

# EVALUASI DEFORMASI STRUKTUR KOMPOSIT SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK) AKIBAT GEMPA BERULANG MENGUNAKAN METODE IDA (Studi Literatur)

Nur Aziza Ulfa Nasution

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, <sup>2</sup>Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan  
Jl. Muchtar Basri No. 3, Glugur Darat II, Kec. Medan Timur, Kota Medan, Sumatera Utara

[nurazizahulfa@gmail.com](mailto:nurazizahulfa@gmail.com)

## Abstrak

Penggunaan material komposit untuk konstruksi bangunan bisa mengurangi risiko bangunan roboh saat diguncang gempa bumi dikarenakan tingkat fleksibilitasnya yang cukup tinggi. Indonesia khususnya Kota Banda Aceh merupakan wilayah yang rentan jika terjadi gempa, sehingga bangunan bertingkat dapat mengalami kehancuran. Oleh karena itu perlu dilakukan melalui analisa kinerja keruntuhan untuk mengetahui kapasitas struktur tersebut. Di dalam tugas akhir dilakukan pemodelan struktur dengan 2 jenis pemodelan yaitu, pemodelan 4 lantai bentang 10.98 m dan pemodelan 6 lantai bentang 10.98 m. Analisa yang digunakan adalah Respon Spektrum sebagai tahap desain dan Respon Riwayat Waktu Linear dan Nonlinear sebagai tahap evaluasi, dengan alat bantu software analisa struktur dan RUAUMOKO2D versi 04. Pada struktur bangunan akan dikenakan 2 respon gempa berulang. Hasil analisa pada pemodelan Struktur komposit sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) yang berupa kurva IDA. Dari hasil analisa Model 1 akan mengalami  $IDR_{max}$  pada RSA ( $T_1$ ) = 0.55 g oleh gempa MQX1. Sedangkan model 2 pada RSA ( $T_1$ ) = 0.35 g oleh gempa MQX1.

**Kata Kunci:** Gempa bumi, gempa berulang, kinerja keruntuhan, IDA.

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia menjadi wilayah yang rawan terjadi gempa, oleh karena itu diperlukan desain khusus untuk bangunan di Indonesia yang mampu menahan gaya gempa yang terjadi. Salah satunya adalah sistem rangka baja dan beton komposit dimana penggunaan strukturnya sudah banyak berkembang di berbagai negara maju seperti Jepang dan Cina. Akan tetapi, di Indonesia struktur komposit masih kurang dalam penggunaannya pada bangunan bertingkat sehingga faktor tersebut menjadi salah satu latar belakang dari penelitian ini. Selain itu, apabila peraturan antara SNI 03-1729-2002 dengan SNI 1729:2015 dibandingkan satu dengan yang lain tentu sudah banyak revisi mengenai aturan struktur komposit didalamnya. Oleh karena itu, penelitian ini mengevaluasi kinerja suatu bangunan struktur komposit dengan memperhitungkan gaya gempa di Indonesia yang didesain berdasarkan SNI 1729:2015 untuk spesifikasi struktur kompositnya, sedangkan untuk aturan desain gempa menggunakan SNI 1726:2012. Struktur komposit yang digunakan adalah balok komposit yang menggunakan kombinasi pelat beton dan profil baja yang akan bekerja sebagai satu kesatuan dengan adanya penggunaan stud shear connector,

kemudian pada kolom digunakan profil baja yang terbungkus dengan struktur beton. Setelah desain kapasitas tersebut memenuhi aturan SNI 1729:2015 dilakukan perhitungan analisa dinamis time history nonlinier dan hasilnya akan dievaluasi dengan Performance Based Design.

Perencanaan komposit memiliki beberapa keuntungan seperti:

1. Penghematan berat baja
2. Penampang balok baja dapat lebih rendah
3. Kekakuan lantai meningkat
4. Panjang bentang untuk batang tertentu dapat lebih besar
5. Kapasitas pemikul beban meningkat

Sebagai bahan studi perencanaan, struktur baja beton komposit akan dijadikan struktur utama dalam perencanaan struktur bangunan gedung yaitu pada perencanaan ini dipilih gedung perkantoran 4 lantai dan 6 lantai.

