

ANALISA SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH TERHADAP KARAKTERISASI KELAS SITUS BATUAN KERAS (SA), BATUAN (SB) DAN BATUAN LUNAK (SC) BERBASIS RESPONSE SPECTRUM

Yulina Andriyani¹, Indra Komara², Dewi Pertiwi³, Eka Susanti⁴, Jaka Propika⁵

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Perencanaan, ITATS^{1,2,3,4,5}

e-mail: yulina.andriyani@gmail.com

ABSTRACT

Seismic risk is the main parameter in planning a structural system to determine the design concept of capacity and performance in a building. In this study, an investigation of a six-story building will be investigated with various soil conditions based on the classification of the site area, namely hard rock (SA), rock (SB), and hard, very dense, and soft rock (SC) as a comparative variable of structural performance. The structural elements reviewed are 45x65cm beams, 1.2cm plates, and 75x75cm columns by looking at each element's detailed conditions with a performance point-based structural performance based on ATC-40. As a result, dynamic earthquake analysis based on response spectrum curves found that the SC site's capacity was greater with S_{DS} and S_{DI} , respectively, 0.567 and 0.295. Meanwhile, the SA and SB capacities showed a not-so-far difference from each other of 0.354 and 0.157. This also applies to the displacement and drift values between the SA, SB, and SC floors of 40mm, 41mm, and 75mm, respectively. This shows that the SA and SB site class regions do not significantly differ compared to the SC site class. However, all the structure's performance still meets the required condition of Immediate Occupancy (IO), where the structure does not decrease in capacity.

Keywords: Structure performance, response spectrum, pushover, displacement, site class

ABSTRAK

Resiko seismik merupakan parameter utama dalam merencanakan suatu sistem struktur untuk menentukan konsep desain kapasitas dan kinerja pada suatu bangunan. Dalam penelitian ini dilakukan investigasi bangunan 6 lantai yang akan dikaji dengan berbagai kondisi tanah berdasarkan klasifikasi wilayah situs yaitu batuan keras (SA), batuan (SB), dan tanah keras, sangat padat dan batuan lunak (SC) sebagai variabel pembanding kinerja struktur. Elemen struktur yang ditinjau adalah balok 45x65cm, pelat 1.2cm dan kolom 75x75cm dengan melihat kondisi detail setiap elemen dengan kinerja struktur berbasis *performance point* berdasarkan ATC-40. Sebagai hasil, analisis gempa dinamik berdasarkan kurva response spectrum didapatkan kapasitas situs SC lebih besar dengan S_{DS} dan S_{DI} berurutan adalah 0,567 dan 0,295. Sedangkan kapasitas SA dan SB menunjukan nilai dengan selisih yang tidak begitu jauh satu sama lain sebesar 0,354 dan 0,157. Hal tersebut juga berlaku untuk nilai *displacement* dan *drift* antar lantai berurutan SA, SB dan SC sebesar 40mm, 41mm dan 75mm. Hal ini menunjukkan bahwa wilayah kelas situs SA dan SB tidak memiliki perbedaan secara signifikan dibandingkan dengan kelas situs SC. Namun semua kinerja struktur tetap memenuhi dan masuk pada kondisi *Immediate Occupancy* (IO) yang mana struktur tidak terjadi penurunan kapasitas.

Kata kunci: Kinerja Struktur, *response spectrum*, *pushover*, *displacement*, kelas situs

PENDAHULUAN

Resiko seismik merupakan parameter utama yang perlu diperhatikan dalam perencanaan suatu sistem struktur yang akan menentukan konsep desain kapasitas dan kinerja suatu bangunan. Kategori desain seismik di Indonesia diklasifikasi menjadi tiga tingkatan yaitu kategori rendah untuk klaster A dan B, kategori menengah untuk klaster C dan tinggi untuk klaster D, E dan F. Selain dikategorikan berdasarkan kelas klaster, suatu bangunan juga direncanakan berdasarkan tingkat resiko atau target keandalan yaitu dari I hingga IV yang merupakan peluang terjadinya kegagalan bersyarat untuk stabilitas struktur akibat pengaruh beban gempa. Konsep Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) disesuaikan berdasarkan pertimbangan peruntukan serta model struktur yang dipakai. Namun, terkadang tidak dikontrol fungsi akibat perubahan KDS-nya, sehingga struktur terbangun bisa lebih boros atau bahkan tidak memenuhi persyaratan kapasitasnya jika meninjau kondisi KDS sekarang [1].

Beberapa investigasi terkait kapasitas kinerja struktur beton bertulang telah dilakukan sebelumnya, salah satunya berdasarkan Nurchasanah (2015), mengkaji parameter beban lateral yang ditingkatkan secara terus menerus hingga mengalami keruntuhan untuk mengetahui kinerja sendi plastis. Bangunan yang diinvestigasi adalah tipe *residential building* yang tergolong pada level kinerja *immediate occupancy* (IO) [2]. Lainnya oleh Bulgis dan Sonia (2017), melakukan evaluasi struktur Gedung 6 lantai menggunakan konsep desain SRPMM yang dikorelasikan dengan kondisi tanah berdasarkan hasil standard penetration test (SPT) [1]. Sebagai tambahan peneliti lain juga melakukan analisa kapasitas yang sejenis yang dikorelasikan dengan perilaku wilayah situs berdasarkan kondisi tanah [3]–[5]. Parameter investasi lainpun dijadikan pembanding untuk mengetahui perilaku struktur dan pemodelan [6]–[11]. Akan tetapi dari beberapa penelitian tersebut masih menggunakan peraturan lama dan tidak dikorelasikan dengan kapasitas kinerja struktur dan elemen strukturnya. Maka berdasarkan pertimbangan tersebut investigasi dilakukan dengan mengambil studi kasus di Kota Gresik.

Kota Gresik merupakan kota industri, tidak begitu banyak bangunan kompleks maupun bangunan bangunan tingkat tinggi. Sehingga kategori desain SRPM yang terapkan lebih banyak di sistem SRPMB dan SRPMM. Analisa kapasitas struktur menggunakan sistem SRPMM diidealisasi menggunakan tiga klasifikasi wilayah situs, kelas situs yang akan dijadikan parameter utama dimulai dari kelas situs dengan batuan keras (SA), batuan (SB), dan tanah keras, sangat padat dan batuan lunak (SC) [12]. Struktur yang dianalisis berupa *regular building* menggunakan beton bertulang dengan

kontrol kapasitas *response spectrum* dengan menggunakan perangkat lunak SAP 2000. Data tanah yang dipakai sebagai parameter tambahan yang mana diambil sebagai data base awal adalah dari wilayah gresik yang kemudian dilakukan pendekatan [13]. Ekspektasi luaran dari studi ini adalah untuk mendapatkan kapasitas struktur dengan sistem SRPMM berbasis wilayah situs di Kota Gresik yang dapat dijadikan acuan konstruksi.

Parameter secara penuh akan diambil berdasarkan pertimbangan dari *hand calculation* dan permodelan SAP 2000, setelah didapatkan gaya dan momen kemudian dihitung kebutuhan tulangan dan dievaluasi kinerja struktur dengan menggunakan analisis *pushover* untuk mendapatkan level kinerja struktur [3], [14]. Penggunaan metode sistem rangka pemikul momen dalam perencanaan suatu sistem struktur merupakan hal penting yang perlu di perhatikan, mengingat titik gempa suatu wilayah yang berubah setiap saat mengharuskan analisa berbasis *response spectrum* diperlukan untuk mengurangi dampak terjadinya gempa. Untuk itu penelitian ini dibuat untuk mengetahui perilaku struktur apabila mendapat beban gempa dengan tiga kelas situs yang berbeda sesuai dengan lokasi penelitian dilakukan.

