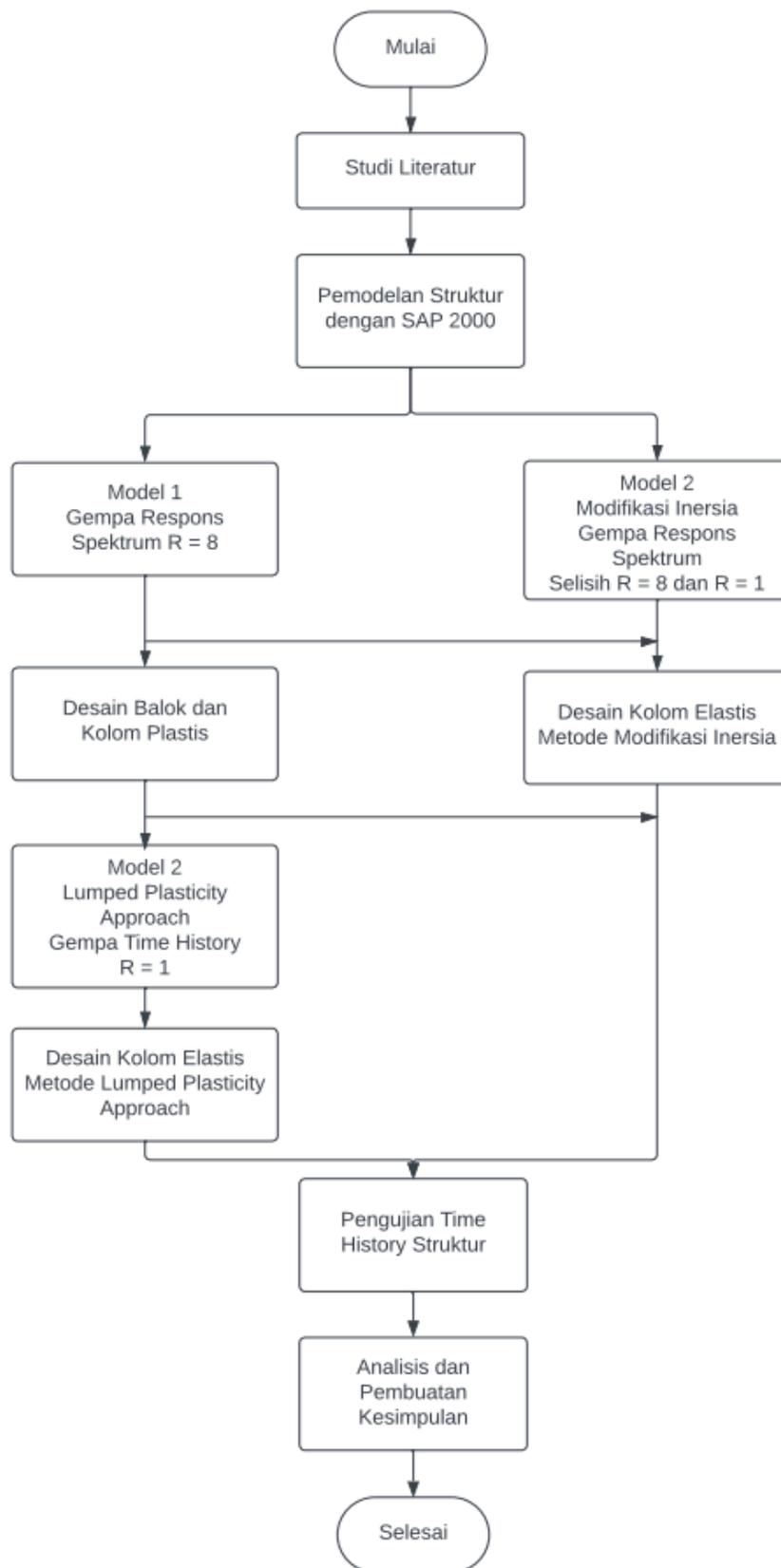


### 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Kerangka Penelitian

Penelitian ini berfokus untuk menilai efektivitas dari penerapan *plastic hinge* atau *lumped plasticity approach* pada metode *modified partial capacity design* (M-PCD). Untuk dapat menilai efektivitasnya, maka penelitian ini akan membandingkan dua metode yakni dengan *lumped plasticity approach* dan dengan modifikasi inersia seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Tanaya (2021). Perbedaan utama dari kedua metode tersebut terletak pada tahap pembuatan model 2 untuk mendesain kolom elastis. Penelitian Tanaya (2021) sebelumnya melakukan modifikasi inersia pada balok dan kolom plastis dengan tujuan untuk memodelkan kerusakan sehingga terjadi distribusi gaya menuju kolom elastis dan nantinya gaya tersebut digunakan untuk mendesain kolom elastis. Dalam penelitian ini, memodelkan kerusakan pada semua balok dan kolom plastis dianggap kurang akurat, mengingat belum tentu semua balok dan kolom plastis yang dimodelkan rusak akan benar-benar rusak saat menerima beban gempa. Oleh karena itu penelitian ini mengusulkan metode *lumped