

# PERILAKU STRUKTUR BAJA TAHAN GEMPA DENGAN ANALISIS *PUSHOVER* (Studi Kasus Bangunan di Wilayah Ternate)

Tata A<sup>1\*</sup>, Imran<sup>2</sup>, Fitra Rahma S<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Sipil FT Unkhair  
Jln. Pertamina Gambesi Ternate 55281 INDONESIA  
<sup>1</sup>arbain.tata@unkhair.ac.id

**Abstrak:** Indonesia terletak di pertemuan antara plat tektonik Australia, Eurasia, Philippines dan Pasifik yang bertemu di kepulauan Maluku yang menjadikan Maluku Utara sebagai daerah rawan gempa, untuk mengurangi risiko bencana yang terjadi diperlukan konstruksi bangunan tahan gempa. Bangunan tahan gempa diharapkan mampu menerima gaya gempa pada level tertentu sehingga tidak akan mengalami keruntuhan sesaat setelah gempa terjadi atau apabila mengalami keruntuhan mampu memberikan perilaku nonlinier pada kondisi pasca-elastic sehingga keselamatan penghuni lebih terjamin. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai level kinerja dan perilaku gedung dengan memperlihatkan skema terjadinya sendi plastis pada balok dan kolom rangka baja. Metode yang digunakan adalah analisis statik nonlinier *pushover analysis*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gaya geser dari evaluasi *pushover* arah x sebesar 43183.989 kN dan arah y sebesar 33826.476 kN dimana lebih besar dari gaya geser rencana arah x sebesar 5691.87 kN dan arah y sebesar 5497.95 kN. Maksimum total drift arah x adalah 0.0118 dan arah y adalah 0.01376, sedangkan *maksimal in-elastic drift* arah x adalah 0.011096 dan arah y adalah 0.012820. Sehingga gedung termasuk dalam level kinerja *Damage Control*. Displacement pada gedung tidak melampaui displacement maksimum, sehingga gedung masih aman terhadap gempa rencana.

Kata kunci: *pushover analysis*, spektrum kapasitas, sendi plastis

## I. PENDAHULUAN

Tercatat pada tahun 2014 sampai 2016 telah terjadi beberapa gempa yang dianggap cukup kuat, seperti pada 15 November 2014 berkekuatan 7,3 SR, pada 25 Januari 2015 berkekuatan 5,9 SR, serta pada 8 Juni 2016 berkekuatan 6,6 SR di wilayah Maluku Utara. Bangunan pada daerah rawan gempa harus direncanakan mampu bertahan terhadap gempa.

