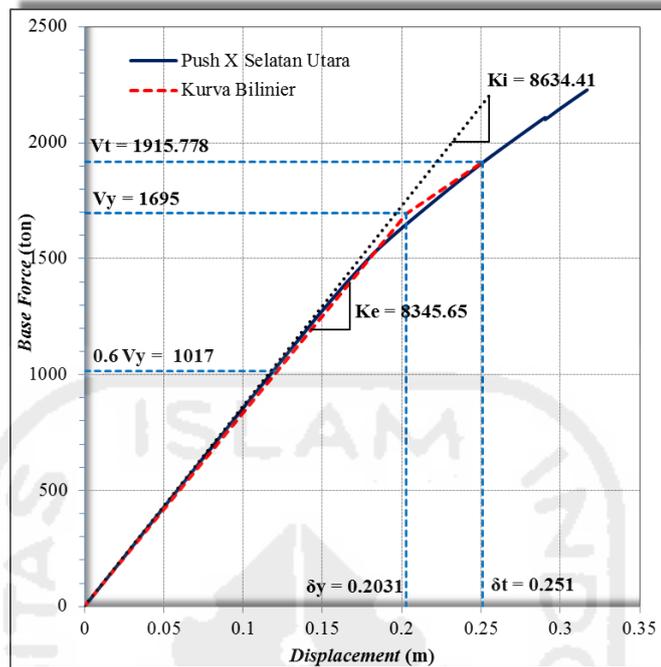
Dapat dilihat hasil analisis *level* kinerja struktur Gedung Hotel Inna Garuda *Extention* berdasarkan pada standar ATC-40 (1996) diatas menunjukkan hasil *level* kinerja *immediate occupancy (IO)*. *Level* kinerja IO dipeoleh dari kedua analisis *drift* rasio yaitu rasio *drift* maksimum akibat beban lateral dan *drift* rasio *inelastic* baik dari berbagai arah *pushover*. Batasan untuk kondisi *immediate occupancy* berdasarkan peraturan ATC-40 yaitu sebesar 0,01 yang mana hasil analisis *level* kinerja diatas keseluruhan dibawah nilai 0,01. Kriteria kinerja *immediate occupancy* menunjukkan bahwa tidak ada kerusakan yang berarti pada komponen struktur, kekuatan dan kekakuan kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa. Komponen-komponen *non*-struktur masih berada ditempatnya dan sebagian besar masih berfungsi jika utilitasnya tersedia. Bangunan dapat tetap berfungsi dan tidak terganggu dengan masalah perbaikan.

## B. Periode Getar Alami Efektif

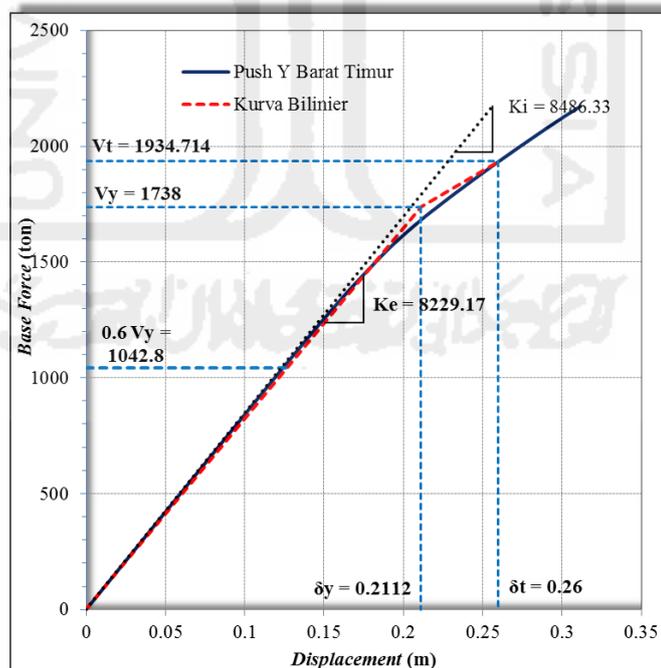
Waktu getar alami yang memperhitungkan kondisi inelastik atau waktu getar efektif,  $T_e$ , dapat diperoleh dengan bantuan kurva kapasitas hasil analisa *pushover*. Untuk itu, kurva kapasitas diubah menjadi kurva *bilinear* untuk mengestimasi kekakuan lateral efektif bangunan ( $K_e$ ) dan kuat leleh bangunan ( $V_y$ ). Kuat leleh diperoleh dari titik potong kekakuan lateral efektif pada kondisi elastik ( $K_e$ ) dan kondisi inelastik ( $\alpha K_e$ ), maka prosesnya dilakukan secara *trial-error*. Hasil kurva *bilinear* dari struktur bangunan Gedung Hotel Inna Garuda *Extention* dapat dilihat pada Gambar 5.71 sampai dengan Gambar 5.74.



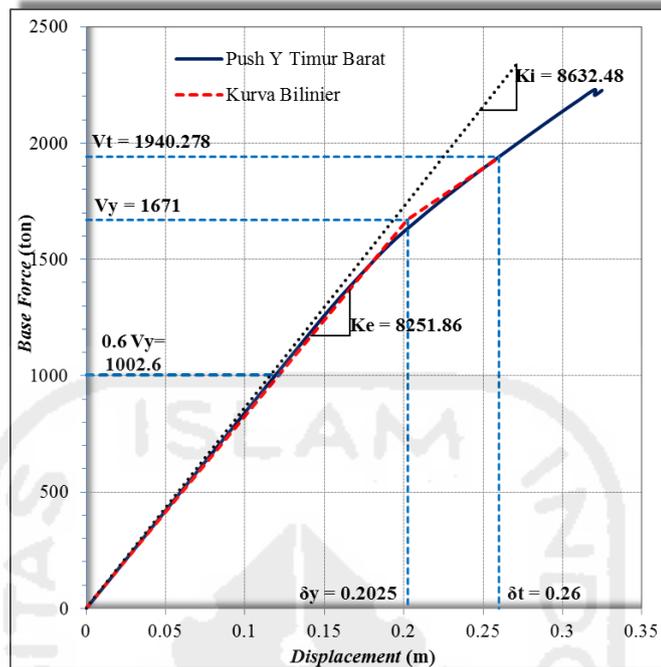
Gambar 5.71 Kurva *bilinear* gaya geser saat terjadi pelelehan pada struktur dengan *pushover* arah X utara ke selatan



Gambar 5.72 Kurva *bilinear* gaya geser saat terjadi pelelehan pada struktur dengan *pushover* arah X selatan ke utara



Gambar 5.73 Kurva *bilinear* gaya geser saat terjadi pelelehan pada struktur dengan *pushover* arah Y barat ke timur



Gambar 5.74 Kurva *bilinear* gaya geser saat terjadi pelelehan pada struktur dengan *pushover* arah Y timur ke barat

Kurva *bilinear* dari keempat arah memperlihatkan bahwa grafik kekakuan awal ( $K_i$ ) hampir berimpit dengan kekakuan efektif ( $K_e$ ), sehingga waktu getar efektif dapat dihitung menggunakan persamaan (3.69). Nilai periode alami awal elastik diambil dari data analisis pada sub-bab sebelumnya yang mana nilai  $T_i$  diambil sama dengan nilai  $C_u T_a$  karena nilai periode struktur melebihi nilai  $C_u T_a$  sebesar 1,225 detik.

a) *Pushover* arah X utara ke selatan

$$\text{Waktu getar alami efektif } T_e = 1,225 \sqrt{\frac{8593,53}{8543,28}} = 1,2286 \text{ detik}$$

$$K_p = \frac{(V_t - V_y)}{(\delta_t - \delta_y)} = \frac{(1903,827 - 1460,9)}{(0,252 - 0,171)}$$

$$= 5468,235 \text{ ton/m}$$

$$a_k = \frac{K_p}{K_e} = \frac{5468,235}{8543,28} = 0,640$$

b) *Pushover* arah X selatan ke utara

$$\text{Waktu getar alami efektif } T_e = 1,225 \sqrt{\frac{8634,41}{8345,65}} = 1,2460 \text{ detik}$$

$$K_p = \frac{(V_t - V_y)}{(\delta_t - \delta_y)} = \frac{(1915,778 - 1695)}{(0,251 - 0,2031)}$$

$$= 4609,144 \text{ ton/m}$$

$$a_k = \frac{K_p}{K_e} = \frac{4609,144}{8345,65} = 0,552$$

c) *Pushover* arah Y barat ke timur

$$\text{Waktu getar alami efektif } T_e = 1,225 \sqrt{\frac{8486,33}{8229,17}} = 1,2440 \text{ detik}$$

$$K_p = \frac{(V_t - V_y)}{(\delta_t - \delta_y)} = \frac{(1934,714 - 1738)}{(0,260 - 0,2112)}$$

$$= 4031,025 \text{ ton/m}$$

$$a_k = \frac{K_p}{K_e} = \frac{4031,025}{8229,17} = 0,4899$$

d) *Pushover* arah Y timur ke barat

$$\text{Waktu getar alami efektif } T_e = 1,225 \sqrt{\frac{8632,48}{8251,86}} = 1,2529 \text{ detik}$$

$$K_p = \frac{(V_t - V_y)}{(\delta_t - \delta_y)} = \frac{(1940,278 - 1671)}{(0,26 - 0,2025)}$$

$$= 4683,096 \text{ ton/m}$$

$$a_k = \frac{K_p}{K_e} = \frac{4683,096}{8251,86} = 0,5675$$

### C. Titik Kinerja FEMA 356

Perhitungan titik kinerja dengan metode koefisien perpindahan (FEMA 356) menggunakan metode koefisien dengan memodifikasi respon elastik linier dari sistem SDOF ekuivalen. Faktor koefisien yang dimodifikasi yaitu  $C_0$ ,  $C_1$ , dan  $C_3$  yang kemudian dihitung untuk mendapatkan target perpindahan  $\delta_i$ . Metode

koefisien perpindahan tersebut tidak dapat dimasukkan dalam analisis program ETAB's karena program tersebut tidak memfasilitasi atau *built-in* FEMA 356. Target perpindahan pada titik kinerja ditentukan dari persamaan (3.70), adapun parameternya dan hasil analisisnya dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut ini.

Tabel 5.17 Perhitungan simpangan target pada titik kinerja FEMA 356

Parameter	Pushover Arah X		Pushover Arah Y		Keterangan
	Utara ke Selatan	Selatan ke Utara	Barat ke Timur	Timur ke Barat	
$T_e$	1,2286	1,246	1,244	1,2622	
$C_0$	1,44	1,44	1,44	1,44	Tabel 3.2 FEMA 356
$C_1$	1,00	1,00	1,00	1,00	$T_s = 0,5864$
$C_2$	1,00	1,00	1,00	1,10	Tabel 3.3 FEMA 356
$C_3$	1,00	1,00	1,00	1,00	Pasca Leleh (+)
$S_a$	0,387	0,381	0,382	0,379	$S_a = 0,475/T$
$\delta_t$	0,2087	0,2116	0,2113	0,2128	Persamaan (3.70)

$C_0 = 1,44$ , termasuk *other building* dengan jumlah tingkat diantara 5 sampai dengan 10 tingkat (Tabel 3-2 FEMA 356);

$C_m = 0,9$ , termasuk *concrete moment frame* dengan jumlah tingkat lebih dari 3 (Tabel 3-1 FEMA 356);

$C_1 = 1,0$  untuk  $T_e \geq T_s$ ;

$C_2 = 1,0$  untuk bangunan *immediate occupancy* (Tabel 3-3 FEMA 356);

$C_3 = 1,0$  untuk bangunan dengan *positive post-yield stiffness*;

$S_a = 0,475/T_e$ ; dan

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ .

Simpangan target ( $\delta_t$ ) dengan menggunakan metode koefisien perpindahan menurut FEMA 356, hasilnya mendekati sama dari keempat arah gaya *pushover*. Hasil simpangan target di atas dapat dilanjutkan untuk mengetahui *level* kinerja struktur. Perhitungan *level* kinerja struktur adalah sebagai berikut.

- a) Arah beban lateral X

*Pushover* utara ke selatan

$$\text{Drift maksimum akibat beban lateral} = \frac{0,2087}{26,00} = 0,00803$$

Level kinerja struktur gedung adalah *immediate occupancy (IO)*

*Pushover* selatan ke utara

$$\text{Drift maksimum akibat beban lateral} = \frac{0,2116}{26,00} = 0,00814$$

Level kinerja struktur gedung adalah *immediate occupancy (IO)*

- b) Arah beban lateral Y

*Pushover* barat ke timur

$$\text{Drift maksimum akibat beban lateral} = \frac{0,2113}{26,00} = 0,00813$$

Level kinerja struktur gedung adalah *immediate occupancy (IO)*

*Pushover* timur ke barat

$$\text{Drift maksimum akibat beban lateral} = \frac{0,2128}{26,00} = 0,00818$$

Level kinerja struktur gedung adalah *immediate occupancy (IO)*

#### D. Titik Kinerja FEMA 440

Hasil simpangan target dari kedua macam diatas yaitu metode spektrum kapasitas ATC-40, dan metode koefisien perpindahan FEMA 356 kadang-kadang menimbulkan keraguan dikarenakan hasilnya belum tentu sama. Hal itu dapat ditunjukkan dengan salah satu contoh pada *pushover* arah X selatan ke utara dengan metode ATC-40 dan FEMA 356 berturut-turut adalah 0,251 meter dan 0,2328 meter. Untuk mengantisipasi hal tersebut dilakukan evaluasi melalui ATC 55 *Project* dan menghasilkan FEMA 440 : *improvement of nonlinear static seismic analysis procedure*, yang mana kedua metode tersebut dimodifikasi.

Penyelesaian simpangan target dengan metode koefisien perpindahan FEMA 440 dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (3.74), sehingga parameter dan perhitungannya dapat ditampilkan pada Tabel 5.18 berikut ini.

Tabel 5.18 Perhitungan simpangan target pada titik kinerja FEMA 440

Parameter	Pushover Arah X		Pushover Arah Y		Keterangan
	Utara ke Selatan	Selatan ke Utara	Barat ke Timur	Timur ke Barat	
$T_e$	1,2286	1,2460	1,2440	1,2529	
$C_0$	1,44	1,44	1,44	1,44	Tabel 3.2 FEMA 356
$V_y$	1460,9	1695	1738	1671	
$W$	10360,83	10360,8	10360,8	10360,83	
$C_m$	0,9	0,9	0,9	0,9	
$R$	2,468	2,097	2,049	2,116	Persamaan (3.72)
$\alpha$	60	60	60	60	site kategori D
$C_1$	1,02	1,01	1,01	1,01	Persamaan (3.75)
$C_2$	1,0018	1,0010	1,0009	1,0010	Persamaan (3.76)
$C_3$	1,00	1,00	1,00	1,00	Pasca Leleh (+)
$S_a$	0,387	0,381	0,382	0,379	$S_a = 0.475/T$
$\delta_t$	0,2124	0,2143	0,2138	0,2155	Persamaan (3.74)

$C_0 = 1,44$ , termasuk *other building* dengan jumlah tingkat diantara 5 sampai dengan 10 tingkat (Tabel 3-2 FEMA 356);

$C_m = 0,9$ , termasuk *concrete moment frame* dengan jumlah tingkat lebih dari 3 (Tabel 3-1 FEMA 356);

$$R = \frac{0,387}{1640,9 / 10360,83} = 0,9 \text{ (Pers. 3.72)}$$

$$= 2,648;$$

$$C_1 = 1 + \frac{2,648 - 1}{60 \cdot 1,2286^2} \text{ (Pers. 3.75)}$$

$$= 1,02;$$

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left( \frac{2,468 - 1}{1,2286} \right)^2 \text{ (Pers. 3.76)}$$

$$= 1,0018;$$

$C_3 = 1,0$  untuk bangunan dengan *positive post-yield stiffness*;

$S_a = 0.475/T$ ; dan

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ .

Simpangan target ( $\delta_t$ ) dengan menggunakan metode koefisien perpindahan menurut FEMA 440, hasilnya mendekati sama dari keempat arah gaya *pushover*. Hasil simpangan target dapat dilihat pada Tabel 5.17. Hasil simpangan target diatas dapat dilanjutkan untuk mengetahui *level* kinerja struktur. Perhitungan *level* kinerja struktur adalah sebagai berikut.