TINJAUAN PUSTAKA

Elemen struktur SRPMM

SRPMM memiliki ciri-ciri diantaranya adalah pada beban lateral khususnya beban gempa yang ditransfer melalui mekanisme lentur antara kolom dan balok. Peran balok dan kolom pada perencanaan struktur bangunan tahan gempa sangat penting. Ketentuan yang digunakan dalam merencanakan bangunan tahan gempa adalah beban aksial tekan terfaktor. Pada sistem ini balok dan seluruh sambungan menahan gaya yang bekerja dengan aksi geser, lentur, aksial dan torsi [15]. Bulgis dan Sonia (2017) menjelaskan bahwa parameter yang biasa digunakan pada Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah adalah keruntuhan geser tidak diperbolehkan terjadi melebihi keruntuhan lentur. Salah satu yang perlu dihindari adalah apabila keruntuhan geser bersifat mendadak dan penghuni tidak sempat untuk menyelamatkan diri. Tidak termasuk dari hasil analisa struktur jika penulangan geser yang terjadi pada kolom dan balok berdasarkan kapasitas lentur terpasang. Jika runtuh akibat lentur terjadi diawal pada balok dengan mengakibatkan kuat geser melebihi kuat lentur [1].

Struktur Balok

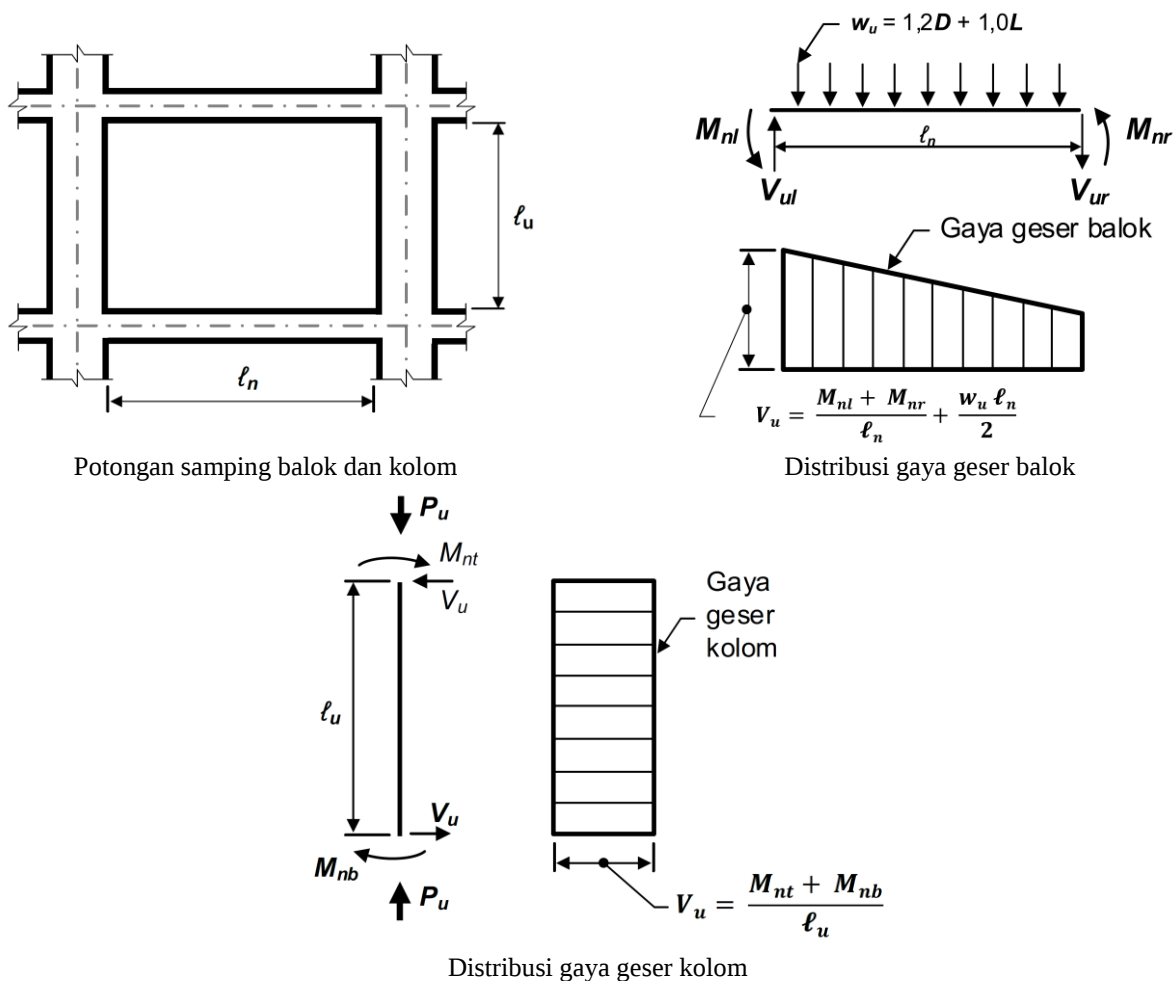
Berdasarkan SNI 2847:2019, konsep SRPMM harus mempertimbangkan perencanaan berdasarkan variable desain yaitu penentuan elemen balok, pelat dan kolom [16]. Pada elemen balok, harus dipastikan memenuhi kondisi tinggi minimum yang disesuaikan dengan kondisi perletakan. Untuk balok dengan perletakan sederhana non prategang tinggi minimum, h , adalah $l/16$ dan nilai faktor reduksi balok SRPMM, ϕ , adalah 1. Sesuai dengan rujukan, β_1 , ditentukan 0.80 apabila nilai f'_c lebih besar dari 28 MPa, akan tetapi nilai tersebut berubah apabila ada dalam *range* 28 – 55 MPa yang harus mengadopsi persamaan (1). Kemudian bentang minimumpun harus minimal 4 kali dari tinggi balok efektifnya yang mana sesuai persamaan (2). Selain hal tersebut, SNI 2847:2019 juga mencantumkan bahwa lebar penampang, b , terkecil tidak boleh kurang dari $0.3h$ atau setara 250 mm. Persamaan analisa lebar penampang dapat merujuk pada persamaan (3), dengan rasio dari tulangan mencangkup kondisi *balance*, maximum dan minimum berurutan sesuai persamaan (4).

$28 < f'_c < 55 \text{ MPa}$ $= \frac{0.85 \times (f'_c - 28)}{7} \quad (1)$	$l_n \geq 4d$
$b \geq 0.3 h / 250 \text{ mm} \quad (3)$	$d = h_{\text{balok}} - t_{\text{selimut}} - \phi \text{ sengkang} - \phi \frac{1}{2} \text{ lentur} \quad (2)$ $d' = h_{\text{balok}} - d$
$\rho_b = \frac{0.85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$ $\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_b \quad (4)$ $\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$	$R_n = \frac{M_u}{b \times d^2}$ $M_n = \frac{M_u}{\theta}$ $m = \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} \quad \rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \quad (5)$
$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d$ $A'_{s\text{pasang}} = 0.3 \times A_{s\text{perlu}} \quad (6)$	$a = \frac{f_y \times A_{s\text{perlu}}}{b \times 0.85 \times f'_c} \quad \epsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0.003$ $c = \frac{a}{0.85} \quad \phi M_n = 0.85 \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (7)$