plasticity approach* pada model 2, dimana pemodelan kerusakan dengan modifikasi inersia akan digantikan dengan pemberian *plastic hinge* sehingga kerusakan yang terjadi dapat terdeteksi dengan lebih akurat sehingga distribusi gaya menuju kolom elastis menjadi lebih akurat pula.

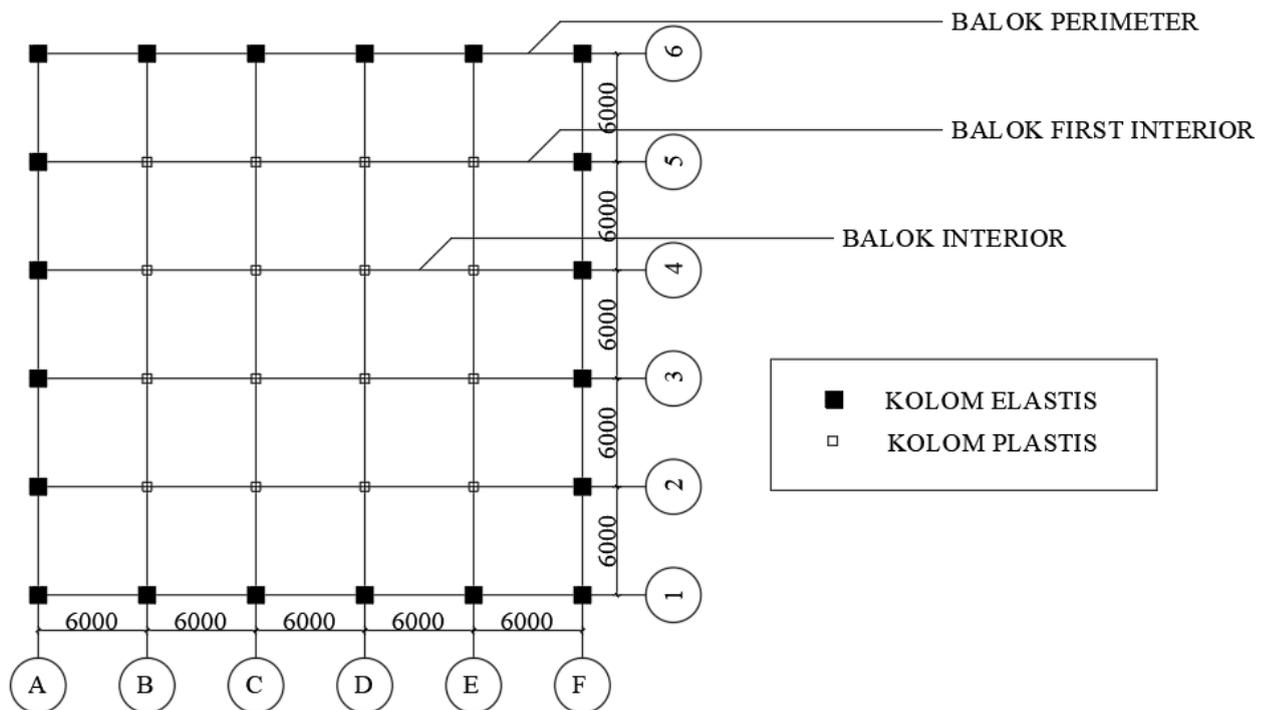
Tahapan - tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini tergambar dalam diagram penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.1. Pemodelan struktur akan dilakukan dengan bantuan *software* SAP 2000 dan akan dilanjutkan dengan pembuatan model 1 untuk desain balok dan kolom plastis. Model 1 yang digunakan sama, baik pada metode *lumped plasticity approach* maupun metode modifikasi inersia, namun pada metode modifikasi inersia, model 1 dilakukan dapat dilakukan secara bersamaan dengan pembuatan model 2. Berbeda dengan metode *lumped plasticity approach* yang mengharuskan desain balok dan kolom plastis pada model 1 selesai terlebih dahulu, dikarenakan pemberian *hinge* yang memerlukan data penulangan. Penjelasan lebih lanjut dari langkah-langkah penelitian ini akan dijelaskan dengan lebih detail pada bagian-bagian selanjutnya.



