Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia p–ISSN: 2541-0849
e-ISSN: 2548-1398
Vol. 10, No. 3, Maret 2025

ANALISIS *PUSHOVER* DENGAN PEMBEBANAN RESPON SPEKTRUM DAN RIWAYAT WAKTU PERCEPATAN AKIBAT GEMPA KEKUATAN 6,5 MW

Heri Pamungkas Joko Santoso
Universitas Diponegoro, Indonesia
Email: ipung85@gmail.com

Abstrak

Kekuatan bangunan adalah salah satu syarat utama dalam membangun bangunan tinggi. Struktur bangunan dapat dikatakan kuat, jika bangunan dapat menahan beban-beban yang ada salah satunya adalah beban gempa. Syarat lain yang harus diperhatikan dalam membangun bangunan tinggi yaitu syarat layak pakai dalam keadaan layan. Syarat layan bertujuan supaya ketika gempa terjadi struktur bangunan memiliki kekakuan, sehingga dapat memberikan rasa amanda nyaman bagi penggunanya. Penelitian ini mengevaluasi salah satu bangunan yang berlokasi di Semarang yaitu, HAKA Hotel. Tinggi total bangunan Haka Hotel yaitu 34,1 meter dan berjumlah 9 lantai. Analisis dinamik struktur tahan gempa terdiri dari dua analisis meliputi, analisis respon spektra dan analisis riwayat waktu. Penelitian ini menggunakan beban gempa respon spektra desain, riwayat waktu percepatan, riwayat waktu yang dicocokkan dengan respon spektra desain (respon spektra *matched*) dan respon spektra *surface* berdasar SNI 1726:2019. Penelitian ini membahas mengenai evaluasi nilai deformasi dan *drift ratio*, melihat tingkat kinerja bangunan dan membandingkan hasil analisa beban dorong yang terjadi akibat beban respon spektra maupun riwayat waktu percepatan berdasar SNI 1726:2019. Hasil dari penelitian yang telah dilakukan besrnya nilai deformasi dan *drift ratio* yang terjadi pada bangunan, sudah memenuhi syarat peraturan SNI 1726:2019, sehingga dapat dikatakan kuat ketika gempa terjadi. Gaya geser yang didapatkan dihitung berbanding dengan tinggi total bangunan sehingga, hasil tingkat kinerja pada bangunan ketika dibebani berbagai beban gempa, sesuai SNI 1726:2019 memiliki tingkat kinerja yang sama yaitu, *immediate occupancy* dimana merupakan kondisi aman ketika gempa terjadi, tidak terjadi kerusakan dan dapat berfungsi kembali.

Kata Kunci : Beban Dorong, Respon Spektra, Riwayat Waktu

Abstract

The strength of a building is one of the main requirements in constructing high buildings. The building structure is categorized as strong, if the building can withstand the existing loads, for instance*, earthquake loads. Besides the strength as the requirementin constructing tall buildings, the conditions for proper use in a serviceability limit statealso must be considered. This service requirement is intended so that when an earthquakeoccurs the building structure has rigidity, as a result, it can provide a sense of security and comfort for its users. This study evaluates one of the buildings located in Semarang, namely, the Haka Hotel. This building has 34.1 meters in height and has 9 floors. The dynamic analysis of earthquake-resistant structures are divided into two, namely, response spectra analysis and time history analysis. In this study, the earthquake load response design spectra, time history, and acceleration time history were matched with the design response spectra (response spectra matched) and surface response spectra based on SNI 1726:2019. This study discusses the evaluation of the value of deformation and drift ratio, looks at the level of building performance, and compares the results of the analysis of thrust loads that occur due to the load response spectra and acceleration time history based on SNI 1726:2019. The results of the research conducted are the magnitude of the deformation valueand drift ratio*

that occurs in the building, it has met the requirements of existing regulations SNI 1726:2019, so it can be said that the building is strong when earthquake occurs. The magnitude of the shear and displacement forcesthat occur in the building when the thrust load analysis is carried out has a small difference between one earthquake load and another based on SNI 1726:2019. The shear force obtained is calculated in proportion to the total height of thebuilding so that, the results of the performance level of the building when loaded with existing earthquake loads based on SNI 1726:2019 have the same level of building performance, namely, immediate occupancy which is an inner building safe conditions when an earthquake occurs, not damaged and can be used again.
Keywords **:** *Pushover, Response Spectra, Time History*

Pendahuluan

Indonesia adalah negara kepulauan, karena Indonesia berada di tengah Cincin Api Pasifik, atau *Ring of Fire*, dan bearda di dekat pertemuan empat lempeng tektonik besar dunia: Lempeng Eurasia, Lempeng India, Lempeng Australia, dan Lempeng Pasifik, sehingga sangat rentan terhadap gempa bumi.

Gempa bumi terjadi ketika lapisan tanah di bawah permukaan bumi berubah atau bergeser secara tiba-tiba. Gelombang seismik terjadi ketika pergeseran ini terjadi. Gelombang ini bergerak jauh dari pusat gempa. Getaran yang sampai ke permukaan bumi dapat menyebabkan kerusakan pada struktur dan bahkan mengakibatkan jatuhnya korban (Tavio & Wijaya, 2018; Wahjudi, 2017).

Hampir setiap tahun, gempa bumi terjadi di berbagai wilayah Indonesia, menyebabkan kerusakan besar pada infrastruktur dan bangunan. Semua orang khawatir tentang apakah struktur yang sudah ada dan yang akan dibangun dapat bertahan dari gempa bumi yang serupa atau bahkan lebih kuat. Perbaikan signifikan dalam kualitas konstruksi di Indonesia diperlukan untuk mencegah bencana serupa di masa depan. Sebagai konsekuensi dari tinggal di wilayah yang rawan gempa, ini merupakan suatu tuntutan logis yang harus dipenuhi (Setiawan & Imran, 2014; Sukamta, 2016.).

Perencanaan dan evaluasi kekuatan struktur diperlukan untuk bangunan yang sudah dibangun karena ada kemungkinan kerusakan akibat gempa. Dalam kebanyakan kasus, metode desain berbasis kekuatan digunakan untuk menganalisis struktur gedung yang berhubungan dengan gempa (Partono et al., 2019; Prabowo & Lase, 2016.). Namun, evaluasi bangunan saat ini lebih menuju perencanaan gempa berbasis kinerja, atau *Performance Based Earthquake Engineering* (PBEE). Teknik ini dapat digunakan untuk mendesain bangunan baru atau mengevaluasi bangunan lama (Al Rasjid et al., 2013; Azizah et al., 2018)

Salah satu syarat dalam perencanaan bangunan adalah bangunan aman ketika menerima beban-beban yang ada salah satunya, beban gempa. Prinsip dasar bangunan yang kuat yaitu; (1) Bangunan tidak mengalami kerusakan apa pun ketika terjadi gempa dengan frekuensi kecil. (2) Ketika terjadi gempa dengan frekuensi yang sedang bangunan tersebut hanyamengalami rusak ringan juga dapat diperbaiki, (3) Ketika terjadi gempa dengan frekuensi yang besar bangunan tersebut mengalami rusakberat namun tidak runtuh (Badan Standarisasi Nasional, 2019).

Dengan kemajuan teknologi dan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang konstruksi, menjadi lebih mudah untuk membangun bangunan berukuran besar di lahan yang tidak terlalu besar. Kekuatan bangunan merupakan salah satu syarat untuk membangun bangunan tingkat tinggi agar bangunan tersebut dapat menahan beban-beban yang ada, khususnya beban gempa. Membangun bangunan tingkat tinggi juga haruslah memperhatikan syarat layak pakai dalam keadaan layan (*serviceability*) agar bangunan

tersebut memiliki kekakuan sehingga ketika terjadi gempa, bangunan tersebut bergetar namun tidak terjadi kerusakan berat pada strukturnya sehingga menciptakan rasa aman dan nyaman (Dilla & Faimun, 2017; Ertanto et al., 2017).

Peraturan gempa untuk perencanaan bangunan biasanya membahas desain atau perencanaan bangunan baru. Banyak ahli teknik sipil tahu bagaimana merencanakan bangunan tahan gempa, tetapi setelah bangunan dibangun, tidak banyak ahli teknik sipil yang tahu bagaimana mengevaluasi ketahanan bangunan terhadap gempa yang disebabkan oleh kekuatan dan jarak episenter gempa. Pengalaman menunjukkan bahwa banyak bangunan hancur saat terjadi gempa bumi.

Dengan menggunakan analisis ragam respon spektra dan analisis pushover, Sujatmiko (2016) meninjau perencanaan bangunan yang memiliki ketidak beraturan vertikal terhadap *drift ratio*. Gedung yang ditinjau memiliki rasio lebar, panjang, dan tinggi 1 : 4,14 : 6,52, yang berarti geometrinya ramping. Geometri ini dapat mengurangi kekakuan bangunan, yang dapat menyebabkan defleksi dan periode getar yang panjang jika terjadi beban lateral. Studi ini menemukan bahwa *drift ratio* melampaui batasan yang disebabkan oleh ketidakberaturan vertikal yang disebabkan oleh perubahan denah struktur, titik performa bangunan pada tahap *immediate Occupancy,* dan *spectral acceleration* saat mengalami leleh pertama untuk gempa searah sumbu X.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Utami dan Warastuti (2017), Dalo et al. (2019) dan Pangemanan dan Mantiri (2017) mengenai evaluasi bangunan menggunakananalisa *pushover* dengan beban respon spektra. Menurut Utami dan Warastuti (2017), tingkat kinerja struktur dilihat dari besarnya perpindahan. Penelitian ini mengevaluasi tingkat kinerja bangunan tinjauannya akibat beban respon spektra saja.