## 2. METODE PENELITIAN

### 1. Fungsi dan Material Struktur

Adapun data perencanaan struktur yang digunakan pada kedua pemodelan dalam program analisa struktur, yaitu:

1. Jenis pemanfaatan gedung perkantoran.
2. Gedung terletak di Banda Aceh.
3. Klasifikasi situs batuan keras (SA) dan tanah keras (SC).
4. Sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
5. Jenis portal struktur gedung adalah struktur baja komposit (*Concrete Filled Tubes/CFT*)
6. Kuat tekan beton ( $f_c$ ) yang digunakan: 27,56 MPa.
7. Mutu baja profil yang digunakan adalah ASTM A572-Gr.50.
  - a. Kuat leleh minimum ( $f_y$ ): 378,95 Mpa.
  - b. Kuat tarik minimum ( $f_u$ ): 502,97 Mpa.

### 2. Konfigurasi Bangunan

Pada Tugas Akhir ini, direncanakan struktur bangunan dengan material baja Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan berbentuk simetri. Adapun bentuk pemodelan yang digunakan adalah:

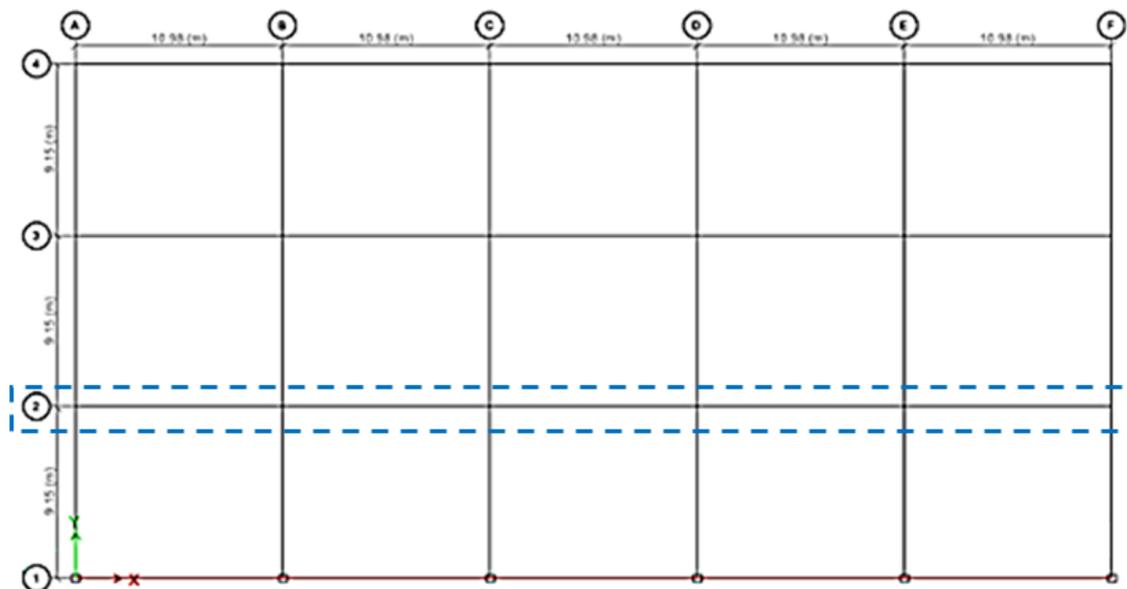
a. Model 1

Bangunan 4 lantai bentang 10,980 m dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) pada bagian keliling bangunan (perimeter) dan sistem rangka pemikul gravitasi pada bagian dalam.