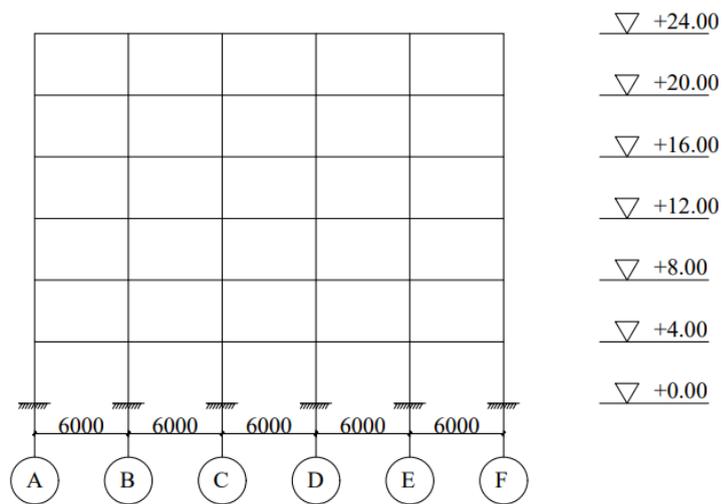
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Model Struktur

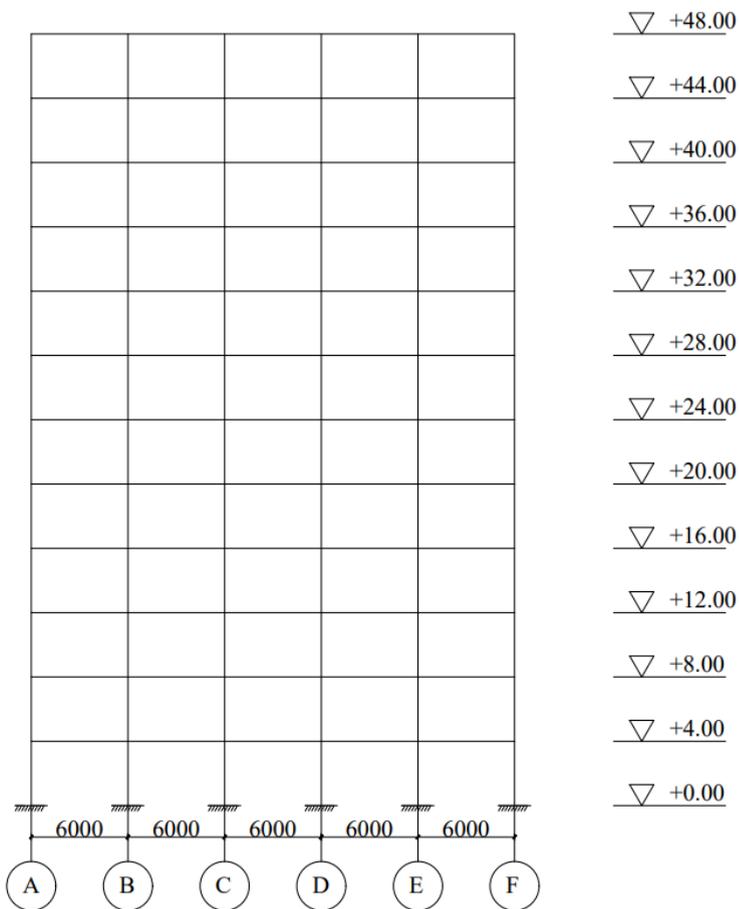
Tahap pembuatan model struktur, analisis struktur, serta pengujian performa struktur menggunakan bantuan aplikasi SAP 2000. Model struktur yang digunakan adalah bangunan dengan denah berbentuk persegi yang memiliki jumlah bentang 5 dan setiap bentang memiliki panjang 6 meter sesuai pada Gambar 3.2. Variasi jumlah lantai adalah 6 dan 12 lantai dengan ketinggian tiap lantainya adalah 4 m seperti pada Gambar 3.3 dan 3.4. Variasi ini dipilih untuk menggambarkan efektivitas metode yang dipakai baik terhadap bangunan dengan tinggi menengah maupun cukup tinggi. Pembebanan yang diberikan untuk pemodelan awal terdiri dari beban gravitasi berupa beban mati dan beban hidup pada semua pelat di setiap lantai serta beban dinding pada setiap lantai yang hanya pada balok perimeter saja. Data tentang spesifikasi model struktur serta pembebanan gravitasi yang dipakai pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.