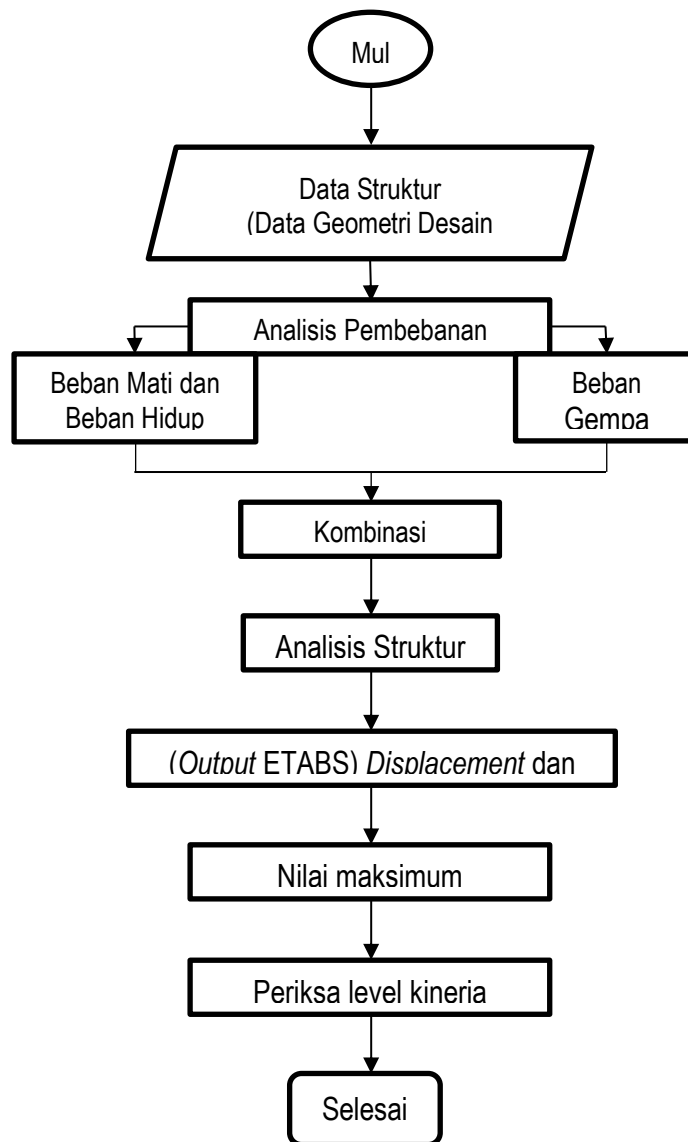
Bangunan tahan gempa adalah bangunan yang dapat bertahan dari keruntuhan akibat getaran gempa, serta memiliki fleksibilitas untuk meredam getaran. Yang dimaksud bangunan tahan gempa adalah bangunan yang apabila terjadi gempa ringan tidak mengalami kerusakan sedikitpun pada bangunan, terjadi gempa sedang hanya mengalami kerusakan non struktur, serta apabila terjadi gempa besar mengalami kerusakan struktural tapi tidak roboh [1,8,9,10].

Kinerja suatu struktur dapat dianalisis menggunakan analisis statik nonlinier (*pushover*) dan analisis dinamik nonlinier. Analisa nonlinier sangat tepat digunakan karena ketika terjadi gempa yang cukup besar pada struktur terjadi plastisifikasi di beberapa tempat, sehingga bangunan tidak lagi berperilaku linier, akan tetapi berperilaku nonlinier. Analisa *pushover* adalah analisa statik non-linier perilaku keruntuhan struktur terhadap gempa dan merupakan salah satu komponen *performance based seismic design* yang memanfaatkan teknik analisa nonlinier berbasis komputer untuk menganalisa perilaku inelastis struktur dari berbagai macam gempa [2]. Analisis gedung yang berbasis komputer sangatlah membantu. Tersedia program ETABS dan SAP2000 yang mampu menyederhanakan dalam pemodelan yang sebelumnya sangat sulit apabila dikerjakan secara konvensional [3,8,11]. Oleh sebab itu, penulis melakukan penelitian evaluasi kinerja struktur baja tahan gempa dengan analisis *pushover*. Penelitian ini bertujuan untuk menunjukkan kurva kapasitas, hubungan *base shear* dengan *displacement* pada kurva *pushover* sebagai tahapan perilaku struktur saat dikenai gaya

geser dasar pada level tertentu serta *performance point*. Mengetahui hasil evaluasi kinerja struktur baja terhadap analisis statik ekuivalen, analisis dinamik respon spektrum dan analisis *pushover* berdasarkan kriteria level kinerja ATC-40 [4]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola keruntuhan gedung pada bangunan rangka baja serta dapat mengetahui joint-joint yang mengalami kerusakan dan mengalami kehancuran. Memperlihatkan mekanisme terbentuknya sendi plastis dari hasil perhitungan program ETABS.

