



## **PERFORMA *NON-LINIER TIME HISTORY ANALISYS (NLTHA)* STRUKTUR *FIXED BASE* RUMAH SEDERHANA DI DAERAH RAWAN GEMPA**

**Budwi Harsono<sup>1</sup>, Atik Wahyuni<sup>2\*</sup>, Tavio<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

<sup>3</sup>Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

[budwiharsono@umsida.ac.id](mailto:budwiharsono@umsida.ac.id)<sup>1</sup>, [atikwahyuni@umsida.ac.id](mailto:atikwahyuni@umsida.ac.id)<sup>2\*</sup>, [tavio\\_s@yahoo.com](mailto:tavio_s@yahoo.com)<sup>3</sup>

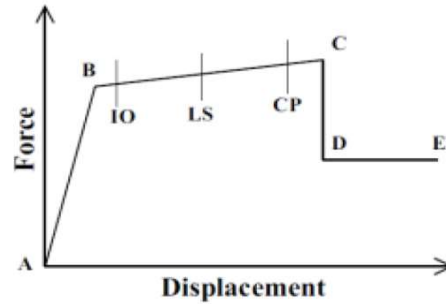
### **ABSTRAK**

Indonesia adalah negara yang dilalui dua lempeng tektonik, dimana daerah lintasannya sering terjadi gempa bumi. Salah satu daerah yang dilalui lempeng tektonik yaitu pulau Jawa, dimana terdapat banyak bangunan tempat tinggal baik yang sederhana maupun rumah mewah. Rumah sederhana yang ada perlu di evaluasi kinerjanya terhadap gempa yang pernah terjadi. Tujuan analisis ini adalah untuk mengetahui rumah sederhana tersebut masuk dalam level kinerja struktur bagaimana sesuai kinerja ATC 40. Menggunakan Program Bantu ETABS dan beban non-linier kasus gempa El Centro dan Peraturan SNI 1726:2012. Hasil analisis dari rumah sederhana dengan balok sloof 15x30 cm, kolom 15x15 cm dan balok ring 15x25 cm dengan *Non-Linier Time History Analysis (NLTHA)* pada struktur *fixed base* menunjukkan performa semua komponen struktur masih berada pada rentang A-IO, sehingga dapat dikatakan dalam pengaruh pembebanan gempa yang diberikan elemen-elemen struktur masih bersifat elastis.

**Kata Kunci:** El Centro, NLTHA, Rumah Sederhana

### **1. PENDAHULUAN**

Penggunaan NLTHA dalam analisa dimaksudkan untuk mengevaluasi kinerja struktur setelah tulangan pada komponen balok dan kolom mengalami kelelahan. Peraturan yang digunakan mengacu pada tatacara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (SNI 1726, 2019) dan pembebanan minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727, 2020).



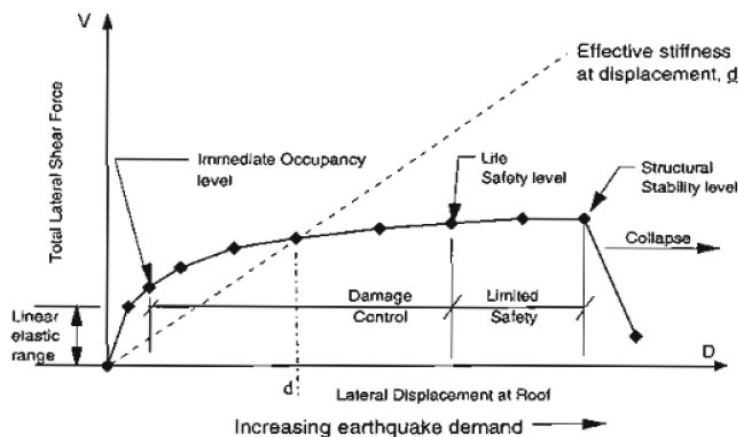
**Gambar 1.** Kurva hubungan antara lateral load – lateral deformation (ATC 40, 1996)

Dalam studi ini digunakan pemodelan sendi plastis berdasarkan model ATC 40, dimana hubungan antara momen kurvatur dapat diidealisasikan sebagai hubungan linear dengan model seperti Gambar 1 (ATC 40, 1996).