- a) Arah beban lateral X

*Pushover* utara ke selatan

$$\text{Drift maksimum akibat beban lateral} = \frac{0,2124}{26,00} = 0,00817$$

*Level* kinerja struktur gedung adalah *immediate occupancy* (IO)

*Pushover* selatan ke utara

$$\text{Drift maksimum akibat beban lateral} = \frac{0,2143}{26,00} = 0,00824$$

*Level* kinerja struktur gedung adalah *immediate occupancy* (IO)

- b) Arah beban lateral Y

*Pushover* barat ke timur

$$\text{Drift maksimum akibat beban lateral} = \frac{0,2138}{26,00} = 0,00822$$

*Level* kinerja struktur gedung adalah *immediate occupancy* (IO)

*Pushover* timur ke barat

$$\text{Drift maksimum akibat beban lateral} = \frac{0,2155}{26,00} = 0,00829$$

*Level* kinerja struktur gedung adalah *immediate occupancy* (IO)

#### E. Titik Kinerja Manual

Pengecekan titik kinerja secara manual dilakukan untuk mengetahui hasil dari analisis menggunakan program ETAB's sudah sesuai dengan teori metode ATC-40. Analisis titik kinerja secara manual dijelaskan dengan langkah-langkah sebagai berikut. Perhitungan inersia kolom, kekakuan kolom dan berat bangunan dapat dilihat pada Lampiran 3 dan Lampiran 4, sedangkan untuk nilai *mode shape*  $\phi$  dapat digunakan dari hasil analisis menggunakan program ETAB's. Selanjutnya

dari data berat bangunan, massa, kekakuan dan *mode shape* yang hasilnya dapat ditampilkan dalam Tabel 5.19.

Tabel 5.19 Berat, massa, kekakuan dan *mode shape* dari bangunan Hotel Inna Garuda *Extention*

Lantai	W (ton)	m (kg.dt <sup>2</sup> /cm)	Kekakuan Kolom (kg/cm)		Mode Shape $\phi$	
			Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Atap	799,757712	815,2474128	44745,989	44915,191	0,0403	0,0181
6	1465,097914	1493,473918	44745,989	44915,191	0,0391	0,0172
5	1465,097914	1493,473918	44745,989	44915,191	0,0344	0,0149
4	1488,231514	1517,055569	83831,467	84000,668	0,0288	0,0124
3	1605,129293	1636,217424	88174,298	88343,499	0,022	0,0088
2	1861,825535	1897,885357	176619,151	176788,352	0,0154	0,0059
1	1675,69439	1708,149225	191731,016	191857,578	0,0074	0,003
Total	10360,834	10561,503	674593,900	675735,670		

- 1) Menghitung *modal effective mass* dan *modal participation factor*

Dengan menggunakan data diatas, kemudian dicari nilai *modal effective mass* dan *modal participation factor* dengan perhitungan sebagai berikut.

*Pushover* arah X

$$\left\{ \sum_{i=1}^7 \{m_i \cdot \phi_{i,1}\} \right\}^2 = \{815,2474(0,0403) + 1465,0979(0,0391) + 1465,0979(0,0344) + 1488,2315(0,0288) + 1605,1293(0,0022) + 1861,8255(0,0154) + 1675,6944(0,074)\}^2$$

$$= 69791,3504$$

$$\sum_{i=1}^7 \{m_i \cdot \phi_{i,1}^2\} = \{815,2474(0,0403)^2 + 1465,0979(0,0391)^2 + 1465,0979(0,0344)^2 + 1488,2315(0,0288)^2 + 1605,1293(0,0022)^2 + 1861,8255(0,0154)^2 + 1675,6944(0,074)^2\}$$

$$= 7,9685$$

$$\text{modal effective mass, } \alpha = \frac{69791,3504}{7,9685 \cdot 10561,834} = 0,8293$$

$$\text{modal participation factor, } \Gamma = \frac{\sqrt{69791,3504}}{7,9685} = 33,1532$$

*Pushover* arah Y

$$\left\{ \sum_{i=1}^7 \{m_i \cdot \phi_{i,1}\} \right\}^2 = \{815,2474(0,0181)+1465,0979(0,0172)+1465,0979(0,0149)+$$

$$1488,2315(0,0124)+1605,1293(0,0088)+1861,8255(0,0059)+$$

$$1675,6944(0,003)\}^2$$

$$= 12595,2732$$

$$\sum_{i=1}^7 \{m_i \cdot \phi_{i,1}^2\} = \{815,2474(0,0181)^2+1465,0979(0,0172)^2+1465,0979(0,0149)^2+$$

$$1488,2315(0,0124)^2+1605,1293(0,0088)^2+1861,8255(0,0059)^2+$$

$$1675,6944(0,003)^2\}$$

$$= 1,4819$$

$$\text{modal effective mass, } \alpha = \frac{12595,2732}{1,4819 \cdot 10561,834} = 0,8048$$

$$\text{modal participation factor, } \Gamma = \frac{\sqrt{12595,2732}}{1,4819} = 75,7335$$

## 2) Konversi *Capacity Curve* ke *Capacity Spectrum (SA-SD)*

Konversi nilai kurva kapasitas digunakan data *base shear*  $V_b$  dari setiap arah, data perpindahan atap yang digunakan pada kurva kapasitas  $D_r$  dan data *mode shape* pada lantai atas  $\phi$ . Contoh perhitungan konversi *capacity curve* ke *capacity spectrum (SA-SD)* dengan data *pushover* arah X utara ke selatan adalah sebagai berikut.

$$\frac{V_b}{W_t} = \frac{1460900}{10360834} = 0,1410,$$

$$SA = \frac{0,1410}{0,8293} = 0,1700, \text{ dan}$$

$$SD = \frac{171}{33,153 \cdot 0,0403} = 127,9868.$$

Perhitungan selanjutnya dapat ditampilkan seperti pada Tabel 5.20 sampai dengan Tabel 5.21 berikut.

*Pushover* arah X

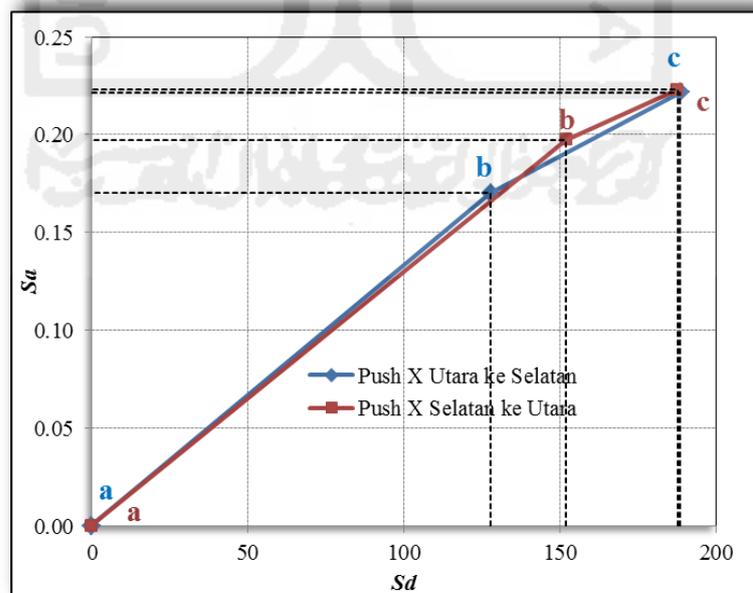
Tabel 5.20 Konversi *displacement* ke *SA pushover* arah X

<i>Pushover X</i>	$V_b$	$V_b(\text{kg})$	$V_b/W_t$	$\alpha$	<i>SA</i>
Utara ke Selatan	$V_{by}$	1460900	0,141002159	0,829279846	0,1700296
	$V_{bu}$	1903827	0,183752288	0,829279846	0,2215806
Selatan ke Utara	$V_{by}$	1695000	0,163596864	0,829279846	0,1972758
	$V_{bu}$	1915778	0,184905766	0,829279846	0,2229715

Tabel 5.21 Konversi *displacement* ke *SD pushover* arah X

<i>Pushover X</i>	$D_r$	$D_r(\text{mm})$	$\Gamma$	$\phi_r$	<i>SD</i>
Utara ke Selatan	$D_{ry}$	171	33.153	0.0403	127.986757
	$D_{ru}$	252	33.153	0.0403	188.612063
Selatan ke Utara	$D_{ry}$	203.1	33.153	0.0403	152.0123413
	$D_{ru}$	251	33.153	0.0403	187.8636024

Dari hasil perhitungan pada Tabel 5.19 dan Tabel 5.20, maka dapat diperoleh grafik *capacity spectrum* seperti pada Gambar 5.75 berikut ini.



Gambar 5.75 Grafik transfer *capacity curve SA-SD pushover* arah X

Selanjutnya dari Gambar 5.75 di atas dapat diperoleh persamaan garis a-b, adalah sebagai berikut:

$$SA^* = \frac{0,1700}{127,9568} SD = 0,001328SD \text{ (pushover utara ke selatan); dan}$$

$$SA^* = \frac{0,1973}{152,0123} SD = 0,001298SD \text{ (pushover selatan ke utara).}$$

Sedangkan persamaan pada garis bagian b-c dengan dua tahap, pertama menghitung *slope*, *sl* :

$$sl = \frac{0,2216 - 0,1700}{188,6121 - 127,9568} SD = 0,00085SD \text{ (pushover utara ke selatan); dan}$$

$$sl = \frac{0,2230 - 0,1973}{187,8636 - 152,0123} SD = 0,00072SD \text{ (pushover selatan ke utara).}$$

dengan memasukkan  $SD=dy$  dan didapat nilai bagian c

$SD=dy = 127,9868$ , maka  $SA = 0,00085(127,9868) = 0,1088$ , sehingga nilai titik c =  $0,1700 - 0,1088 = 0,0612$  (*pushover* utara ke selatan)

$SD=dy = 152,0123$ , maka  $SA = 0,00072(152,0123) = 0,1090$ , sehingga nilai titik c =  $0,1973 - 0,1090 = 0,0883$  (*pushover* selatan ke utara)

dengan demikian didapat persamaan garis bagian b-c menjadi :

$SA = 0,00085SD + 0,0612$  (*pushover* utara ke selatan); dan

$SA = 0,00072SD + 0,0883$  (*pushover* selatan ke utara).

*Pushover* arah Y

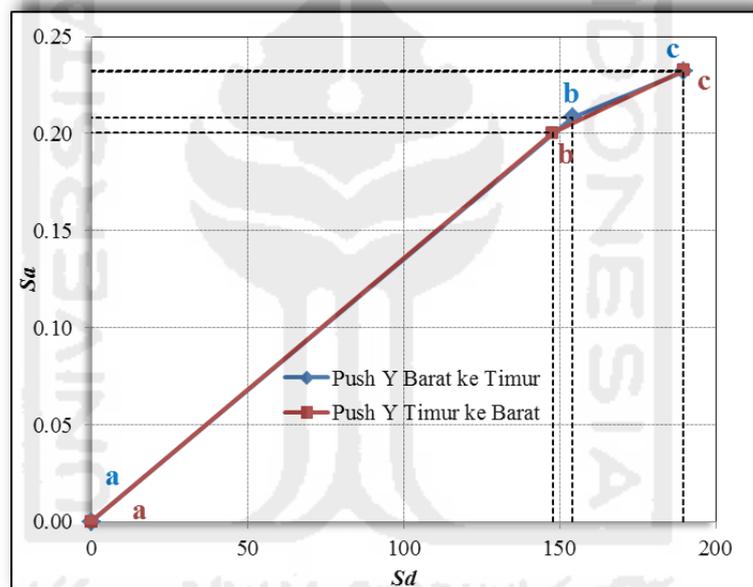
Tabel 5.22 Konversi *displacement* ke *SA pushover* arah Y

<b>Pushover X</b>	<b><math>V_b</math></b>	<b><math>V_b(\text{kg})</math></b>	<b><math>V_b/W_t</math></b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b>SA</b>
Barat ke Timur	$V_{by}$	1738000	0,167747109	0,804759903	0,2084437
	$V_{bu}$	1934714	0,186733418	0,804759903	0,2320362
Timur ke Barat	$V_{by}$	1671000	0,161280449	0,804759903	0,2004082
	$V_{bu}$	1940278	0,187270441	0,804759903	0,2327035

Tabel 5.23 Konversi *displacement* ke *SD pushover* arah Y

<i>Pushover X</i>	$D_r$	$D_r(\text{mm})$	$\Gamma$	$\phi_r$	<i>SD</i>
Barat ke Timur	$D_{ry}$	211,2	75,734	0,0181	154,0731938
	$D_{ru}$	260	75,734	0,0181	189,6734394
Timur ke Barat	$D_{ry}$	202,5	75,734	0,0181	147,7264287
	$D_{ru}$	260	75,734	0,0181	189,6734394

Dari hasil perhitungan pada Tabel 5.22 dan Tabel 5.23, maka dapat diperoleh grafik *capacity spectrum* seperti pada Gambar 5.76 berikut ini.

Gambar 5.76 Grafik transfer *capacity curve SA-SD pushover* arah Y

Selanjutnya dari Gambar 5.76 di atas dapat diperoleh persamaan garis a-b, adalah sebagai berikut.

$$SA^* = \frac{0,2084}{154,0732} SD = 0.001353SD \text{ (pushover barat ke timur); dan}$$

$$SA^* = \frac{0,2004}{147,7264} SD = 0.001357SD \text{ (pushover timur ke barat).}$$

Sedangkan persamaan pada garis bagian b-c dengan dua tahap, pertama menghitung *slope*, *sl* :

$$sl = \frac{0,2320 - 0,2084}{189,6734 - 154,0732} SD = 0,00066SD \text{ (pushover barat ke timur); dan}$$

$$sl = \frac{0,2327 - 0,2004}{189,6734 - 147,7264} SD = 0,00077SD \text{ (pushover timur ke barat).}$$

dengan memasukkan  $SD=dy$  dan didapat nilai bagian c

$SD=dy = 154,0732$ , maka  $SA = 0,00066(154,0732) = 0,1021$ , sehingga nilai titik  $c = 0,2084 - 0,1021 = 0,1063$  (*pushover* barat ke timur)

$SD=dy = 147,7264$ , maka  $SA = 0,00077(147,7264) = 0,1137$ , sehingga nilai titik  $c = 0,2004 - 0,1137 = 0,0867$  (*pushover* timur ke barat)

dengan demikian didapat persamaan garis bagian b-c menjadi :

$$SA = 0,00066SD + 0,1063 \text{ (pushover barat ke timur); dan}$$

$$SA = 0,00077SD + 0,0867 \text{ (pushover timur ke barat).}$$

### 3) Transfer *Spectrum Response* ke *SA-SD Spectrum Demand*

Grafik respon spektrum yang sebelumnya telah dibuat dengan dinyatakan dalam satuan percepatan (*SA*) dan *periode* (*T*) perlu dikonversi data ke *spektrum demand* dengan satuan percepatan (*SA*) dan perpindahan (*SD*). Konversi data *spectrum response* ke *spectrum demand* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.66). Berikut ini merupakan salah satu perhitungan konversi.

Untuk salah satu perhitungan diambil data nilai  $T = 1,3864$  detik dengan nilai  $SA = 0,3426$  m/detik<sup>2</sup>, maka nilai *SD* nya sebagai berikut.

$$SD = \frac{0,3426 \cdot 9810}{\left(\frac{2\pi}{1,3864}\right)^2} = 163,5114 \text{ mm}$$

Nilai  $C = 0,3426 \cdot 163,5114 = 56,0205$ ,

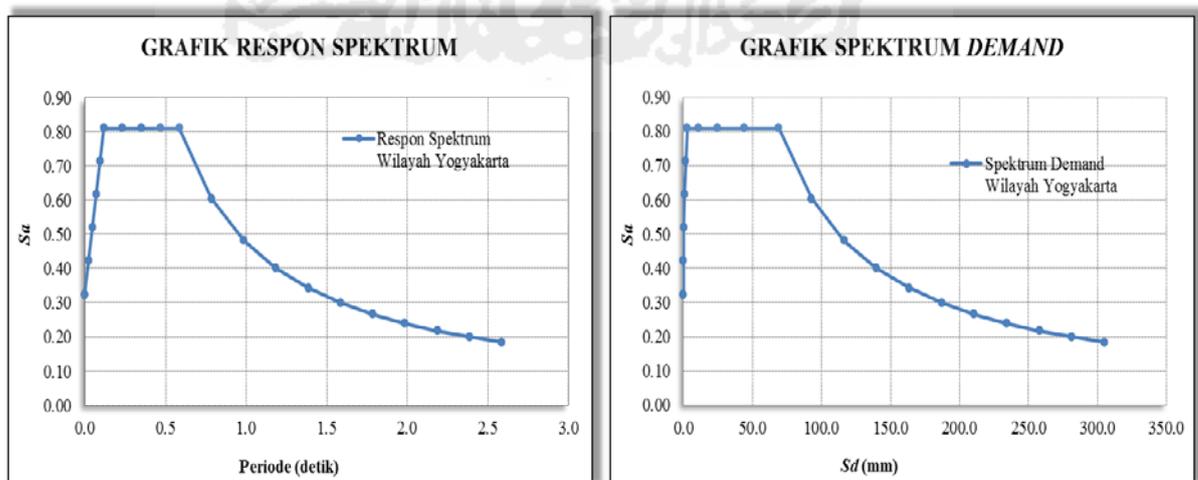
sehingga nilai  $SA = 56,0205/SD$

Hasil perhitungan konversi ke *spectrum demand* di atas dapat ditampilkan seperti pada Tabel 5.24 berikut ini.