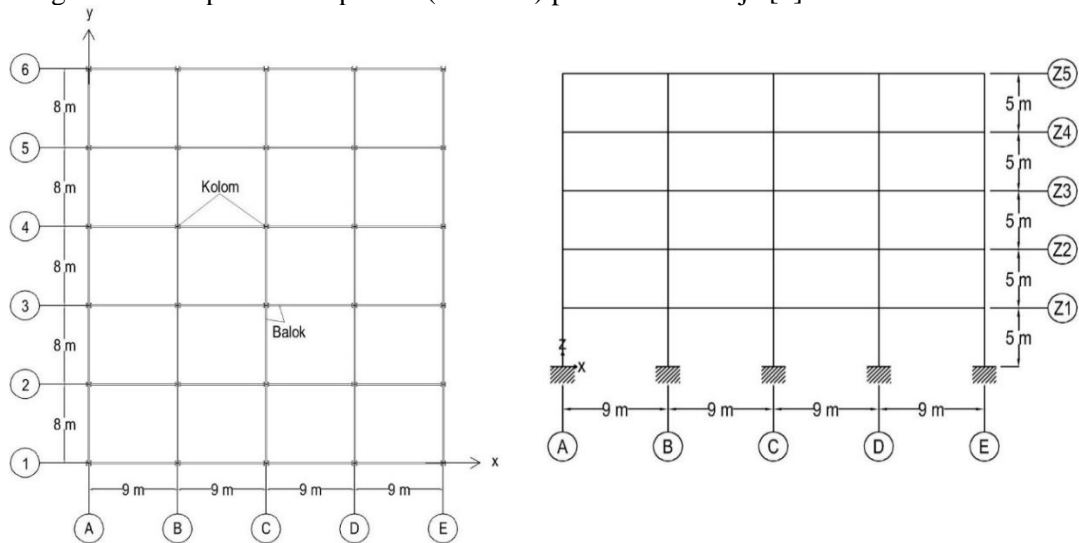
## II. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini merupakan Studi literature yaitu pengumpulan data dan informasi bangunan gedung yang di analisa. Desain struktur baja dimodelkan dan dianalisis dengan bantuan *software* ETABS sebagai struktur rangka baja 3 dimensi seperti pada Gambar 1. Bangunan dimodelkan dalam bentuk 3 dimensi agar perilaku struktur akibat aksi pembebanan yang terjadi dapat didekati dan kemudian dilakukan analisis perilaku dan kinerja struktur bangunan [5].

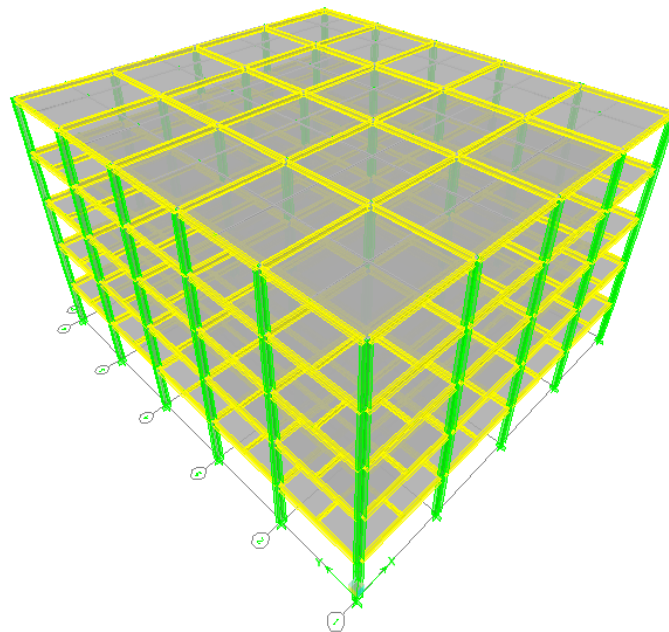


Gambar 1. Denah balok dan kolom

Kinerja bangunan dianalisis dengan prosedur analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik respon spektrum berdasarkan SNI 03-1726-2012 serta analisis statik nonlinier (*pushover*) dengan metode spektrum kapasitas (ATC-40) pada struktur baja [4].