Dimana:

- Titik A : penampang belum menerima pembebanan
- Titik B : penampang mengalami leleh pertama
- Titik C : kondisi ultimit penampang mulai tercapai
- Titik D : titik saat kondisis momen turun sampai sebesar 0,2 kali
- Titik E : titik akhir, saat penampang dikatakan runtuh

Ada beberapa tingkatan kinerja sesuai ATC 40, dimana tingkatan kinerja digambarkan kurva hubungan antara perpindahan lateral dan besar gaya yang bekerja atau kurva kapasitas. Kurva kapasitas menggambarkan plot dari total gaya geser dasar akibat gempa, “V” pada struktur, untuk berbagai kenaikan pembebanan dan perpindahan lateral gedung pada atap pada tingkat gaya lateral tertentu (ATC 40, 1996).



**Gambar 2.** Tipikal Kurva Kapasitas berbagai Tingkat Kinerja Struktur (ATC 40, 1996: 6-6)

Kurva kapasitas ini akan menjadi garis lurus dengan kemiringan yang sama jika berperilaku elastis linier dengan kekakuan struktur secara keseluruhan. Karena bangunan sebenarnya tidak memiliki kapasitas elastis linier di atas, maka kurva kapasitas biasanya terdiri dari serangkaian segmen garis lurus dengan penurunan kemiringan, yang merupakan degradasi progresif dalam kekakuan struktural yang terjadi akibat bangunan mengalami perpindahan

lateral, pelelehan dan kerusakan. Penurunan dari garis lurus ditarik garis dari asal plot ke point dalam kurva pada tingkat perpindahan lateral, “d” yang mewakili kekakuan sebagian atau kekakuan “efektif” pada struktur ketika dibebani secara lateral pada tingkat perpindahan tertentu. Pada Gambar 2, simbol “♦” pada kurva kapasitas mewakili kejadian-kejadian penting selama respon lateral terhadap struktur. Kejadian-kejadian penting tersebut seperti pelelehan pertama pada salah satu elemen struktur atau kerusakan tertentu misalnya pecahnya atau terkelupasnya selimut beton pada kolom atau kegagalan geser pada spandrel hingga keruntuhan total pada system (ATC 40, 1996).

Tujuan utama dari desain berbasis kinerja yaitu untuk menentukan tingkat kinerja yang diinginkan dari bangunan. kinerja seismik digambarkan dengan menetapkan tingkat kerusakan maksimum yang diijinkan (performace level) untuk mengidentifikasi bahaya gempa. Pada **Gambar 2** telah diketahui kurva kapasitas suatu struktur terhadap beban lateral, dimana terdapat level-level kinerja tertentu. Level kinerja tersebut dapat dideskripsikan lagi atas bagaimana kondisi bangunan pasca gempa dan kategori bangunan yang diijinkan terhadap level kinerja tertentu, dan ditabelkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Level Kinerja Struktur (ATC 40,1996)

<i>Tingkat Kinerja</i>	<i>Kondisi Bangunan Pasca Gempa</i>	<i>Kategori Bangunan</i>
SP-1 <i>Immediate Occupancy (IO)</i>	Bangunan aman saat terjadi gempa, resiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti, dan dapat segera difungsikan kembali.	Struktur bangunan yang mutlak difungsikan sebagai sarana penyelamatan, penyimpan barang berbahaya, atau struktur bangunan yang dapat mempengaruhi ekonomi nasional. Contohnya Rumah sakit, Gudang bahan bakar/ bahan berbahaya dll.
SP-2 <i>Damage Control (DO)</i>	Merupakan transisi anantara <i>Immediate Occupancy (IO)</i> SP-1 dan <i>Life Safety (LS)</i> SP-3. Bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, resiko korban jiwa manusia sangat kecil.	Struktur untuk bangunan bersejarah, bangunan yang menjadi tempat penyimpanan barang-barang berharga.
SP-3 <i>Life Safety (LS)</i>	Bangunan mengalami kerusakan tetapi tidak diperkenankan mengalami keruntuhan yang menyebabkan korban jiwa manusia ( resiko korban jiwa sangat rendah. Setelah terjadi gempa maka bangunan dapat berfungsi kembali setelah dilakukan perbaikan komponen struktural maupun non-struktural	Fasilitas-fasilitas umum, Gedung perkantoran, perumahan, gudang dll

Sehingga level kinerja struktur menurut ATC 40 ini bisa menjadi acuan rumah sederhana yang dibangun pada daerah rawan gempa dengan konstruksi sederhana merupakan bangunan yang aman terhadap resiko gempa. Berdasarkan kondisi tersebut diharapkan konstruksi yang akan dibangun di daerah rawan gempa dapat mengikuti standar nasional yang berlaku dan bangunan tetap dapat beroperasi dan aman saat terkena gempa (Pranata. Y, 2006) (Zebua et al., 2020).