Gambar 3.2 Denah Bangunan Untuk Variasi 6 dan 12 lantai



Gambar 3.3. Portal Bangunan Tipe 1 Dengan 6 Lantai



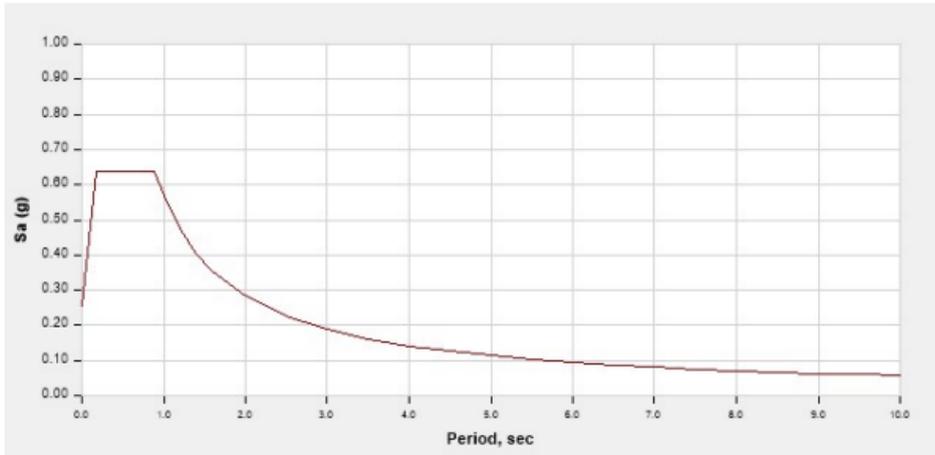
Gambar 3.4 Portal Bangunan Tipe 2 Dengan 12 Lantai

Tabel 3.1 Data Spesifikasi Bangunan dan Pembebanan Gravitasi untuk Pemodelan Struktur

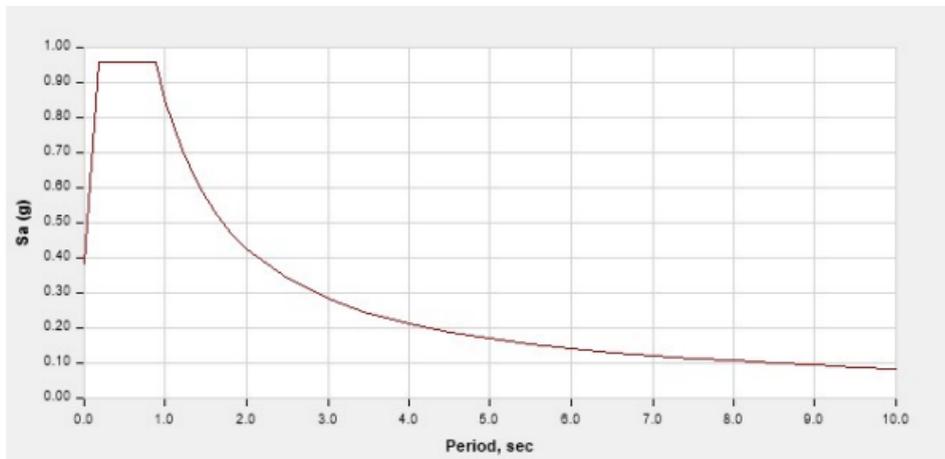
	Bangunan tipe 1	Bangunan tipe 2
Jumlah lantai	6 lantai	12 lantai
Ukuran bangunan	30 m x 30 m	
Luas bangunan per lantai	900 m <sup>2</sup>	
Panjang bentang	6 m	
Tinggi bangunan	24 m	48 m
Ketebalan Pelat lantai	150 mm	
Mutu beton	30 MPa	
Mutu tulangan longitudinal	420 MPa	
Mutu tulangan transversal	420 MPa	
Beban SIDL	1,5 kN/m <sup>2</sup>	
Beban hidup	2,4 kN/m <sup>2</sup>	
Beban dinding (balok eksterior)	10 kN/m	

### 3.2.1 Pembuatan Model 1

Tahap pemodelan pertama pada metode *modified partial capacity design* dilakukan untuk mendesain balok dan kolom plastis dengan menggunakan metode cara kapasitas namun dengan mengabaikan syarat *strong column weak beam* (SCWB). Model struktur yang telah selesai didesain dan diberikan beban gravitasi pada tahap sebelumnya akan diberikan beban gempa respons spektrum sesuai SNI 1726:2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019) dengan faktor modifikasi respons,  $R = 8$ . Grafik respons spektrum desain yang digunakan adalah Kota Surabaya kelas situs SE sesuai dengan Gambar 3.5. Tulangan longitudinal nantinya akan didesain dengan menggunakan bantuan fitur *concrete design* yang telah terintegrasi dalam aplikasi SAP 2000.