Tabel 5.24 Konversi *spectrum response* ke *SA-SD spectrum demand*

<b><i>T</i></b> <b>(sec)</b>	<b><i>SA</i></b> <b>(m/s<sup>2</sup>)</b>	<b><i>SD</i></b> <b>(mm)</b>	<b><i>C</i></b>
0	0,3240	0	0
0,0235	0,4212	0,0575	0,0242
0,0469	0,5184	0,2833	0,1469
0,0704	0,6156	0,7569	0,4659
0,0938	0,7128	1,5581	1,1106
0,1173	0,8100	2,7664	2,2408
0,2346	0,8100	11,0658	8,9633
0,3519	0,8100	24,8980	20,1674
0,4691	0,8100	44,2631	35,8531
0,5864	0,8100	69,1611	56,0205
0,7864	0,6040	92,7487	56,0205
0,9864	0,4815	116,3363	56,0205
1,1864	0,4004	139,9238	56,0205
1,3864	0,3426	163,5114	56,0205
1,5864	0,2994	187,0990	56,0205
1,7864	0,2659	210,6866	56,0205
1,9864	0,2391	234,2741	56,0205
2,1864	0,2173	257,8617	56,0205
2,3864	0,1990	281,4493	56,0205
2,5864	0,1837	305,0369	56,0205

Perbedaan grafik respon spektrum sebelum dikonversi dan grafik spektrum *demand* yang sudah dikonversi dapat dilihat pada Gambar 5.77 berikut ini.

Gambar 5.77 Grafik konversi *spectrum response* ke *spectrum demand SA-SD*

#### 4) Menentukan *Performance Point*

Titik kinerja (*performance point*) adalah perpotongan antara *spectrum demand* dengan kurva kapasitas. Penentuan titik kinerja dilakukan beberapa kali dengan cara *trial and error* dengan cara proses iterasi. Proses iterasi berhenti dilakukan ketika diperoleh hasil nilai *SD* yang *convergen*. Pencarian titik kinerja dilakukan sebanyak 4 kali sesuai dengan arah *pushover*-nya, namun untuk langkah-langkah perhitungan hanya pada arah *X pushover* utara ke selatan dan selebihnya dilakukan pada tabel. Untuk iterasi ke-1 pada arah *X pushover* utara ke selatan digunakan persamaan garis *capacity curve* yaitu  $SA = 0,00085SD + 0,0612$  dan persamaan *demand curve* yaitu  $SA = 56,0205/SD$  sehingga persamaannya menjadi sebagai berikut.

$$56,0205/SD = 0,00085SD + 0,0612; \text{ dan}$$

$$0,00085SD^2 + 0,0612SD - 56,0205 = 0.$$

Menggunakan rumus akar persamaan kuadrat, dari persamaan di atas diperoleh nilai  $SD = 223,198$  dan akan diperoleh juga nilai  $SA = 0,2510$ . Kemudian dihitung nilai  $\beta_{eff}$  dengan nilai  $K = 1,0$  dengan asumsi kestabilan histeristik struktur cukup baik dan termasuk bangunan ke dalam Tipe-A.

$$\beta_o = \frac{63,7 \cdot 1,0 \cdot (0,1700 \cdot 223,198 - 127,9868 \cdot 0,2510)}{(0,2510 \cdot 223,198)}$$

$$= 6,6257 \text{ (Pers. 3.78);}$$

$$\beta_{eff} = 5 + 6,6257 = 11,6257 \text{ (Pers. 3.80);}$$

$$SRA = \frac{3,21 - 0,68 \ln(11,6257)}{2,12} = 0,7273; \text{ dan}$$

$$SRV = \frac{2,31 - 0,41 \ln(11,6257)}{1,65} = 0,7304.$$

Garis lengkung *spectrum demand* diharapkan bersilangan dengan kurva kapasitas sehingga perlu direduksi dengan nilai *SRV* di atas. Kemudian nilai *SA* baru,  $SA^* = 56,0205/SD \cdot 0,7304 = 44,2793/SD$ . Dari hasil *SA* baru dapat dihasilkan persamaan baru yang digunakan dalam iterasi berikutnya yaitu iterasi ke-2. Persamaan baru tersebut adalah sebagai berikut.

$$44,2793/SD = 0,00085SD + 0,0612.$$

Tabel 5.25 Hasil interaksi *performance point pushover* arah X utara ke selatan

Interaksi	SD	SA	$\beta_o$	$\beta_{eff}$	SRA	SRV	SD Baru	SA Baru
0	163,511	0,2510	6,6257	11,6257	0,7273	0,7904	223,198	59,687
1	223,198	0,2270	5,9026	10,9026	0,7479	0,8064	195,030	28,168
2	195,030	0,2075	4,8127	9,8127	0,7817	0,8325	172,065	22,965
3	172,065	0,1925	3,4663	8,4663	0,8290	0,8692	154,418	17,647
4	154,418	0,1820	2,1154	7,1154	0,8847	0,9124	142,007	12,411
5	142,007	0,1755	1,0550	6,0550	0,9365	0,9525	134,366	7,641
6	134,366	0,1721	0,4289	5,4289	0,9715	0,9796	130,457	3,909
7	130,457	0,1707	0,1500	5,1500	0,9884	0,9927	128,833	1,624
8	128,833	0,1703	0,0491	5,0491	0,9948	0,9976	128,262	0,571
9	128,262	0,1701	0,0163	5,0163	0,9969	0,9993	128,078	0,184
10	128,078	0,1701	0,0061	5,0061	0,9975	0,9998	128,021	0,057
11	128,021	0,1700	0,0030	5,0030	0,9977	0,9999	128,003	0,018
12	128,003	0,1700	0,0020	5,0020	0,9978	1,0000	127,998	0,005
13	127,998	0,1700	0,0017	5,0017	0,9978	1,0000	127,996	0,002
14	127,996	0,1700	0,0016	5,0016	0,9978	1,0000	127,996	0,001

Tabel 5.26 Hasil interaksi *performance point pushover* arah X selatan ke utara

Interaksi	SD	SA	$\beta_o$	$\beta_{eff}$	SRA	SRV	SD Baru	SA Baru
0	163,511	0,2493	7,2968	12,2968	0,7093	0,7765	224,667	61,155
1	224,667	0,2262	5,2143	10,2143	0,7688	0,8226	192,325	32,341
2	192,325	0,2103	2,8530	7,8530	0,8531	0,8879	170,156	22,169
3	170,156	0,2014	1,0164	6,0164	0,9386	0,9541	157,751	12,405
4	157,751	0,1980	0,1952	5,1952	0,9856	0,9906	153,064	4,688
5	153,064	0,1974	0,0225	5,0225	0,9965	0,9990	152,132	0,931
6	152,132	0,1973	0,0035	5,0035	0,9977	0,9999	152,031	0,102
7	152,031	0,1973	0,0018	5,0018	0,9978	1,0000	152,022	0,009
8	152,022	0,1973	0,0016	5,0016	0,9978	1,0000	152,021	0,001
9	152,021	0,1973	0,0016	5,0016	0,9978	1,0000	152,021	0,000

Persamaan baru di atas dicari hasil akar persamaan kuadratnya, sehingga dihasilkan nilai  $SD = 195,030$  dan nilai  $SA = 0,2270$ . Setelah nilai  $SD$  dan  $SA$  didapat, maka dilanjutkan ke perhitungan yang lainnya seperti langkah-langkah di atas sampai diperoleh nilai  $SD$  yang *convergen*. Untuk hasil interaksi berikutnya

sampai mendapatkan nilai *SD* yang *convergen*, interasinya dilakukan menggunakan tabel seperti pada Tabel 5.25 sampai dengan Tabel 5.28 .

Tabel 5.27 Hasil interasi *performance point pushover* arah Y barat ke timur

Interasi	<i>SD</i>	<i>SA</i>	$\beta_o$	$\beta_{eff}$	<i>SRA</i>	<i>SRV</i>	<i>SD Baru</i>	<i>SA Baru</i>
0	163,511	0,2530	8,1386	13,1386	0,6880	0,7600	221,382	57,870
1	221,382	0,2294	5,0210	10,0210	0,7749	0,8273	185,632	35,749
2	185,632	0,2149	1,8856	6,8856	0,8953	0,9206	163,878	21,754
3	163,878	0,2091	0,2086	5,2086	0,9848	0,9899	155,072	8,807
4	155,072	0,2084	-0,0109	4,9891	0,9986	1,0006	154,022	1,050
5	154,022	0,2085	0,0027	5,0027	0,9977	0,9999	154,086	0,064
6	154,086	0,2084	0,0015	5,0015	0,9978	1,0000	154,080	0,005
7	154,080	0,2084	0,0016	5,0016	0,9978	1,0000	154,081	0,000
8	154,081	0,2084	0,0016	5,0016	0,9978	1,0000	154,081	0,000

Tabel 5.28 Hasil interasi *performance point pushover* arah Y timur ke barat

Interasi	<i>SD</i>	<i>SA</i>	$\beta_o$	$\beta_{eff}$	<i>SRA</i>	<i>SRV</i>	<i>SD Baru</i>	<i>SA Baru</i>
0	163,511	0,2555	7,0507	12,0507	0,7158	0,7815	219,268	55,757
1	219,268	0,2320	5,1704	10,1704	0,7702	0,8236	188,726	30,542
2	188,726	0,2155	3,0011	8,0011	0,8471	0,8833	167,327	21,399
3	167,327	0,2058	1,2171	6,2171	0,9280	0,9459	154,747	12,579
4	154,747	0,2017	0,3032	5,3032	0,9790	0,9854	149,381	5,366
5	149,381	0,2006	0,0494	5,0494	0,9948	0,9976	147,992	1,389
6	147,992	0,2004	0,0079	5,0079	0,9974	0,9997	147,769	0,223
7	147,769	0,2004	0,0024	5,0024	0,9978	1,0000	147,739	0,030
8	147,739	0,2004	0,0017	5,0017	0,9978	1,0000	147,736	0,004
9	147,736	0,2004	0,0016	5,0016	0,9978	1,0000	147,735	0,000
10	147,735	0,2004	0,0016	5,0016	0,9978	1,0000	147,735	0,000

Tabel 5.25 sampai dengan Tabel 5.28 merupakan hasil interasi *performance point* dari empat arah *pushover*. Dari setiap arah *pushover* diperoleh titik *performance point* dari interasi yang berbeda-beda. Hasil yang diperoleh dari *performance point* dapat disimpulkan dalam Tabel 5.29.

Tabel 5.29 Hasil rekapitulasi interaksi *performance point SA-SD* dari berbagai arah

<b>Arah Pushover</b>		<b>SD</b>	<b>SA</b>
Arah X	Utara selatan	127,996	0,1700
	Selatan utara	152,021	0,1973
Arah Y	Barat timur	154,081	0,2084
	Timur barat	147,735	0,2004

Untuk mendapatkan hasil *displacement* dan *shear force*, maka nilai dari *performance point* di atas perlu dilakukan konversi. Perhitungan konversi *displacement* dan *shear force* adalah sebagai berikut.

*Displacement (D)*

Arah X

$$\text{Utara ke selatan } D = 127,996 \cdot 33,153 \cdot 0,0403 = 171,01 \text{ mm}$$

$$\text{Selatan ke utara } D = 152,021 \cdot 33,153 \cdot 0,0403 = 203,11 \text{ mm}$$

Arah Y

$$\text{Barat ke timur } D = 154,081 \cdot 75,734 \cdot 0,0181 = 211,21 \text{ mm}$$

$$\text{Timur ke barat } D = 147,735 \cdot 75,734 \cdot 0,0181 = 202,51 \text{ mm}$$

*Shear force (V)*

Arah X

$$\text{Utara ke selatan } V = 0,1700 \cdot 0,8293 \cdot 10360,834 = 1460,9665 \text{ mm}$$

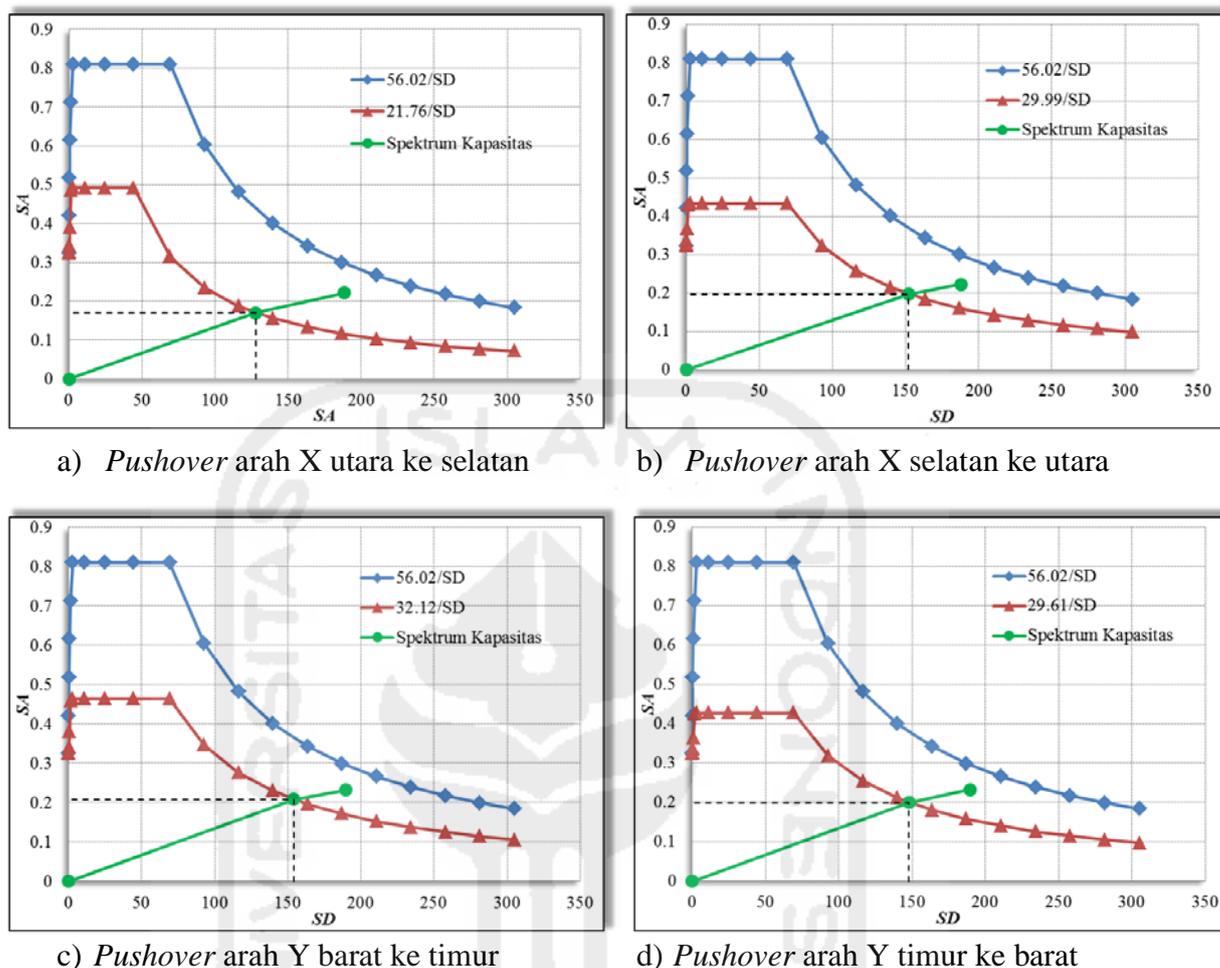
$$\text{Selatan ke utara } V = 0,1973 \cdot 0,8293 \cdot 10360,834 = 1695,0523 \text{ mm}$$

Arah Y

$$\text{Barat ke timur } V = 0,2084 \cdot 0,8048 \cdot 10360,834 = 1738,0417 \text{ mm}$$

$$\text{Timur ke barat } V = 0,2004 \cdot 0,8048 \cdot 10360,834 = 1671,0548 \text{ mm}$$

Data rekapitulasi perhitungan interaksi *performance point SA-SD* seperti pada Tabel 5.28 jika diplotkan dengan kurva spektrum kapasitas, maka akan diperoleh hasil perpotongan yang dinamakan titik kinerja atau *performance point*. Titik kinerja dari setiap arah *pushover* tersebut dapat digambarkan pada Gambar 5.78.



Gambar 5.78 *Performance point* dari berbagai arah *pushover*

*Drift ratio* yang didapat dengan cara perhitungan manual *performance point* dapat diuraikan sebagai berikut. Dengan adanya *drift ratio* tersebut, maka dapat ditentukan *level* kinerja struktur bangunan pada Hotel Inna Garuda *Extention*.