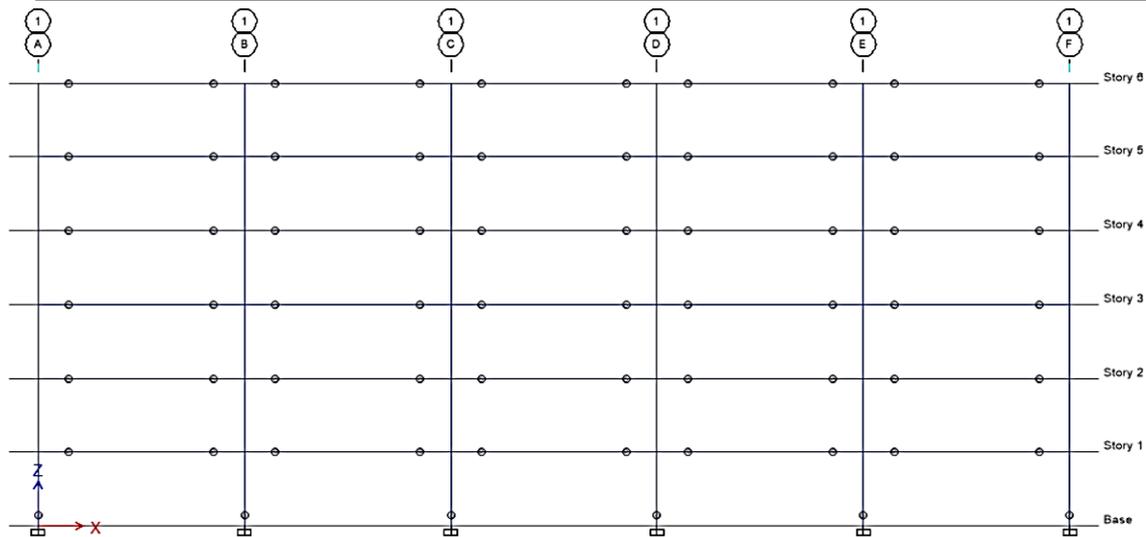
b. Model 2

Bangunan 6 lantai bentang 10,980 m dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) pada bagian keliling bangunan (perimeter) dan sistem rangka pemikul gravitasi pada bagian.

Ketinggian antar lantai untuk keseluruhan model yang dianalisa menggunakan ketinggian yang sama (tipikal) yaitu sebesar 3.965 m. Begitu juga dengan panjang bentang antar kolom arah Y menggunakan jarak sama sebesar yaitu 9.15 m. Analisa dilakukan pada portal atau potongan yang ditunjukkan garis putus-putus berwarna merah untuk keseluruhan model dan lingkaran bulat pada balok ujung-ujung balok dan dasar kolom menunjukkan posisi sendi plastis seperti pada Gambar 2 untuk contoh bentuk pemodelan struktur pada model 1.



(a)



(b)

Gambar 1. a) Denah struktur model 1, (b) Proyeksi bangunan model 1 dan lokasi sendi plastis.

### 3. Dimensi Elemen Balok dan Kolom

Bangunan yang direncanakan adalah struktur beraturan, Struktur gedung direncanakan dengan dimensi penampang yang berbeda. Ukuran balok dan kolom terdapat pada Tabel 1 untuk model 1 dan model 2.

Tabel 1. Komponen struktural bangunan model 1 dan 2.

Model Bangunan	Lantai	Kolom Interior (mm)	Kolom Eksterior (mm)	Balok (inchi)	
				1 <sup>st</sup> to 3 <sup>rd</sup>	4 <sup>th</sup> to 6 <sup>th</sup>
Model 1 4 Lantai (10,980 m)	Base	HSS16×16×500	HSS16×16×500		
	1	HSS16×16×500	HSS16×16×500	W24x103	
	2	HSS16×16×500	HSS16×16×500	W24x103	
	3	HSS16×16×500	HSS16×16×500		W24x84
	4				W24x84
Model 2 6 Lantai (10,980 m)	Base	HSS16×16×500	HSS16×16×500		
	1	HSS16×16×500	HSS16×16×500	W24x103	
	2	HSS16×16×500	HSS16×16×500	W24x103	
	3	HSS16×16×500	HSS16×16×500	W24x103	
	4	HSS16×16×500	HSS16×16×500		W24x84
	5	HSS16×16×500	HSS16×16×500		W24x84
	6				W24x84

### 4. Model Sendi Plastis Balok

Pada prosedur sendi plastis pada balok, model harus didasarkan pada selubung yang parameternya ditentukan menggunakan statistik kurva selubung siklus pertama dari uji siklik (NIST, 2017b; Hartloper dan Lignos, 2016). Parameter untuk kurva tulang punggung siklik didefinisikan seperti yang dijelaskan di bawah ini:

#### a. Momen leleh ( $M_y$ )

Momen leleh ( $M_y$ ). Untuk tujuan pemodelan praktis, Momen leleh dinaikkan (dengan faktor  $\beta$ ) di atas momen balok plastis yang diharapkan,  $M_{p,exp}$ , untuk memperhitungkan kecukupan jumlah siklus strain hardening. Momen luluh efektif diberikan pada Pers. 1 sebagai berikut:

$$M_y = \beta M_{p,exp} = \beta Z R_y F_y \quad (1)$$

Dimana:

$R_y$  = penyesuaian dari kekuatan leleh baja nominal yang diharapkan.