(a.)



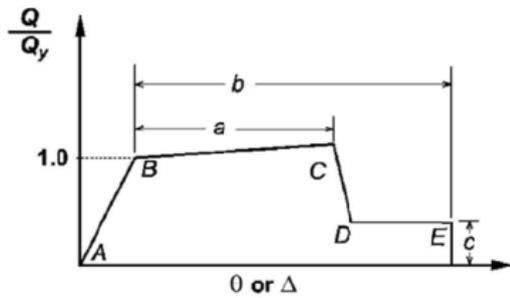
(b.)

Gambar 3.5 Grafik Respons Spektrum Kota Surabaya (a.) DBE (b.)  $MCE_R$

### 3.2.2 Pembuatan Model 2 dengan *Lumped Plasticity Approach*

Tahap pemodelan kedua pada *modified partial capacity design* (M-PCD) ditujukan untuk mendesain kolom elastis. Pada tahap pemodelan kedua ini, terdapat perbedaan dengan metode M-PCD sebelumnya yakni tidak adanya tahapan modifikasi inersia untuk memodelkan kerusakan pada penampang. Sebagai gantinya, akan digunakan metode analisis nonlinear *lumped plasticity approach* yaitu dengan melakukan assign properti *plastic hinge* pada setiap ujung balok dan kolom plastis di model struktur dalam aplikasi SAP 2000. *Plastic hinge* yang di assign pada ujung elemen akan mengikuti sifat non linear dengan mengikuti acuan ASCE 41-17 (*American Society of Civil Engineers, 2017*) sehingga memungkinkan terjadinya kerusakan plastis pada bagian tersebut sesuai dengan Gambar 3.6 dan 3.7.

Dengan terjadinya kerusakan plastis, dimungkinkan terjadinya redistribusi gaya dari balok dan kolom plastis yang mengalami kerusakan menuju ke kolom elastis yang masih bertahan. Total gaya dalam yang terdapat pada kolom elastis akan dijadikan acuan untuk mendesain kolom elastis. Dengan menggunakan metode ini, diharapkan agar hasil analisis struktur menjadi lebih akurat dan lebih mudah karena tidak lagi menggunakan aplikasi tambahan dalam memodelkan grafik momen-kurvatur untuk kebutuhan pemodelan kerusakan plastis. Model struktur 2 ini akan diberikan beban gempa *time history* dengan faktor modifikasi respons,  $R = 1$  sesuai dengan SNI 1726:2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019) karena menyesuaikan dengan analisis yang dipakai yaitu analisis non linear pada *plastic hinge* yang di *assign*. Tulangan longitudinal pada kolom elastis akan didesain dengan bantuan fitur *concrete design* pada SAP 2000.



Gambar 3.6 Hubungan Antara Gaya Dalam dan *Displacement* Dalam ASCE 41-17

Sumber : American Society of Civil Engineers. (2017). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*.

Table 10-7. Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Reinforced Concrete Beams

Conditions	Modeling Parameters <sup>a</sup>			Acceptance Criteria <sup>a</sup>				
	Plastic Rotation Angle (radians)		Residual Strength Ratio	Plastic Rotation Angle (radians)				
	a	b		Performance Level				
			c	IO	LS	CP		
Condition i. Beams controlled by flexure <sup>b</sup>								
$\frac{P_u - P_u}{P_{u,el}}$	Transverse reinforcement <sup>c</sup>	$\frac{V_u d}{b_w d \sqrt{f_c E}}$						
$\leq 0.0$	C	$\leq 3$ (0.25)	0.025	0.05	0.2	0.010	0.025	0.05
$\leq 0.0$	C	$\geq 6$ (0.5)	0.02	0.04	0.2	0.005	0.02	0.04
$\geq 0.5$	C	$\leq 3$ (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
$\geq 0.5$	C	$\geq 6$ (0.5)	0.015	0.02	0.2	0.005	0.015	0.02
$\leq 0.0$	NC	$\leq 3$ (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
$\leq 0.0$	NC	$\geq 6$ (0.5)	0.01	0.015	0.2	0.0015	0.01	0.015
$\geq 0.5$	NC	$\leq 3$ (0.25)	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.015
$\geq 0.5$	NC	$\geq 6$ (0.5)	0.005	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
Condition ii. Beams controlled by shear <sup>b</sup>								
Stirrup spacing $\leq d/2$			0.0030	0.02	0.2	0.0015	0.01	0.02
Stirrup spacing $> d/2$			0.0030	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
Condition iii. Beams controlled by inadequate development or splicing along the span <sup>b</sup>								
Stirrup spacing $\leq d/2$			0.0030	0.02	0.0	0.0015	0.01	0.02
Stirrup spacing $> d/2$			0.0030	0.01	0.0	0.0015	0.005	0.01
Condition iv. Beams controlled by inadequate embedment into beam-column joint <sup>b</sup>								
			0.015	0.03	0.2	0.01	0.02	0.03