Analisis dinamis meliputi, analisis berdasarkan respon spektra dan analisis berdasarkan riwayat waktu percepatan. Dilihat dari kajian yang telah dilakukan oleh Sujatmiko (2016), penelitian dilakukan hanya berdasarkan beban respon spektra saja, pada penelitian ini digunakan kedua analisis dinamis yaitu, berdasarkan respon spektra dan riwayat waktu percepatan, sehingga beban riwayat waktu percepatan yang didapatkan, dicocokan dengan beban respon spektra SNI 1726:2019. Pada SNI 1726:2019 terdapat penambahan faktor periode panjang pada peta transisi (TL).

Nazila (2022) telah melakukan penelitian lanjutan terhadap bangunan yang sama dengan bangunan yang diteliti oleh Sujatmiko (2016), pada penelitian tersebut digunakan magnitude sebesar 6,5 Mw, letak bangunan dekat dengan sesar lasem dan sesar semarang. selain itu penelitian ini sudah dilakukan berdasar beban gempa respon spektra desain, riwayat waktu, riwayat waktu percepatan yang dicocokan dengan respon spektra desain (respon spektra *matched*) dan respon spektra *surface*, baik SNI 1726:2012 maupun SNI 1726:2019. Penelitian ini membahas mengenai evaluasi nilai deformasi dan *drift ratio*, melihat tingkat kinerja bangunan dan membandingkan hasil analisa beban dorong yang terjadi akibat beban respon spektra maupun riwayat waktu percepatan sesuai SNI 1726:2019.

Tinjauan penelitian ini adalah bangunan HAKA Hotel di Semarang, Adapun magnitude yang digunakan sebesar 6,5 Mw. Letak bangunan dekat dengan sesar Lasem dan sesar Semarang. Tinjauan dilakukan dengan menggunakan analisis pushover akibat beban respon spektra desain (SNI 1726:2019) dan beban respon spektra modifikasi *time history* (*Matched* Spektra SNI 1726:2019). Penelitian ini bertujuan untuk menjawab beberapa pokok permasalahan, yaitu apakah bangunan memenuhi peraturan SNI 1726:2019 berdasarkan nilai drift ratio dan deformasi yang dihasilkan, bagaimana perbandingan analisis pushover akibat beban respon spektra, serta bagaimana

perbandingan analisis pushover antara respon spektra desain (SNI 1726:2019) dan respon spektra modifikasi time history (matched spectra SNI 1726:2019) dalam menentukan tingkat kinerja struktur bangunan HAKA Hotel Semarang. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kondisi bangunan berdasarkan nilai drift ratio dan deformasi, membandingkan analisis pushover dari kedua jenis respon spektra, serta menganalisis tingkat kinerja struktur bangunan akibat beban gempa. Manfaat penelitian ini meliputi pemahaman lebih mendalam tentang perbedaan nilai drift ratio dan deformasi yang dihasilkan oleh kedua jenis spektra, perbandingan analisis pushover, serta identifikasi tingkat kinerja struktur bangunan untuk menilai kerentanannya terhadap beban gempa.

Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur gedung HAKA Hotel Semarang, kini bernama Hotel UP-PEAK, melalui analisis pushover berbasis spektra desain SNI 1726:2019 dan spektra modifikasi *time history*. Gedung setinggi 34,10 meter dengan 9 lantai ini dimodelkan sebagai rangka pemikul momen menggunakan software ETABS. Data teknis yang digunakan mencakup gambar *as built drawing*, mutu material beton K-350, dan tulangan baja BJTS 40 serta BJTP 280. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, pengumpulan data, pemodelan struktur, analisis respon dinamik, analisis pushover, evaluasi kinerja gedung menggunakan ATC-40 (1996), penentuan kurva pushover, dan perbandingan hasil analisis berbagai spektra. Analisis pushover dilakukan dengan beban dorong nonlinier untuk menentukan titik kinerja (*performance point*) dan membandingkan kriteria kinerja struktur sesuai metode *capacity spectrum*. Tujuan akhirnya adalah memahami tingkat kerentanan gedung terhadap variasi beban gempa, dengan hasil disajikan dalam bentuk diagram alir pelaksanaan penelitian.

Hasil dan Pembahasan

Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur terdiri dari beban mati, beban hidup, dan beban gempa yang masing-masing beban tersebut didistribusikan pada bangunan utama. Desain pembebanan diambil sesuai dengan SNI 1727:2013, PPURG:1987 dan ASCE 7-10 untuk beban hidup dan beban mati. Kemudian beban gempa diambil sesuai SNI 1726:2019. Penelitian ini mengevaluasi beban pada struktur gedung HAKA Hotel Semarang berdasarkan SNI 1726:2019, meliputi beban mati, hidup, dan gempa. Beban mati mencakup berat material konstruksi seperti beton bertulang, dinding, plafon, dan lainnya, dengan total beban tambahan sebesar 1,44 kN/m². Beban hidup, sesuai SNI 1727:2013, memiliki nilai 1,92 kN/m² untuk lantai hunian. Beban gempa dihitung menggunakan respon spektra desain dengan parameter lokasi di Semarang, kategori risiko II, faktor keutamaan 1,0, dan klasifikasi tanah lunak (SE), menghasilkan nilai SDS 0,694 dan SD1 0,623. Grafik respon spektrum target dibuat berdasarkan parameter Ss 0,857 g dan S1 0,3725 g, dengan nilai koefisien Fa 1,2144 dan Fv 2,51. Kurva respon spektrum menunjukkan perbedaan gempa arah EW (East-West) dan NS (North-South) dengan data akselerogram Imperial Valley USA (6,53 Mw), menggunakan metode pencocokan spektra target dan spektra time history untuk memastikan kesesuaian minimum 95%. Hasil analisis ini memvisualisasikan perbedaan kinerja struktur terhadap berbagai parameter beban gempa.

Analisa Respon Spektra dan Time History (Riwayat Waktu)

Penelitian ini menggunakan beban respon spektra dan time history percepatan yang disesuaikan (*matched*) dengan standar SNI 1726:2019 untuk analisis pushover. Beban respon spektra matched merupakan hasil pencocokan time history dengan spektra desain SNI 1726:2019 sehingga menghasilkan perbedaan kecil pada nilai percepatan antar arah East-West (EW) dan North-South (NS). Grafik hasil pencocokan ditampilkan pada gambar 4.7 dan 4.8. Analisis linier dinamik dilakukan untuk menentukan ragam getar alami struktur dan menunjukkan waktu getar fundamental sebesar 0,971 detik. Berdasarkan analisis partisipasi massa, mode ke-7 memenuhi batas minimal 90% sesuai SNI 1726:2019. Selain itu, pengecekan gaya geser menunjukkan gaya geser dinamik lebih kecil dari gaya geser statik, sehingga dilakukan penskalaan sesuai ketentuan.

Analisis deformasi dan drift ratio pada arah X dan Y menggunakan beban respon spektra desain, matched time history, dan surface time history menunjukkan hasil yang konsisten dengan peraturan SNI 1726:2019. Kombinasi gaya gempa 100%X + 30%Y untuk arah X dan 30%X + 100%Y untuk arah Y menghasilkan drift ratio yang berada dalam batas yang diizinkan. Selisih deformasi terbesar antara respon spektra desain dan matched time history adalah 2,685 mm pada arah X dan 13,136 mm pada arah Y, sedangkan selisih drift ratio terbesar adalah 0,00970% pada arah X dan 0,18331% pada arah Y.