$\beta$  = 1,2 untuk sambungan balok standar.

$\beta$  = 1,1 untuk sambungan penampang balok tereduksi (RBS).

Berdasarkan Metode FEMA, momen leleh yang digunakan sebagai *input* analisis nonlinear pada program RUAUMOKO2D versi 04 adalah momen maksimum pada analisis linier respon riwayat waktu menggunakan Program Analisa Struktur.

b. Kekakuan Elastis ( $K_e$ )

Sendi balok dapat dimodelkan sebagai plastis kaku di mana sendi dimodelkan dengan kekakuan elastis terbatas, tetapi memiliki kekakuan elastis yang besar. Jika panjang sendi plastis nol dimodelkan dengan kekakuan elastis terbatas, direkomendasikan untuk membuat kekakuan sendi awal,  $K_e$ , relatif besar terhadap keseluruhan balok. Ini dapat dinyatakan pada Pers. 2 sebagai berikut:

$$K_e = \alpha_e EI / L \quad (2)$$

Dimana:

$EI$  = kekakuan penampang.

$L$  = panjang balok.

$\alpha_e$  = koefisien kekakuan.

c. Momen Puncak ( $M_u^*$ )

Momen Puncak ( $M_u^*$ ). Kekuatan puncak meningkat di atas momen luluh efektif karena pengerasan siklik pada Pers. 3 sebagai berikut:

$$M_u^* = 1,15 M_y \quad (3)$$

d. Kapasitas Rotasi ( $\theta_p$ )

1) Rotasi pra-puncak ( $\theta_p^*$ )

Rotasi plastis siklik pra-puncak,  $\theta_p^*$  (rad), dapat ditentukan pada Pers. 4 dan Pers. 5 sebagai berikut:

- Untuk balok standar (non-RBS):

$$\theta_p^* = 0,3 \left( \frac{h}{t_w} \right)^{-0,3} \left( \frac{bf}{2t_f} \right)^{-1,7} \left( \frac{L_b}{r_y} \right)^{-0,2} \left( \frac{L}{d} \right)^{1,1} \quad (\text{COV}=0,34) \quad (4)$$

- Untuk balok RBS (*Reduced Beam Section*/Penampang balok direduksi):

$$\theta_p^* = 0,55 \left( \frac{h}{t_w} \right)^{-0,5} \left( \frac{bf}{2t_f} \right)^{-0,7} \left( \frac{L_b}{r_y} \right)^{-0,5} \left( \frac{L}{d} \right)^{0,8} \quad (\text{COV}=0,42) \quad (5)$$

Di mana  $L_b / r_y$  adalah panjang yang tidak terikat secara lateral dibagi dengan sumbu lemah jari-jari girasi.

2) Rotasi pasca-puncak ( $\theta_{pc}^*$ )

Rotasi plastis siklik pasca-puncak,  $\theta_{pc}^*$  (rad), dapat ditentukan pada Pers. 6 dan Pers. 7 sebagai berikut:

- Untuk balok standar (non-RBS):

$$\theta_{pc}^* = 24,0 \left( \frac{h}{t_w} \right)^{-0,9} \left( \frac{bf}{2t_f} \right)^{-0,2} \left( \frac{L_b}{r_y} \right)^{-0,5} \quad (COV=0,45) \quad (6)$$

- Untuk balok RBS (*Reduced Beam Section*/Penampang balok direduksi):

$$\theta_{pc}^* = 20,0 \left( \frac{h}{t_w} \right)^{-0,8} \left( \frac{bf}{2t_f} \right)^{-0,1} \left( \frac{L_b}{r_y} \right)^{-0,6} \quad (COV=0,31) \quad (7)$$

e. Gaya Residu ( $M_r^*$ )