(a.)

**Table 10-8. Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Reinforced Concrete Columns Other Than Circular with Spiral Reinforcement or Seismic Hoops as Defined in ACI 318**

Modeling Parameters	Acceptance Criteria		
	Plastic Rotation Angle (radians)		
	Performance Level		
Plastic Rotation Angles, <i>a</i> and <i>b</i> (radians) Residual Strength Ratio, <i>c</i>	IO	LS	CP
Columns not controlled by inadequate development or splicing along the clear height <sup>a</sup>			
$a = \left( 0.042 - 0.043 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{cE}} + 0.63 \rho_t - 0.023 \frac{V_{YE}}{V_{CoIOE}} \right) \geq 0.0$	0.15 <i>a</i> ≤ 0.005	0.5 <i>b</i> <sup>b</sup>	0.7 <i>b</i> <sup>b</sup>
For $\frac{N_{UD}}{A_g f'_{cE}} \leq 0.5$ $b = \frac{0.5}{5 + \frac{N_{UD}}{0.8 A_g f'_{cE}} \frac{1}{\rho_t} \frac{f'_{cE}}{f_{yIE}}} - 0.01 \geq a^a$			
$c = 0.24 - 0.4 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{cE}} \geq 0.0$			
Columns controlled by inadequate development or splicing along the clear height <sup>c</sup>			
$a = \left( \frac{1}{8} \frac{\rho_t f_{yIE}}{\rho_t f_{yIE}} \right) \geq 0.0$ $\left( \frac{1}{8} \frac{\rho_t f_{yIE}}{\rho_t f_{yIE}} \right) \leq 0.025^d$	0.0	0.5 <i>b</i>	0.7 <i>b</i>
$b = \left( 0.012 - 0.085 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{cE}} + 12 \rho_t^a \right) \geq 0.0$ $\leq 0.06$			
$c = 0.15 + 36 \rho_t \leq 0.4$			

(b.)

Gambar 3.7 Parameter Pemodelan dan Kriteria Penerimaan Dalam ASCE 41-17 (a.) Balok (b.) Kolom

Sumber : American Society of Civil Engineers. (2017). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*.