Gambar 2. Denah balok dan kolom



Gambar 3. Pemodelan struktur

Tabel 1. Properti gedung

No.	Properti	Gedung
1	Fungsi gedung	Pasar
2	Jumlah lantai	5
3	Tinggi lantai tipikal	5 m
4	Tinggi maksimum struktur	25 m
5	Jenis struktur	Rangka Baja
6	Sistem penahan gempa	SRPMK

Tabel 2. Tipe kolom dan balok

No.	Elemen struktur	Profil
1	Kolom lantai 1-4	W14x730
2	Kolom lantai 5	W14x550
3	Balok lantai 1-4	W18x175
4	Balok lantai 5	W16x100
5	Balok anak	W16x57

### Pembebanan Struktur

Perhitungan berat bangunan dilakukan dalam program ETABS dengan memasukkan nilai beban mati dan beban hidup yang telah dihitung serta koefisien reduksi beban hidup [6,7]. Berat total bangunan yang telah didapatkan ditunjukkan dalam tabel 4.4 sebagai berikut :

Tabel 3. Hasil Perhitungan Beban Mati dan Hidup

Lantai	Beban Mati Tambah (kN)	Beban Hidup Tereduksi (kN)	Berat Sendiri Struktur (kN)	Beban Total (kN)
1	7345.60	900.00	7625.50	15871.10
2	7345.60	900.00	7625.50	15871.10
3	7345.60	900.00	7625.50	15871.10
4	7345.60	900.00	7625.50	15871.10
atap	648.00	360.00	5850.01	6858.01
Beban Total	30030.4	3960.0	36352.0130	70342.4

Tabel 4. Hasil Perhitungan Distribusi Gempa Statik Ekuivalen untuk Arah x

Tingkat Lantai	Beban Total (kN)	h (m)	W x h <sup>k</sup> (kN)	F <sub>x</sub> (kN)
Lantai 1 (Z <sub>1</sub> )	15871.10	5	133944.3396	321.2111387
Lantai 2 (Z <sub>2</sub> )	15871.10	10	335635.2205	804.8848622
Lantai 3 (Z <sub>3</sub> )	15871.10	15	574426.303	1377.528363
Lantai 4 (Z <sub>4</sub> )	15871.10	20	841028.4566	2016.86543
Atap (Z <sub>5</sub> )	6858.01	25	488464.4694	1171.383791
Σ W <sub>t</sub> =	70342.41	Σ W x Z =	2373498.789	

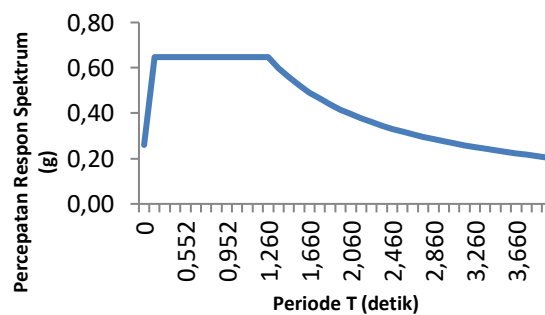
Tabel 5. Hasil Perhitungan Distribusi Gempa Statik Ekuivalen untuk Arah y

Tingkat Lantai	Beban Total (kN)	h (m)	W x h <sup>k</sup> (kN)	F <sub>y</sub> (kN)
Lantai 1 (Z <sub>1</sub> )	15871.10	5	151806.8263	282.7780875
Lantai 2 (Z <sub>2</sub> )	15871.10	10	401466.2377	747.8310276
Lantai 3 (Z <sub>3</sub> )	15871.10	15	709108.123	1320.890791
Lantai 4 (Z <sub>4</sub> )	15871.10	20	1061712.071	1977.703615
Atap (Z <sub>5</sub> )	6858.01	25	627432.2674	1168.749133
Σ W <sub>t</sub> =	70342.41	Σ W x Z =	2951525.526	