Selanjutnya, analisa perhitungan kebutuhan tulangan mengacu pada persamaan (5) yang mana syarat utamanya adalah perbandingan ρ_{perlu} ada diantara ρ_{min} dan ρ_{max} . Setelah tulangan teridentifikasi, dilanjutkan evaluasi kapasitas balok sesuai dengan persamaan (6) dan (7). Persyaratan tulangan lentur minimum, $A_{s_{minimum}}$ harus memenuhi $0.25 \times \sqrt{f'_c} / f_y$. Setelah tulangan lentur Tarik terkontrol berdasarkan perbandingan $A_{s_{pasang}}$ lebih besar dari $A_{s_{perlu}}$ disertai dengan jarak spasi tulangan, tahapan selanjutnya adalah melakukan analisa tulangan geser. Evaluasi tulangan geser merujuk pada persamaan (8-13) dengan ilustrasi geser sistem SRPPM melihat pada Gambar 1. Pada balok yang memiliki gaya tekan aksial terfaktor melebihi $A_g \times f'_c / 10$ pendetailan tulangan Senggang harus diperhatikan dengan konsep beban yang terdefinisi adalah $U = 1.2D + 2.0 E + 1.0 L$, dengan E adalah nilai yang ditentukan pada SNI 1726:2019 dan D serta L berurutan adalah beban mati dan beban hidup. Beban hidup dapat dikurangi hingga 0.5 menyesuaikan dengan kondisi tinjauan [17].

$$a = \frac{A_{s_{tekan}} \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \quad (8) \quad \left| \begin{array}{l} V_{u1} = \frac{M_{n1} + M_{nr}}{l_n} + V_u \quad (10) \\ V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \quad (11) \end{array} \right| \quad \begin{array}{l} V_{s_{min}} = \frac{1}{3} \times b \times d \quad (12) \\ V_{s_{max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \quad (13) \end{array}$$

$$M_{n1} = A_{s_{tekan}} \times f_y \times \frac{d - a}{2} \quad (9)$$



Gambar 1. Gaya geser desain balok dan kolom untuk SRPPM [16]

Struktur Pelat

Pelat lantai atau atap adalah komponen struktur yang menyalurkan gaya ke elemen struktur vertikal dengan terlebih dahulu mendistribusikan ke elemen struktur balok. Konsep beban didistribusikan tegak lurus bidang dikarenakan memiliki struktur yang tipis [10]. Beberapa tinjauan yang harus diperhatikan diantaranya, (1) Menggolongkan tipe pelat baik pelat satu arah atau pelat dua arah, (2) Tinjauan ketebalan minimum dan (3) Penentuan dimensi minimum sesuai dengan tumpuan terpasang. Penentuan bentang berdasarkan tipe pelat yang ditinjau sesuai dengan persamaan (14-15) yang dilanjutkan analisa lebar efektif pelat, b_e , dan menentukan faktor Panjang efektif, k , sesuai persamaan (16).

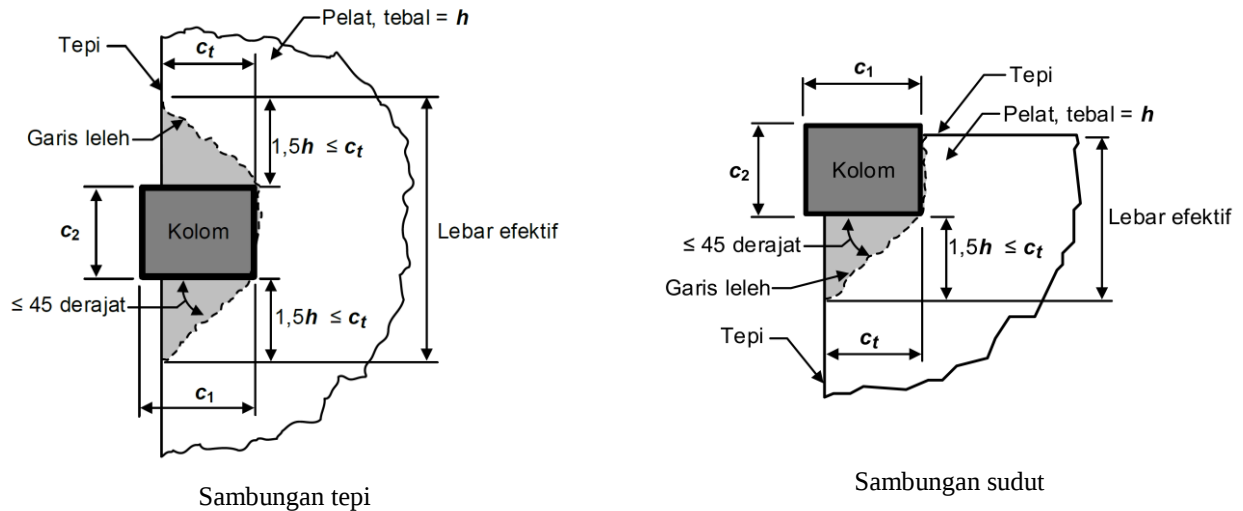
$$l_x = 300 - \left(\frac{b_1}{2} + \frac{b_2}{2} \right) \quad (14)$$

$$\beta = \frac{L_x}{L_y} \quad (15)$$

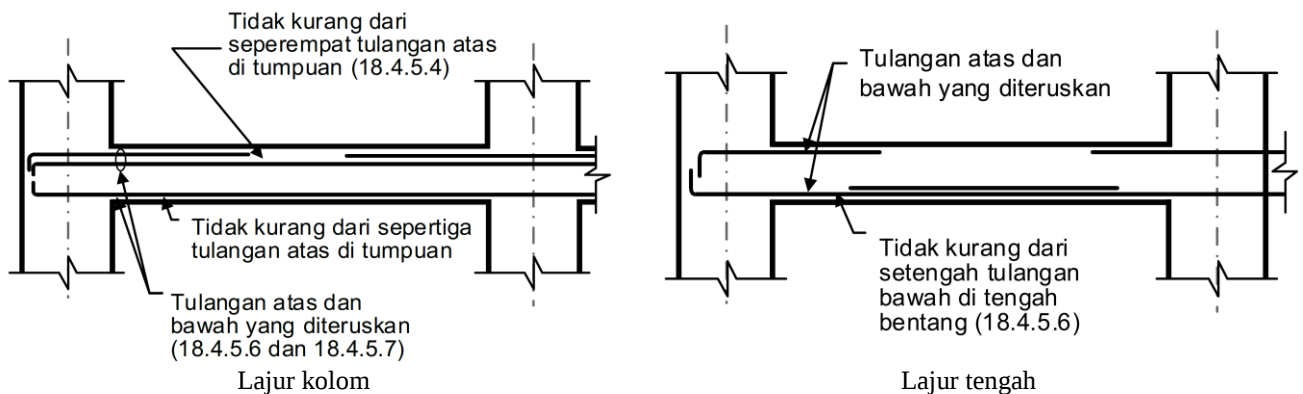
$$b_e = b_w + (2 \times (h_w - h_f))$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{h_f}{h_w} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h_w} \right) + 4 \left(\frac{h_f}{h_w} \right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{h_f}{h_w} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{h_f}{h_w} \right)} \quad (16)$$

Tulangan yang ditempatkan dalam lebar efektif harus didesain untuk mampu menahan y_f Msc. Lebar efektif pelat tersebut untuk sambungan eksterior dan sudut tidak melewati muka kolom dengan jarak lebih dari t diukur tegak lurus terhadap bentang pelat yang dievaluasi. Detail lebar efektif untuk penempatan tulangan baik di area sudut dan sambungan diilustrasikan pada Gambar 2 dan penempatan tulangan pelat di sampaikan pada Gambar 3.