### 3.2.3 Pembuatan Model 2 dengan Modifikasi Inersia

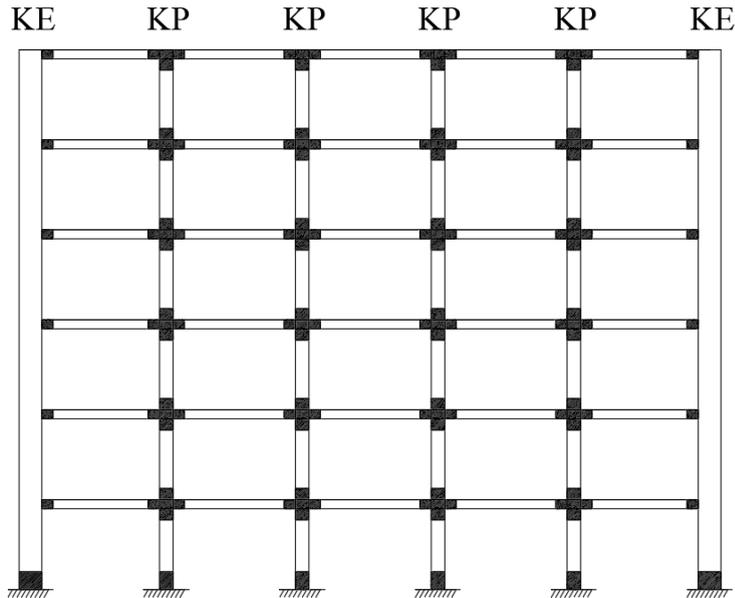
Dalam penelitian ini, pembuatan model 2 akan dilakukan dua kali dengan cara yang berbeda, yaitu model 2 cara pertama dengan *lumped plasticity approach* yang diajukan dalam penelitian ini, serta model 2 cara kedua dengan modifikasi inersia seperti pada penelitian Tanaya (2021) sebelumnya. Hal tersebut dilakukan agar metode baru yang diajukan dalam penelitian ini dapat dibandingkan dengan metode lama pada penelitian sebelumnya, sehingga dapat terlihat efektivitas dari metode baru yang diajukan. Pada penelitian sebelumnya, modifikasi inersia dilakukan untuk memodelkan terjadinya kerusakan sendi plastis pada ujung balok dan kolom plastis seperti pada gambar 3.8, sehingga memungkinkan terjadinya redistribusi gaya menuju kolom elastis. Gaya yang ada pada kolom elastis model 1 dan 2 akan dijumlahkan dan dijadikan acuan untuk mendesain penulangan kolom elastis. Pada model 1, kombinasi beban terfaktor untuk beban gravitasi diberi nilai 0 agar saat penjumlahan gaya dilakukan, gaya akibat gravitasi tidak terhitung dua kali. Nilai reduksi inersia yang digunakan adalah sebesar 0,002 yang didapat dari hasil penelitian Hendrarto & Salim (2023) sebelumnya.

Modifikasi inersia diawali dari as elemen ditambah dengan panjang lengan sendi plastis yang panjangnya diperoleh melalui Persamaan 4.1

$$L_p = 0,5 h \quad (4.1)$$

Keterangan :

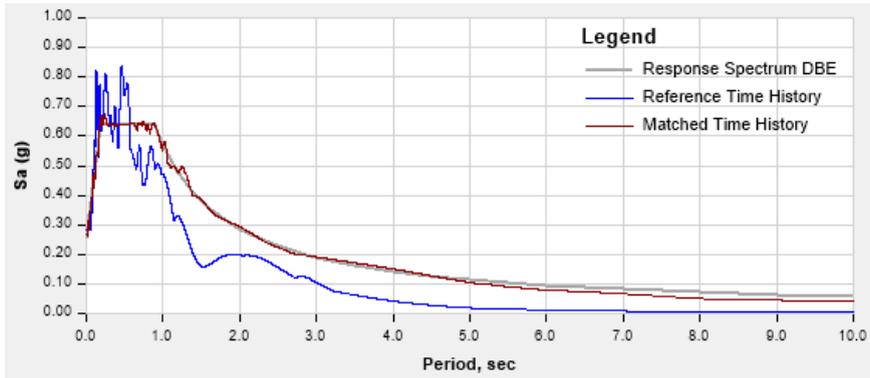
h = tinggi penampang



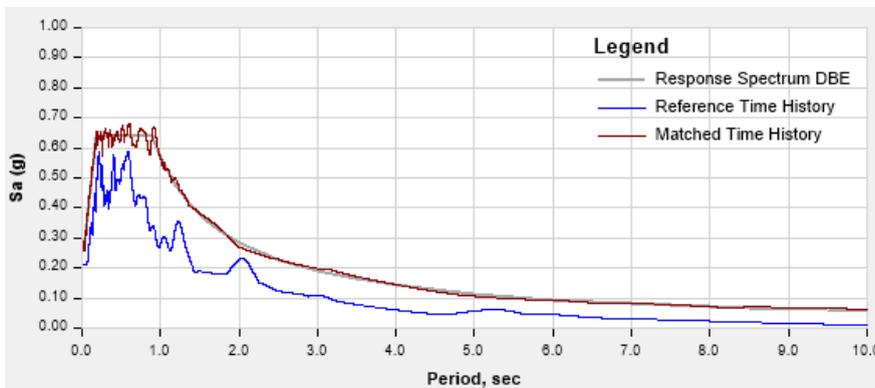
Gambar 3.8 Pemodelan Lokasi Sendi Plastis Model 2 Cara Modifikasi Inersia