Tabel 5. Hasil Perhitungan Gaya Gempa Tiap Lantai

Tingkat Lantai	Perhitungan gempa 100% yang ditinjau dan 30% arah tegak lurus			
	Fx (kN)	30% Fx (kN)	Fy (kN)	30% Fy (kN)
Lantai 1	321.211	96.363	282.778	84.833
Lantai 2	804.885	241.465	747.831	224.349
Lantai 3	1377.528	413.259	1320.891	396.267
Lantai 4	2016.865	605.060	1977.704	593.311
Atap	1171.384	351.415	1168.749	350.625

### Analisis Dinamik Respon Spektrum



Gambar 4. Respon spektrum pasar modern

Menurut SNI 1726-2012 untuk menentukan faktor skala gempa menggunakan rumus  $(G \times I)/R$  untuk arah x dan faktor skala gempa arah y adalah 30% dari arah x.

Tabel 6. Faktor Skala Gempa Respon Spektrum

Percepatan Gempa	Arah ( <i>Direction</i> )	Faktor Skala
RSPX	U1 (100%)	1.2263
	U2 (30%)	0.3679
RSPY	U1 (30%)	0.3679
	U2 (100%)	1.2263

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari perhitungan yang telah dilakukan, besarnya simpangan antar lantai arah x dan arah y ditunjukkan pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Besar Simpangan Gedung Arah x

Lantai	Tinggi Tingkat (h), (mm)	Simpangan Elastis ( $\delta_{xe}$ ), (mm)	Perpindahan Yang Diperbesar ( $\delta_x$ ), (mm)	Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ ), (mm)	Diizinkan ( $\Delta$ ), (mm)	Keterangan
1	5000	5.600	30.80	30.80	100	OK
2	5000	15.400	84.70	53.90	100	OK
3	5000	24.900	136.95	52.25	100	OK
4	5000	32.200	177.10	40.15	100	OK
5	5000	37.400	205.70	28.60	100	OK

Tabel 8. Besar Simpangan Gedung Arah y

Lantai	Tinggi Tingkat (h), (mm)	Simpangan Elastis (mm)	Perpindahan Yang Diperbesar ( $\delta x$ ), (mm)	Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ ), (mm)	Diizinkan ( $\Delta a$ ), (mm)	Keterangan
1	5000	8.80	48.40	48.40	100	OK
2	5000	21.80	119.90	71.50	100	OK
3	5000	32.80	180.40	60.50	100	OK
4	5000	40.20	221.10	40.70	100	OK
5	5000	44.50	244.75	23.65	100	OK

Tabel 9. Hasil Perhitungan *Performance Level* Analisis Statik Ekuivalen

Parameter	Arah X	Arah Y
Maksimal Total <i>Drift</i>	0.001788	0.0021
<i>Performance Level</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>
Maksimal <i>in-elastic Drift</i>	0.001536	0.001716
<i>Performance Level</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>

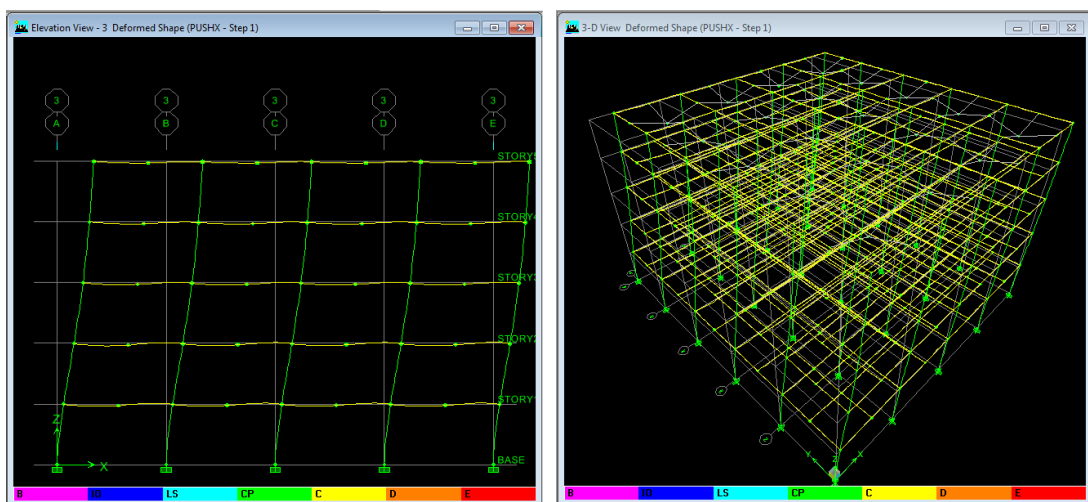
Maksimal total *drift* < 0.01 dan maksimal *in-elastic drift* < 0.005 termasuk kriteria struktur tahan gempa *Immediate Occupancy* (IO), dimana apabila gempa terjadi, struktur mampu menahan gempa tersebut, struktur tidak mengalami kerusakan struktural dan tidak mengalami kerusakan non struktural sehingga dapat langsung digunakan kembali [4].