- a) Arah beban lateral X  
*Pushover* utara ke selatan

$$\text{Drift maksimum akibat beban lateral} = \frac{0,1710}{26,00} = 0,00658$$

*Level* kinerja struktur gedung adalah *immediate occupancy* (IO)

*Pushover* selatan ke utara

$$\text{Drift maksimum akibat beban lateral} = \frac{0,2031}{26,00} = 0,00781$$

*Level* kinerja struktur gedung adalah *immediate occupancy* (IO)

b) Arah beban lateral Y

*Pushover* barat ke timur

$$\text{Drift maksimum akibat beban lateral} = \frac{0,2112}{26,00} = 0,00812$$

*Level* kinerja struktur gedung adalah *immediate occupancy* (IO)

*Pushover* timur ke barat

$$\text{Drift maksimum akibat beban lateral} = \frac{0,2025}{26,00} = 0,00779$$

*Level* kinerja struktur gedung adalah *immediate occupancy* (IO)

#### 5.4.5. Hasil Evaluasi Tier 3

Analisis *tier 3* dengan metode *pushover* merupakan analisis terakhir dalam evaluasi titik kinerja struktur bangunan. Evaluasi titik kinerja digunakan empat metode analisis yaitu metode spektrum kapasitas ATC-40, metode koefisien perpindahan FEMA 356 dan metode koefisien perpindahan yang diperbaiki FEMA 440 serta titik kinerja dengan cara manual.

Tabel 5.30 memperlihatkan hasil akhir analisis titik kinerja dari berbagai metode atau standar yang digunakan dari empat arah *pushover*. Dapat terlihat bahwa hasil simpangan target  $\delta_t$  tidak jauh berbeda atau nilainya relatif sama dengan nilai rata-rata 0,20 m. Hasil gaya geser target dari keempat metode terdapat perbedaan, terutama dengan metode ATC-40 perbedaannya cukup jauh dengan selisih berkisar 300 ton namun tiga metode lainnya tidak jauh berbeda. Sedangkan *level* kinerja dari keempat metode baik ke-empat arah *pushover* dihasilkan *level* kinerja yang sama yaitu dengan *level* kinerja *immediate occupancy*.

Tabel 5.30 Hasil akhir analisis titik kinerja

Titik Kinerja		Gaya Dorong Arah X		Gaya Dorong Arah Y	
		Utara ke Selatan	Selatan ke Utara	Barat ke Timur	Timur ke Barat
$\delta t$ (m)	ATC-40	0,2520	0,2510	0,2600	0,2600
	FEMA 356	0,2087	0,2116	0,2113	0,2128
	FEMA 440	0,2124	0,2143	0,2138	0,2155
	Manual	0,1710	0,2031	0,2112	0,2025
$V_t$ (ton)	ATC-40	1903,8270	1915,7780	1934,7140	1940,2780
	FEMA 356	1676,9533	1700,0835	1687,9811	1692,6527
	FEMA 440	1693,6282	1713,3125	1710,6535	1708,2473
	Manual	1460,9665	1695,0523	1738,0417	1671,0548
Level Kinerja	ATC-40	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>
	FEMA 356	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>
	FEMA 440	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>
	Manual	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>

Kriteria *level* kinerja *immediate occupancy* menunjukkan bahwa tidak ada kerusakan yang berarti pada komponen struktur, kekuatan, dan kekakuan kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa. Komponen-komponen *non*-struktur masih berada ditempatnya dan sebagian besar masih berfungsi jika utilitasnya tersedia. Bangunan dapat tetap berfungsi dan tidak terganggu dengan masalah perbaikan.

#### 5.4.6. Daktilitas dan Faktor Reduksi Gempa Aktual

Perhitungan selanjutnya untuk mengetahui kekuatan struktur dengan cara membandingkan hasil perhitungan sesuai *code* yang berlaku. Perhitungannya yaitu perhitungan daktilitas dan perhitungan faktor reduksi struktur.

Data yang diperlukan untuk melakukan perhitungan tersebut yaitu data gaya geser ( $V$ ) dan simpangan ( $\delta$ ) baik dalam kondisi leleh, kondisi elastik, kondisi target, dan kondisi saat terjadi leleh pertama. Perhitungan nilai faktor

reduksi gempa aktual ( $R_{aktual}$ ) dan perhitungan nilai daktilitas ( $R_{\mu}$ ) dapat diperoleh dengan pendekatan melalui persamaan di bawah ini.

$$R_{aktual} = R_{\mu} \cdot \Omega = \frac{Q_e}{Q_y} \cdot \frac{Q_y}{Q_s}$$

dengan :

$Q_e$  atau  $V_e$  = gaya geser elastik struktur;

$Q_y$  atau  $V_y$  = gaya geser pada titik leleh;

$Q_s$  atau  $V_s$  = gaya geser pada saat terjadi pelelehan pertama;

$$= 0,6 \cdot Q_y$$

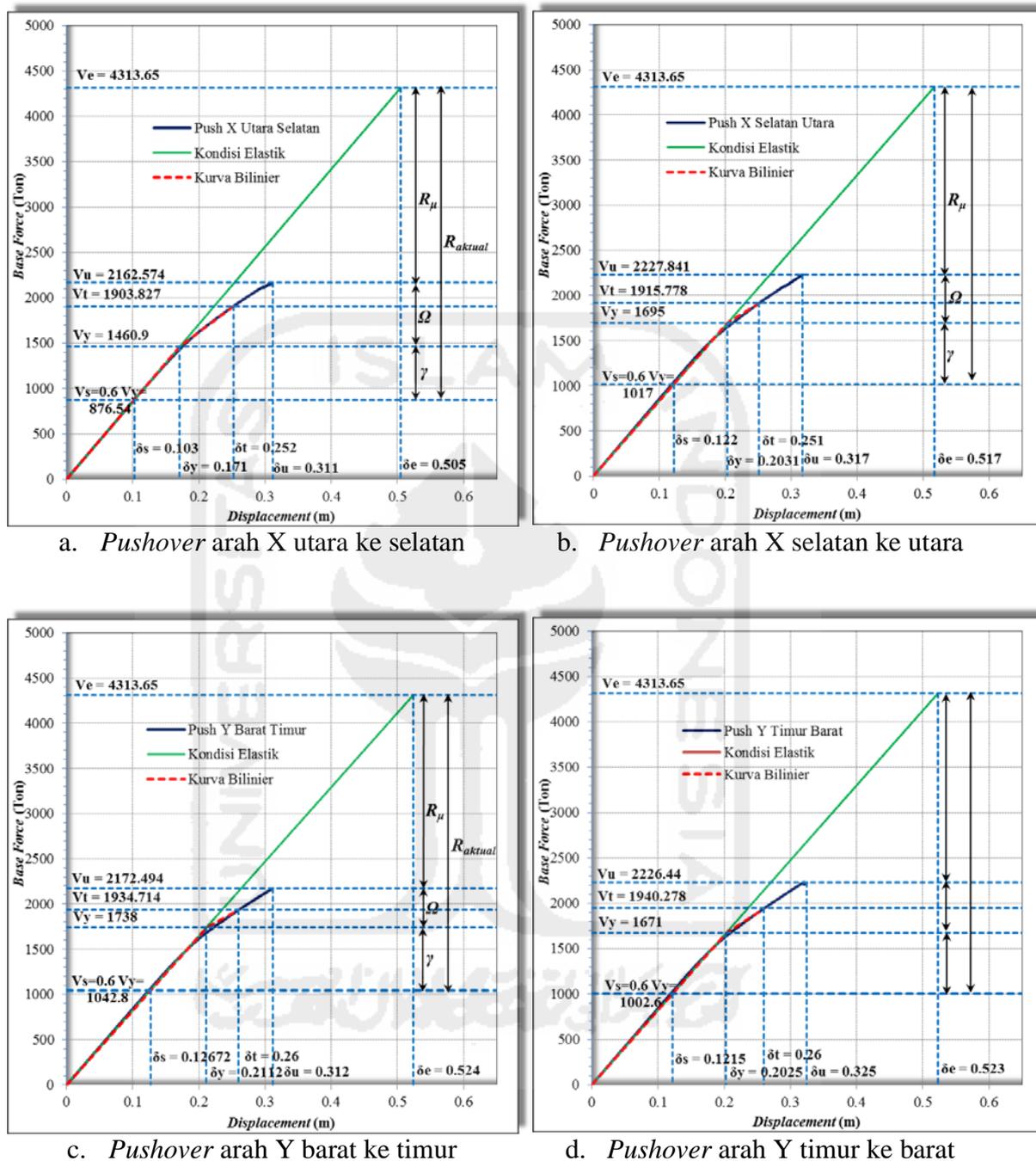
$\Omega$  = faktor reduksi karena *overstregh*; dan

$R_{\mu}$  = daktilitas struktur.

Penjabaran hasil perhitungan faktor reduksi gempa aktual pada Hotel Inna Garuda *Extention* dapat dilakukan dengan tabel. Tabel perhitungan tersebut dapat disajikan pada Tabel 5.31. Terlihat bahwa hasil perhitungan daktilitas struktur aktual pada Tabel 5.31 nilai  $R_{aktual}$  memiliki nilai rata-rata berkisar 5,40 yang mana nilai tersebut jauh dari nilai yang dicantumkan dalam standart SNI 03-1726-2012 yaitu sebesar 8,0. Namun dari hasil yang didapatkan bahwa nilai  $R_{aktual} < R_{code}$ , yang berarti bahwa faktor reduksi gempa aktual pada Hotel Inna Garuda *Extention* dalam kondisi terbatas. Apabila nilai hasil faktor reduksi gempa didapat  $R_{aktual} > R_{code}$ , maka struktur bangunan tersebut semakin kecil menyerap gaya gempa. Semakin kecil bangunan menyerap gaya gempa, maka semakin kecil pula kerusakan atau tidak ada kerusakan pada bangunan.

Tabel 5.31 Perhitungan daktilitas struktur ( $R_{\mu}$ ) dan faktor reduksi gempa aktual ( $R_{aktual}$ )

Arah <i>Pushover</i>		$V_e$	$V_y$	$V_s$	$\Omega$	$R_{\mu}$	$\gamma$	$R_{aktual}$	$R_{code}$
(1)		(2)	(3)	(4)=0,6.(3)	(5)	(6)=(2)/(3)	(7)=(3)/(4)	(8)=(6).(7)	(9)
Arah X	Utara Selatan	4313,65	1460,90	876,54	1,25	2,9527	1,6667	6,1515	8,0
	Selatan Utara	4313,65	1695,00	1017	1,25	2,5449	1,6667	5,3019	8,0
Arah Y	Barat Timur	4313,65	1738,00	1042,8	1,25	2,4820	1,6667	5,1708	8,0
	Timur Barat	4313,65	1671,00	1002,6	1,25	2,5815	1,6667	5,3781	8,0



Gambar 5.79 Penentuan daktilitas aktual dan faktor reduksi

Menggunakan data perhitungan di atas, maka dapat dibuat grafik penentuan daktilitas aktual dan faktor reduksi. Grafik pada Gambar 5.79 (a) sampai dengan Gambar 5.79 (d) merupakan grafik penentuan daktilitas aktual dan faktor reduksi dari berbagai arah *pushover*. Grafik tersebut dalam perhitungan

tidak menggunakan prinsip *equal displacement* dan *equal energy* dalam mencari nilai daktilitas struktur dan faktor reduksi. Prinsip tersebut diterapkan pada unsur utama dinamik inelastik (*time history*), dengan analisis simpangan struktur dipengaruhi oleh redaman *viskous* yang merupakan fungsi dari kecepatan massa, Widodo (2015). Langkah awal diasumsikan kurang lebih sama dengan simpangan elastik untuk prinsip asumsi *equal displacement*. Pertambahan dan penurunan simpangan pada masing-masing akibat penurunan kekakuan dan *absorb energy* diasumsikan hampir sama. Oleh karena itu, secara keseluruhan simpangan inelastik struktur sering diasumsikan dekat atau sama dengan simpangan inelastik yang disebut dengan *equal displacement*. Pada analisis *pushover* tidak terdapat sistem *absorb energy*.

Hasil penelitian daktilitas struktur ( $R_{\mu}$ ) dan faktor reduksi gempa aktual ( $R_{aktual}$ ) di atas, kemudian dibandingkan dengan hasil penelitian-penelitian sebelumnya yang ditampilkan dalam Tabel 5.32 berikut ini.

Diketahui bahwa dari hasil rakapitulasi nilai perbandingan daktilitas aktual dengan daktilitas *code* pada Tabel 5.32 dapat dilihat nilai yang didapat oleh peneliti Susanto (2012) dan Yunus (2015) dengan bangunan gedung *high-rise* mendapatkan nilai daktilitas aktual lebih besar sama dengan nilai daktilitas *code*. Sedangkan hasil lainnya yang diperoleh peneliti Zahrudin (2010), Jamal (2011), Mayhendra (2015), Trisusilo (2015), dan Patria (2017) keseluruhan termasuk kedalam gedung *mid-rise* diperoleh nilai dari daktilitas struktur kurang dari nilai daktilitas *code*. Dari hasil penelitian tersebut dapat diindikasikan bahwa bangunan gedung untuk kategori bangunan *high-rise* memiliki  $R_{aktual} \geq R_{code}$  dan bangunan *mid-rise* memiliki  $R_{aktual} < R_{code}$ . Hal tersebut dapat digolongkan bangunan *high-rise* memiliki penyerapan gaya gempa redah dibandingkan bangunan *mid-rise*. Namun hipotesis tersebut masih perlu dilakukan penelitian selanjutnya dengan menggunakan sampel bangunan yang berbeda baik dari ketinggian, bentuk bangunan, *type* elemen, dan sebagainya.

Tabel 5.32 Hasil perbandingan nilai daktilitas struktur ( $R_{\mu}$ ) dan daktilitas aktual ( $R_{aktual}$ ) pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan

No.	Peneliti	Bangunan	$R_{\mu}$	$R_{aktual}$	$R_{code}$
1.	Zahrudin (2010)	5 tingkat Bang. rumah sakit	$R_{\mu-x} = 2,86$ $R_{\mu-y} = 2,22$	$R_{aktual-x} = 4,76$ $R_{aktual-y} = 3,69$	8,5
2.	Jamal (2011)	4 tingkat Bangunan sekolah	$R_{\mu-x} = 2,502$ $R_{\mu-y} = 2,33$	$R_{aktual-x} = 6,14$ $R_{aktual-y} = 4,17$	8,5
3.	Susanto (2012)	22 tingkat Bangunan hotel	$R_{\mu} = 4,0$	$R_{aktual-x} = 6,5$	6,5
4.	Mayhendra (2015)	5 tingkat Bangunan sekolah	$R_{\mu-x} = 2,837$ $R_{\mu-y} = 3,884$	$R_{aktual-x} = 4,73$ $R_{aktual-y} = 6,47$	8,0
5.	Yunus (2015)	19 tingkat Bangunan hotel	$R_{\mu-x} = 5,85$ $R_{\mu-y} = 4,36$	$R_{aktual-x} = 9,74$ $R_{aktual-y} = 7,26$	7,0
6.	Trisusilo (2015)	5 tingkat Bangunan sekolah	$R_{\mu-x} = 4,32$ $R_{\mu-y} = 3,55$	$R_{aktual-x} = 7,20$ $R_{aktual-y} = 5,93$	8,0
7.	Patria (2017)	7 tingkat Bangunan hotel	$R_{\mu-x} = 2,95$ $R_{\mu(-x)} = 2,55$ $R_{\mu-y} = 2,48$ $R_{\mu(-y)} = 2,58$	$R_{aktual-x} = 4,92$ $R_{aktual(-x)} = 4,24$ $R_{aktual-y} = 4,14$ $R_{aktual(-y)} = 4,30$	8,0

#### 5.4.7. Plastifikasi dan Prediksi Letak Kerusakan

Letak kerusakan pada elemen struktur dapat diprediksi dari analisis *pushover* menggunakan program ETAB's dengan melihat elemen yang sudah mengalami kondisi sendi plastis pada *level* tertentu sesuai dengan *level* kinerja. Berdasarkan analisis titik tingkat kinerja (*performance point*), maka dapat diketahui pada *level* tertentu titik kinerja akan tercapai dan jumlah elemen struktur yang mengalami plastifikasi sesuai titik kinerjanya. Hasil plastifikasi titik kinerja pada bangunan Hotel Inna Garuda *Extention* dari analisis *pushover* ke empat arah dapat dilihat pada Tabel 5.33 sampai dengan Tabel 5.36

Tabel 5.33 Plastifikasi struktur pada pembebanan *pushover* arah X utara ke selatan