## 2. METODOLOGI

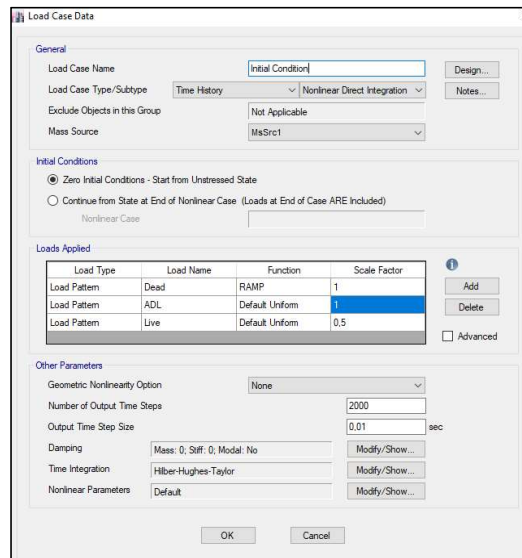
Metodologi analisis ini meliputi tahapan-tahapan dalam program bantu Etabs;

### 1. Define NLTHA Case

Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5 adalah pemodelan input beban non-linier dengan kasus gempa El-Centro.



Gambar 3. Input Fungsi Ramp sebagai *initial condition*



Gambar 4. Input Initial NLTH

## 2. Load Case NLTH El-Centro

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	El Centro x	0.33
Acceleration	U2	El Centro y	0.11

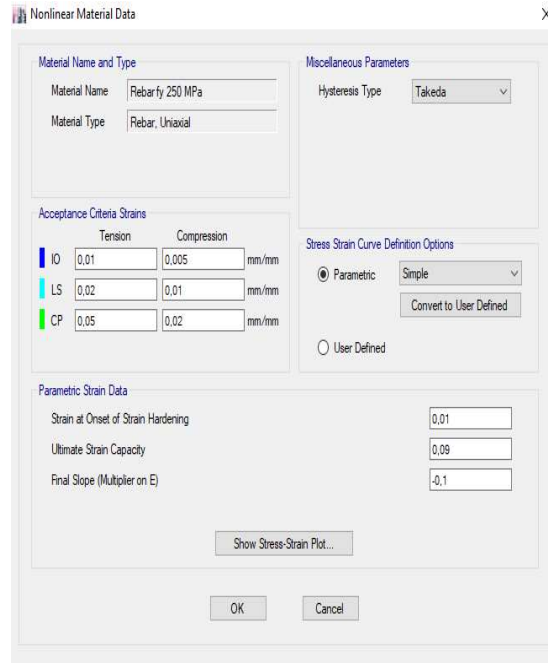
**Gambar 5.** Input Load Case NLTH

## 3. Parameter Non-linier Pada Material

Gambar 6 dan Gambar 7 adalah parameter non-linier material yang menjadi input pada program ETABS.

	Tension	Compression	
IO	0.01	0.003	mm/mm
LS	0.02	0.006	mm/mm
CP	0.05	0.015	mm/mm

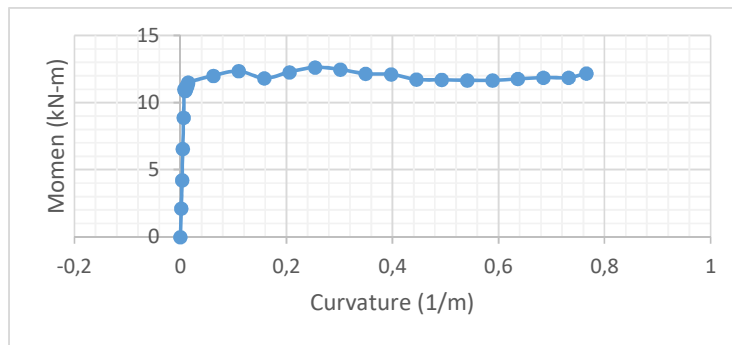
**Gambar 6.** Input Parameter non-Linier Material Beton