Gaya Residu siklik untuk balok RBS dan non-RBS dapat diasumsikan sebagai:

$$M_r^* = 0,3 M_y \quad (8)$$

f. Rotasi Ultimate ( $\theta_{ult}^*$ )

Kapasitas rotasi plastis ultimit kemungkinan besar akan dikendalikan oleh fraktur daktail. Berdasarkan data uji siklik yang tersedia, rotasi ultimate di bawah pembebanan siklik sama dengan  $\theta_{ult}^* = 0,08$  (radian) dengan  $COV = 0,3$ .

g. Batasan Penggunaan Persamaan

Berdasarkan data yang tersedia yang digunakan dalam kalibrasi, kisaran penerapan yang disarankan dari persamaan di atas adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 20 h/t_w &\leq 55 \\ 4 \leq b_f/2t_f &\leq 8 \\ 20 L_b/r_y &\leq 65 \\ 2,5 \leq L/d &\leq 7 \end{aligned}$$

$4 \leq d \leq 36$  untuk balok standar;  $21 \leq d \leq 36$  untuk balok RBS.

5. Model Sendi Plastis Kolom

Pemodelan sendi plastis pada kolom dicari dengan menggunakan diagram interaksi kolom. Diagram interaksi kolom merupakan grafik yang menunjukkan hubungan antara gaya aksial kolom ( $P$ ) dengan momen yang terjadi ( $M$ ). Diagram interaksi PM diilustrasikan pada Gambar 2 untuk bagian komposit adalah berdasarkan distribusi tegangan plastis penuh dan dapat didekati dengan interpolasi linear antara lima titik (Galambos, 1998). Titik (A) dan (B) sesuai dengan kekuatan aksial hancur dan kekuatan lentur bagian tersebut masing-masing. Titik (C) ditambahkan ke posisi sumbu netral plastis (PNA) yang sama dari yang sesuai dengan titik (B) tetapi di sisi lain dari garis tengah, jadi itu mengandung kapasitas lentur yang sama dengan titik (B) dan besarnya hambatan aksial yang sama tance dari beton saja. Untuk titik (D), PNA terletak di garis tengah. Sebagai hasilnya, titik ini sesuai dengan kekuatan lentur maksimum dan setengah kekuatan aksial yang ditentukan untuk titik (C). Titik (E) adalah titik tambahan yang berubah-ubah untuk lebih menggambarkan kelengkungan diagram interaksi pada beban aksial tinggi. Lima titik dapat dengan mudah dihitung seperti yang ditunjukkan perhitungan dibawah ini. interpolasi dapat digunakan antara Titik (A), (C), dan (B) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 (Hu, 2016). Persamaan untuk 5 titik dalam diagram interaksi P-M sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{a. Titik (A)} \\ P_A &= A_s F_y + A_c (0,85 f_c) \\ M_A &= 0 \\ A_s &= \text{bidang bentuk baja} \\ A_c &= h_1 h_2 - 0,858 r^2 \end{aligned}$$