Gambar 2. Lebar efektif disertai penempatan tulangan [16]



Gambar 3. Penempatan tulangan pelat [16]

Struktur Kolom

Kolom merupakan elemen struktur vertikal yang memiliki fungsi menahan gaya aksial yang terdistribusi dari balok dan pelat atau dalam hal ini yang bekerja pada struktur bangunan [18]. ϕV_n kolom tidak boleh kurang dari nilai terkecil antara jumlah gaya geser yang terkait dengan tercapainya nilai M_n pada muka join di setiap ujung kolom akibat lentur berbalik arah atau kurvatur ganda dan gaya geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban terfaktor. Beberapa faktor yang harus diperhatikan khususnya analisa gaya aksial terfaktor sesuai persamaan (17-20).

$$A = \frac{2.5 \times W}{f'_c} \quad (17)$$

$$P = \frac{Ag \times f'_c}{10} \quad (18)$$

$$B_d = \frac{P_u \text{ Atas}}{P_u \text{ Bawah}}$$

$$\psi = \frac{\sum \left(\frac{EI \text{ kolom}}{L \text{ kolom}} \right)}{\sum \left(\frac{EI \text{ balok}}{L \text{ balok}} \right)} \quad (19)$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \times Ei}{(k \times Lu)^2} \quad (20)$$

$$\Sigma P_c = P_c \times n$$

Analisa Response Spectrum

Analisa ini didapat dari plot spektrum berdasarkan pergetaran tanah yang diklasifikasikan sesuai dengan kondisi tanah. Parameter gempa rencana disesuaikan berdasarkan SNI 1726:2019 dengan kemungkinan terbesar selama umur dari struktur bangunan selama 50 tahun sebesar 2% dengan periode ulang selama 2500 tahun [19]. Kategori resiko bangunan dan faktor keamananpun menjadi faktor penentu analisa yang mana didistribusikan menjadi 5 kategori ditinjau dari jenis kepentingan dan pemanfaatannya. Begitu halnya faktor keutamaan gempa, I_e , yang dibagi menjadi 3 kondisi dengan range 1.0 – 1.5.

Berdasarkan SNI 1726:2019, kondisi tanah dikategorikan kedalam beberapa klasifikasi situs, yaitu SA, SB, SC, SD, SE dan SF dan memiliki nilai V_s , N_{ch} dan S_u yang berbeda-beda yang sejalan dengan parameter respon spectral yang mengacu pada percepatan gempa maksimum. Perhitungan parameter respon spectral sesuai dengan Persamaan (21-23) dan ilustrasi desain dari kurva spectral sesuai Gambar 4. Parameter evaluasi respons tambahan adalah faktor R , C_d dan Ω_0 , dimana nilainya berurutan adalah $1 \frac{1}{4}$, $1 \frac{1}{2}$ dan $1 \frac{1}{4}$.

Evaluasi geser desain seismik, V , sesuai dengan persamaan (24) yang ditentukan berdasarkan pertimbangan berat seismik efektif. Sedangkan analisa koefisien respons disesuaikan mengikuti persamaan (25), yang mana dipengaruhi nilai parameter percepatan respons spectral desain dalam periode pendek, koefisien modifikasi respons dan faktor keutamaan gempa. Untuk nilai koefisien struktur rangka beton pemikul momen, C_t , memiliki nilai 0.0466 dengan nilai variable x sebesar 0.9. Nilai-nilai tersebut akan mempengaruhi perhitungan periode fundamental, T . Sebagai catatan jumlah ragam atau partisipasi masa harus mencukupi analisa sebesar 100% akibat pengaruh ragam terkomposisi dari massa struktur keseluruhan.

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

$$S_{M1} = F_v \times S1 \quad (21)$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \quad (22)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} \quad (22)$$

$$V = C_s \times W \quad (24)$$

$$C_s = \frac{S_{ds}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (25)$$

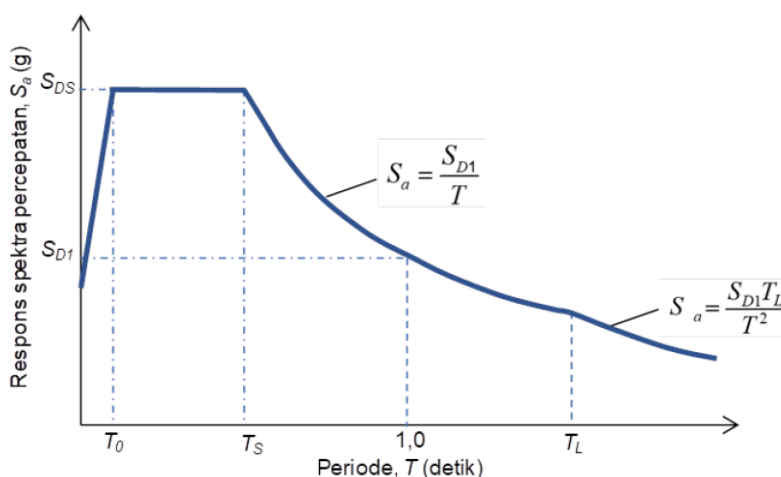
$$T_0 = (T < T_0) \quad S_a = S_{DS} \times \left(0.4 + 0.6 \times \frac{T}{T_0}\right)$$

$$T_s = (T_0 \leq T \leq T_s) \quad S_a = S_{DS} \quad (23)$$

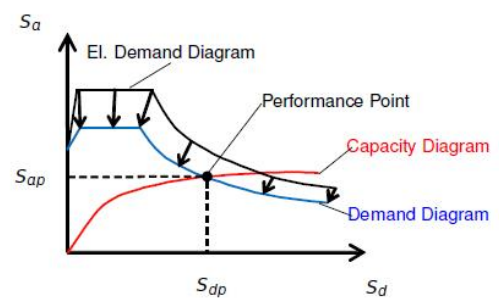
$$(T_s \leq T) \quad S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

$$C_s = \frac{S_{d1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (26)$$

$$T_a = C_t \times h_n^x \quad (27)$$



Gambar 4. Desain perilaku respon spektral [19]



Gambar 5. Titik kinerja penggabungan respon spectral vs pushover

Analisa Pushover

Pushover adalah metode analisis non-linier yang menjadikan struktur sebagai sasaran beban gravitasi dan pola beban lateral terkontrol, perpindahan monotonik yang semakin meningkat melalui perilaku elastis dan tidak elastis hingga mencapai tingkatan batas. Salah satu analisis yang digunakan adalah analisis dinamik non-linier menggunakan ATC 40. Analisis ini dilakukan dengan memberikan beban terus menerus di tiap lantai hingga struktur mengalami keruntuhan

pada batas tertentu. Dengan mengetahui perilaku struktur setelah mencapai batas keruntuhan, dapat diketahui tingkat kerusakannya saat gempa terjadi pada titik tinjauan tertentu. Berdasarkan ATC-40 simpangan total dibagi berdasarkan beberapa parameter level kinerja, sesuai Tabel 1.