**Gambar 7.** Input Parameter non-Linier Material Baja Tulangan

#### 4. *Hinge Properties* pada Balok dan Letaknya

Pada studi ini, sendi plastis penampang didefinisikan secara manual (Gambar 8) dengan memasukan parameter-parameter non-linier yang diperoleh dari program X-tract. Tabel 2 adalah hasil yang diperoleh:



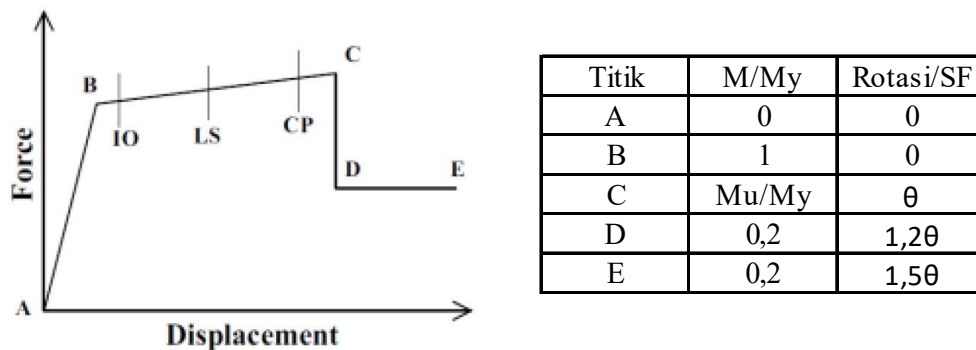
**Gambar 8.** Grafik *Momen-Curvature* Penampang Balok

**Tabel 2.** Output Program X-Tract Penampang Balok

Moment kN-m	Curvature 1/m	Ket
0	-7,903E-23	
2,121	0,00144	
4,233	0,00288	
6,554	0,004321	
8,888	0,005761	
11	0,007201	

10,89	0,008641	
<b>10,95</b>	<b>0,01008</b>	<b>yield</b>
11,26	0,01152	
11,24	0,01296	
11,5	0,0144	
12,01	0,06227	
<b>12,35</b>	<b>0,1101</b>	<b>ultimate</b>
11,82	0,158	
12,28	0,2059	
12,63	0,2538	
12,48	0,3016	
12,15	0,3495	
12,11	0,3974	
11,73	0,4453	
11,7	0,4931	
11,67	0,541	
11,66	0,5889	
11,77	0,6367	
11,87	0,6846	
11,87	0,7325	
12,19	0,7656	

Pada kondisi yield artinya penampang mengalami leleh pertama, sedangkan kondisi ultimate adalah dimana penampang mengalami momen maksimum. Nilai momen-kurvatur ini kemudian diubah menjadi momen-rotasi sebelum dijadikan input sendi plastis untuk program ETABS. Gambar 9 dan Gambar 10 menggambarkan prosedur kurva momen rotasi sesuai ATC-40 yang disesuaikan dengan ETABS yaitu sebagai berikut:



**Gambar 9.** Kurva Backbone Berdasarkan ATC-40

Dimana:

Titik C

Panjang sendi plastis = tinggi balok = 0,25 m

$\mu_u = 12,35$  kN-m

$$M_y = 10,95 \text{ kN-m}$$

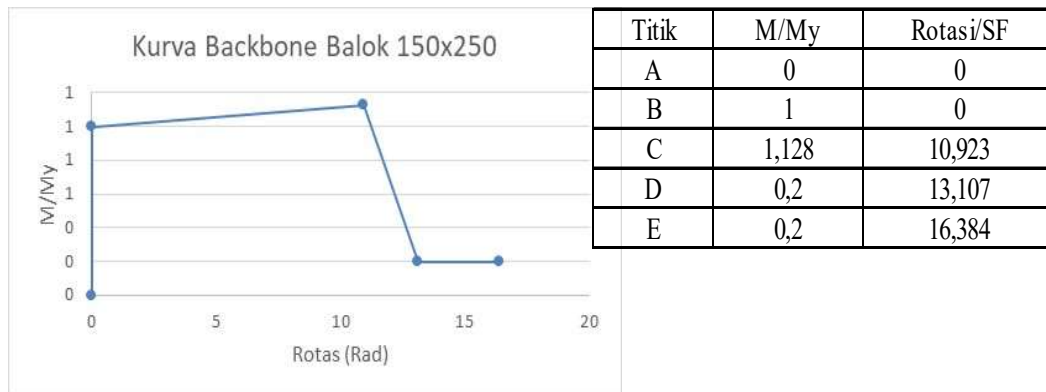
$$\varphi_u = 0,110 \text{ 1/m} \quad \theta_u = 0,110 \times 0,25 \text{ m} = 0,027 \text{ rad}$$

$$\varphi_y = 0,010 \text{ 1/m} \quad \theta_y = 0,010 \times 0,25 \text{ m} = 0,0025 \text{ rad}$$