<b>PUSHOVER X (Utara ke Selatan)</b>											
<b>Step</b>	<b>Displacement (m)</b>	<b>Base Force (Ton)</b>	<b>A-B</b>	<b>B-IO</b>	<b>IO-LS</b>	<b>LS-CP</b>	<b>CP-C</b>	<b>C-D</b>	<b>D-E</b>	<b>&gt;E</b>	<b>TOTAL</b>
1	0,0078	66,7177	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
2	0,0156	133,4356	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
3	0,0234	200,1534	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
4	0,0312	266,8714	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
5	0,039	333,5892	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
6	0,0468	400,3073	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
7	0,0546	467,0255	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
8	0,0624	533,744	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
9	0,0702	600,4627	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
10	0,078	667,1815	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
11	0,0858	733,9005	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
12	0,0936	800,6196	2673	1	0	0	0	0	0	0	2674
13	0,0993	849,5693	2673	1	0	0	0	0	0	0	2674
14	0,1071	915,8248	2669	5	0	0	0	0	0	0	2674
15	0,1204	1027,6362	2668	6	0	0	0	0	0	0	2674
16	0,1282	1092,0452	2665	8	1	0	0	0	0	0	2674
17	0,1406	1194,5236	2658	14	2	0	0	0	0	0	2674
18	0,1493	1264,2787	2651	21	2	0	0	0	0	0	2674
19	0,1603	1349,4694	2638	32	4	0	0	0	0	0	2674
20	0,1701	1424,5959	2629	40	5	0	0	0	0	0	2674
21	0,1802	1498,2603	2614	50	10	0	0	0	0	0	2674
22	0,1903	1563,9875	2602	50	22	0	0	0	0	0	2674
23	0,2003	1624,3341	2589	59	25	1	0	0	0	0	2674
24	0,2091	1674,675	2583	51	39	1	0	0	0	0	2674
25	0,2177	1723,1553	2568	57	48	1	0	0	0	0	2674
26	0,2277	1777,563	2559	58	52	5	0	0	0	0	2674
27	0,2371	1827,2166	2555	55	52	12	0	0	0	0	2674
28	0,2472	1880,2285	2542	57	55	20	0	0	0	0	2674
29	0,2592	1940,6836	2532	62	54	26	0	0	0	0	2674
30	0,2698	1993,3774	2510	79	42	43	0	0	0	0	2674
31	0,2827	2054,8772	2503	80	42	49	0	0	0	0	2674
32	0,2935	2104,2725	2498	81	44	50	0	1	0	0	2674
33	0,2972	2120,9497	2498	77	46	52	0	0	1	0	2674
34	0,2972	2108,2893	2481	84	53	54	0	1	1	0	2674
35	0,3073	2155,9507	2481	84	52	55	0	0	2	0	2674

Tabel 5.33 Plastifikasi struktur pada pembebanan *pushover* arah X utara ke selatan (lanjutan)

<b>PUSHOVER X (Utara ke Selatan)</b>											
<i>Step</i>	<i>Displacement (m)</i>	<i>Base Force (Ton)</i>	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
36	0,3073	2143,9553	2480	84	53	54	0	1	2	0	2674
37	0,3112	2162,574	2480	82	55	52	0	1	2	2	2674

Tabel 5.33 di atas menunjukkan hasil pastifikasi analisis *pushover* arah X dari utara ke selatan. Hasil analisis tersebut berhenti pada *step* ke 37 dengan nilai *displacement* sebesar 0,3112 meter dan gaya *bese force* sebesar 2162,574 ton. Pada analisis di atas terlihat adanya perubahan kondisi dimulai pada *step* 11. Kondisi tersebut terdapat satu titik elemen struktur yang mengalami kondisi leleh pertama. Kondisi elemen yang sudah mengalami kerusakan yang berat terdapat pada *step* 37 dengan jumlah kerusakan elemen sebanyak 2 titik elemen.

Tabel 5.34 Plastifikasi struktur pada pembebanan *pushover* arah X selatan ke utara

<b>PUSHOVER X (Selatan ke Utara)</b>											
<i>Step</i>	<i>Displacement (m)</i>	<i>Base Force (ton)</i>	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
1	-0,0078	-66,7177	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
2	-0,0156	-133,4353	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
3	-0,0234	-200,1527	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
4	-0,0312	-266,8698	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
5	-0,039	-333,5869	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
6	-0,0468	-400,3038	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
7	-0,0546	-467,0208	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
8	-0,0624	-533,7377	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
9	-0,0702	-600,4543	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
10	-0,078	-667,1706	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
11	-0,0858	-733,8868	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
12	-0,0936	-800,6027	2673	1	0	0	0	0	0	0	2674
13	-0,0963	-824,1003	2672	2	0	0	0	0	0	0	2674
14	-0,1108	-946,4487	2672	2	0	0	0	0	0	0	2674
15	-0,1186	-1012,3695	2672	2	0	0	0	0	0	0	2674
16	-0,1264	-1078,2903	2669	5	0	0	0	0	0	0	2674
17	-0,1379	-1175,3231	2662	12	0	0	0	0	0	0	2674
18	-0,147	-1251,8364	2652	22	0	0	0	0	0	0	2674

Tabel 5.34 Plastifikasi struktur pada pembebanan *pushover* arah X selatan ke utara (lanjutan)

<b>PUSHOVER X (Selatan ke Utara)</b>											
<b>Step</b>	<b>Displacement (m)</b>	<b>Base Force (ton)</b>	<b>A-B</b>	<b>B-IO</b>	<b>IO-LS</b>	<b>LS-CP</b>	<b>CP-C</b>	<b>C-D</b>	<b>D-E</b>	<b>&gt;E</b>	<b>TOTAL</b>
19	-0,155	-1315,9902	2648	24	2	0	0	0	0	0	2674
20	-0,1646	-1391,5267	2636	34	4	0	0	0	0	0	2674
21	-0,175	-1469,5835	2626	43	5	0	0	0	0	0	2674
22	-0,1829	-1526,8539	2615	44	15	0	0	0	0	0	2674
23	-0,1929	-1589,2269	2603	50	21	0	0	0	0	0	2674
24	-0,2031	-1649,4961	2586	43	44	1	0	0	0	0	2674
25	-0,2164	-1725,204	2578	42	53	1	0	0	0	0	2674
26	-0,2252	-1774,7178	2565	52	55	2	0	0	0	0	2674
27	-0,2342	-1824,1481	2558	54	55	7	0	0	0	0	2674
28	-0,2446	-1880,1362	2547	56	54	17	0	0	0	0	2674
29	-0,2568	-1943,6641	2530	71	45	28	0	0	0	0	2674
30	-0,2668	-1993,3794	2524	70	36	44	0	0	0	0	2674
31	-0,2763	-2040,1908	2512	71	40	50	0	1	0	0	2674
32	-0,2904	-2108,304	2512	71	39	51	0	0	1	0	2674
33	-0,2904	-2100,0706	2503	74	43	53	0	0	1	0	2674
34	-0,2992	-2143,5049	2492	78	47	56	0	0	1	0	2674
35	-0,3081	-2186,4773	2478	81	54	59	0	1	1	0	2674
36	-0,3169	-2227,8406	2475	79	55	55	0	1	5	4	2674

Tabel 5.35 Plastifikasi struktur pada pembebanan *pushover* arah Y barat ke timur

<b>PUSHOVER Y (Barat ke Timur)</b>											
<b>Step</b>	<b>Displacement (m)</b>	<b>Base Force (ton)</b>	<b>A-B</b>	<b>B-IO</b>	<b>IO-LS</b>	<b>LS-CP</b>	<b>CP-C</b>	<b>C-D</b>	<b>D-E</b>	<b>&gt;E</b>	<b>TOTAL</b>
1	0,0078	65,6678	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
2	0,0156	131,3355	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
3	0,0234	197,0028	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
4	0,0312	262,67	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
5	0,039	328,3369	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
6	0,0468	394,0035	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
7	0,0546	459,6699	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
8	0,0624	525,3361	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
9	0,0702	591,0021	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
10	0,078	656,6678	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
11	0,0858	722,3335	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
12	0,0936	787,9994	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
13	0,1014	853,665	2673	1	0	0	0	0	0	0	2674
14	0,1037	873,1608	2673	1	0	0	0	0	0	0	2674

Tabel 5.35 Plastifikasi struktur pada pembebanan *pushover* arah Y barat ke timur (lanjutan)

<b>PUSHOVER Y (Barat ke Timur)</b>											
<b>Step</b>	<b>Displacement (m)</b>	<b>Base Force (ton)</b>	<b>A-B</b>	<b>B-IO</b>	<b>IO-LS</b>	<b>LS-CP</b>	<b>CP-C</b>	<b>C-D</b>	<b>D-E</b>	<b>&gt;E</b>	<b>TOTAL</b>
15	0,1115	938,431	2669	5	0	0	0	0	0	0	2674
16	0,1237	1040,0941	2669	5	0	0	0	0	0	0	2674
17	0,1315	1104,4274	2665	9	0	0	0	0	0	0	2674
18	0,1424	1193,8911	2658	15	1	0	0	0	0	0	2674
19	0,1521	1272,0472	2649	23	2	0	0	0	0	0	2674
20	0,162	1349,172	2642	29	3	0	0	0	0	0	2674
21	0,1727	1429,2749	2633	36	5	0	0	0	0	0	2674
22	0,181	1489,1688	2619	45	10	0	0	0	0	0	2674
23	0,1912	1560,6472	2606	54	14	0	0	0	0	0	2674
24	0,2019	1627,5752	2587	58	29	0	0	0	0	0	2674
25	0,2118	1685,6882	2579	62	32	1	0	0	0	0	2674
26	0,2197	1728,6748	2561	67	45	1	0	0	0	0	2674
27	0,2302	1784,2776	2547	65	59	3	0	0	0	0	2674
28	0,2436	1852,4362	2543	57	68	6	0	0	0	0	2674
29	0,2538	1903,3802	2535	58	68	13	0	0	0	0	2674
30	0,2631	1948,7029	2528	61	63	22	0	0	0	0	2674
31	0,2728	1995,402	2518	64	61	31	0	0	0	0	2674
32	0,2821	2039,2805	2506	72	52	44	0	0	0	0	2674
33	0,291	2080,6863	2484	84	56	50	0	0	0	0	2674
34	0,3018	2129,7209	2472	92	54	56	0	0	0	0	2674
35	0,3098	2164,324	2468	94	53	58	0	1	0	0	2674
36	0,3117	2172,4941	2468	93	54	58	0	0	1	0	2674

Tabel 5.34 dan Tabel 5.35 adalah tabel analisis *pushover* arah X selatan ke utara dan *pushover* arah Y barat ke timur. Berhentinya analisis *pushover* dari kedua arah tersebut adalah sama yaitu berhenti pada *step* ke 36. Namun tetap berbeda nilai hasil *displacement* dan *base force* dari keduanya. Nilai *displacement* dari *pushover* arah X selatan ke utara dan *pushover* arah Y barat ke timur berturut-turut sebesar 0,3169 meter dan 0,3117 meter sedangkan nilai *base force* berturut-turut sebesar 2227,8406 ton dan 2172,4941 ton. Jumlah dan berhentinya *step* pada titik elemen yang telah melewati batas kondisi *immediate occupancy* juga berbeda. Pada analisis *pushover* arah X selatan ke utara, kondisi yang sudah melewati batas IO terpantau pada *step* 19 dengan jumlah titik elemen 2 titik,

sedangkan pada analisis *pushover* arah Y barat ke timur, kondisi yang sudah melewati batas IO terpantau pada *step* 18 dengan jumlah titik elemen 1 titik.

Tabel 5.36 Plastifikasi struktur pada pembebanan *pushover* arah Y timur ke barat

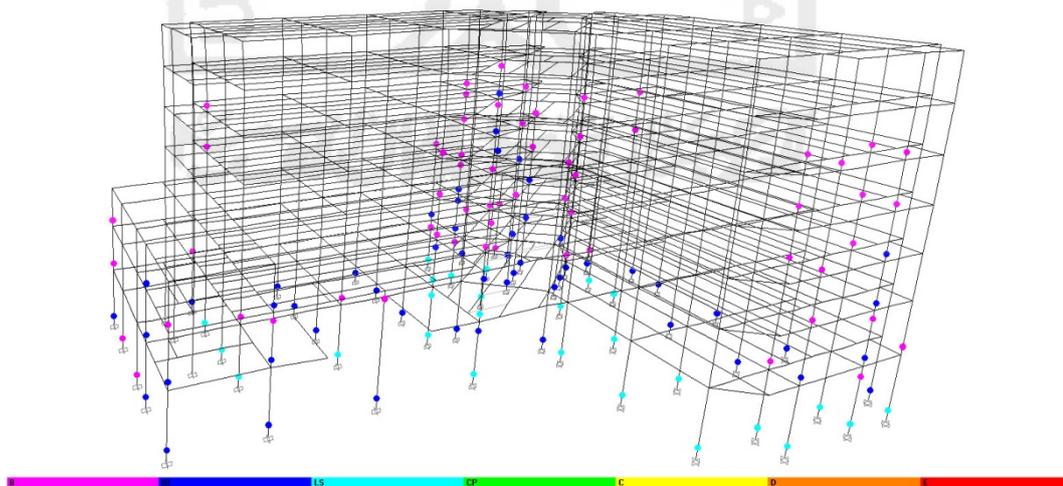
<b>PUSHOVER Y (Timur ke Barat)</b>											
<b>Step</b>	<b>Displacement (m)</b>	<b>Base Force (ton)</b>	<b>A-B</b>	<b>B-IO</b>	<b>IO-LS</b>	<b>LS-CP</b>	<b>CP-C</b>	<b>C-D</b>	<b>D-E</b>	<b>&gt;E</b>	<b>TOTAL</b>
1	-0,0078	-65,6678	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
2	-0,0156	-131,336	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
3	-0,0234	-197,0044	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
4	-0,0312	-262,673	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
5	-0,039	-328,3418	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
6	-0,0468	-394,0109	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
7	-0,0546	-459,6799	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
8	-0,0624	-525,3502	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
9	-0,0702	-591,0204	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
10	-0,078	-656,6909	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
11	-0,0858	-722,3615	2674	0	0	0	0	0	0	0	2674
12	-0,0936	-788,0325	2673	1	0	0	0	0	0	0	2674
13	-0,0985	-829,5777	2672	2	0	0	0	0	0	0	2674
14	-0,1063	-895,0945	2672	2	0	0	0	0	0	0	2674
15	-0,1141	-960,3751	2672	2	0	0	0	0	0	0	2674
16	-0,1219	-1025,6558	2672	2	0	0	0	0	0	0	2674
17	-0,1297	-1090,9366	2670	4	0	0	0	0	0	0	2674
18	-0,1399	-1175,9696	2662	12	0	0	0	0	0	0	2674
19	-0,1494	-1254,6396	2651	23	0	0	0	0	0	0	2674
20	-0,1588	-1329,1703	2642	31	1	0	0	0	0	0	2674
21	-0,1674	-1393,8486	2634	38	2	0	0	0	0	0	2674
22	-0,1767	-1462,4658	2624	44	6	0	0	0	0	0	2674
23	-0,1861	-1530,4811	2612	54	8	0	0	0	0	0	2674
24	-0,1945	-1586,1136	2601	50	23	0	0	0	0	0	2674
25	-0,2055	-1651,0844	2588	55	31	0	0	0	0	0	2674
26	-0,2158	-1709,8452	2577	42	55	0	0	0	0	0	2674
27	-0,227	-1771,2195	2569	43	61	1	0	0	0	0	2674
28	-0,2349	-1813,4905	2559	47	65	3	0	0	0	0	2674
29	-0,2429	-1855,6389	2550	51	69	4	0	0	0	0	2674
30	-0,2514	-1898,4637	2542	56	60	16	0	0	0	0	2674
31	-0,2615	-1948,9626	2536	56	58	24	0	0	0	0	2674
32	-0,2717	-1999,6567	2528	60	46	40	0	0	0	0	2674
33	-0,2822	-2050,9031	2519	59	49	47	0	0	0	0	2674

Tabel 5.36 Plastifikasi struktur pada pembebanan *pushover* arah Y timur ke barat (lanjutan)

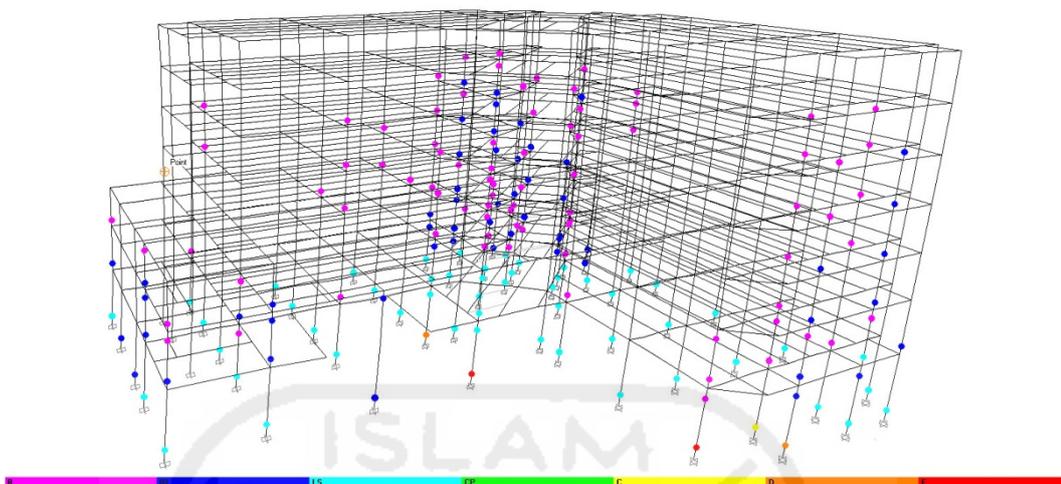
<b>PUSHOVER Y (Timur ke Barat)</b>											
<b>Step</b>	<b>Displacement (m)</b>	<b>Base Force (ton)</b>	<b>A-B</b>	<b>B-IO</b>	<b>IO-LS</b>	<b>LS-CP</b>	<b>CP-C</b>	<b>C-D</b>	<b>D-E</b>	<b>&gt;E</b>	<b>TOTAL</b>
34	-0,2913	-2095,1433	2501	74	45	54	0	0	0	0	2674
35	-0,3013	-2143,1331	2490	80	45	59	0	0	0	0	2674
36	-0,3098	-2182,4041	2474	89	50	60	0	1	0	0	2674
37	-0,3202	-2229,9075	2470	89	51	62	0	0	2	0	2674
38	-0,3202	-2205,7283	2464	91	54	62	0	1	2	0	2674
39	-0,3248	-2226,4404	2462	89	58	60	0	1	2	2	2674

Hasil analisis *pushover* arah Y timur ke barat dapat dilihat pada Tabel 5.36. Hasil tersebut menunjukkan bahwa analisis berhenti pada *step* ke 39 dengan nilai *displacement* sebesar 0,3248 meter dan nilai *base force* sebesar 2226,4404 ton. Berhentinya tersebut merupakan kondisi maksimum yang disebabkan karena adanya ketidakstabilan sendi plastis yang terbentuk. Kondisi yang telah melewati kondisi *immediate occupancy* pada *pushover* arah Y timur ke barat terpantau pada *step* 20 sebanyak 1 titik elemen struktur.