Tabel 1. Evaluasi batas simpangan berbasis kinerja sesuai ATC – 40 [20]

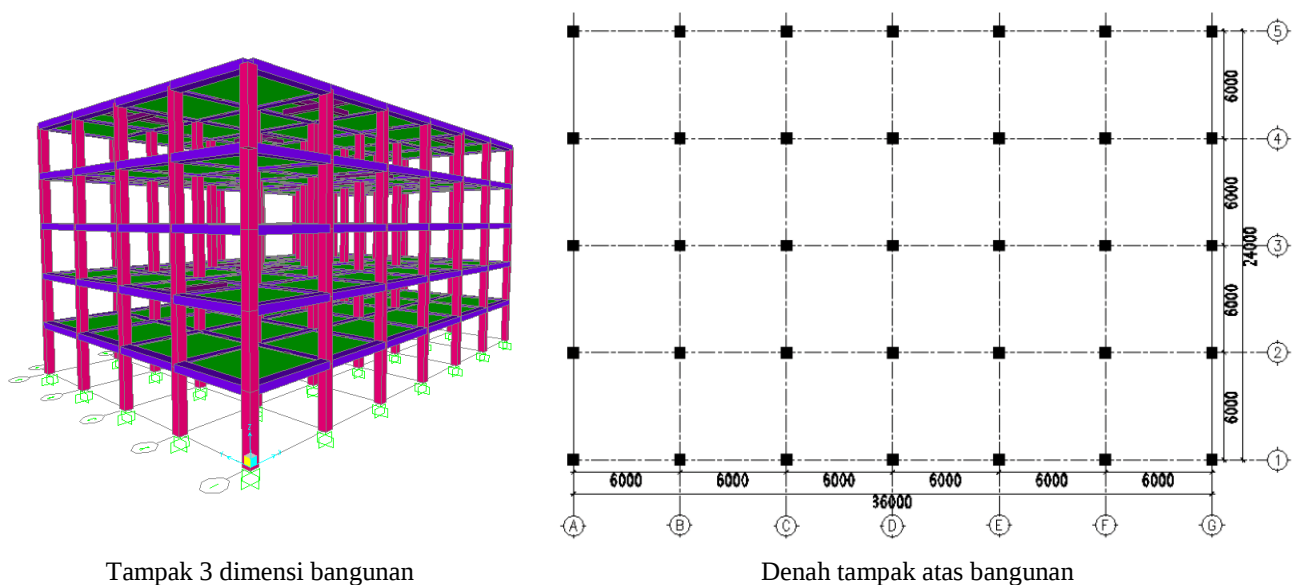
Batasan Simpangan antar tingkat	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage control</i>	<i>Live Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Simpangan total maksimum	0.01	0.01 – 0.02	0.02	0.33 Vi/Pi
Simpangan inelastisitas maksimum	0.005	0.005-0.0015	Tidak dibatasi	Tidak dibatasi

METODE PENELITIAN

Identifikasi analisa diawali dengan menentukan karakterisasi wilayah situs. Studi kasus mengambil kota Gresik sebagai wilayah tinjauan dikarenakan bertambahnya indeks kependudukan dan semakin mahalnya biaya hunian di kota tersebut, yang membuat beberapa implementasi bangunan diterapkan tanpa menimbang kondisi sistem struktur dan kondisi tanah. Dasar tersebut dibuat untuk menjadi parameter utama untuk menentukan kapasitas kinerja sesuai kategori desain seismik (KDS). Disamping itu, berdasarkan SNI 1726-2019 dan data desain spektra dari pusat litbang perumahan dan permukiman, KDS kota Gresik sendiri meningkat. Sehingga, diperlukan evaluasi kapasitas berupa analisa ulang berbasis wilayah situs. Berdasarkan desain spektra Indonesia yang disediakan oleh Pusat penelitian dan Pengembangan Perumahan didapatkan nilai S_s dan S_1 diambil lima titik secara acak menjelaskan bahwa sebagian besar wilayah termasuk pada kategori desain seismik C (medium), sedangkan nilai dari peta Zonasi berdasarkan SNI 1726-2019 didapatkan nilai S_s sebesar 0,6– 0,7 g dan nilai S_1 sebesar 0,25–0,3 g . Setelah diketahui nilai S_s dan S_1 dilakukan perhitungan nilai SDs dan SD1 yang menunjukkan bahwa wilayah Gresik termasuk pada kategori desain seismik C.

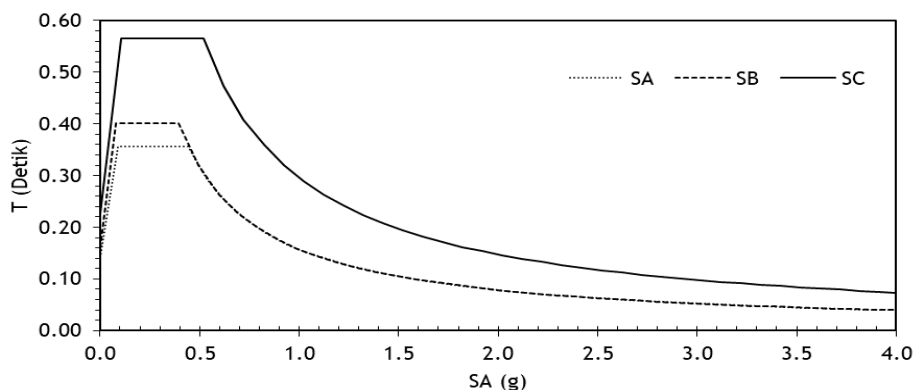
Berdasarkan letak geografisnya, Gresik diposisikan antara 112° sampai 113° Bujur Timur dan 7° sampai 8° Lintang Selatan. Kemudian Gresik merupakan kota berupa dataran rendah dengan ketinggian 2 sampai 12m diatas permukaan laut. Data lain berdasarkan pusat statistik kota Gresik menunjukan bahwa sebagian wilayah utamanya berada di daerah pesisir pantai, memanjang dari kecamatan Kebomas hingga Tambak. Dari letak geografis tersebut, dapat di analisa bahwa kota Gresik memiliki karakterisasi situs yang berbeda-beda yang mana akan menentukan konsep desain dan konstruksinya. Oleh karena itu pemilihan sistem SRPMM dipilih berdasarkan data puskim yang diambil secara random dengan tujuan bangunan sistem SRPMM dapat digunakan di lokasi dengan KDS A, B, dan C.

Beberapa konstruksi bangunan gedung berdasarkan SRPM diterapkan di beberapa wilayah di kota Gresik, seperti sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB), sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) ataupun sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Konsep SRPM disesuaikan berdasarkan parameter-parameter yang disebutkan sebelumnya dan berdasarkan pertimbangan serta model struktur yang dipakai. Namun, kadang tidak dikontrol fungsi akibat perubahan KDS-nya, sehingga struktur terbangun bisa lebih boros atau bahkan tidak memenuhi persyaratan kapasitasnya jika meninjau kondisi KDS sekarang.



Gambar 5. Regular building yang difungsikan sebagai hunian

Sesuai dengan Gambar 5, struktur bangunan diperuntukan sebagai hunian hingga 6 lantai. Tinggi bangunan adalah 20m dengan tinggi per lantai adalah 4m. Luas bangunan terilustrasi adalah 36m × 24 dengan mutu beton, f'_c adalah 33.2 MPa atau K-400 dengan mutu baja tulangan U-40. Dimensi utama struktur berurutan dari kolom, balok dan pelat adalah 70×70cm, 40×60cm dan 30×45cm serta 12cm untuk tebal pelat. Beban total akibat pengarus service untuk beban mati, DL , adalah 103 kg/m² dan beban hidup, LL , 268 kg/m². Kombinasi beban terfaktor mengacu pada SNI 1726:2019 begitulahnya dengan parameter fungsi bangunan serta kategori situs. Parameter respon spectra berdasarkan kelas situs di informasikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Respon spektral tiga kondisi wilayah situs