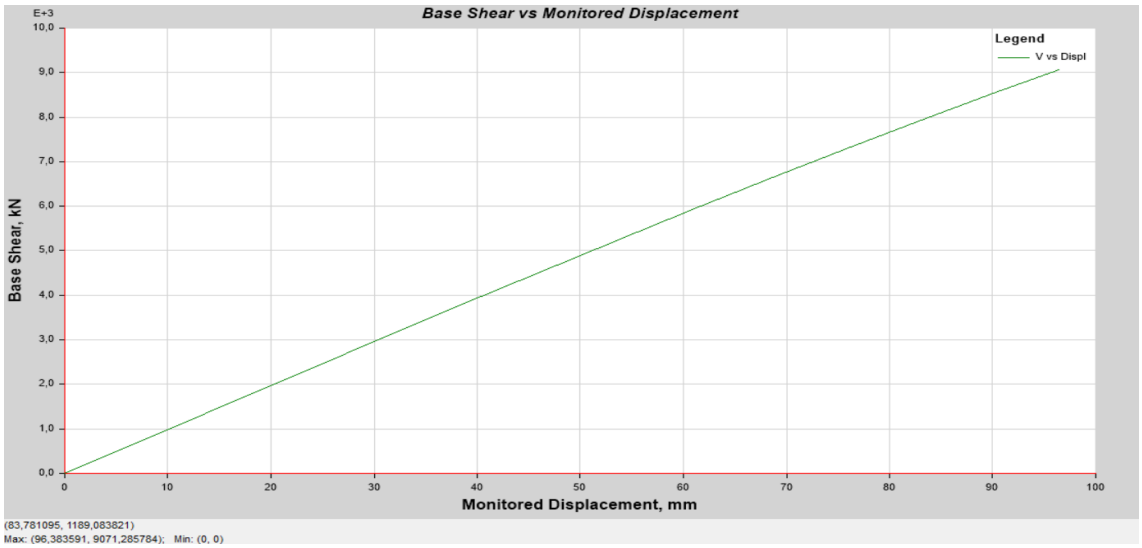
Hasil perbandingan dengan surface time history menunjukkan selisih deformasi dan drift ratio yang lebih signifikan dibandingkan dengan respon spektra matched. Namun, selisih ini masih berada dalam batas toleransi yang diizinkan, menunjukkan bahwa bangunan mampu menahan beban gempa sesuai ketentuan SNI 1726:2019. Grafik perbandingan deformasi dan drift ratio dari berbagai analisis menunjukkan kinerja struktur yang baik, dengan kekuatan sistem penahan gaya lateral tidak kurang dari 80% seperti yang disyaratkan oleh FEMA-310 (1998). Hal ini mengindikasikan bahwa struktur bangunan kuat dan stabil dalam menahan beban gempa.

Analisa Beban Dorong (Pushover)

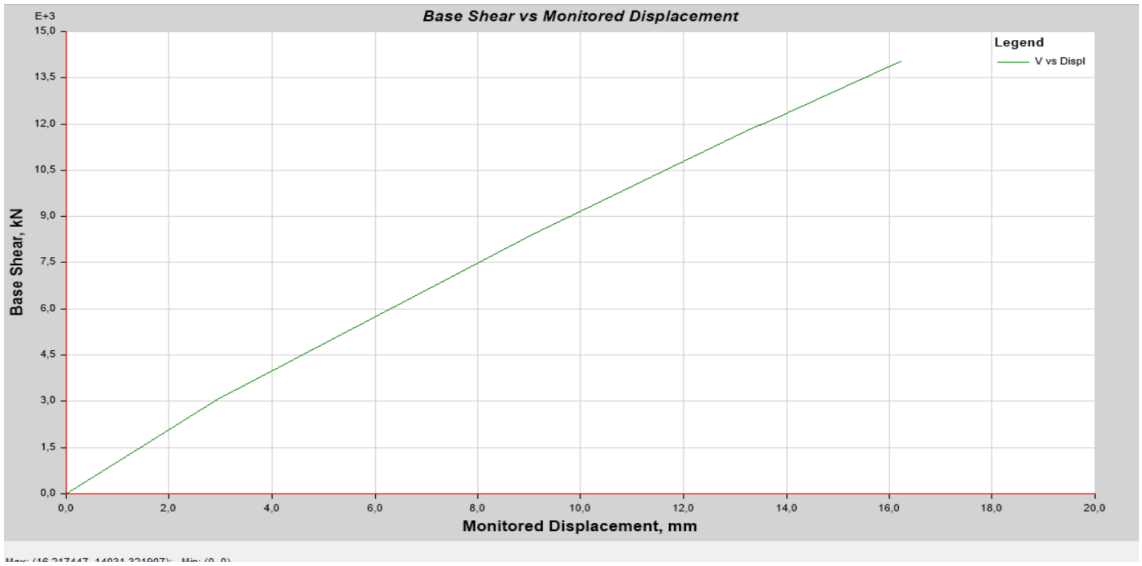
Distribusi pada sendi platis merupakan hal pertama yang dilakukan sebelum analisa *pushover*. Mekanisme goyangan ketika terjadinya gempa pada sendi plastis yang ada di bangunan, mampu memancarkan energi gempa dan membatasi besarnya beban gempa, sehingga struktur dapat menahan beban gempa yang ada tidak sampai runtuh saat terjadi gempa yang kuat. Distribusi sendi plastis ini dilakukan pada ujung-ujung balok dan ujung bawah kolom dasar (daerah tumpuan) hal ini dikarenakan, untuk merencanakan kolom yanglebih kuat dari balok sehingga menjamin terbentuknya sendi plastis pada kolom. Pada penelitian ini digunakan jarak relatif dikedua ujung tumpuan baik kolom maupun balok masing-masing sebesar 0,9 dan 0,1, dengan DOF (*Degree Of Freedom*) pada balok menggunakan interaksi momen saja dan pada kolom menggunakan interaksi momen dan gaya aksial.

Analisa *pushover* dilakukan untuk mengetahui kinerja pada bangunan. Penelitian ini menggunakan data riwayat waktu percepatan yang telah dicocokkan dengan respon spektra desain SNI 1726:2019. Hasil kinerja struktur ini dihasilkan dalam bentuk kurva kapasitas struktur yang kinerjanya dievaluasi menggunakan metode ATC 40. Kurva kapasitas yang dihasilkan dari *output software* analisa struktur *ETABS* C 22.0.0, dipadukan dengan kurva respon spektra desain dan respon spektra *matched* (riwayat waktu percepatan yang dicocokan dengan respon spektra desain) sehingga didapatkan nilai batas perilaku struktur ketika terjadi gempa.

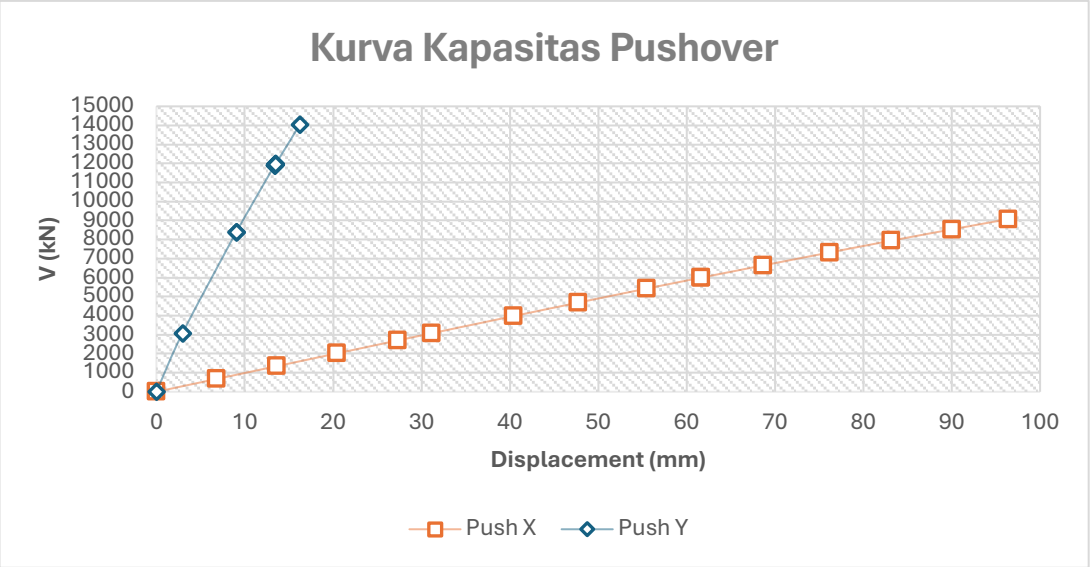
Kurva Kapasitas yang ditunjukkan pada gambar 1 dan gambar 2 menunjukkan gaya geser bangunan maksimum dan perpindahan yang terjadi pada bangunan ketika dibebani gempa secara berangsur-angsur sampai bangunan runtuh ketika dibebani oleh beban-beban gempa yang ada. Perpindahan yang ditinjau pada penelitian ini ialah perpindahan pada atap dan gaya geser dasarnya. Gambar 1 menghasilkan sebanyak 15 step ketika dibebani gempa arah x, sampai mencapai batas maksimum gaya geser dan perpindahan yang terjadi pada bangunan, sedangkan pada gambar 2 ketika dibebani gempa arah y menghasilkan 12 step sampai akhirnya mencapai batas maksimum gaya geser dan perpindahan yang terjadi pada bangunan.



Gambar 1. Kurva Kapasitas Arah X



Gambar 2. Kurva Kapasitas Arah Y



Gambar 3. Kurva Kapasitas Arah X dan Y

Titik Kinerja Struktur (Perfomance Point)

Titik kinerja *(performance point)* atau target perpindahan gedung merupakan perpotongan antara kurva spektrum kapasitas dan *spektrum demand* dalam format ADRS, yang menunjukkan bagaimana kekuatan struktur dalam memenuhi suatu beban yang diberikan. Penelitian ini menyajikan *perfomance point* dari spektrum respon diantaranya:

a) Spektrum respon SNI 1726:2019
b) Spektrum respon modifikasi *time history* (*Matched* SNI)
c) Spektrum respon *Surface Ground Motion*

Perfomance point yang didapat dari ketiga spektrum respon di atas kemudian dianalisis, lalu dievaluasi level kinerja gedungnya berdasarkan ATC-40 (1996). Titik *performance point* didapatkan dari perpotongan grafik *capacity spectrum, response curve* dan *demand spectrum.* Dari analisis pushover diperoleh level kinerja struktur sesuai dengan ATC-40 namun karena secara default pada software *ETABS* belum ada maka Penulis menggunakan kurva dari FEMA 440.