Tabel 10. Hasil Perhitungan *Performance Level* Respon Spektrum

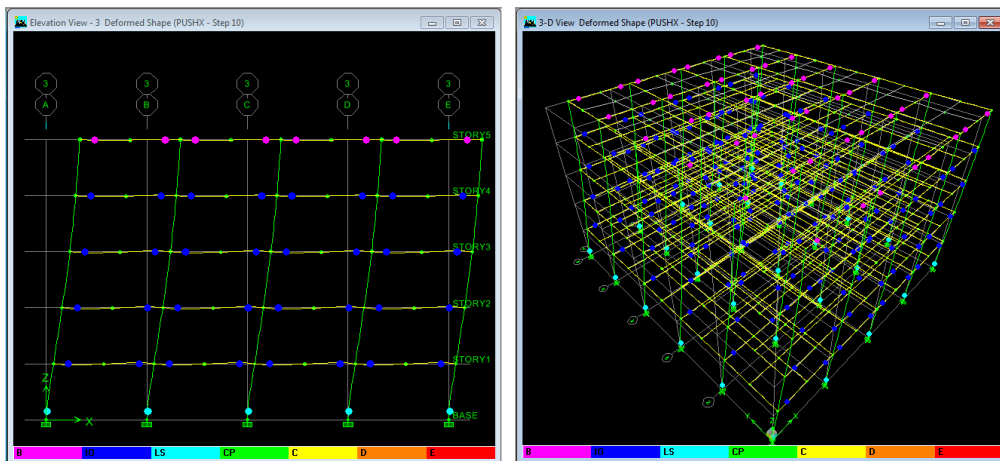
Parameter	Arah X	Arah Y
Maksimal Total <i>Drift</i>	0.001496	0.00178
<i>Performance Level</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>
Maksimal <i>in-elastic Drift</i>	0.001272	0.001428
<i>Performance Level</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>

### Skema Distribusi Sendi Plastis

Distribusi sendi plastis arah x



Gambar 5. Sendi plastis step 1 arah x (portal)



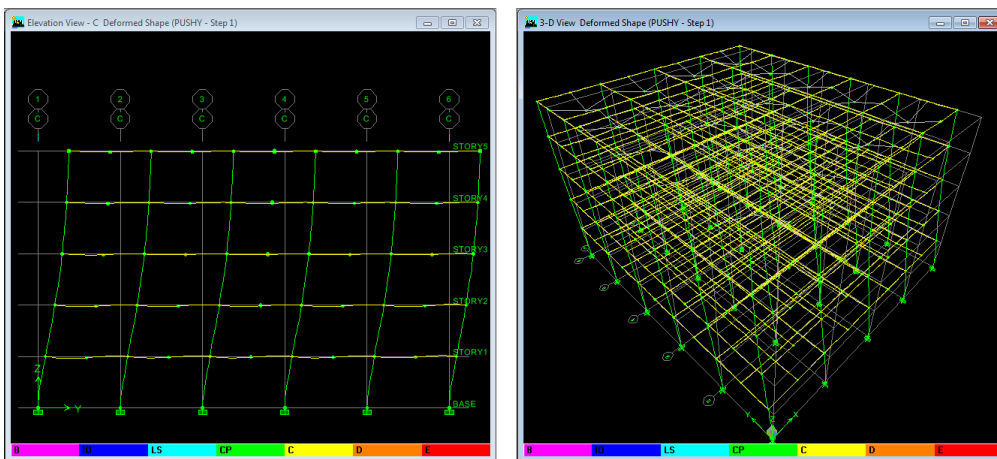
Gambar 6. Sendi plastis step 10 arah x (portal)