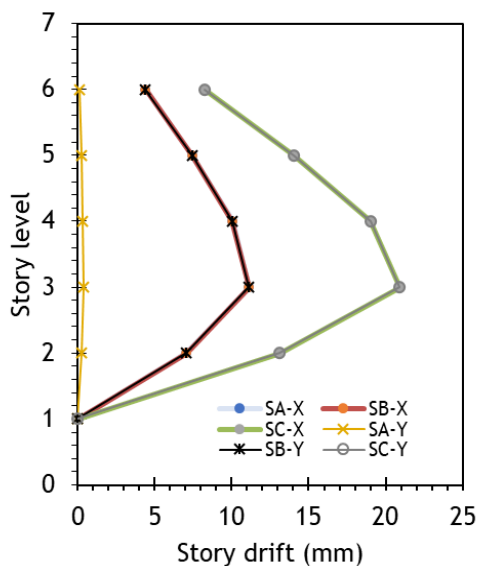
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Hasil Gempa Dinamik dan penentuan level kinerja berdasarkan *pushover analysis*

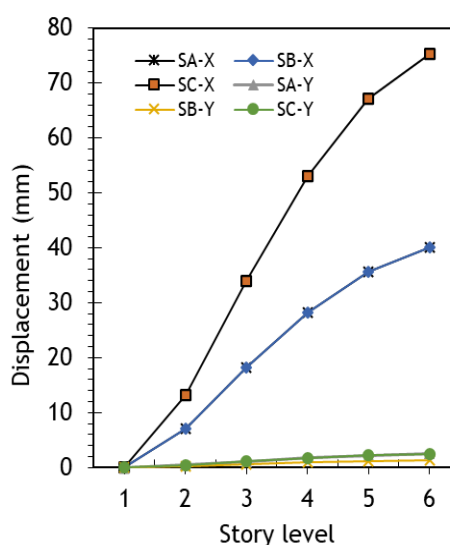
Pada tahapan ini investigasi diawali dari menganalisa berat struktur secara menyeluruh. Dalam hal ini untuk semua kondisi kelas situs berat bangunan ditentukan sama yaitu 69.8×10^5 kgf. Koefisien kelas situs untuk mengetahui kurva respon spectra disesuaikan dengan ilustrasi hasil pada Gambar 6. Hasil analisa spektral desain, periode dan partisipasi masa dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan evaluasi simpangan antar lantai.

Tabel 1. Hasil analisa spektral berdasarkan kelas situs

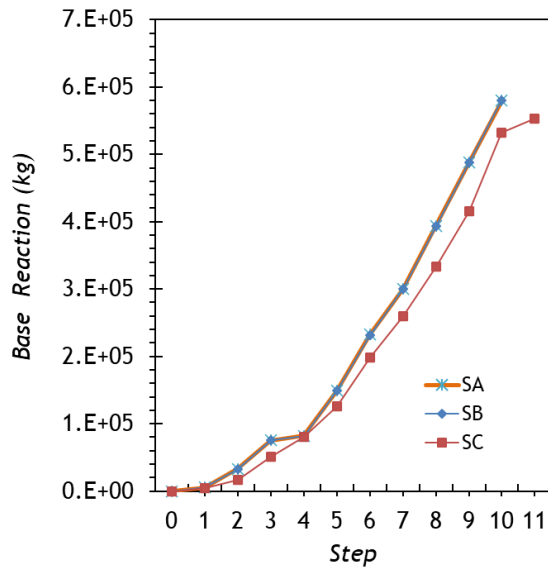
Kelas Situs	S_{DS}	S_{D1}	T	Partisipasi masa	Cs pakai
SA	0,354	0,157	0.8953	100	0,0351
SB	0,401	0,157	0.8953	100	0,0351
SC	0,567	0,295	0,0751	99.3	0,0659



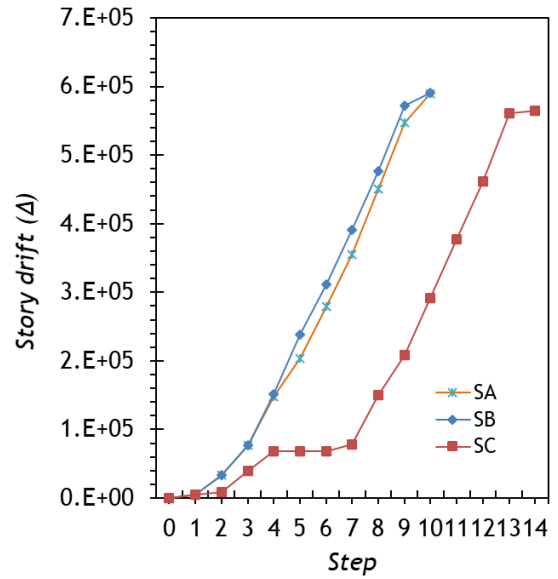
Gambar 7. Simpangan antar lantai arah x dan y



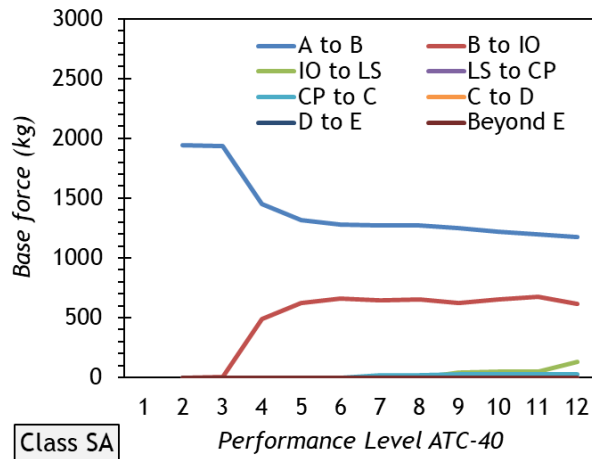
Gambar 8. Deformasi antar lantai arah x dan y



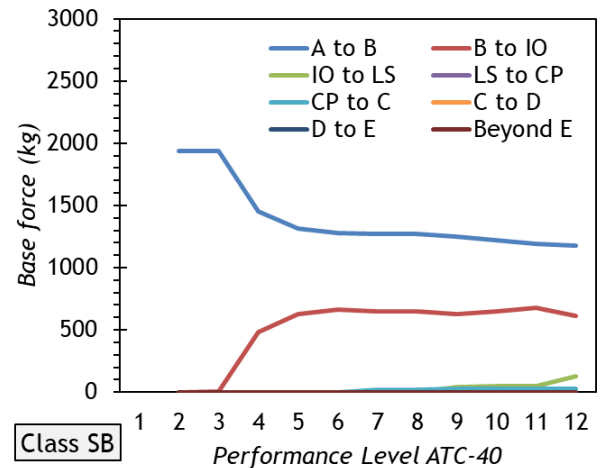
Gambar 9. Simpangan antar lantai arah x dan y



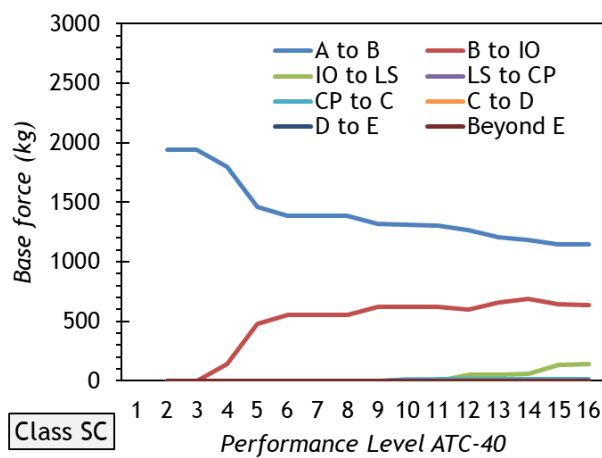
Gambar 10. Deformasi antar lantai arah x dan y



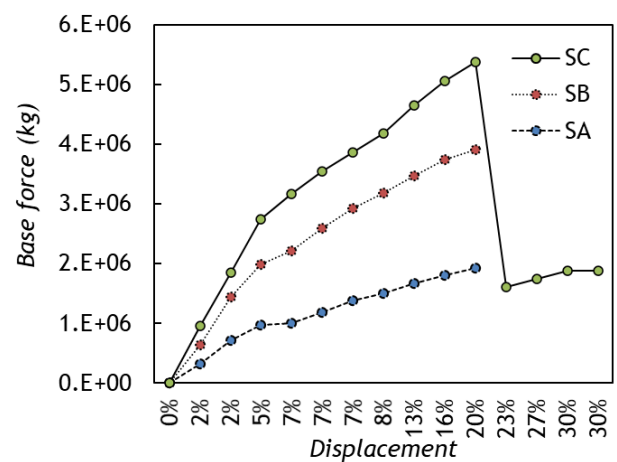
Gambar 11. Level kinerja tanah SA



Gambar 12. Level kinerja tanah SB



Gambar 13. Level kinerja tanah SB

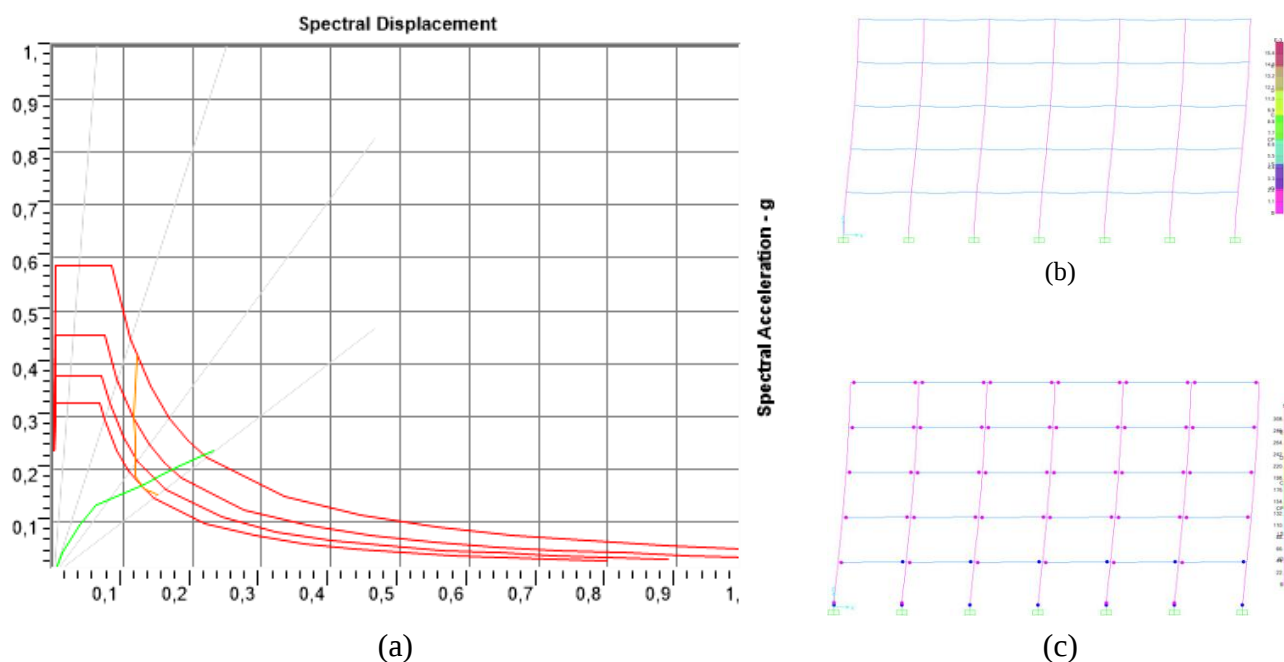


Gambar 14. Point kapasitas berdasarkan *pushover analysis* semua lokasi situs

Berdasarkan Gambar 7 dan Gambar 8 dapat diketahui bahwa simpangan akibat arah x jauh lebih besar dibandingkan dengan arah y, hal tersebut disebabkan karena struktur bangunan lebih besar ke arah x atau memanjang axis-x. Semua simpangan struktur perantai baik berupa *drift* ataupun deformasi memenuhi persyaratan izin tiap lantai yaitu 0.02 *h* atau tidak melebihi 80mm. Selain itu, dapat dianalisa kondisi SA dan SB tidak begitu memiliki perbedaan perilaku, hal tersebut dapat dilihat dari tumpuan garis. Kondisi perilaku kapasitas lainpun ditunjukkan oleh Gambar 9 dan Gambar 10 terkait nilai *base shear* dan *story drift* dengan nilai *step* atau tahapan kegagalan akibat pengaruh sendi plastis, hanya nilai SC yang mengalami degradasi kapasitas. Kekakuan struktur pada kondisi SC relatif lebih kecil dibandingkan dengan SA dan SB.

Setelah semua parameter berdasarkan kondisi situs terpenuhi dan dilakukan evaluasi, tahapan selanjutnya adalah menganalisa perpindahan maksimum dengan penyetaraan linier antara periode aktif, T_{eff} , dan damping efektif β_{eff} , pada struktur. Perkiraan efektif redaman ini dipengaruhi oleh bentuk dari spektrum kapasitas, estimasi perpindahan, dan hasil kurva *performance point* (PP). Titik PP didapat dari hasil *trial and error* untuk mendapatkan titik pertemuan spektrum kapasitas dan spektrum *demand*. pada titik T_{eff} , β_{eff} yang menyinggung kurva kapasitas ini lah yang disebut dengan PP, titik dimana didapatkan spectral *displacement* maksimum dan spectral *acceleration* maksimum. Kondisi level kinerja pada setiap kondisi situs dapat dilihat pada Gambar 11 hingga Gambar 13, dimana semua kondisi situs berada pada kondisi *intermediate occupancy* (IO) yang artinya hanya terjadi kerusakan yang kecil atau tidak mempengaruhi penurunan kapasitas struktur dan tidak ada perubahan kekakuan struktur sama seperti sebelum terjadinya gempa. Secara global tahapan desain merekomendasikan level kinerja struktur untuk mencapai kondisi *life safety* yang harus dikontrol berdasarkan simpangan total maksimum yang mana tidak lebih dari 0.02m.

Jika merujuk setiap kondisi situs, berurutan dari SA, SB dan SC, nilai redaman efektif yang didapat mencapai 20%, 19.9% dan 21% artinya masih memenuhi batas yang disyaratkan ATC-40 sebesar 29%. Selanjutnya, Batasan maksimum deformasi adalah sebesar 0.025*h* dan semua kondisi memenuhi kondisi syarat keamanan tersebut. Gambar 14 menjelaskan kurva kapasitas yang mana disesuaikan dengan kondisi iterasi pada setiap wilayah situs. Banyaknya iterasi yang harus dilakukan, maka perhitungan ini menggunakan SAP2000 yang telah *built-in* dengan metode ATC 40. Besar koefisien gempa C_a dan C_v yang didapat dari respon spektrum desain berdasarkan SNI 03-176-2019 berurutan yaitu 0,243 dan 0,44. Koefisien gempa ini yang akan dimasukkan dalam parameter PP dalam ATC 40 sesuai presentasi Gambar 15. ATC-40 menyatakan bahwa kemiringan kurva dapat memberikan gambaran terhadap kekakuan bangunan. Kurva kapasitas yang memiliki kemiringan cenderung tegak menunjukkan bahwa bangunan memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan kurva kapasitas yang berperilaku sebaliknya. Pada investigasi yang dilakukan, struktur bangunan memiliki tingkat kekakuan yang tinggi baik untuk SA, SB dan SC, akan tetapi ada sedikit penurunan kekakuan pada kondisi SC menimbang kondisi dan parameter situs yang lebih besar.



Gambar 15. Output PP berdasarkan SAP2000; (a) Titik gabungan PP dan *Response spektrum*, (b) Kondisi struktur sebelum mengalami kegagalan pertama, (c) Kondisi struktur akhir setelah kapasitas akhir tercapai

Perhitungan Kebutuhan Tulangan

Perhitungan balok pada untuk kelas situs SA dan SB tulangan atas tumpuan : 5 D 19, tulangan bawah tumpuan : 3 D 19, tulangan atas lapangan : 4 D 19, tulangan bawah lapangan : 2 D 19 dengan jarak sengkang tumpuan $\emptyset$ 10 – 100 dan jarak sengkang lapangan $\emptyset$ 10 – 200. Sedangkan untuk kelas situs SC tulangan atas tumpuan : 6 D 19, tulangan bawah tumpuan : 3 D 19, tulangan atas lapangan : 4 D 19, tulangan bawah lapangan : 2 D 19 dan dengan tulangan sengkang yang sama dengan kelas situs SA dan SB. Diameter tulangan kolom dari perhitungan yang dilakukan adalah tulangan utama 20 D 19 dengan jarak sengkang $\emptyset$ 10 – 150 berlaku sama untuk 3 kelas situs yang ditinjau.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja perencanaan struktur gedung tahan gempa menggunakan analisis pushover dengan bantuan SAP2000 diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Dimensi elemen struktur yang direncanakan yaitu berurutan, balok, pelat dan kolom, 35cm $\times$ 50cm, 12cm dan 75 cm $\times$ 75cm telah memenuhi persyaratan desain kapasitas.
2. Analisis gempa dinamik berdasarkan kurva *response spectrum* didapatkan kapasitas situs SC lebih besar dengan S_{DS} dan S_{DI} berurutan adalah 0,567 dan 0,295. Sedangkan kapasitas SA dan SB menunjukan nilai dengan selisih yang tidak begitu jauh satu sama lain sebesar 0,354 dan 0,157. Hal tersebut juga berlaku untuk nilai *displacement* dan *drift* antar lantai berurutan dari SA, SB dan SC sebesar 40mm, 41mm dan 75mm.
3. Kapasitas kinerja struktur dari struktur bangunan ketika mendapat beban gempa melalui analisis pushover adalah sama. Hasil studi kasus pada bangunan gedung berdasarkan ATC 40 menyebutkan bahwa gedung berada dalam tingkat kinerja IO, yakni tidak ada degradasi kapasitas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Bulgis, A. Sonia, S. Darmawan, and A. N. Refani, "Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (Srpmm) Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (Srpmm)," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [2] C. K. Wang and H. Saunders, "Intermediate Structural Analysis," *J. Vib. Acoust.*, vol. 108, no. 2, pp. 234–235, 1986, doi: 10.1115/1.3269332.
- [3] E. Purnomo, E. Purwanto, and A. Supriyadi, "Analisis dinamik respon spektrum menggunakan software Etabs (studi kasus: bangunan hotel di Semarang)," *Matriks Tek. Sipil*, vol. 2, no. 4, pp. 569–576, 2014, [Online]. Available: <https://jurnal.uns.ac.id/matriks/article/view/37351>.
- [4] Y. Nurchasanah, W. A. H. Jaenuri, and M. Ujianto, "Evaluasi Kinerja Seismik Gedung Terhadap Analisis Beban Dorong," 2015.
- [5] A. Y. Prakosa and A. Wibowo, "Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja Dengan Metode Direct Displacement Based Design (Ddbd)," *J. Mhs. Jur. ...*, pp. 1–9, 2018, [Online]. Available: <http://sipil.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jmts/article/view/706>.
- [6] I. Komara, E. Wahyuni, and P. Suprobo, "Studi Numerik Perilaku Sambungan Baut dan Adhesive Pada Struktur Rangka Atap Baja Ringan," in *Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS)*, 2016, pp. 1–9.
- [7] W. A. Santoso, B. Suswanto, E. Wahyuni, and I. Komara, "The experimental study of the effect of screw and adhesive connection in the variation of cold-formed roof truss framing system," *IPTEK J. Proc. Ser.*, vol. 0, no. 6, pp. 39–44, 2019, doi: 10.12962/j23546026.y2018i6.4874.
- [8] E. Wahyuni, H. Istiono, D. Iranata, and I. Komara, "Non-linear analysis of failure mechanism of steel truss bridge," *ARNP J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 11, no. 24, pp. 14373–14382, 2016.
- [9] E. Wahyuni and I. Komara, "Effect of Triangle Cables Configuration on the Behavior of Reinforced Concrete Submerged Floating Tunnel under Hydrodynamic Load," *Procedia Eng. IABSE*, vol. 39, no. 1, pp. 3045–3051, 2017.
- [10] I. Komara, K. Taşkin, E. Wahyuni, and P. Suprobo, "Experiment on Cold-Formed Steel C-Section Joint With Screw and Adhesive Material," *MATTER Int. J. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 51–63, 2017, doi: <https://dx.doi.org/10.20319/mijst.2017.32.5163> EXPERIMENT.
- [11] E. Wahyuni, B. Suswanto, and I. Komara, "Effects of Angle of Inclination Cables on The Performance of Submerged Floating Tunnel Under Hydrodynamic Load," in *The 5th Environmental Technology and Management Conference "Green Technology towards Sustainable Environment*, 2015, no. 5, pp. 15–26.
- [12] K. K. Dwi Sungkono, "Respon Spektra Gempa Kota Yogyakarta, Surakarta Dan Semarang Berdasarkan Peta Gempa Sni 2012 Dan Peta Gempa 2017," *JUTEKS J. Tek. Sipil*, vol. 4, no. 1, p. 39, 2019, doi: 10.32511/juteks.v4i1.304.
- [13] N. R. Pramesti, "Analisa Perilaku Bangunan Tidak Beraturan Horizontal dengan Variasi Dimensi Kolom Terhadap Gempa," Universitas Negeri Jakarta, 2018.
- [14] C. B. Casita and I. Komara, *Program Analisis Struktur*, 1st ed. Klaten: Lakeisha, 2021.

- [15] A. U. Doli, "Studi Perencanaan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen pada Bangunan Gedung Hotel Pattimura Malang," *J. Tek. Sipil*, vol. 1, no. November, pp. 1–10, 2018.
- [16] Badan Standardisasi Nasional, "Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan Sebagai Revisi Dari Standar Nasional Indonesia. SNI 03-2847:2019," *Badan Standarisasi Nas.*, no. 8, pp. 1–695, 2019.
- [17] N. Ngudiyono, "Perhitungan Beban Gempa Statik Ekvivalen SNI 1726-2019," no. April, 2020.
- [18] G. M. Hutaeruk and J. Tarigan, "Analisa Pengaruh Dinding Masonry Terhadap Kekuatan Kolom Pada Bagunan Sekolah Akibat Gaya Gempa," *J. Tek. Sipil USU*, vol. 1, no. 1, pp. 1–17, 2009.
- [19] Badan Standardisasi Indonesia, "Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung SNI 1726:2019," 2019.
- [20] M. Nurhadi, A. S. Budi, and Supardi, "Evaluasi Kinerja Gaya Gempa Pada Struktur Gedung Bertingkat Dengan Anaisis Pushover Berdasar Pada Drift dan Displacement Menggunakan Software ETABS (Studi Kasus: Hotel di Wilayah Karanganyar)," *Matriks Tek. Sipil*, vol. 2, no. 2, pp. 123–130, 2014.