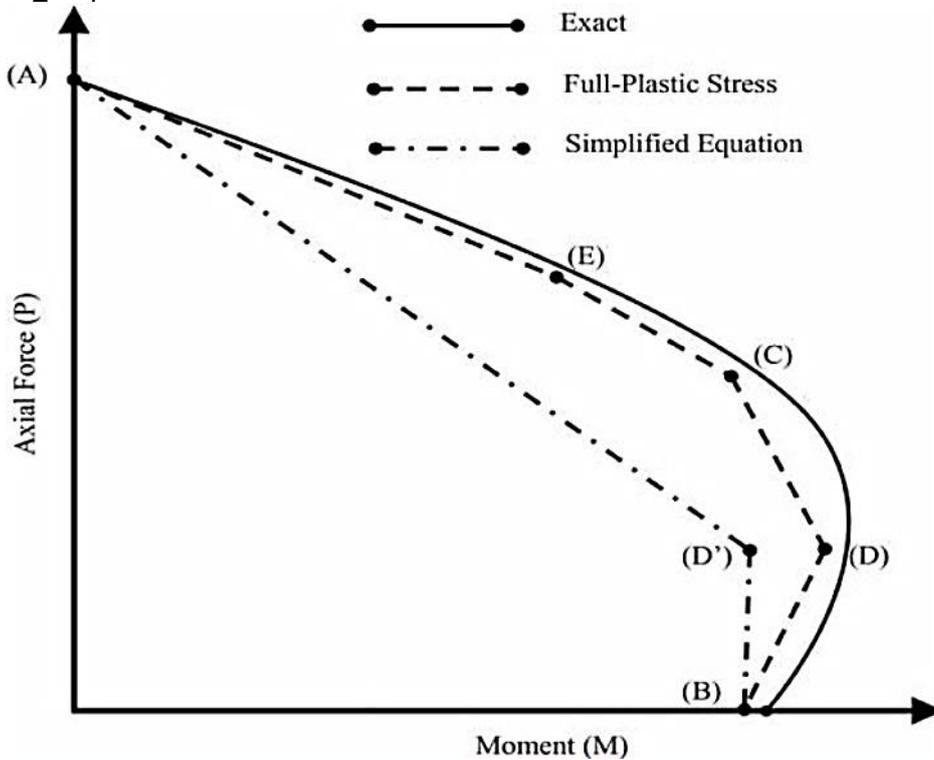
b. Titik (B)  
 $P_B = 0$   
 $M_B = M_D - Z_{sn}F_y - 1/2Z_{cn} (0,85f_c)$   
 $Z_{sn} = 2t_w h_n^2$   

$$h_n = \frac{0,85f_c A_c}{2[0,85f_c h_1 + 4t_w F_y]} \leq \frac{h_2}{2}$$

c. Titik (C)  
 $P_C = A_c (0,85f_c)$   
 $M_C = M_B$

d. Titik (D)  
 $P_D = \frac{0,85f_c A_c}{2}$   
 $M_D = Z_s F_y + 1/2Z_c (0,85f_c)$   
 $Z_c = \frac{h_1 h_2}{4} - 0,192r_i^3$

e. Titik (E)  
 $P_E = \frac{1}{2} (0,85f_c) A_c + 0,85f_c h_1 h_2 + 4F_y t_w h_E$   
 $M_E = M_{max} - \Delta M_E$   
 $Z_{sE} = b h_E^2 - Z_{cE}$   
 $Z_{cE} = h_1 h_E^2$   
 $\Delta M_E = Z_{sE} F_y + 1/2Z_{cE} (0,85f_c)$   
 $h_E = \frac{h_n}{2} + \frac{d}{4}$



Gambar 2. Diagram interaksi PM untuk balok-kolom komposit.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 1. Hasil Analisa Linear

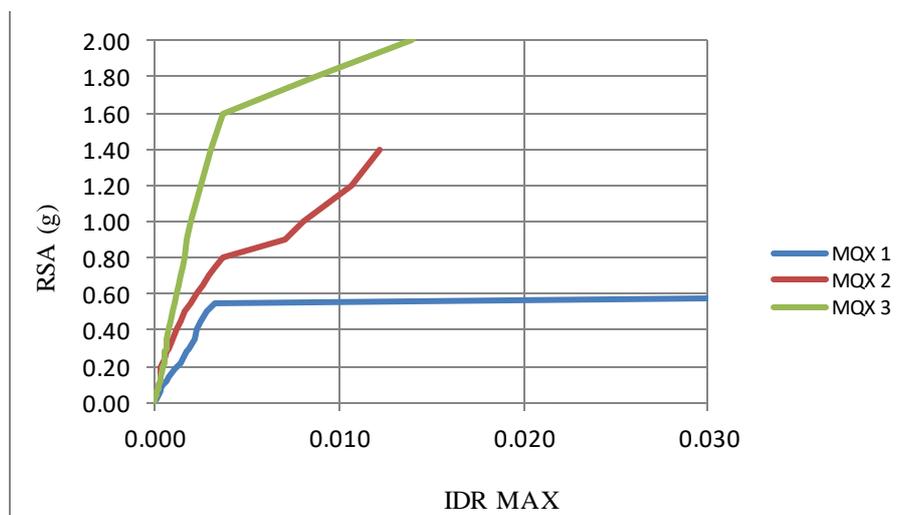
Berdasarkan SNI 1726:2019, analisa harus dilakukan untuk menentukan apakah struktur yang dianalisa memenuhi beberapa persyaratan evaluasi struktur. Dalam hal ini struktur telah memenuhi beberapa syarat seperti: gaya geser dasar (*base shear*), periode getar alami fundamental ( $T_c$ ), partisipasi massa (*mass participation ratio*), analisa ragam (CQC or SRSS), Simpangan lantai (*story drift*), ketidakberaturan vertikal, ketidakberaturan horizontal dan pengaruh P-Delta.