Dari keempat hasil analisis *pushover* diatas dapat diketahui letak-letak kerusakan dari setiap kondisi. Letak kerusakan dari setiap kondisi tersebut dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 5.80 Letak sendi plastis pada *step* 29 pada *pushover* arah X utara ke selatan

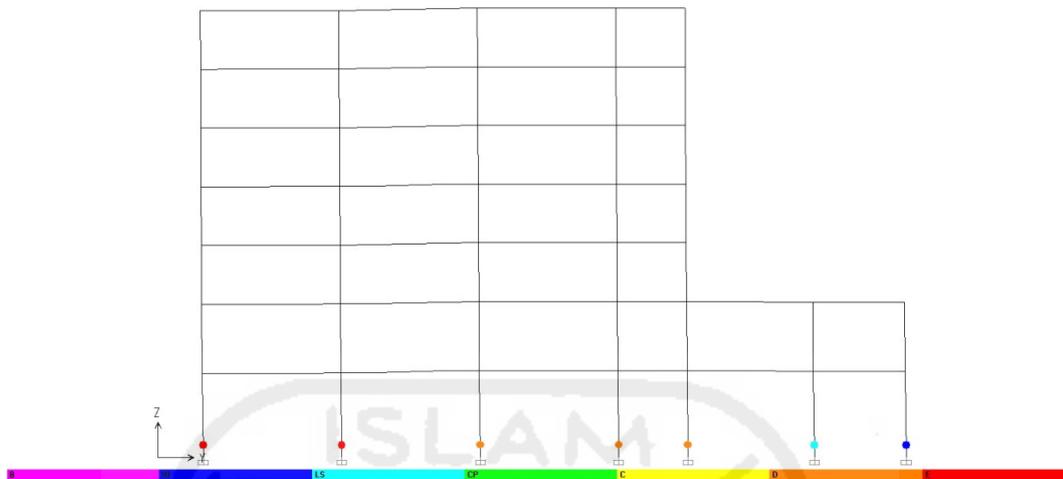


Gambar 5.81 Letak sendi plastis pada *step* 37 pada *pushover* arah X utara ke selatan

Gambar 5.80 sampai dengan Gambar 5.81 merupakan gambar elemen struktur yang telah mengalami sendi plastis pada *pushover* arah X utara ke selatan yang masing-masing pada *step* 29 dan *step* 37. Dari hasil gambar tersebut dapat diketahui bahwa letak elemen yang sudah dalam kondisi *immediate occupancy* (IO) yang ditandai dengan warna biru. Pada *step* 37 sudah terdapat beberapa titik yang berwarna merah yang sudah mengalami sendi plastis dengan kondisi keruntuhan akhir.

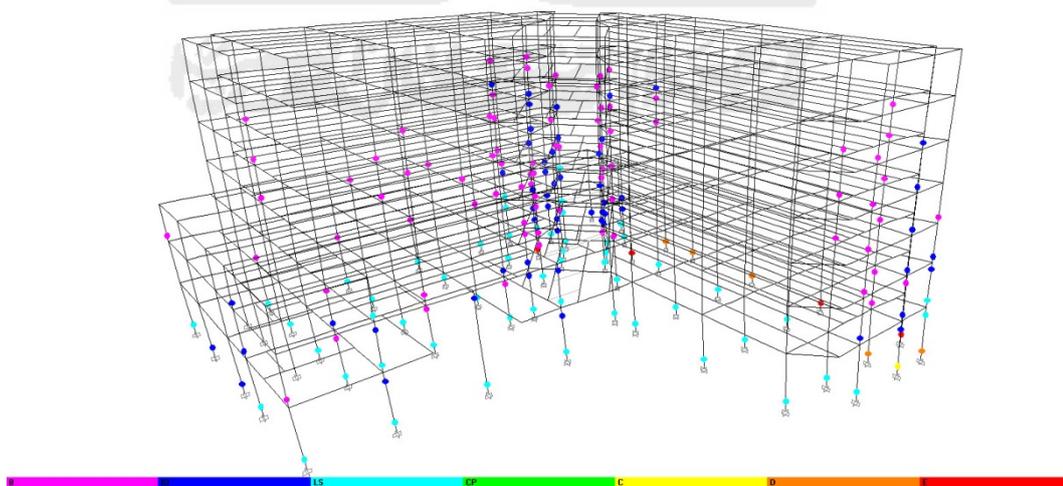


Gambar 5.82 Letak sendi plastis pada *step* 37 portal E pada *pushover* arah X utara ke selatan



Gambar 5.83 Letak sendi plastis pada *step* 36 portal I pada *Pushover* arah X selatan ke utara

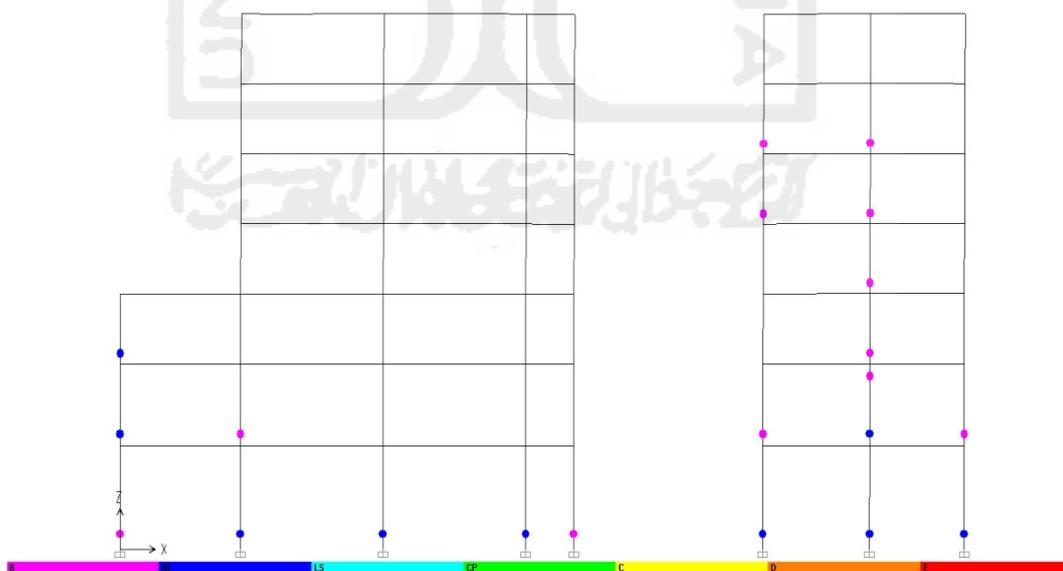
Pembebanan *pushover* arah X selatan ke utara portal I sudah mengalami sendi pastis di beberapa titik kolom yang terlihat pada Gambar 5.82. Dalam ketentuan *strong coloumn weak beam* seharusnya kolom lebih kuat dari pada balok yang mana elemen balok rusak dahulu kemudian dilanjutkan pada elemen kolom. Namun pada *pushover* arah X selatan ke utara portal I elemen balok belum mengalami kerusakan sama sekali tetapi sebaliknya pada elemen kolom sudah mengalami kerusakan bahkan sudah pada kondisi warna merah.



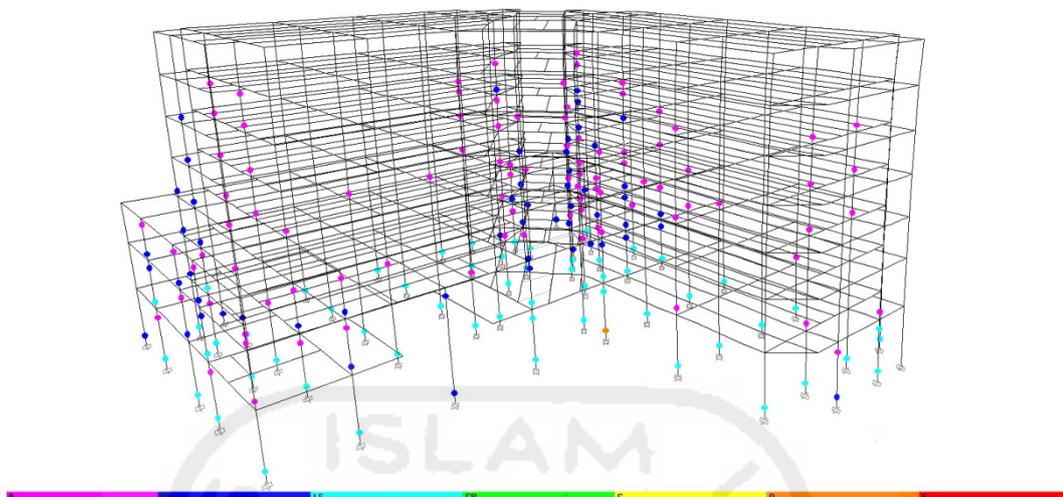
Gambar 5.84 Letak sendi plastis pada *step* 36 pada *pushover* arah X selatan ke utara

Keseluruhan elemen struktur yang dibebani *pushover* arah X selatan ke utara dengan *step* 36 dapat diketahui letak dari setiap kondisi baik *immediate occupancy*, *live safety*, *collapse prevention* pada Gambar 5.83 dengan mengetahui dari setiap *level* kondisi pada elemen struktur maka dapat dilakukan untuk beberapa perbaikan dan atau pencegahan kerusakan dari elemen struktur tersebut. Seperti pada Gambar 5.84 terlihat beberapa elemen struktur yang sudah dalam kondisi *collapse* yang ditunjukkan pada warna merah.

Dari Gambar 5.85 di atas diketahui bahwa munculnya sendi plastis keseluruhan terdapat pada elemen kolom portal 4 dengan pembebanan *pushover* arah Y barat ke timur *step* ke 25. Dalam elemen kolom tersebut sendi plastisnya sudah dalam kondisi *immediate occupancy* dengan ditunjukkan warna biru. Pada *step* 25 portal tersebut, dapat dilihat pada komponen elemen struktur balok belum munculnya sendi plastis sama sekali. Hal ini menunjukkan bahwa pada struktur bangunan Hotel Inna Garuda *Extention* belum menerapkan struktur *strong coloumn weak beam*. Struktur dalam kondisi tersebut diperkuat pada Gambar 5.83 yang menunjukkan hampir semua atau kebanyakan elemen struktur yang mengalami sendi plastis pada elemen kolom.

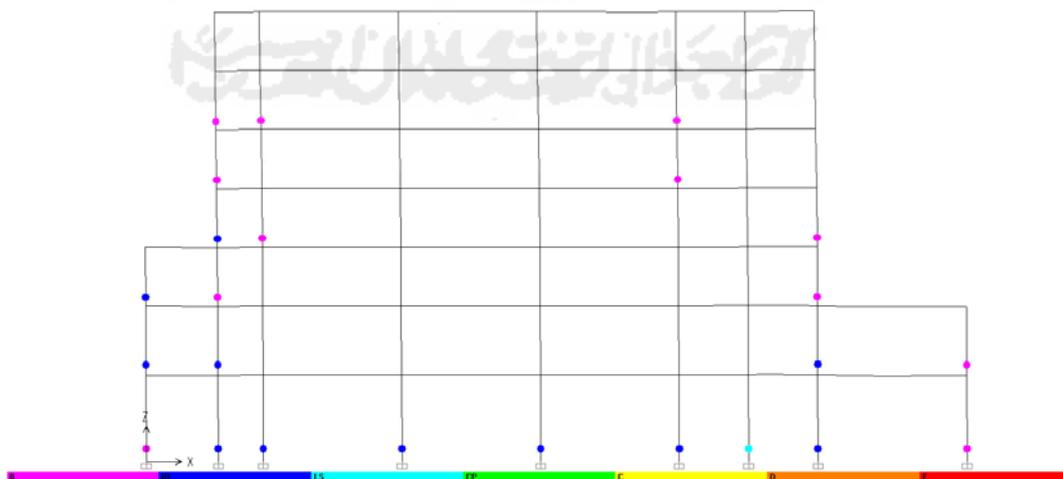


Gambar 5.85 Letak sendi plastis pada *step* 25 portal 4 pada *pushover* arah Y barat ke timur

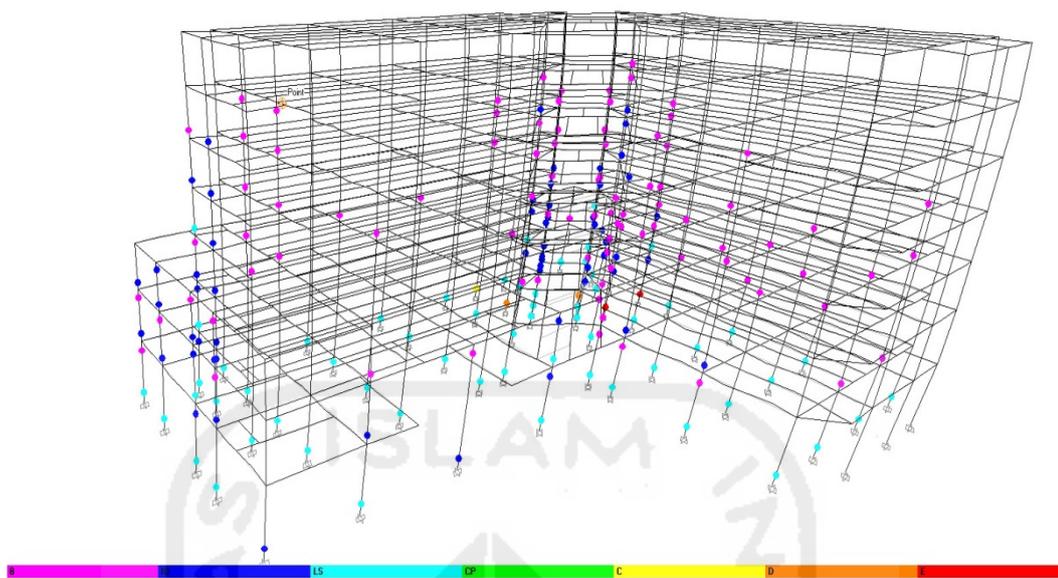


Gambar 5.86 Letak sendi plastis pada *step* 36 pada *pushover* arah Y barat ke timur

Analisis letak sendi plastis terakhir yaitu pembebanan *pushover* arah Y timur ke barat dapat dilihat pada Gambar 5.86 dan Gambar 5.88. Pada arah *pushover* ini analisis berhenti pada *step* ke 39 dengan nilai *displacement* sebesar 0,2498 meter dan *base force* sebesar 1575,8502 ton. Hasil pengamatan letak kerusakan pada pembebanan tersebut bahwa letak sendi plastis keseluruhan terjadi pada struktur elemen kolom dan tidak ada yang terjadi sendi plastis pada balok. Hal itu dapat ditunjukkan pada Gambar 5.87 hampir seluruh kolom lantai dasar terjadi sendi plastis salah satu ditunjukkan pada Gambar 5.88.