PUSHOVER CURVE

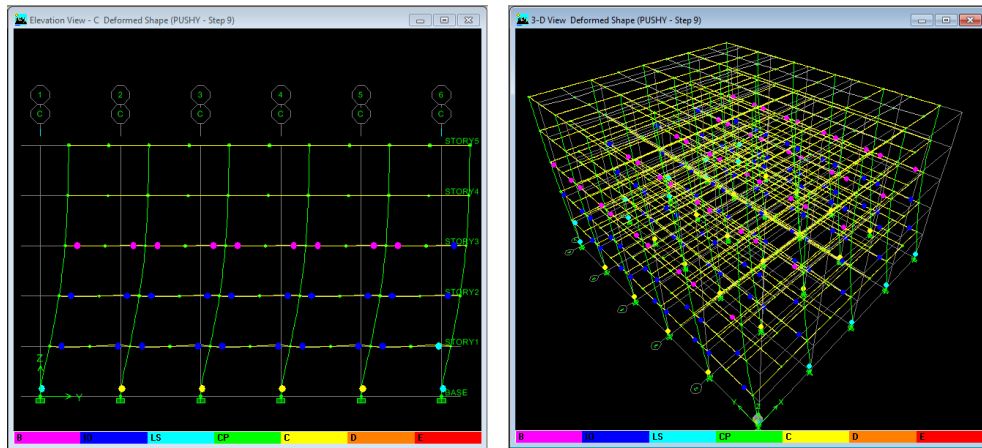
Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0.0000	0.0000	640	0	0	0	0	0	0	0	640
1	0.1000	17476.4590	636	4	0	0	0	0	0	0	640
2	0.1702	29737.0410	538	102	0	0	0	0	0	0	640
3	0.2532	40112.5742	482	158	0	0	0	0	0	0	640
4	0.3280	45667.5000	466	174	0	0	0	0	0	0	640
5	0.3443	46443.5039	440	82	118	0	0	0	0	0	640
6	0.5176	49576.3594	414	74	152	0	0	0	0	0	640
7	0.6583	51528.6445	392	74	174	0	0	0	0	0	640
8	0.7775	52783.6133	370	52	188	30	0	0	0	0	640
9	0.9632	54260.5781	370	48	192	30	0	0	0	0	640
10	1.0000	54522.8984	640	0	0	0	0	0	0	0	640

Gambar 7. Pushover Curve sendi plastis arah x (portal)

Distribusi sendi plastis arah y



Gambar 17. Sendi plastis step 1 arah y (portal)



Gambar 18. Sendi plastis step 9 arah y (portal)