#### 2. Hasil Analisa Nonlinear

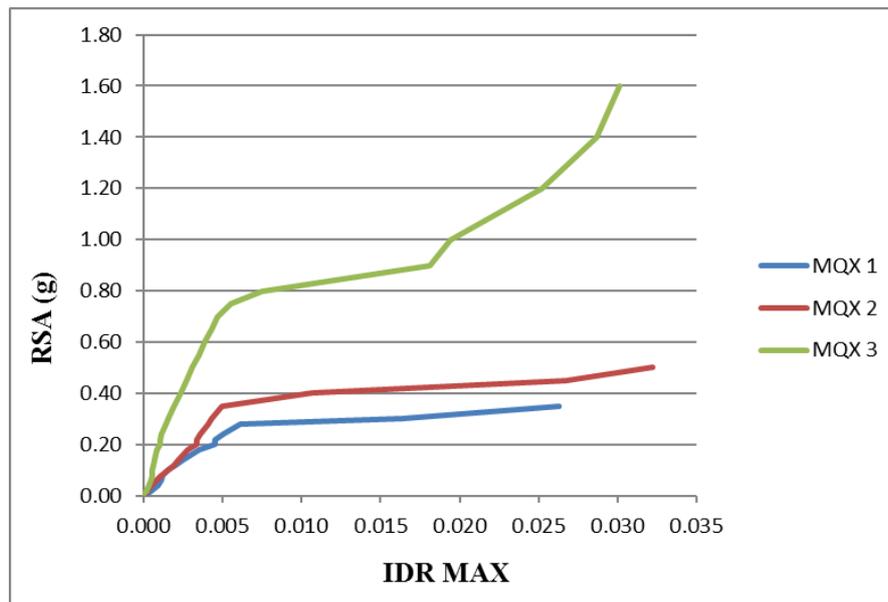
Pada tahap ini merupakan bagian dari evaluasi struktur komposit yang telah di desain terhadap beban gempa yang telah direncanakan, dalam hal ini respon struktur akan ditinjau terhadap perbedaan beberapa rekaman gempa berulang dan perioda struktur bangunan. Perbedaan nilai perioda didapat dari kedua jenis model yang telah didesain. Setiap model struktur akan diambil data inter story drift dan dianalisa.

#### 3. Incremental Dynamic Analysis (IDA)

Incremental Dynamic Analysis yang di lakukan pada kedua model struktur menghasilkan gambaran respon dan kapasitas dari struktur yang selanjutnya dapat digunakan untuk membentuk kurva kerapuhan struktur sebagai metode dalam asasmen kerapuhan seismik. Hasil IDA menggunakan 2 rekaman gempa berulang untuk masing-masing pemodelan struktur. Grafik IDA adalah hasil dari interstory drift Ratio.



Gambar (a) : Grafik kurva IDA terhadap 3 gempa berulang pada Model 1



Gambar (b) : Grafik kurva IDA terhadap 3 gempa berulang pada Model 2

Pada gambar 4.7 tampak dengan jelas bahwa IDRmax model 1 dicapai oleh gempa MQX1 dengan RSA (T1) = 0.55 g, gempa MQX2 dengan RSA (T1) = 1.2 g, dan gempa MQX3 dengan RSA (T1) = 2.00 g. Sedangkan pada gambar 4.8 IDRmax model 2 dicapai oleh gempa MQX1 dengan RSA (T1) = 0.35 g, gempa MQX2 dengan RSA (T1) = 0.4 g, dan gempa MQX3 dengan RSA (T1) = 0.9 g.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi pembahasan mengenai kinerja keruntuhan pada sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) terhadap getaran gempa berulang, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Model 1 akan mengalami IDRmax pada RSA (T1) = 0.55 g oleh gempa MQX1. Sedangkan Model 2 akan mengalami IDRmax pada RSA (T1) = 0.35 g oleh gempa MQX1.