Gambar 5.87 Letak sendi plastis pada *step* 28 portal 6 pada *pushover* arah Y timur ke barat

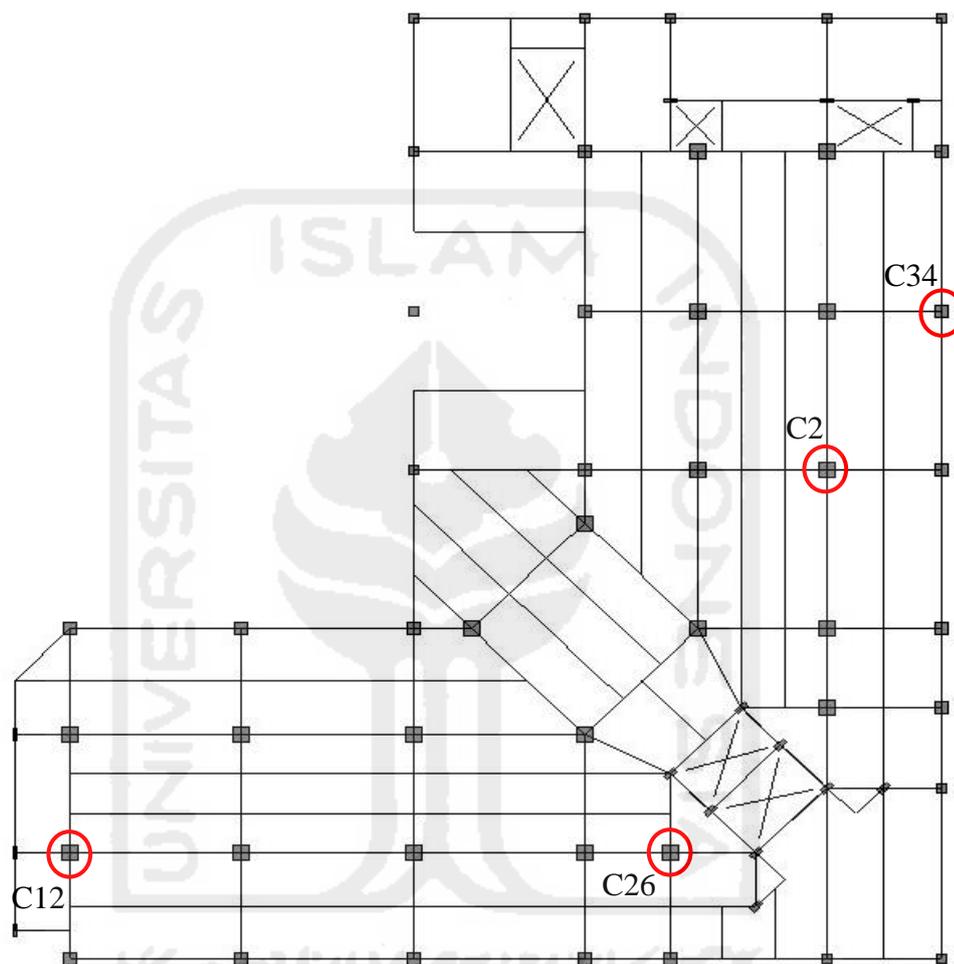


Gambar 5.88 Letak sendi plastis pada *step* 39 pada *pushover* arah Y timur ke barat

Uraian penjelasan tentang kerusakan elemen struktur di atas secara garis besar terjadi pada elemen kolom. Hal tersebut dikarenakan banyak terjadi sendi plastis pada elemen kolom, tetapi pada elemen balok hanya sedikit terjadi sendi plastis. Banyaknya sendi plastis di elemen kolom dari pada elemen balok maka dapat dikategorikan struktur tersebut tidak memenuhi kriteria *strong column weak beam* atau kolom lebih kuat dari pada balok. Untuk mengetahui kriteria di atas perlu dilakukan peninjauan lebih lanjut. Peninjauan tersebut dikarenakan metode analisis *pushover* khususnya sendi plastis dapatkah mempengaruhi hasil *strong column weak beam* (SCWB). Di bawah ini diuraikan perhitungan SCWB dengan hasil sendi plastis. Gambar 5.89 memperlihatkan lokasi kolom yang akan diuraikan perhitungan SCWB. Perhitungan SCWB yang dilakukan dengan mengambil 4 titik sampel yang mana titik tersebut antara lain titik C12 (as H1), titik C26 (as H4'), titik C34 (as C7), dan titik C2 (as D6). Titik-titik yang diambil adalah titik-titik yang diperkirakan dapat mewakili dari keseluruhan titik yang terdapat pada bangunan tersebut. Titik tersebut diambil dari analisis ETAB's sehingga perlu di verifikasi dengan as asli pada gambar struktural (Lampiran 1)

Apabila pada kolom yang terjadi sendi plastis yang sudah sampai kondisi *level* tinggi (merah) dinaikkan rasio tulangnya, maka kemungkinan besar sendi

plastis akan bergerak atau berubah ke *level* yang lain atau dibawahnya. Perubahan *level* sendi plastis tersebut dapat diketahui melalui simulasi analisis *pushover* menggunakan program analisis bantuan jika dikehendaki.



Gambar 5.89 Letak titik-titik yang akan dianalisis SCWB

Dari titik-titik diatas, maka dapat didata tipe kolom dan tipe balok yang dipergunakan dalam analisis perhitungan SCWB. Dalam peraturan SNI 2847-2013 disebutkan bahwa momen yang bekerja pada tipe kolom dan tipe balok adalah momen nominal, sehingga data momen yang dipergunakan harus momen nominal yang dapat dilihat pada Lampiran 4 dan Lampiran 5. Pasal 21.6.2.2.2 SNI 2847-2013 menerangkan bahwa perhitungan SCWB dapat diterima apabila hasil dari perbandingan jumlah kekuatan lentur nominal kolom dengan jumlah kekuatan lentur balok pada join tersebut harus lebih besar sama dengan 1,20.

Hasil perhitungan SCWB yang dilakukan harus memenuhi syarat tersebut. Hasil perhitungan SCWB dapat dilihat pada Tabel 5.37 sampai dengan Tabel 5.40.

Tabel 5.37 Perhitungan SCWB kolom as H1 atau titik C12

Kolom As: H1

Kode kolom : C12

Lantai	Tipe Kolom	Arah X						Arah Y					
		Tipe	B. Kiri	Kolom	B. Kanan	Tipe	$\Sigma Mn_K / \Sigma Mn_B$	Tipe	B. Kiri	Kolom	B. Kanan	Tipe	$\Sigma Mn_K / \Sigma Mn_B$
		Balok	M-		M+	Balok		Balok	M-		M+	Balok	
7	BQ2	45,058			35,884	BD7	0,46	BQ2	45,058		44,678	BQ2	0,42
	KH C12			37,027						37,468			
6	BQ1	94,284			34,538	BD13	0,57	BQ7	59,653		44,863	BQ7	0,70
	KH C12			35,858						36,152			
5	BQ1	94,284			34,538	BD13	0,88	BQ6	82,557		43,270	BQ6	0,91
	KE C12			77,940						77,835			
4	BQ1	94,284			34,538	BD13	1,12	BQ6	82,557		43,270	BQ6	1,19
	KE C12			65,882						71,831			
3	BE12	103,610			34,538	BD13	1,34	BE1	91,087		47,581	BE1	1,36
	KC C12			119,678						116,397			
2	BE7	103,610			34,588	BD8	1,46	BE1	91,087		47,581	BE1	1,66
	KC C12			100,262						113,332			
1	BE6	103,610			46,1485	BD6	1,37	BE1	91,087		47,581	BE1	1,94
	KB C12			125,915						155,818			

Tabel 5.38 Perhitungan SCWB kolom as H4' atau titik C26

Kolom As: H4'

Kode kolom : C26

Lantai	Tipe Kolom	Arah X						Arah Y					
		Tipe	B. Kiri	Kolom	B. Kanan	Tipe	$\Sigma Mn_K / \Sigma Mn_B$	Tipe	B. Kiri	Kolom	B. Kanan	Tipe	$\Sigma Mn_K / \Sigma Mn_B$
		Balok	M-		M+	Balok		Balok	M-		M+	Balok	
7	BH6	24,205			23,949	BH6	0,90	BQ2	45,058		44,678	BQ2	0,44
	KG C26			43,101						39,761			
6	BH1	21,310			14,037	BH1	2,53	BQ7	59,653		44,863	BQ7	0,79
	KF C26			46,430						42,963			
5	BH1	21,310			14,037	BH1	2,31	BQ2	45,058		44,678	BQ2	0,78
	KF C26			35,075						27,221			
4	BH1	21,310			14,037	BH1	3,32	BQ2	45,058		44,678	BQ2	1,07
	KD C26			82,423						68,915			
3	BH4	46,334			24,183	BH4	2,07	BE4	103,610		48,860	BE4	0,96
	KD C26			63,557						40,584			
2	BD10	47,928			36,069	BD10	2,12	BE4	103,610		48,860	BE4	1,11
	KC C26			114,811						85,386			
1	BD10	47,928			36,069	BD10	2,97	BE4	103,610		48,860	BE4	1,94
	KC C26			134,533						135,606			

Tabel 5.39 Perhitungan SCWB kolom as C7 atau titik C34

Kolom As: C7

Kode kolom : C34

Lantai	Tipe Kolom	Arah X						Arah Y					
		Tipe	B. Kiri	Kolom	B. Kanan	Tipe	$\Sigma Mn_K$	Tipe	B. Kiri	Kolom	B. Kanan	Tipe	$\Sigma Mn_K$
		Balok	M-		M+	Balok	$\Sigma Mn_B$	Balok	M-		M+	Balok	$\Sigma Mn_B$
7	BG7	32,697			22,089	BG7	0,80	BD7	36.264		0.000		1.11
	KG C34		43,752						40.108				
6	BG4	41,658			21,640	BG4	1,38	BD10	47.928		0.000		1.60
	KG C34		43,399						36.759				
5	BG9	32,697			21,678	BG9	1,10	BD5	58.665		0.000		1.10
	KG C34		36,194						27.785				
4	BG9	32,697			21,678	BG9	1,01	BD5	58.665		0.000		0.97
	KF C34		36,778						29.099				
3	BF8	51,680			21,593	BF8	0,82	BD1	64.970		0.000		0.74
	KF C34		22,997						19.118				
2	BF8	51,680			21,593	BF8	0,98	BD1	64.970		0.000		1.01
	KD C34		48,765						46.338				
1	BF8	51,680			21,593	BF8	1,53	BD1	64.970		0.000		1.56
	KD C34		63,205						54.945				

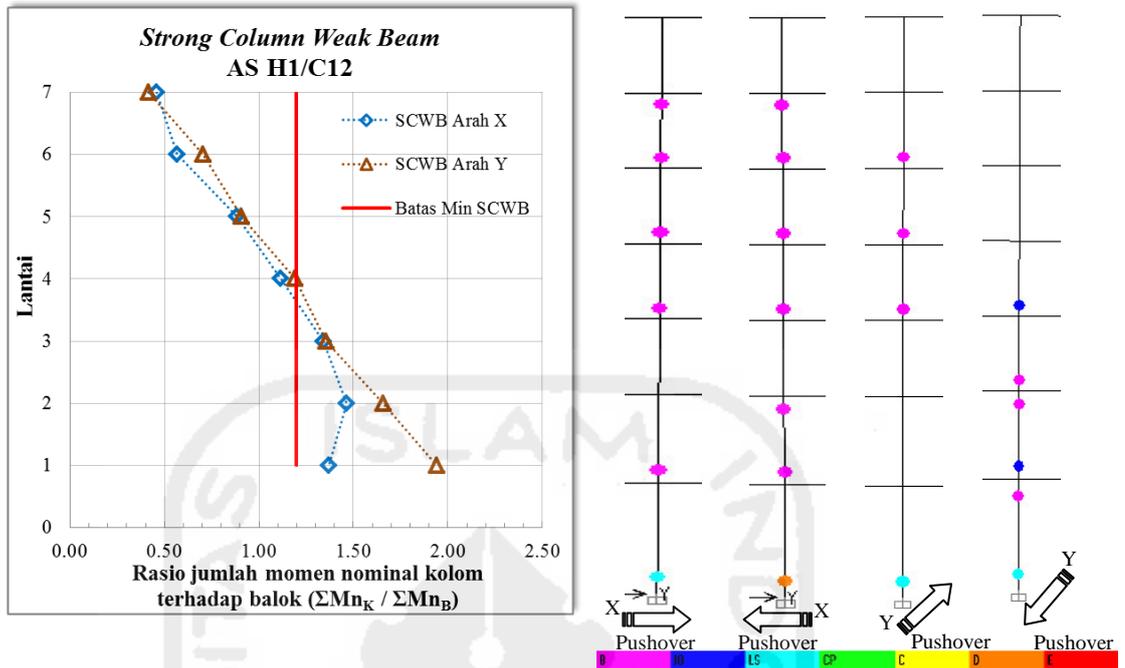
Tabel 5.40 Perhitungan SCWB kolom as D6 atau titik C2

Kolom As: D6

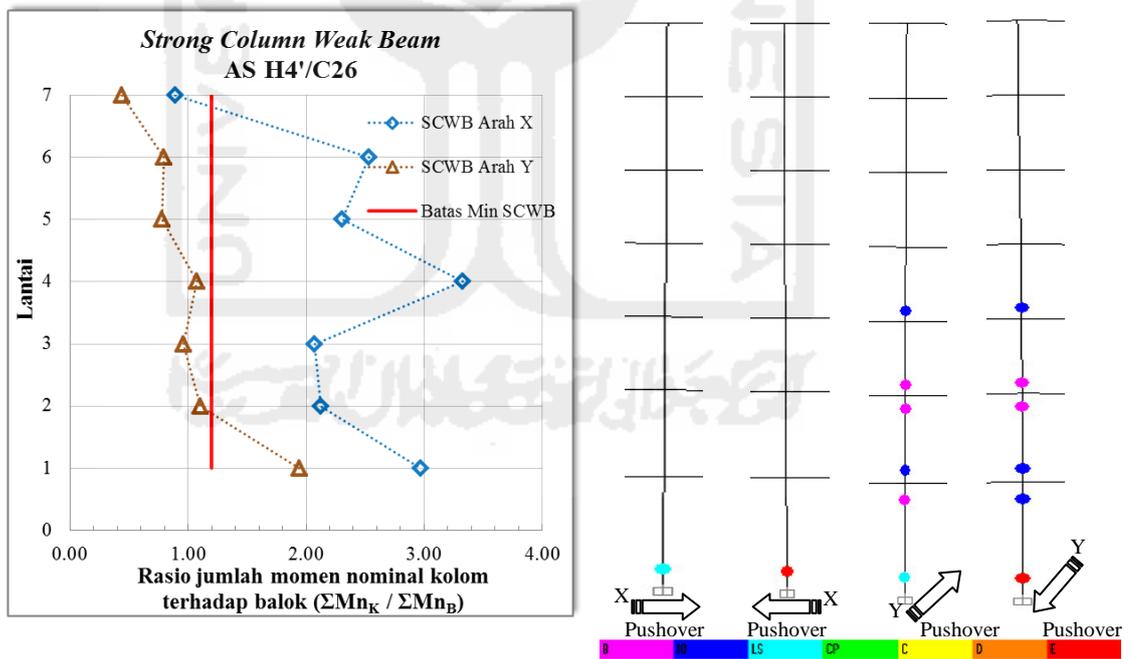
Kode kolom : C2

Lantai	Tipe Kolom	Arah X						Arah Y					
		Tipe	B. Kiri	Kolom	B. Kanan	Tipe	$\Sigma Mn_K$	Tipe	B. Kiri	Kolom	B. Kanan	Tipe	$\Sigma Mn_K$
		Balok	M-		M+	Balok	$\Sigma Mn_B$	Balok	M-		M+	Balok	$\Sigma Mn_B$
7	BQ7	59,653			44,863	BQ7	0,30	BQ8	59,902		36,069	BD10	0,36
	KG C2		31,648						34,403				
6	BQ7	59,653			44,863	BQ7	0,59	BQ6	82,557		34,476	BD1	0,50
	KF C2		30,531						23,561				
5	BQ5	69,990			43,189	BQ5	0,78	BQ3	108,110		46,185	BD6	0,45
	KD C2		57,490						46,296				
4	BQ5	69,990			43,189	BQ5	0,94	BQ3	108,110		46,185	BD6	0,57
	KD C2		48,788						41,569				
3	BE1	91,087			47,581	BE1	0,85	BE6	118,769		46,282	BD3	0,63
	KC C2		68,945						61,645				
2	BE1	91,087			47,581	BE1	0,94	BE9	126,867		34,628	BD9	0,73
	KB C2		61,796						56,760				
1	BE1	91,087			47,581	BE1	1,28	BE3	130,957		46,282	BD3	0,91
	KA C2		115,087						105,209				

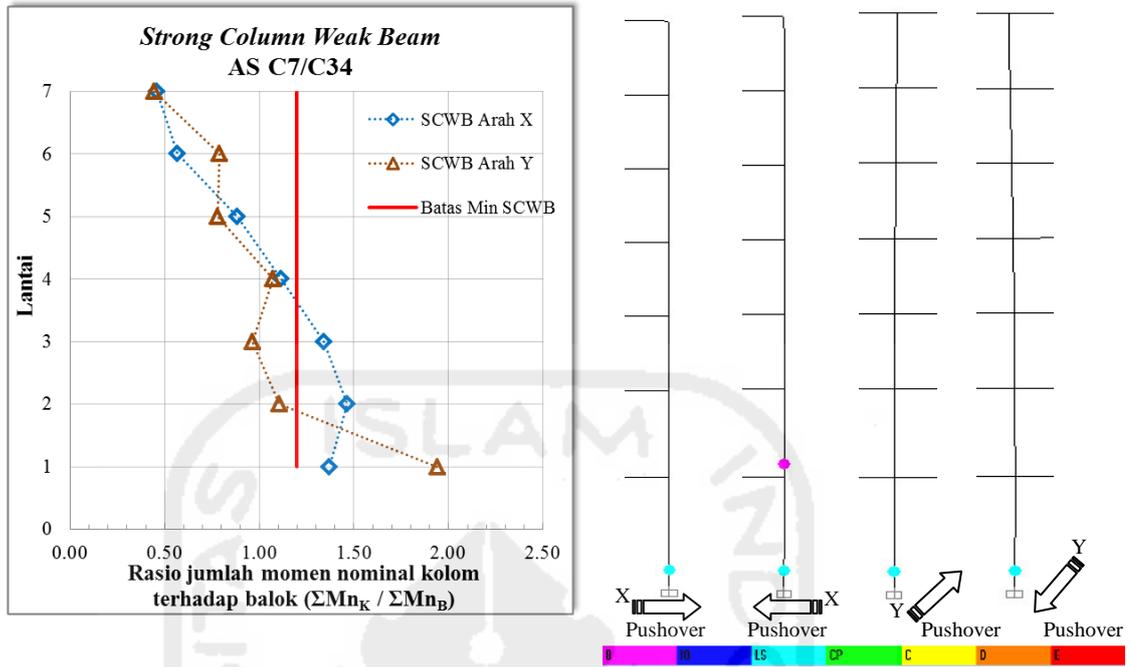
Hasil perhitungan SCWB dari keempat titik di atas dapat digambarkan grafik penyebarannya untuk mempermudah menentukan SCWB. Grafik penyebaran SCWB dari keempat titik di atas dapat dilihat pada Gambar 5.90 sampai dengan Gambar 5.93.