### 3.3 Pengujian Kinerja Struktur

Kedua model struktur dalam penelitian ini akan diuji dengan menggunakan analisis *nonlinear dynamic procedure* (NDP) yang akan dilakukan pada level gempa DBE (*Design Basis Earthquake*) atau level gempa desain serta  $MCE_R$  (*Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake*) atau level gempa maksimum. Gempa maksimum merupakan gempa periode ulang 2475 tahun dengan probabilitas gempa yang lebih besar sebesar 2% selama umur bangunan 50 tahun, sedangkan gempa desain adalah gempa sebesar  $\frac{2}{3}$  dari gempa maksimum atau 10% selama umur bangunan 50 tahun. Analisis NDP menggunakan *time history* yang akan dikenakan gempa Imperial Valley (El Centro 1940) yang telah dimodifikasi sesuai dengan respons spektrum Kota Surabaya dengan kelas situs SE seperti pada Gambar 3.9. Kekuatan gempa arah dominan akan menggunakan gempa horizontal 1 East-West (RSN6\_IMPVAL.L\_I-ELC180.AT2) sebesar 100% dan pada arah tidak dominan akan menggunakan gempa horizontal 2 North-South (RSN6\_IMPVAL.L\_I-ELC270.AT2) sebesar 30% seperti pada Gambar 3.10.

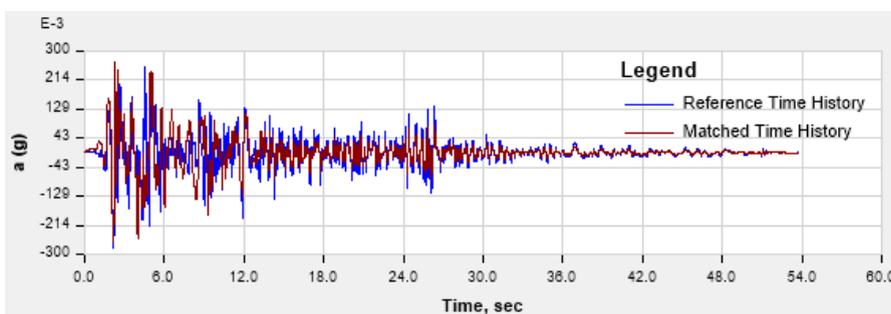


(a.)

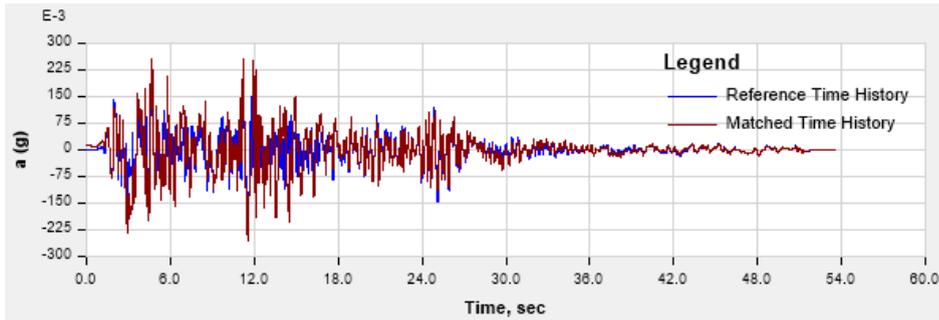


(b.)

Gambar 3.9 Hasil Modifikasi Gempa Imperial Valley (El Centro 1940) Terhadap Respons Spektrum Kota Surabaya (a.) Horizontal 1 DBE (b.) Horizontal 2 DBE



(a.)



(b.)

Gambar 3.10 Hasil Matched *Time History* (a.) Horizontal 1 DBE (b.) Horizontal 2 DBE

### 3.4 Analisis Hasil Performa Struktur

Setelah model struktur diuji sesuai dengan prosedur pengujian yang telah dijabarkan, akan dilakukan analisis terhadap performa yang dihasilkan oleh struktur yang diuji. Performa dari struktur akan ditinjau dari beberapa aspek antara lain mekanisme keruntuhan, tingkat kerusakan sendi plastis, serta *drift* bangunan. Mekanisme keruntuhan yang diharapkan dalam penelitian ini adalah *partial side sway mechanism* yang berarti tidak terjadi sendi plastis pada kolom yang didesain sebagai kolom elastis. Tingkat kerusakan yang diinginkan adalah sendi plastis yang tidak melebihi level *acceptance criteria LS (Life Safety)* pada level gempa DBE dan CP (*Collapse Prevention*) pada level gempa  $MCE_R$ . *Drift* yang terjadi pada bangunan diharapkan untuk tetap memenuhi syarat *drift ratio* yang diizinkan baik saat diberikan gempa DBE maupun  $MCE_R$ .