Tabel 1. Evaluasi Kinerja Struktur SNI 1726:2019

Spektra	*Pushover*	*Perfomance Point*					
		V (ton)	D (m)	Sa (g)	Sd (m)	Teff	βeff
SNI 2019	*Push X*	337,56	0,026	0,149	0,024	0,899	7,3%
SNI 2019	*Push Y*	905,80	0,011	0,028	0,016	1,455	5,0%

Tabel 2. Evaluasi Kinerja Struktur *Matched* SNI 1726:2019

Spektra	*Pushover*	Sb	*Perfomance Point*					
			V (ton)	D (m)	Sa (g)	Sd (m)	Teff	βeff
RS *Matched* SNI 2019	Push X	EW	786,40	0,082	0,350	0,020	0,880	6,8%
		NS	811,20	0,085	0,360	0,021	0,885	6,9%
	Push Y	EW	895,50	0,010	1,287	0,071	0,471	5,0%

Spektra	*Pushover*	Sb	*Perfomance Point*					
			V (ton)	D (m)	Sa (g)	Sd (m)	Teff	βeff
RS *Matched* SNI 2019		NS	895,83	0,010	1,287	0,071	0,471	5,0%

Tabel 3. Evaluasi Kinerja Struktur *Surface* SNI 1726:2019

Spektra	*Pushover*	Sb	*Perfomance Point*					
			V (ton)	D (m)	Sa (g)	Sd (m)	Teff	βeff
RS *Surface* 2019	Push X	EW	607,30	0,062	0,268	0,045	0,880	6,0%
		NS	680,32	0,070	0,300	0,051	0,885	6,2%
RS *Surface* 2019	Push Y	EW	893,69	0,010	1,284	0,071	0,471	5,0%
		NS	896,67	0,010	1,288	0,071	0,471	5,0%

Tabel 4. Level Kinerja Gedung Spektra Desain SNI 1726:2019

Kinerja Gedung ATC-40 (1996)				
Kategori	***Drift Max*** **m**	***Drift Ratio Max*** **%**	***Drift Ratio Inelastic*** **%**	**Level Kinerja**
Push X	0,03424	0,10040	0,08573	*Immediate Occupancy*
Push Y	0,00984	0,02887	0,01421	*Immediate Occupancy*

Tabel 5. Level Kinerja Gedung Spektra *Matched* SNI 1726:2019 EW

Kinerja Gedung ATC-40 (1996)				
Kategori	***Drift Max*** **m**	***Drift Ratio Max*** **%**	***Drift Ratio Inelastic*** **%**	**Level Kinerja**
Push X	0,08230	0,24133	0,22667	*Immediate Occupancy*
Push Y	0,00972	0,02849	0,01383	*Immediate Occupancy*

Tabel 6. Level Kinerja Gedung Spektra *Matched* SNI 1726:2019 NS

Kinerja Gedung ATC-40 (1996)				
Kategori	***Drift Max*** **m**	***Drift Ratio Max*** **%**	***Drift Ratio Inelastic*** **%**	**Level Kinerja**
Push X	0,08513	0,24966	0,23500	*Immediate Occupancy*
Push Y	0,00972	0,02850	0,01384	*Immediate Occupancy*

Tabel 7. Level Kinerja Gedung Spektra *Surface Ground Motion* SNI 1726:2019 EW

Kinerja Gedung ATC-40 (1996)				
Kategori	***Drift Max*** **m**	***Drift Ratio Max*** **%**	***Drift Ratio Inelastic*** **%**	**Level Kinerja**
Push X	0,06248	0,18323	0,16857	Immediate Occupancy
Push Y	0,00969	0,02843	0,01376	Immediate Occupancy

Tabel 8. Level Kinerja Gedung Spektra *Surface Ground Motion* SNI 1726:2019 NS

Kinerja Gedung ATC-40 (1996)				
Kategori	***Drift Max*** **m**	***Drift Ratio Max*** **%**	***Drift Ratio Inelastic*** **%**	**Level Kinerja**
Push X	0,07047	0,20665	0,19199	*Immediate Occupancy*
Push Y	0,00973	0,02853	0,01387	*Immediate Occupancy*

Tabel 1 sampai 8 menyajikan rekapitulasi level kinerja gedung baik menggunakan Spektra Desain, Spektra *Matching* maupun *Surface* GM SNI 1726:2019 dan didapatkan kesimpulan bahwa bangunan gedung masih dalam kategori level kinerja IO *(Immediate Occupancy)* atau termasuk dalam kondisi pelayanan operasional. Struktur dalam kategori masih aman pasca terjadi gempa, hanya terjadi sedikit kerusakan minor dan perbaikannya tidak mengganggu keselamatan pengguna. Kekuatan dan kekakuan elemen struktur gedungkurang lebih hampir sama dengan kondisi awal.

Secara keseluruhan *perfomance* gedung dengan menggunakan beban gempa spektra desain, *Matched* spektra, dan *surface ground motion* pada dasarnya tergolong dalam kondisi IO *(Immediate Occupancy)*. Hasil analisis menunjukkan nilai *max drift ratio* perbedaannya tidak terlalu signifikan, disajikan rekapitulasinya pada tabel 9.

Tabel 9. Level Kinerja Beberapa Spektra Respon

No	Spektra Respon	*Max Drift Ratio (%)*	Level Kinerja
1	Spektra SNI 2019	0,100	*Immediate Occupancy*
2	*Matched* Spektra SNI 2019 EW	0,241	*Immediate Occupancy*
3	*Matched* Spektra SNI 2019 NS	0,249	*Immediate Occupancy*
4	*Surface Ground Motion* EW	0,183	*Immediate Occupancy*
5	*Surface Ground Motion* NS	0,206	*Immediate Occupancy*

Hasil beban gempa menggunakan spektra *surface ground motion* rekaman gempa asli memiliki nilai *max drift ratio* lebih kecil dibandingkan hasil beban gempa *matching* SNI 1726:2019.

Distribusi Sendi Plastis

Dari hasil analisis pushover dapat diketahui jumlah elemen struktur yang telah mengalami kerusakan pada tiap tahap *(step)* peningkatan beban lateral serta saat titik kinerja tercapai. Jumlah elemen-elemen struktur yang telah melewati batas kriteria penerimaan *(acceptance criteria)* atau distribusi sendi plastis yang terjadi pada elemen struktur gedung Hotel HAKA menurut arah pembebanan-X dapat dilihat pada tabel 10.

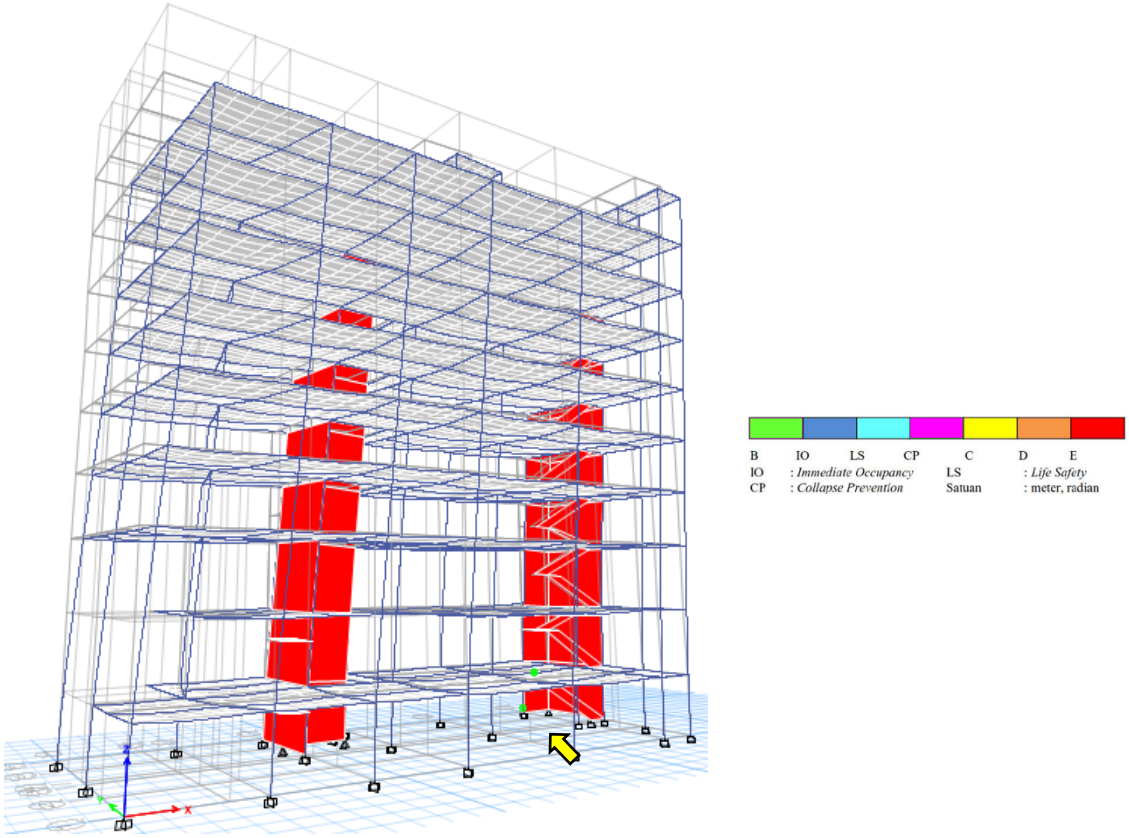
Tabel 10. Jumlah Elemen Dan Tingkat Kerusakan Yang Terjadi Pada Elemen Struktur Untuk Arah Pembebanan-X