Dengan demikian :

$$M_u/M_y = 12,35/10,95 = 1,128$$

$$\theta = \theta_u / \theta_y = 0,027/0,0025 = 10,923 \text{ rad}$$



**Gambar 10.** Kurva Backbone Penampang Balok

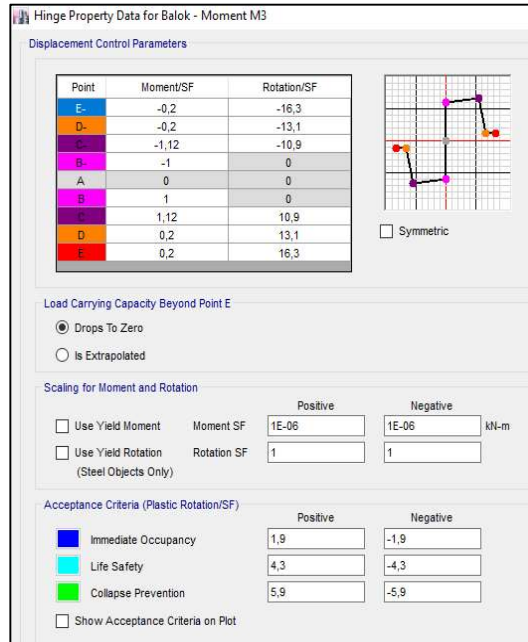
Sedangkan nilai *Acceptance criteria* ditentukan dengan rumus berikut :

$$\text{Immediately Occupancy} = \frac{\varphi_y + 0,1(\varphi_u - \varphi_y)}{\varphi_y} = \frac{0,01 + 0,1(0,11 - 0,01)}{0,01} = 1,99$$

$$\text{Life Safety} = \frac{\varphi_y + 0,1(\varphi_u - \varphi_y)}{\varphi_y} = \frac{0,01 + 0,333(0,11 - 0,01)}{0,01} = 4,30$$

$$\text{Collapse Prevention} = \frac{\varphi_y + 0,1(\varphi_u - \varphi_y)}{\varphi_y} = \frac{0,01 + 0,5(0,11 - 0,01)}{0,01} = 5,96$$

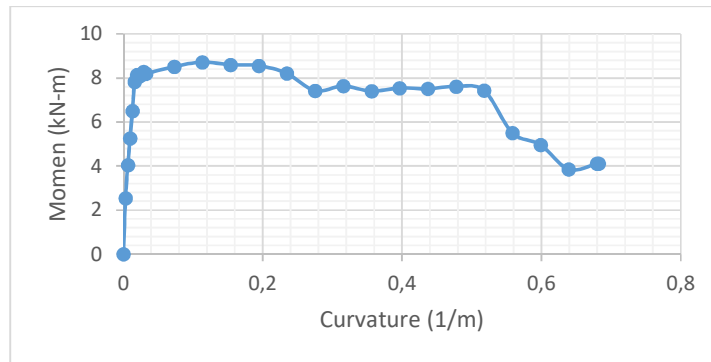




**Gambar 11.** Input Non-Linier Hinges pada Program

### 5. Hinge Properties pada Kolom

Pada studi ini, sendi plastis penampang didefinisikan secara manual (Gambar 12) dengan memasukan parameter-parameter non-linier yang diperoleh dari program X-tract. Tabel 3 adalah output dari proses ini.