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0.0000	0.0000	640	0	0	0	0	0	0	0	640
1	0.1000	14106.6367	637	3	0	0	0	0	0	0	640
2	0.1609	22694.1973	563	77	0	0	0	0	0	0	640
3	0.2323	30317.3906	532	108	0	0	0	0	0	0	640
4	0.2553	31769.7168	510	130	0	0	0	0	0	0	640
5	0.2809	32687.5547	491	76	73	0	0	0	0	0	640
6	0.3866	34583.0156	472	38	130	0	0	0	0	0	640
7	0.5142	36544.1484	460	50	100	30	0	0	0	0	640
8	0.6402	38074.6367	460	47	98	15	0	20	0	0	640
9	0.7095	38888.1602	460	47	98	5	0	0	0	30	640
10	0.7097	19590.3555	460	47	53	47	0	3	0	30	640
11	0.8097	22214.2852	460	47	53	47	0	0	3	30	640
12	0.8099	21565.5918	460	47	53	45	0	2	3	30	640
13	0.8166	21761.2441	460	47	53	45	0	0	5	30	640
14	0.8168	21316.5332	460	47	53	45	0	0	2	33	640
15	0.8263	21608.2949	460	47	53	45	0	0	2	33	640
16	0.8264	21270.8359	460	47	53	45	0	0	0	35	640
17	0.8303	21389.2832	460	47	53	45	0	0	0	35	640
18	0.8304	21169.8418	460	47	53	35	0	10	0	35	640
19	0.8382	21409.5820	460	47	53	23	0	0	18	39	640
20	0.8369	17211.5918	640	0	0	0	0	0	0	0	640

Gambar 19. Pushover Curve sendi plastis arah y

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil evaluasi kinerja dengan analisis *pushover* pada modifikasi struktur baja pasar modern Gamalama, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Hasil gaya geser dari evaluasi *pushover* arah x sebesar 43183.989 kN dan arah y sebesar 33826.476 kN dimana lebih besar dari gaya geser rencana arah x sebesar 5691.87 kN dan arah y sebesar 5497.95 kN.
2. Maksimum total *drift* arah x adalah 0.0118 m dan arah y adalah 0.01376 m dimana keduanya termasuk dalam *performance level Damage Control*, sedangkan maksimum *inelastic drift* arah x adalah 0.011096 m dan arah y adalah 0.012820 m dimana keduanya termasuk dalam *performance level Damage Control*.
3. Hasil *performance point* dari output ETABS dan hasil *performance point* dari prosedur analisis *pushover* untuk arah y sama-sama mempunyai nilai *performance level Damage Control* yang merupakan transisi antara *Immediate Occupancy (IO)* dan *Life Safety (LS)*, sedangkan untuk arah x mempunyai nilai *performance level Immediate Occupancy (IO)*, yang berarti bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi.
4. Nilai *displacement* arah x adalah 0.295 m dan arah y adalah 0.344 m. *Displacement* pada gedung tidak melampaui *displacement* maksimum, sehingga gedung aman terhadap gempa rencana.



## V. REFERENSI

- [1] ATC-40. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Vol. 1. California: Applied Tecnology Council.
- [2] Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. SNI 1726-2012. Jakarta. BSN.
- [3] Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. SNI 1727-2013. Jakarta. BSN.
- [4] Badan Standarisasi Nasional. 2015. *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. SNI 1729-2015. Jakarta. BSN.
- [5] Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*. Jakarta. Yayasan Badan Penerbit PU.
- [6] Dewobroto, W. 2006. *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000*. Jurnal Teknik Sipil. Vol. 3, No. 1.
- [7] Riza, M. M. 2013. *Aplikasi Perencanaan Struktur Gedung dengan ETABS*. ARS Group (Ebook). ([www.engineerwork.blogspot.com](http://www.engineerwork.blogspot.com), diakses 12 April 2018).
- [8] Sahputra, F. I. 2018. *Evaluasi Kinerja Struktur Beton pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Pushover*. Jurnal Sipil Sains. Vol. 08, No. 15
- [9] Sugiyatno, A. dan Sulardi. 2012. *Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Pushover Analisis*. Jakarta. Universitas Gunadarma.
- [10] Tata, A. 2018. *Evaluasi Kinerja Struktur Beton Gedung Fakultas Ekonomi Unkhair dengan Analisis Pushover Berdasarkan ATC-40*, Jurnal SIPILsains Vol. 8 No. 15 Maret. pp 1-10.
- [11] Tavio dan Wijaya, U. 2017. *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja*. ANDI. Yogyakarta.

Halaman ini sengaja dikosongkan