Step	Monitored Displ	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0	0	1238	0	0	0	0	1238	0	0	0	1238
1	6,82	673,384	1238	0	0	0	0	1238	0	0	0	1238
2	13,64	1346,7541	1238	0	0	0	0	1238	0	0	0	1238
3	20,46	2020,105	1238	0	0	0	0	1238	0	0	0	1238
4	27,28	2693,4386	1238	0	0	0	0	1238	0	0	0	1238
5	31,154	3075,8699	1236	2	0	0	0	1238	0	0	0	1238

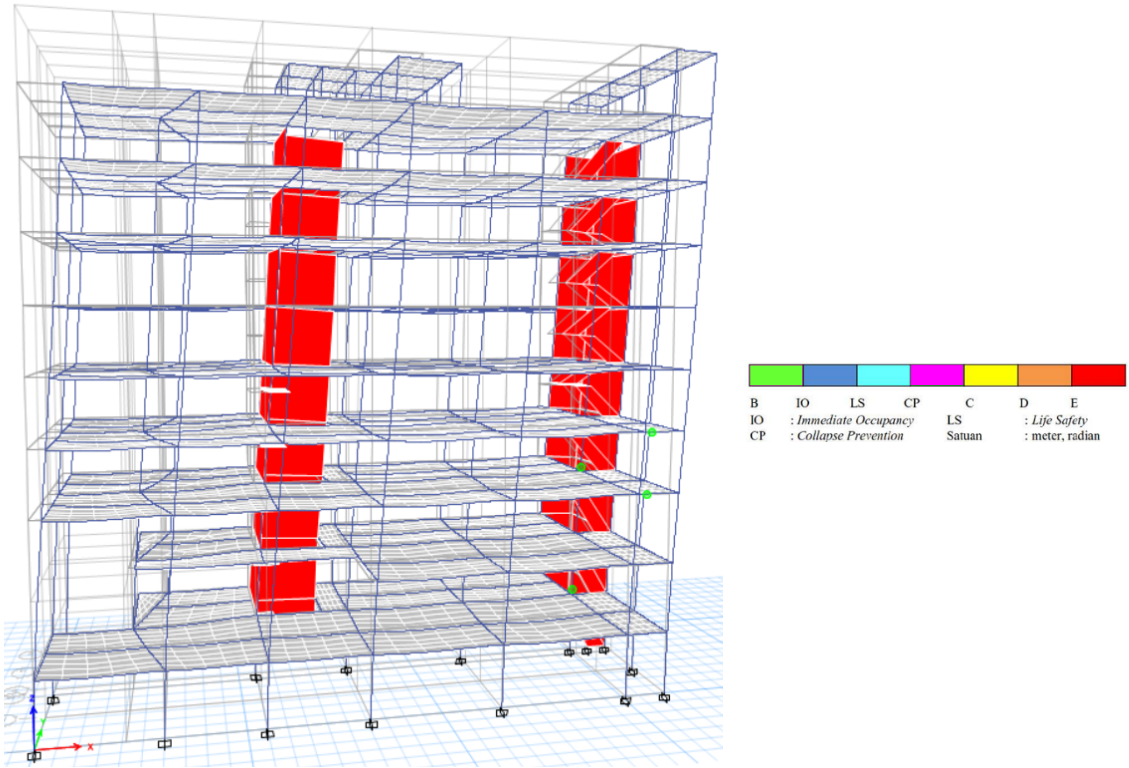
Step	Monitored Displ	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
6	40,425	3977,7267	1236	2	0	0	0	1238	0	0	0	1238
7	47,723	4683,5558	1231	7	0	0	0	1238	0	0	0	1238
8	55,484	5422,6339	1218	20	0	0	0	1238	0	0	0	1238
9	61,642	5996,8506	1207	31	0	0	0	1238	0	0	0	1238
10	61,645	5997,1688	1207	31	0	0	0	1238	0	0	0	1238
11	68,662	6639,7848	1195	43	0	0	0	1237	1	0	0	1238
12	76,227	7323,7533	1171	67	0	0	0	1236	2	0	0	1238
13	83,124	7937,8467	1140	98	0	0	0	1235	3	0	0	1238
14	90,037	8536,8078	1098	140	0	0	0	1230	8	0	0	1238
15	96,384	9071,2858	1067	171	0	0	0	1228	10	0	0	1238

Titik kinerja (*performance point*) struktur untuk pembebanan arah-X gedung adalah 0,034 m berada di antara step-5 dan step-6, sehingga evaluasi komponen struktur dilakukanpada step 6 dengan *displacement* yang terjadi 0,040 m > 0,034 m (δt). Distribusi sendi plastis yang terjadi pada step-6 (Gambar 4.30) memperlihatkan tidak ada komponen struktur yang melewati batas kinerja *Immediate Occupancy* (IO) sehingga dapat dikatakan kinerja komponen struktur masih dalam keadaan aman pada saat titik kinerja tercapai.

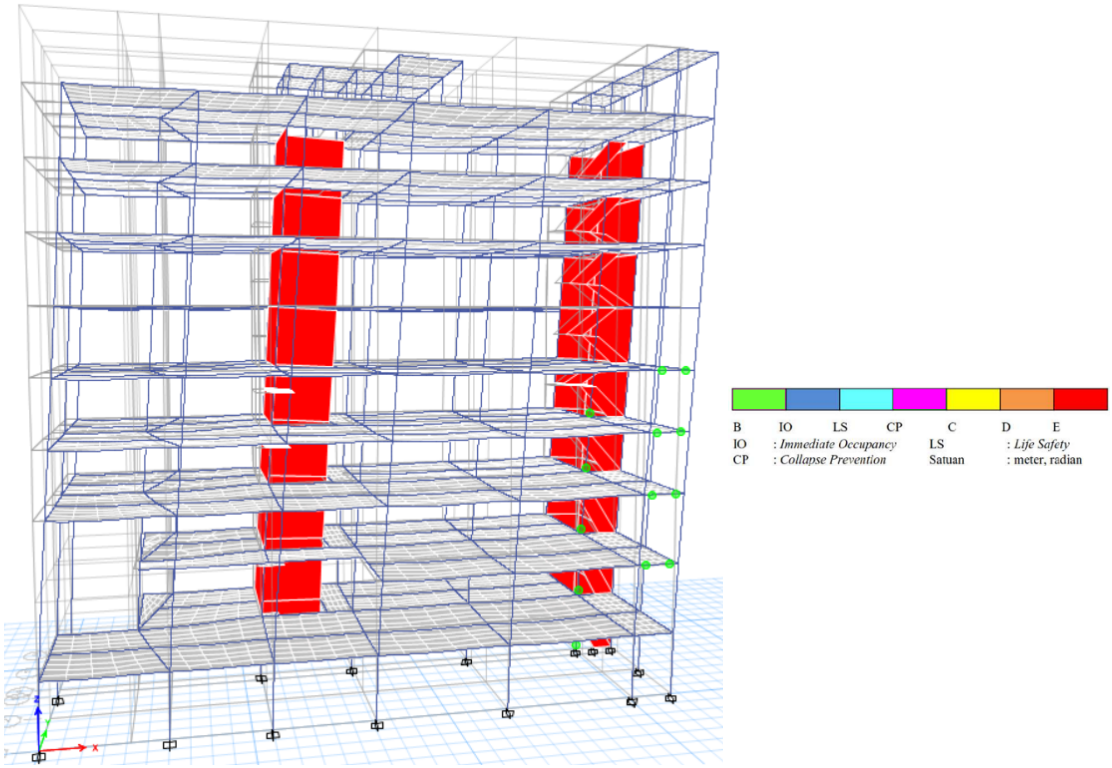
Titik bulat berwarna hijau pada gambar, menunjukkan secara grafis posisi dan tingkat kerusakan yang terjadi pada sendi plastis. Mayoritas letak sendi plastis berada pada ujung balok utama. Sehingga dapat dikatakan kolom tidak mengalami gagal geser. Distribusi sendi plastis padatiap tahapan peningkatan beban lateral hingga tercapainya titik kinerja tercapai terjadi pada komponen struktur ditampilkan pada gambar gambar berikut.