## REFERENSI

- Efrida, R. (2018). Pengaruh Setback Pada Bangunan Dengan Soft Story Terhadap Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa. *Educational Building: Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan dan Sipil*, 4(1 JUNI), 62-69.
- Efrida, R., & Utami, C. (2019). Evaluasi Kinerja Dinding Pengisi Bata Merah Dengan Openings Pada Struktur Beton Bertulang Akibat Beban Gempa Kuat. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 24-29.
- Faisal, A. (2007). Estimasi Respon Tanah Sedang di Beberapa Lokasi di Kota Medan Akibat Skenario Terburuk Gempa Sumatera. *None*, 14(1), 15-26.
- Lubis, R. D. W., Syam, B., & Gunawan, S. (2020). Simulasi Respon Mekanik Komposit Busa Polimer Diperkuat Serat Tkks Dengan Variasi Konsentrasi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(1), 29-37.
- Lubis, R. W., Yani, M., Gunawan, S., & Pulungan, I. W. (2022, July). ANALISA RESPON MEKANIK MATERIAL POLIMER KOMPOSIT DIPERKUAT SERAT TKKS DAN FILTER ROKOK AKIBAT BEBAN STATIK. In *Seminar Nasional Teknik (SEMNASTEK) UISU* (Vol. 5, No. 1, pp. 151-154).
- Putera, T. A., Efrida, R., & Pasaribu, H. M. (2018). Deformasi Struktur Bangunan Rumah Toko Di Medan Akibat Gempa Berulang. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 10(1).
- Putera, T. A., Efrida, R., & Pasaribu, H. M. (2018). Deformasi Struktur Bangunan Rumah

- Toko Di Medan Akibat Gempa Berulang. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 10(1).
- Siregar, R. A., Umurani, K., & Mukhlas, M. (2019). Studi Eksperimen Terhadap Keausan Pada Roda Gigi Cacing Komposit. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 2(2), 158-164.
- Suroso, B., & Rajali, R. (2019). Mechanical Properties Komposit Limbah Plastik. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 2(1), 74-83.
- Suroso, B., & Rajali, R. (2019). Mechanical Properties Komposit Limbah Plastik. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 2(1), 74-83.
- Tanjung, I. (2022). ANALISIS MORFOLOGI SERAT DAN KEKUATAN IMPAK BAHAN KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT PINANG (ARECA CATECHU) YANG TELAH DILAKUKAN PERBAIKAN SIFAT FISIK. *VOCATECH: Vocational Education and Technology Journal*, 4(1), 1-7.
- Tanjung, I. (2022). ANALISIS MORFOLOGI SERAT DAN KEKUATAN IMPAK BAHAN KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT PINANG (ARECA CATECHU) YANG TELAH DILAKUKAN PERBAIKAN SIFAT FISIK. *VOCATECH: Vocational Education and Technology Journal*, 4(1), 1-7.
- Yani, M. (2016). Kekuatan Komposit polymeric foam diperkuat serat tandan kosong kelapa sawit pada pembebanan dinamik. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin" MEKANIK"*, 2(2).
- Yani, M. Y. M., Suroso, B., & Muharnif, M. (2019). Pendampingan Pembuatan Papan Skate Board Dari Komposit Pada Panti Asuhan Muhammadiyah Cabang Medan Kota. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(1), 31-39.
- Yani, M. Y. M., Suroso, B., & Muharnif, M. (2019). Pendampingan Pembuatan Papan Skate Board Dari Komposit Pada Panti Asuhan Muhammadiyah Cabang Medan Kota. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(1), 31-39.
- Yani, M., & Lubis, F. (2018). Pembuatan dan penyelidikan perilaku mekanik komposit diperkuat serat limbah plastik akibat beban lendutan. *MEKANIK: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(2).
- Yani, M., & Lubis, F. (2018). Pembuatan dan penyelidikan perilaku mekanik komposit diperkuat serat limbah plastik akibat beban lendutan. *MEKANIK: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(2).