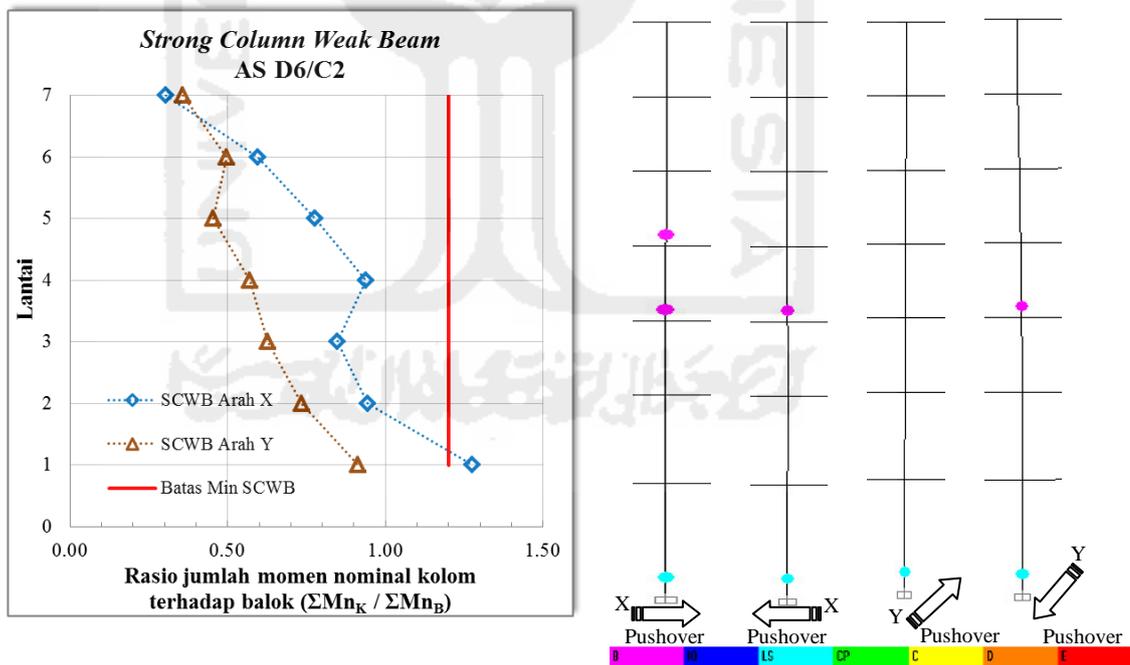
Gambar 5.90 Hasil SCWB as H1/C12 dengan sendi plastis keempat arah



Gambar 5.91 Hasil SCWB as H4'/C26 dengan sendi plastis keempat arah



Gambar 5.92 Hasil SCWB as C7/C34 dengan sendi plastis keempat arah



Gambar 5.93 Hasil SCWB as D6/C2 dengan sendi plastis keempat arah

Keempat gambar di atas dari Gambar 5.90 sampai dengan Gambar 5.93 merupakan gambar hasil perbandingan antara hasil perhitungan *strong column*

*weak beam* dengan analisa sendi plastis dari keempat arah. Hasil dari keempat gambar tersebut cukup bervariasi. Pada Gambar 5.90 hasil SCWB yang tidak memenuhi standar SNI 2847-2013 dimulai dari lantai 4 baik arah sumbu X maupun sumbu Y. Disisi lain hasil sendi plastis analisis *pushover* pada tingkat lantai dasar baik keempat arah sudah masuk kedalam sendi plastis *level IO* dan *LS*, namun di beberapa tingkat di atasnya memasuki sendi plastis di *level B*. Hasil perhitungan Gambar 5.91 sangat unik dikarenakan pada hasil analisis SCWB di as  $H_4'/C26$  arah Y hasilnya sangat bagus. Hampir disetiap lantai memenuhi kriteria SCWB kecuali pada tingkat lantai paling atas, sedangkan pada analisis *pushover* sendi plastis arah Y tiga tingkat paling bawah sudah terjadi sendi plastis bahkan di tingkat bawah sudah menunjukkan warna merah dengan *level E*. Hasil perhitungan SCWB pada Gambar 5.92 dan Gambar 5.93 secara keseluruhan hampir tidak memenuhi kriteria SCWB sesuai standar SNI 2847-2013 dan hanya beberapa tingkat lantai bawah yang memenuhi kriteria SCWB. Analisa *pushover* sendi plastis pada gambar tersebut terjadi hanya pada tingkat dasar dengan *level IO* dan beberapa tingkat dilantai atas terjadi sendi plastis dengan *level B*.

Dari hasil uraian diatas tentang *strong column weak beam* dan sendi plastis maka dapat disimpulkan bahwa analisis *pushover* sendi plastis tidak berhubungan dengan analisis *strong column weak beam* khususnya pada studi kasus Hotel Inna Garuda *Extention*. Pernyataan tersebut dapat diketahui bahwa hasil perhitungan SCWB pada kolom-kolom berbeda dengan hasil analisis *pushover* sendi palstis. Perlu diketahui dengan melihat hasil perhitungan SCWB dari keempat titik tersebut, bahwa bangunan ini secara garis besar tidak memenuhi kriteria SCWB, namun untuk mengetahui lebih dalam maka nantinya perlu dilakukan analisis penelitian yang lebih mendetail.

### **5.5. Perbedaan Penggunaan Program SAP 2000 dengan Program ETAB's**

Analisis perhitungan elemen struktur menggunakan perangkat lunak atau *software* mempunyai kelemahan dan kelebihan. Program – program yang sering digunakan dalam ilmu teknik sipil antara lain program SAP 2000 *Nonlinear* dan ETAB's. Program tersebut mempunyai teknik penggunaan analisis yang berbeda,

oleh karena itu pengguna program harus mengetahui kelemahan dan kekurangan dari kedua program tersebut. Adanya teknik penggunaan analisis berbeda, maka dapat mempengaruhi hasil analisis yang digunakan. Sebatas yang dikuasai oleh peneliti terdapat perbedaan antara program SAP 2000 *Nonlinear* dengan ETAB's akan dijelaskan sebagai berikut. Penjelasan perbedaan program dikhususkan pada program SAP 2000 *Nonlinear* dengan versi 14 sedangkan untuk program ETAB's dengan versi 9.6.

Tabel 5.41 Perbedaan program antara SAP 2000 *Nonlinear* dengan ETAB's

No	Bagian	SAP 2000 <i>Nonlinear</i> v. 14	ETAB's v. 9.6
1.	Peruntukan program	Program ini diperuntukkan untuk seluruh jenis analisis struktur bangunan. Contoh analisis struktur bangunan gedung, analisis struktur bangunan jembatan <i>precast</i> .	Program ini diperuntukkan khusus untuk analisis struktur bangunan gedung.
2.	<i>Edit label</i>	Dapat mengganti nama label komponen elemen struktur secara manual	Tidak dapat mengganti nama label komponen struktur secara manual.
3.	Tributari <i>area</i>	Tidak dapat menampilkan hasil diagram tributari <i>area</i> pada komponen pelat.	Dapat menampilkan hasil diagram tributari <i>area</i> pada komponen pelat jika digunakan <i>type</i> elemen <i>membran</i> .
4.	Berat bangunan	Tidak dapat secara langsung menampilkan hasil dari berat bangunan tersebut tiap lantai. Berat bangunan yang dihitung hanya pada pemodelan sedangkan untuk beban input manual tidak terdefinisikan sebagai berat bangunan.	Dapat menampilkan hasil analisis berat bangunan secara langsung baik berat dari pemodelan struktur maupun dari input beban secara manual.
5.	Perioda struktur	Perioda struktur dihitung berdasarkan berat struktur di pemodelan tetapi input beban manual di luar dari pemodelan tidak mempengaruhi hasil dari perioda struktur.	Perioda struktur dihitung berdasarkan berat bangunan di pemodelan dan hasil dari input beban manual selain pemodelan.
6.	Kecepatan eksekusi dalam	Untuk struktur tingkat banyak membutuhkan waktu lebih lama dikarenakan program	Kecepatan eksekusi dalam analisis tidak terlalu lama dibandingkan dengan meng-

Tabel 5.41 Perbedaan program antara SAP 2000 Nonlinier dengan ETAB's

(lanjutan)

	analisis	tersebut terbebani oleh fitur – fitur yang cukup banyak. Kecepatan eksekusi dalam analisis juga tetap tergantung dari spesifikasi perangkat keras yang digunakannya.	gunakan program SAP 2000 <i>Nonlinear</i> .
7.	<i>Mesh area</i>	Dalam pemodelan pelat perlu dilakukan analisis <i>mesh area</i> untuk penyaluran beban ke komponen struktur lainnya.	Tidak perlu dilakukan analisis <i>mesh area</i> dikarenakan program ETAB's sudah secara otomatis melakukan penyaluran beban ke komponen struktur lainnya.
8.	FEMA 356	Perhitungan titik kinerja dengan standar FEMA 356 sudah terdapat dalam program SAP 2000 <i>Nonlinear</i> versi 14.	Tidak terdapat acuan standar FEMA 356 dalam analisis titik kinerja struktur bangunan.
9.	<i>Fiber</i>	Dapat merubah pengaturan fiber secara manual pada komponen struktur.	Tidak difasilitasi untuk analisis fiber pada komponen struktur bangunan.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil dari analisis dan pembahasan tentang evaluasi kinerja struktur bangunan gedung studi kasus pada Hotel Inna Garuda *Extention* pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan hasil dari analisis penelitian dan saran untuk penelitian ini. Berikut adalah penjelasan kesimpulan dan saran.

#### 6.1. Kesimpulan

Dari analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pada evaluasi *tier 1* tentang evaluasi *rapid visual screening* (RVS) didapat nilai akhir sebesar 0,5 dengan probabilitas kerusakan sebesar 31,62%. Hasil tersebut kurang dari nilai yang ditentukan oleh FEMA 154 dengan nilai akhir 2,0 dan probabilitas kerusakan sebesar 1,0 % sehingga diperlukan evaluasi lebih lanjut. Tentang evaluasi *quick check* dan *checklist* pada bangunan ini dapat diketahui bahwa hasil analisis *drift ratio* untuk rangka momen terdapat tingkat lemah (*weak story*) pada lantai 1 ke lantai 2 baik arah sumbu X maupun sumbu Y karena hasilnya kurang dari 80% sesuai FEMA 310. Sedangkan pada evaluasi *checklist* terdapat beberapa komponen struktur yang tidak memenuhi syarat atau *non-compliant* (NC), sehingga perlu evaluasi lebih lanjut ke evaluasi *tier 2*;
2. berdasarkan hasil evaluasi *tier 2* pada pengecekan ketidakberaturan struktur bangunan dapat disimpulkan bahwa struktur bangunan Hotel Inna Garuda *Extention* memiliki ketidakberaturan horizontal terutama ketidakberaturan torsi 1.a dikarenakan nilai perbandingan *displacement* didapat nilai lebih besar dari 1,2. Untuk pengecekan yang lain yaitu pengecekan *demand capacity ratio* (DCR) terdapat beberapa komponen struktur terutama pada komponen kolom yang memiliki nilai DCR lebih dari 2,0. Nilai DCR yang melebihi dari 2,0 terdapat pada kolom pipih arah sumbu lemah yang dapat mengakibatkan kerusakan-kerusakan pada kolom tersebut. Adanya komponen elemen struktur

yang memiliki nilai DCR 2,0, maka harus dilakukan analisis *pushover* dengan evaluasi *tier 3*;

3. evaluasi *tier 3* dengan menggunakan analisis *pushover* dengan bantuan program ETAB's diperoleh nilai *drift ratio* kurang dari 1,0% baik dengan metode analisis ATC-40, FEMA 356, FEMA 440, maupun metode analisis manual. Hasil tersebut diperoleh dari analisis *pushover* dengan 4 arah *pushover* dengan level kinerja *immediate occupancy* (IO). Hasil tersebut dapat ditunjukkan pada tabel rekapitulasi akhir analisis titik kinerja pada Tabel 5.29. Dengan level kinerja *immediate occupancy* tersebut, maka bangunan Hotel Inna Garuda *Extention* menunjukkan tidak ada kerusakan yang berarti pada komponen struktur, baik kekuatan dan kekakuan hampir sama dengan kondisi sebelum gempa. Bangunan dapat tetap berfungsi dan tidak terganggu dengan masalah perbaikan;
4. berdasarkan hasil dari plastifikasi dengan menggunakan analisis *pushover* pada program ETAB's banyak terjadi sendi plastis pada komponen kolom terutama pada lantai dasar, sehingga kerusakan dapat diprediksi akan terjadi pada beberapa komponen elemen kolom terutama di tingkat dasar; dan
5. Analisis *pushover* sendi plastis dengan analisis *strong column weak beam* dapat dikatakan tidak berhubungan dikarenakan hasil SCWB pada kolom-kolom berbeda dengan hasil analisis *pushover* sendi palstis. Analisis SCWB dari keempat titik tersebut pada bangunan ini secara garis besar tidak memenuhi kriteria SCWB, namun untuk mengetahui lebih dalam maka perlu dilakukan analisis penelitian lebih mendalam.

## 6.2. Saran

Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut mengenai evaluasi kinerja pada struktur bangunan Hotel Inna Garuda *Extention* ini dapat dihasilkan rekomendasi dan saran sebagai berikut.

1. Pada penelitian selanjutnya dapat meneliti dan membandingkan bangunan-bangunan yang didirikan sebelum tahun 1900 dengan jumlah lantai diatas 10 tingkat dan mempunyai ketidakberaturan yang lebih kompleks;

2. bangunan-bangunan yang memiliki ketidakberaturan yang dimaksud pada butir 1 adalah ketidakberaturan baik vertikal maupun horizontal pada bangunan tinggi sangat rentan terjadi kerusakan sehingga perlu perhatian khusus;
3. penelitian selanjutnya juga dapat diarahkan pada bangunan yang memiliki lantai *basement* yang keliling bangunan terkekang oleh tanah.
4. perlu dilakukan penelitian yang objek penelitian pada bangunan yang memiliki struktur rangka *frame wall*.
5. struktur rangka bangunan yang menggunakan bahan material baja perlu dilakukan penelitian *pushover*, sehingga dapat dibandingkan dengan menggunakan material beton.
6. penelitian selanjutnya diharapkan adanya penelitian analisis *nonlinear* dinamik menggunakan data *time history* pada *tier 3* FEMA 356 dengan bantuan program ETAB's; dan
7. diharapkan penelitian selanjutnya menggunakan bantuan perogram ETAB's dengan versi lebih tinggi sehingga untuk analisis titik kinerja FEMA 356, FEMA 440 dapat dilakukan dengan menggunakan program tersebut.