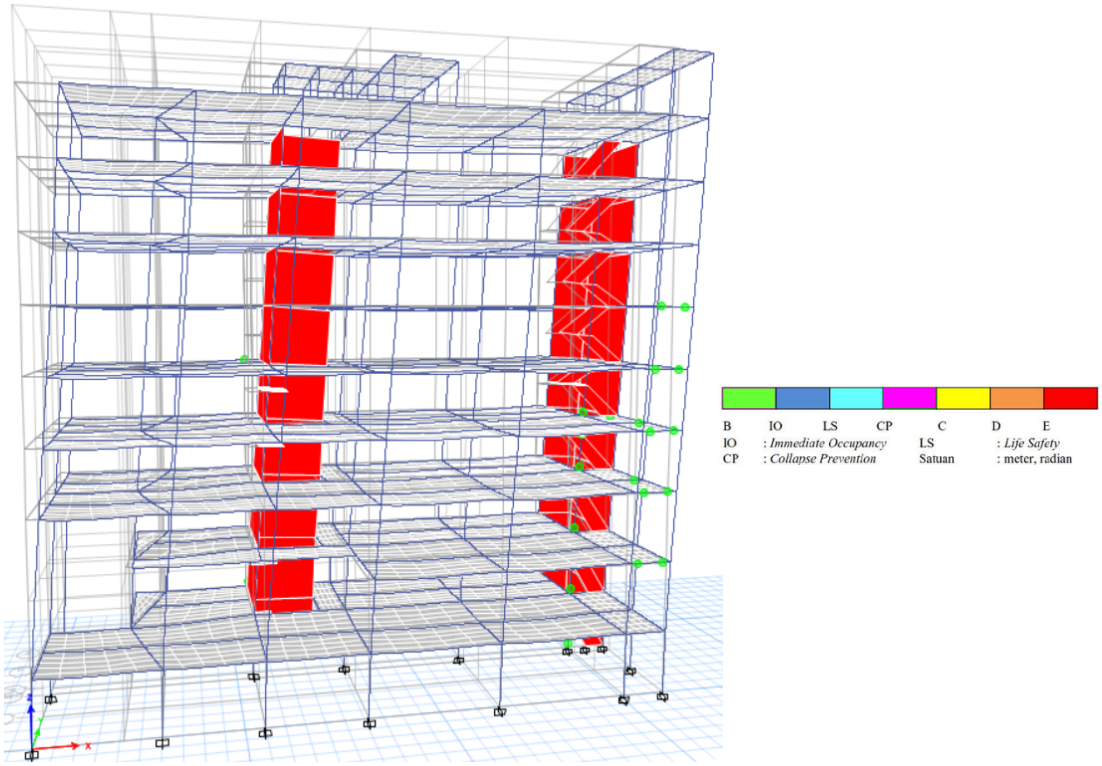
Gambar 4. Distribusi sendi plasti pada step-6 untuk pembebanan arah-X



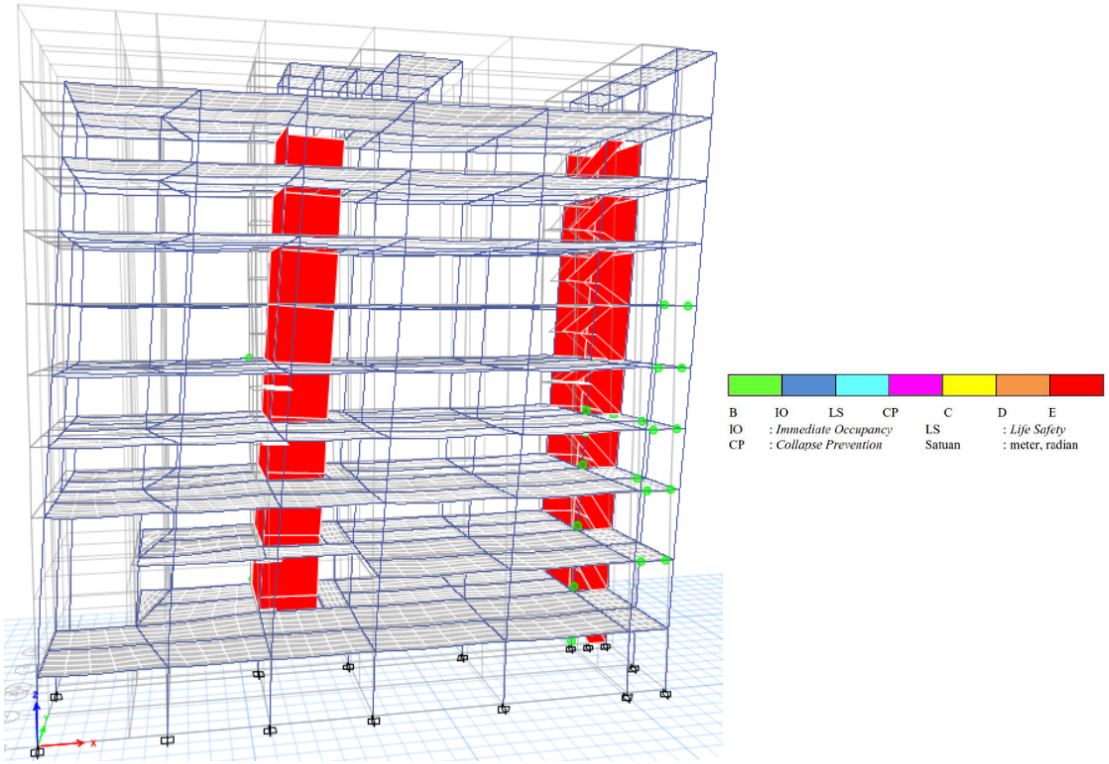
Gambar 5. Distribusi sendi plasti pada step-7 untuk pembebanan arah-X



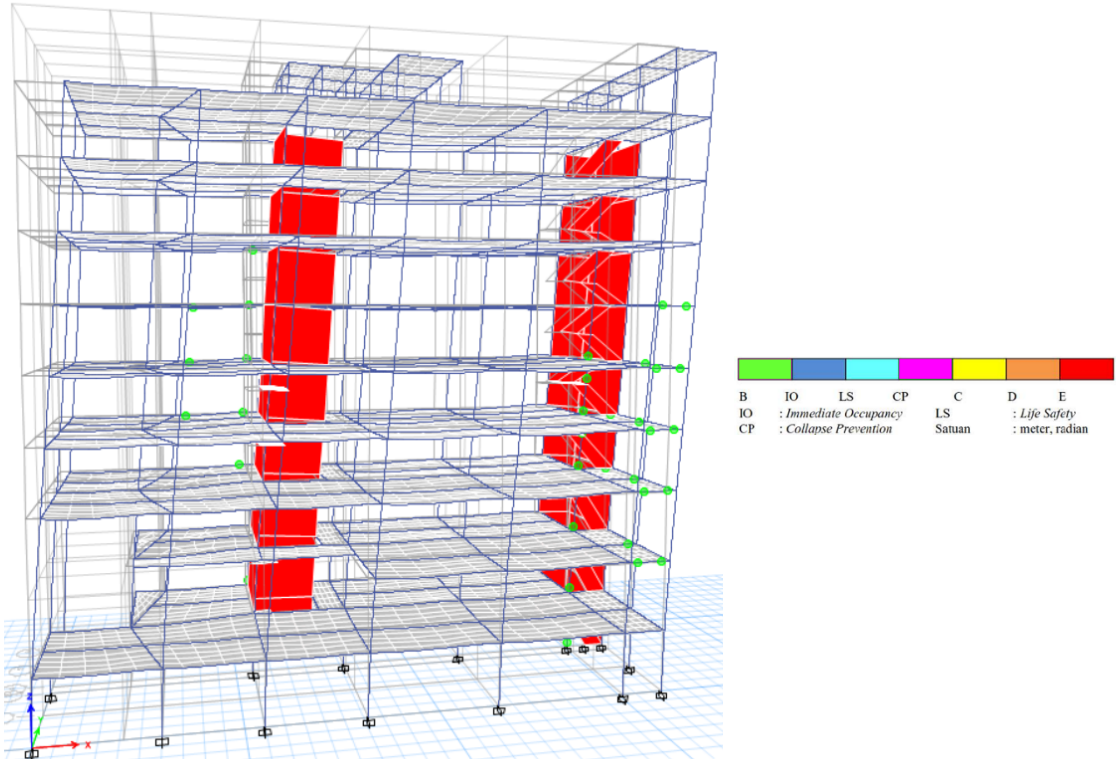
Gambar 6. Distribusi sendi plasti pada step-8 untuk pembebanan arah-X