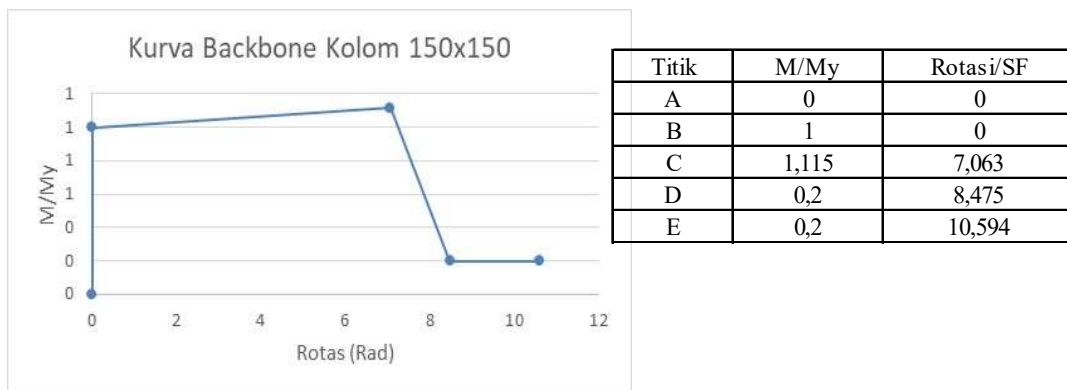
**Gambar 12.** Grafik *Momen-Curvature* Penampang Kolom

**Tabel 3.** Output Program X-Tract Penampang Kolom

Moment	Curvature	Ket
kN-m	1/m	
0	2,78E-21	
2,54	0,00325	
4,05	0,006499	
5,257	0,009749	
6,504	0,013	
<b>7,832</b>	<b>0,01625</b>	yield

8,146	0,0195
8,074	0,02275
8,139	0,026
8,277	0,02925
8,205	0,0325
8,519	0,07294
<b>8,718</b>	<b>0,1134</b> ultimate
8,599	0,1538
8,56	0,1943
8,206	0,2347
7,425	0,2752
7,633	0,3156
7,404	0,3561
7,542	0,3965
7,51	0,437
7,616	0,4774
7,428	0,5179
5,512	0,5583
4,965	0,5988
3,85	0,6392
4,114	0,6797
4,108	0,6824

Penampang mengalami leleh pertama (yield) sebesar 7,832 kN-m, sedangkan kondisi momen maksimal pada penampang (ultimate) didapatkan nilai 8,718 kN-m. Nilai momen-kurvatur ini kemudian diubah menjadi momen-rotasi sebelum dijadikan input sendi plastis untuk program ETABS. Prosedur kurva momen rotasi sesuai ATC-40 yang disesuaikan dengan ETABS seperti pada Gambar 13 berikut :



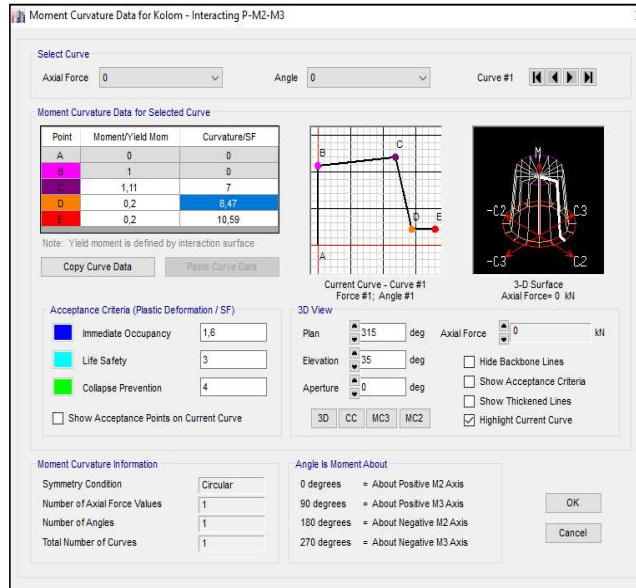
**Gambar 13.** Kurva *Backbone* Penampang Kolom

Berikut nilai *Acceptance criteria* yang diperoleh :

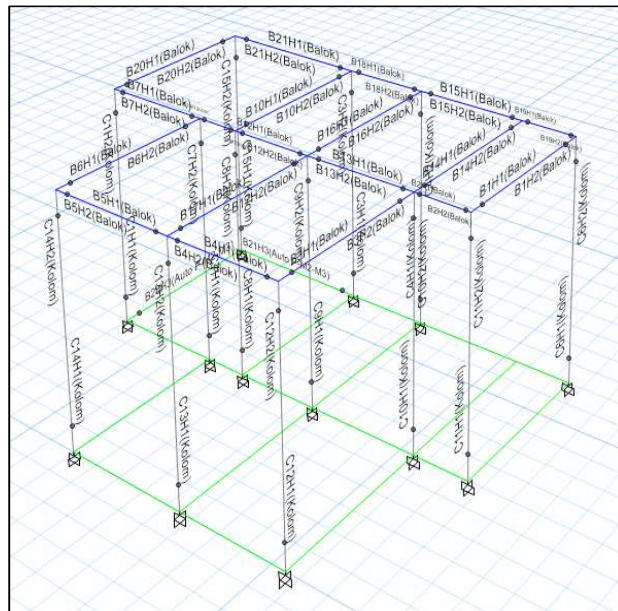
$$IO = 1,60$$

$$LS = 3,018$$

$$CP = 4,03$$



Gambar 14. Input Hinges pada Penampang Kolom



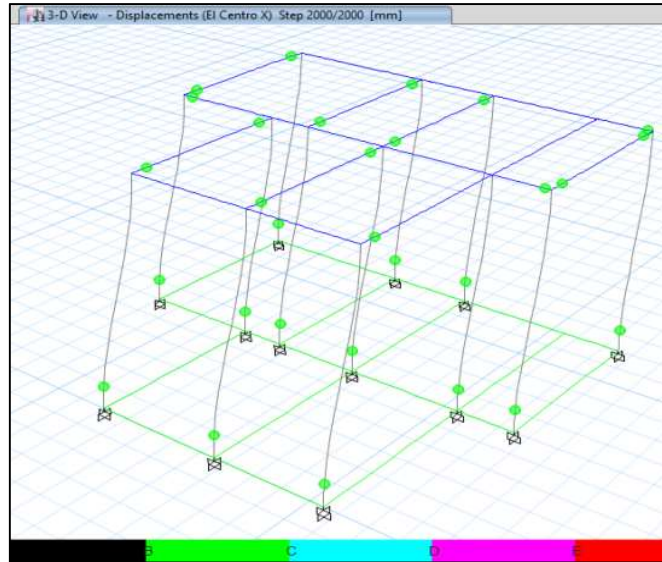
Gambar 15. Assign Sendi Plastis pada Struktur

Pemodelan Input Hinges pada kolom dan Assign sendi plastis pada struktur dalam ETAB digambarkan seperti pada Gambar 14 dan Gambar 15.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa *non-linier time history* pada struktur *fixed base* rumah sederhana pada Gambar 16 menunjukkan performa semua komponen struktur masih berada pada rentang A-IO, sehingga

dapat diambil hasil analisis dalam pengaruh pembebanan gempa yang diberikan elemen-elemen struktur masih bersifat elastis.



**Gambar 16.** Performa komponen struktur El centro

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis struktur *fixed base* rumah sederhana ini dapat disimpulkan bahwa;

1. Pengaruh pembebanan gempa seperti kasus El Centro pada rumah sederhana (bangunan 1 lantai) dengan balok sloof 15x30 cm, kolom 15x15 cm dan balok ring 15x25 cm pada daerah rawan gempa menunjukkan performa *Immediate Occupancy (IO)*, dimana bangunan rumah aman saat terjadi gempa dan tidak menimbulkan kerusakan yang berarti.
2. Analisis *Non-Linear Time History* ini perlu dibandingkan dengan hasil analisa pembebanan *Linier Time History*.
3. Pada analisis selanjutnya perlu dilakukan *Statik Pushover Analisis* untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta memberikan informasi pada bagian penampang mana sendi plastis terbentuk.

#### DAFTAR PUSTAKA

- California Seismic Safety Commission, 1996, Jakarta. Applied Technology Council, Seismic Evaluation and Retrofit Of Concrete Buildings, Report ATC (Redwood City : ATC 40 ).
- Penerbit Yayasan PU, 1987, Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung , Departemen Pekerjaan Umum.
- Pranata, Y. (2006). Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis (Sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440). Jurnal Teknik Sipil, 3(1).

SNI 1726, (2019), Tatacara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

SNI 1727, (2020), Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain.

Zebua, D., Wibowo, L. S. B., Cahyono, M. S. D., & Ray, N. (2020). Evaluasi Simpangan Pada Bangunan Bertingkat Beton Bertulang berdasarkan Analisis Pushover dengan Metode ATC-40, Ge-STRAM. *Jurnal Perencanaan Dan Rekayasa Sipil*, 3(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.25139/jprs.v3i2.2475>