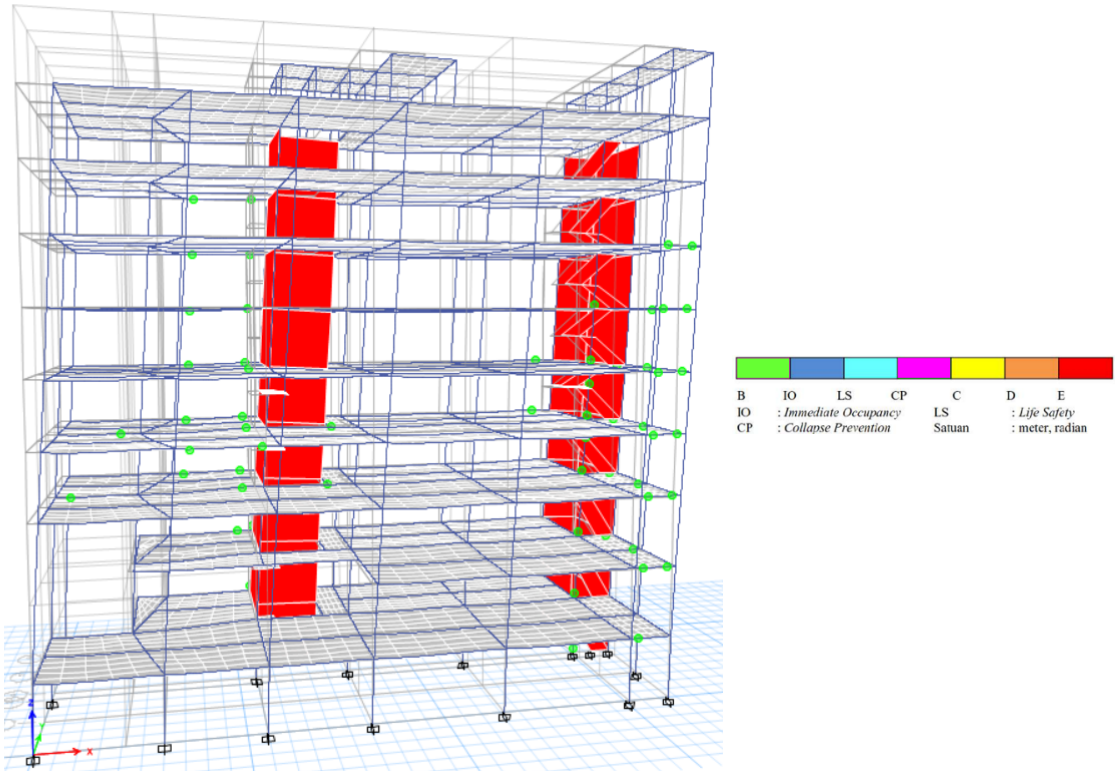
Gambar 7. Distribusi sendi plasti pada step-9 untuk pembebanan arah-X



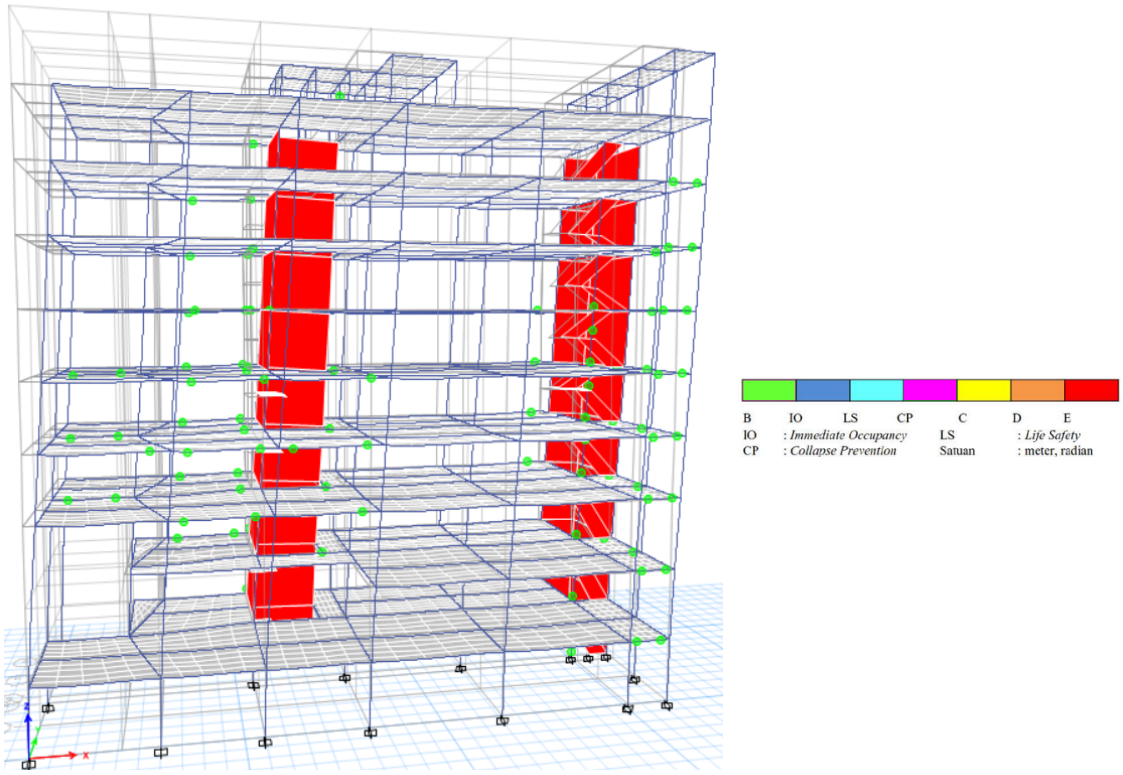
Gambar 8. Distribusi sendi plasti pada step-10 untuk pembebanan arah-X



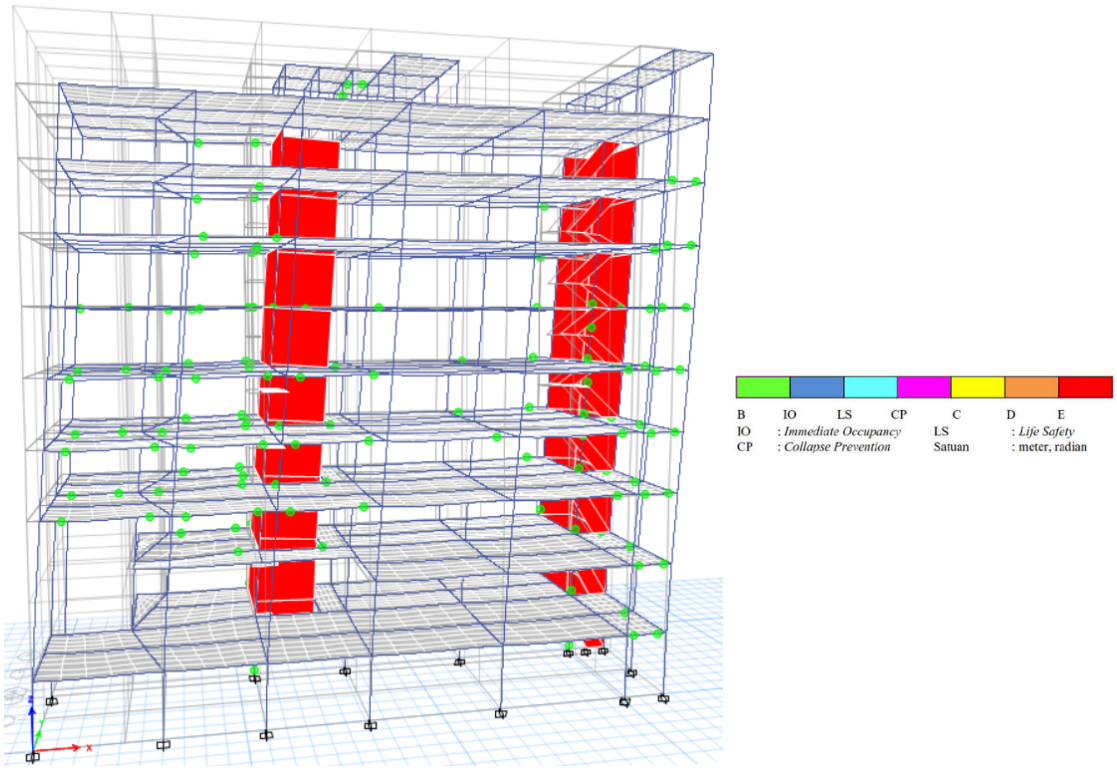
Gambar 9. Distribusi sendi plasti pada step-11 untuk pembebanan arah-X



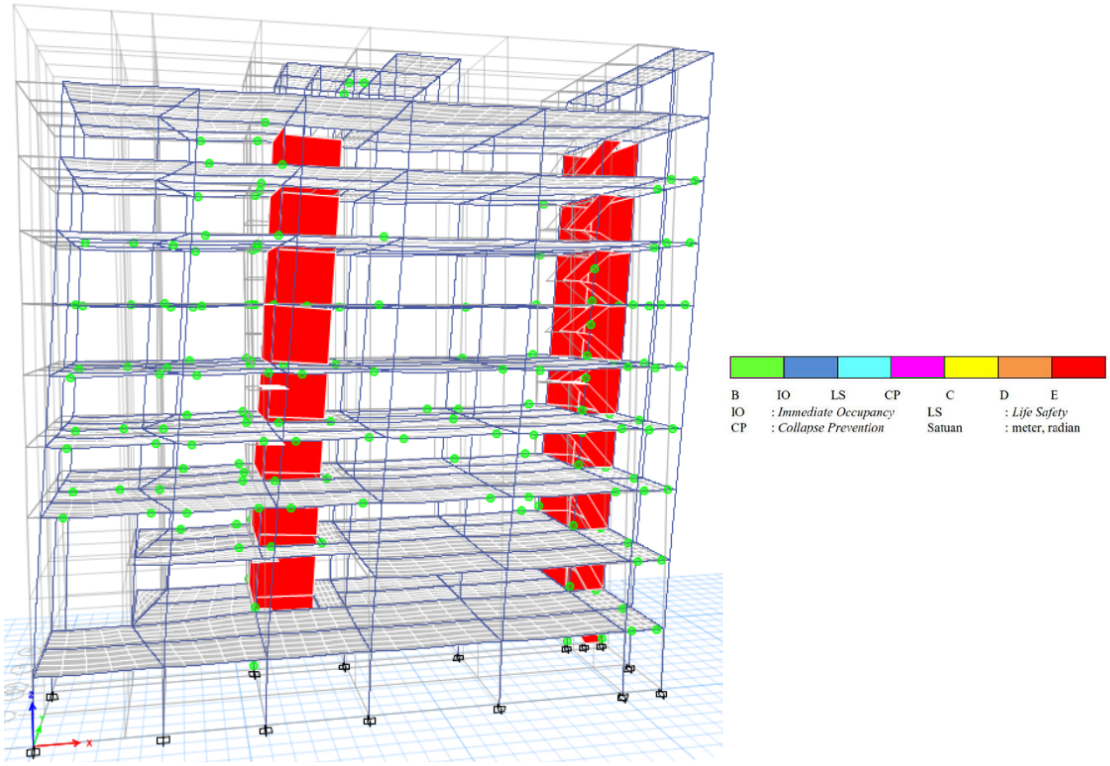
Gambar 10. Distribusi sendi plasti pada step-12 untuk pembebanan arah-X



Gambar 11. Distribusi sendi plasti pada step-13 untuk pembebanan arah-X



Gambar 12. Distribusi sendi plasti pada step-14 untuk pembebanan arah-X



Gambar 13. Distribusi sendi plasti pada step-15 untuk pembebanan arah-X

Jumlah elemen-elemen struktur yang telah melewati batas kriteria penerimaan *(acceptance criteria)* atau distribusi sendi plastis yang terjadi pada elemen struktur gedung Hotel HAKA menurut arah pembebanan-Y dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Jumlah Elemen Dan Tingkat Kerusakan Yang Terjadi Pada Elemen Struktur Untuk Arah Pembebanan-Y

Step	Monitored Displ mm	Base Force kN	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	1238	0	0	0	0	1238	0	0	0	1238
1	2,952	3077,3209	1237	1	0	0	0	1238	0	0	0	1238
2	9,032	8402,4577	1214	24	0	0	0	1238	0	0	0	1238
3	9,035	8405,788	1214	24	0	0	0	1238	0	0	0	1238
4	13,379	11911,6977	1153	85	0	0	0	1237	1	0	0	1238
5	13,38	11897,9694	1151	87	0	0	0	1237	1	0	0	1238
6	13,428	11937,7694	1151	87	0	0	0	1237	1	0	0	1238
7	13,431	11935,5551	1151	87	0	0	0	1237	1	0	0	1238
8	13,485	11975,8466	1151	87	0	0	0	1237	1	0	0	1238
9	13,489	11965,7008	1151	87	0	0	0	1237	1	0	0	1238
10	13,489	11965,704	1151	87	0	0	0	1237	1	0	0	1238
11	13,492	11965,2979	1151	87	0	0	0	1237	1	0	0	1238
12	16,217	14031,3219	1103	135	0	0	0	1236	2	0	0	1238

Titik kinerja (*performance point*) struktur untuk pembebanan arah-Y gedung adalah 0,00984 m berada di antara step-3 dan step-4, sehingga evaluasi komponen struktur dilakukanpada step 4 dengan *displacement* yang terjadi 0,013 m > 0,009 m (δt). Distribusi sendi plastis yang terjadi pada step-4 (Gambar 4.40) memperlihatkan tidak ada komponen

struktur yang melewati batas kinerja *Immediate Occupancy* (IO) sehingga dapat dikatakan kinerja komponen struktur masih dalam keadaan aman pada saat titik kinerja tercapai.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan, pembahasan, dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa bangunan telah memenuhi peraturan SNI 1726:2019 berdasarkan nilai drift ratio dan deformasi yang dihasilkan. Analisis pushover menunjukkan bahwa nilai drift ratio dan deformasi pada matched spectra SNI 1726:2019 lebih besar dibandingkan nilai dari respon spektra desain SNI 1726:2019. Berdasarkan analisis titik kinerja, gedung yang ditinjau masuk dalam level kinerja Immediate Occupancy (IO), baik menggunakan beban gempa respon spektra desain SNI 1726:2019 maupun matched spectra SNI 1726:2019, dengan rasio simpangan struktur yang terjadi masih di bawah batas simpangan 1% sesuai ATC-40 (1996), sehingga bangunan tersebut dinyatakan laik digunakan. Saran untuk penelitian selanjutnya meliputi penggunaan beban respon spektra di wilayah dengan kekuatan gempa lebih tinggi (≥6,5 Mw) dan pemanfaatan perangkat komputer dengan spesifikasi tinggi untuk mempercepat proses pushover analysis.

DAFTAR PUSTAKA

Al Rasjid, H., Piscesa, B., & Faimun. (2013). Studi perilaku bangunan multi tower 15 lantai menggunakan metode nonlinear time history analysis dengan membandingkan dua letak shearwall pada struktur (studi kasus bentuk struktur apartemen Puncak Bukit Golf). Surabaya.

Azizah, L., Chintami, R. D., Partono, W., & Sukamta. (2018). Studi analisis tingkat kerentanan bangunan terhadap gempa dengan kekuatan maksimum 6.9 Mw. *Jurnal MKTS UNDIP, 7*(1), 62-75.

Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung* (SNI 2847:2019). BSN, Jakarta.

Dalo, Y. D., Handono, B. D., & Wallah, S. E. (2019). Studi assessment kerentanan gedung Fakultas Hukum Universitas Samratulangi Manado menggunakan metode pushover analysis. *Jurnal Sipil Statik, 7*(8), 1117-1126.

Dilla, A. L. N., & Faimun. (2017). Studi perbandingan analisis respon spektra dan time history untuk desain gedung. *Jurnal Teknik ITS, 6*(1).

Ertanto, B. C., Satyarno, I., & Suhendro, B. (2017). Performance based design bangunan gedung untuk level kinerja operasional. *Jurnal Inersia, 13*(2), 189-204.

Nazila, K. S. (2022). Analisis pushover menggunakan spektra desain dan riwayat waktu percepatan akibat gempa kekuatan 6,5 Mw (studi kasus: Star Hotel, Semarang). In *Tesis*, Magister Teknik Sipil, Universitas Diponegoro.

Pangemanan, S., & Mantiri, H. G. (2017). Analisis pushover perilaku seismik struktur bangunan bertingkat: Studi kasus bangunan ruko. *Prosiding Simposium II-UNIID 2017* (pp. 365-373). Palembang: Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado.

Partono, W., Priastiwi, Y. A., Nuroji, Atmanto, I. D., Pardoyo, B., Octaviani, T., Gultom, & Tampubolon, Y. (2019a). Structural analysis using three-component acceleration time histories caused by shallow crustal fault earthquakes with a maximum magnitude of 7 Mw. *MATEC Web of Conferences SCESCM*.

Prabowo, A., & Lase, Y. (2016). Tinjauan nilai faktor modifikasi respon (R) dan faktor

kuat lebih pada struktur gabungan rangka baja dan rangka beton bertulang dengan analisis pushover. *Jurnal Teknik Sipil, 23*.

Setiawan, J., & Imran, I. (2014). Evaluasi geser dasar minimum pada SNI 1726:2012. *UNPAR*, Bandung.

Sujatmiko, S. P. (2016). Evaluasi perencanaan bangunan yang memiliki ketidakberaturan vertikal terhadap drift ratio dengan analisis ragam respon spektra dan analisis pushover (studi kasus bangunan Star Hotel di Semarang). In *Tesis*, Magister Teknik Sipil, Universitas Diponegoro: Semarang (unpublished).

Sukamta, D. (2016). Inovasi dalam desain struktur dan konstruksi untuk gedung super tinggi. *Proc. Pameran dan Seminar Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia (HAKI)*, Jakarta, Indonesia.

Tavio, & Wijaya, U. (2018). *Desain rekayasa gempa berbasis kinerja*. Penerbit ANDI, Yogyakarta.

Utami, T. P., & Warastuti, N. (2017). Analisis kekuatan bangunan terhadap gaya gempa dengan metode pushover studi kasus gedung asrama Pusdiklat PPATK, Depok. *J. Infras, 3*(2), 99-106.

Wahjudi, D. I. (2017). Pemilihan dan pen-skala-an rekaman akselerogram gempa nyata agar sesuai dengan spektrum respons SNI 1726-2012. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil, 15*(2), 67-72.

Copyright holder:
Heri Pamungkas Joko Santoso (2025)

First publication right:
Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia

This article is licensed under:

