

ANALISA PENGARUH VARIASI *LAYOUT SHEAR WALL* TERHADAP KINERJA STRUKTUR DENGAN METODE *PUSHOVER ANALYSIS* PADA GEDUNG PELINDO OFFICE TOWER

Rio Aditya Kusuma¹

¹Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
rio.18005@mhs.unesa.ac.id

Ir. Drs. H. Bambang Sabariman, S.T., M.T.²

²Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
bambangSabariman@unesa.ac.id

Abstrak

Dinding geser adalah suatu panel beton bertulang yang dipasang pada arah vertikal bangunan yang berfungsi untuk meningkatkan kekakuan struktural bangunan, mengurangi pergeseran, serta mendistribusikan gaya geser lateral bangunan akibat gempa. Dinding geser pada umumnya dipasang pada posisi tertentu pada sistem struktur bangunan dengan mempertimbangkan aspek-aspek arsitektural maupun aspek struktural. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui letak ideal penempatan dinding geser terhadap kinerja struktur terhadap gaya gempa yang terjadi. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisa struktur pada gedung Pelindo Office Tower dengan tiga pemodelan *layout* dinding geser serta satu *layout eksisting*. Metode analisis yang dipakai adalah analisis pushover dengan bantuan program analisis struktur ETABS 2016. Hasil analisis pushover berdasarkan parameter FEMA 440 menunjukkan tingkatan kinerja pada seluruh model bangunan telah memenuhi syarat *Life Safety*. Pada bangunan *eksisting* drift ratio pada arah X sebesar 0,47% (IO) dan arah Y sebesar 0,699% (LS). Pada bangunan model 1 drift ratio pada arah X sebesar 0,922% (LS) dan arah Y sebesar 0,806% (LS). Pada bangunan model 2 drift ratio pada arah X sebesar 0,655% (LS) dan arah Y sebesar 0,790% (LS). Pada bangunan model 3 drift ratio pada arah X sebesar 0,645% (LS) dan arah Y sebesar 1,140% (LS). Berdasarkan himpunan data tersebut maka dapat disimpulkan bahwa kinerja struktur gedung paling baik pada kedua arah terjadi pada bangunan model *eksisting*, hal ini dikarenakan konfigurasi *shear wall* pada bangunan *eksisting* tersebut memiliki nilai inersia bangunan serta kekakuan efektif yang baik pada masing-masing arah, sehingga berpengaruh terhadap nilai target perpindahan dan tingkat kinerja struktur bangunan model *eksisting*.

Kata Kunci: analisis pushover, dinding geser, ETABS 2016, FEMA 440, gaya gempa, *immediate occupancy*, kinerja struktur, *life safety*.

Abstract

Shear wall is a reinforced concrete panel that installed in vertical direction of the building which serves to distribute lateral shear forces of building due earthquake. Shear walls are generally installed in building structural systems by considering architectural and structural aspects. The purpose of this study was to determine ideal location of shear wall placement against earthquake force that occurred. In this study, a structural analysis will be carried out on Pelindo Office Tower building with three shear wall layout modeling and existing layout. The method used is pushover analysis with ETABS 2016. The results of pushover analysis based on FEMA 440 show that performance of all building models meets Life Safety requirements. In existing building, drift ratio in X direction is 0.47% (IO) and Y direction is 0.699% (LS). In model 1 building, drift ratio in X direction is 0.922% (LS) and Y direction is 0.806% (LS). In model 2 building, drift ratio in X direction is 0.655% (LS) and Y direction is 0.790% (LS). In model 3 building, drift ratio in X direction is 0.645% (LS) and Y direction is 1.140% (LS). Based on these data, it can be concluded that the best performance of building structure in both directions occurs in the existing model building, this is because shear wall configuration of the existing building has a good value of building inertia and effective stiffness in each direction, so that it affects the displacement target value and performance level of existing model building structure.

Keyword: ETABS 2016, earthquake force, FEMA 440, *immediate occupancy*, *life safety*, *shear wall*, structural performance, pushover analysis.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara terpadat di dunia dengan jumlah penduduk lebih dari 273 juta jiwa (Badan Pusat Statistik, 2022). Seiring dengan

bertambahnya jumlah penduduk, kebutuhan akan ruang perkantoran untuk melaksanakan fungsi administrasi juga semakin meningkat. Karena keterbatasan ruang yang tersedia saat ini, banyak bangunan dibangun secara vertikal daripada horizontal untuk mengurangi

konsumsi lahan. Pelindo Office Tower adalah contoh gedung perkantoran vertikal dengan total 23 lantai dan ground clearance setinggi +110,50 m.

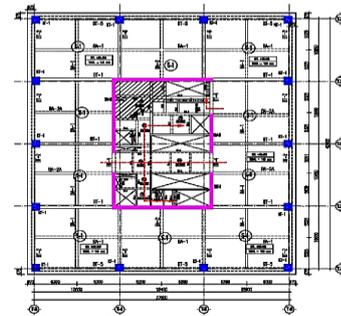
Bangunan tinggi memiliki kelebihan pada penggunaan lahan yang lebih efisien daripada bangunan rendah pada umumnya. Namun perancangan bangunan tinggi harus memperhatikan aspek-aspek keselamatan yang tinggi pula, contohnya pada aspek keruntuhan yang bisa saja terjadi. Pada bangunan tinggi bekerja banyak gaya, beberapa gaya yang terjadi pada bangunan tinggi adalah gaya gravitasi, gaya geser, serta momen lateral yang terjadi. Salah satu gaya yang dominan pada bangunan tinggi adalah gaya geser dasar. Gaya geser dasar adalah gaya yang bekerja pada dasar suatu bangunan akibat beban lateral yang ditimbulkan. Beban lateral pada umumnya terjadi akibat adanya beban dorong yang bekerja secara horizontal pada arah tegak lurus sumbu vertikal bangunan. Apabila salah perhitungan pada saat desain bangunan terhadap gaya lateral tersebut maka dapat menyebabkan terjadinya keruntuhan pada struktur bangunan. Salah satu beban lateral yang berpengaruh besar pada suatu bangunan tinggi adalah gaya gempa.

Gaya gempa adalah beban dinamis yang dapat berubah besar dan arahnya dari waktu ke waktu. Keruntuhan akibat gempa pada bangunan tinggi biasanya disebabkan oleh adanya kesalahan pada saat perancangan seperti adanya kesalahan bentuk bangunan. SNI 1726:2019 Pasal 7.3.2 disebutkan ada dua kesalahan bentuk bangunan yang biasa ditemui pada bangunan tinggi, yaitu adanya ketidakteraturan horizontal dan vertikal. Ketidakteraturan horizontal bisa disebabkan adanya ketidakteraturan torsi, ketidakteraturan sudut dalam, ketidakteraturan diskontinuitas diafragma, dll. Sedangkan ketidakteraturan vertikal bisa disebabkan akibat ketidakteraturan tingkat, ketidakteraturan massa, ketidakteraturan geometri vertikal, dll. (SNI 1726:2019, 2019)

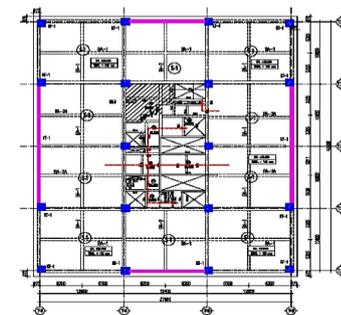
Salah satu alternatif dalam menahan gaya geser dasar akibat beban lateral gempa tersebut adalah penambahan dinding geser. Dinding geser ditambahkan pada suatu struktur bangunan biasanya untuk mengakomodasi gaya geser yang cukup besar, sehingga nantinya gaya geser dasar yang terjadi akan disalurkan pada dinding geser untuk mencegah terjadinya keruntuhan bangunan. Dinding geser adalah panel beton bertulang yang dirancang untuk menyerap gaya geser, meningkatkan kekakuan struktural, mengurangi pergeseran, menopang plat lantai, dan mencegah bangunan runtuh ketika gaya lateral diterapkan. Dinding geser tersebut biasanya dipasang secara vertikal atau horizontal pada sisi-sisi bangunan tertentu. Dalam penempatan dinding geser, kombinasi struktur bangunan yang berbeda dapat mempengaruhi ukuran massa bangunan, sehingga masalah kinerja struktural yang muncul harus diperhitungkan. Oleh karena itu, perbedaan massa bangunan juga

mempengaruhi percepatan gempa dan besarnya gaya gempa yang dihasilkan.

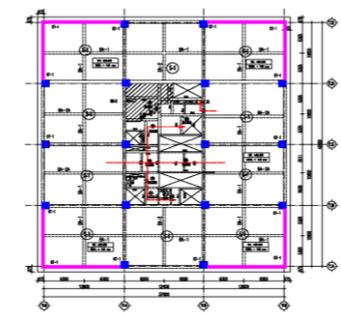
Pada penelitian ini akan dianalisis 3 model *layout* dinding geser yang merupakan variasi dari dinding geser *eksisting* yang terpasang pada gedung Pelindo Office Tower, dimana model asli dinding geser pada gedung tersebut ditempatkan pada tengah bangunan. Dari keempat model *layout* tersebut nantinya akan dianalisis struktur dengan analisis *Pushover* dan kemudian akan devaluasi kinerja strukturnya menggunakan parameter *FEMA 440*.



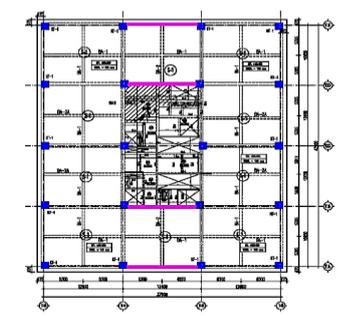
Gambar 1. *Layout Shear wall eksisting* Pelindo Office Tower



Gambar 2. Model 1 *Shear wall* Pelindo Office Tower



Gambar 3. Model 2 *Shear wall* Pelindo Office Tower



Gambar 4. Model 3 *Shear wall* Pelindo Office Tower

Menurut Hendra Wijaya (Wijaya, 2020) dalam penelitiannya menyatakan bahwa perbedaan posisi

penempatan dinding geser mempengaruhi perilaku struktur dalam menahan gaya lateral akibat gempa. Dalam penelitiannya tersebut dibandingkan 5 pemodelan posisi dinding geser yang bervariasi menggunakan nilai prosentase system ganda, periode struktur, dan simpangan antar lantai. Hasilnya sistem struktur pada model 5 dengan posisi dinding geser yang terletak pada inti bangunan mempunyai perilaku paling efektif dalam menahan gaya lateral seperti beban gempa.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja struktural gedung *eksisting* Pelindo Office Tower. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui pengaruh penempatan dinding geser yang berbeda terhadap kinerja struktur bangunan dan penempatan dinding geser nya, serta tata letak dengan kinerja statis terbaik.

Penelitian ini dibatasi pada metode analisis spektrum respons ragam untuk metode analisisnya, arah penerapan gaya gempa digunakan seratus persen gaya untuk satu arah ditambahkan tiga puluh persen gaya untuk arah tegak lurus (SNI 2847:2019 Ps. 7.5.3, Hal 67). Pedoman peraturan yang digunakan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) keluaran terbaru, serta program bantu analisis struktur digunakan *Software* ETABS 2016. Penelitian ini tidak memperhitungkan ulang kebutuhan tulangan pada gedung, tidak memperhitungkan struktur bawah gedung (pondasi, sloof, dan basement), serta tidak memperhitungkan anggaran dan faktor ekonomi gedung.

TINJAUAN PUSTAKA

Analisis Pushover

Analisis pushover adalah analisis statis yang digunakan untuk memperkirakan bagaimana perilaku inelastis suatu bangunan dapat dicapai sebelum bangunan runtuh seluruhnya atau sebagian (ACI 374.2R-13, 2013). Analisis pushover adalah prosedur statis yang memperkirakan deformasi struktural akibat beban seismik menggunakan analisis nonlinear yang disederhanakan (ASCE 41-13, 2013).

Analisis pushover memodelkan struktur gedung menggunakan software komputer yang mencakup semua elemen pendukung, beserta hubungan gaya-deformasi sebelum dan sesudah kondisi leleh, serta beban mati dan beban hidup rata-rata yang terjadi. Setelah pemodelan selesai, gaya horizontal kecil diterapkan pada struktur untuk menyimulasikan efek gerakan seismik dan memungkinkan deformasi nya dihitung. Kemudian, gaya tersebut ditingkatkan secara bertahap untuk menjelaskan keadaan gaya geser dasar dengan deformasi yang dihasilkan. Plot kurva ini dapat menunjukkan gaya geser dasar maksimum yang dapat ditahan oleh struktur bangunan.

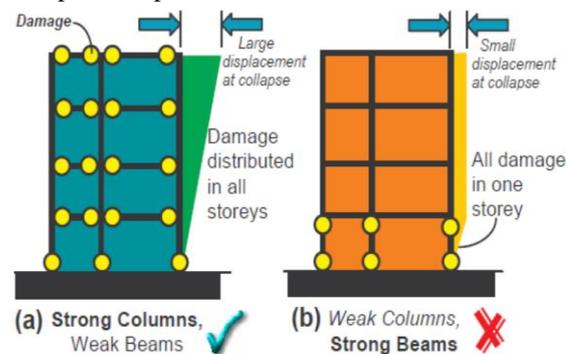
Suatu analisis *pushover* juga menyimulasikan terjadinya keruntuhan struktur dengan ditandai adanya sendi plastis yang terbentuk akibat beban dorong

tersebut, kemudian struktur dikembalikan pada kondisi semula sebelum terbentuk sendi plastis. Pada iterasi kedua, beban dorong diaplikasikan kembali dengan nilai gaya yang lebih besar sampai sendi plastis tahap kedua terbentuk. Proses ini dilanjutkan sampai pola keruntuhan pada seluruh struktur akibat gaya gempa berhasil diidentifikasi dan digambarkan kurva nya.

Analisis *pushover* pada umumnya bisa digunakan untuk menganalisis suatu bangunan *eksisting* maupun bangunan baru. Sehingga dengan adanya analisis *pushover* ini memungkinkan untuk seorang engineer mempelajari efektifitas suatu bangunan dan dapat digunakan sebagai acuan membuat keputusan dalam memperkuat bangunan dengan memberikan daktilitis struktur yang lebih besar. Analisis ini juga berguna untuk metode perancangan bangunan baru dengan *performance-based design* yang secara garis besar mengandalkan daktilitis struktur serta faktor redundansi untuk menahan gaya gempa.

Sendi Plastis

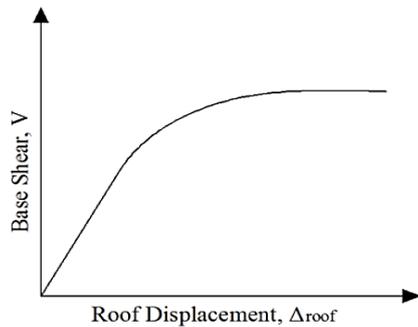
Sendi plastis adalah titik di mana kepatuhan lentur diharapkan terjadi karena perpindahan desain seismik. Sendi plastis terjadi karena penampang tidak dapat menahan peningkatan gaya gempa yang besar dan penampang di depan sambungan gedung yang kemudian mengalami keruntuhan pada suatu daerah tertentu. Sendi plastis bangunan biasanya diharapkan terjadi pertama kali di area balok dan kemudian di area kolom. Hal ini untuk memenuhi persyaratan struktural, yaitu *Strong Column Weak Beam* (SCWB). Untuk informasi lebih lanjut, mekanisme engsel plastik dapat ditampilkan seperti di bawah ini,



Gambar 5. Pola terjadinya sendi plastis

Kurva Kapasitas

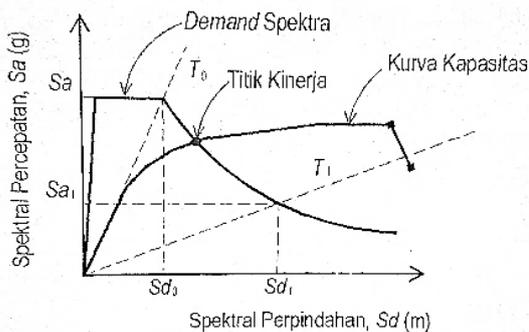
Menurut ATC-40, kurva kapasitas diperoleh dari plot gaya lateral total (V) untuk struktur dengan perpindahan atap (d). Kurva kapasitas ini menunjukkan hubungan antara gaya gempa dan perpindahan yang dihasilkan sebelum struktur runtuh. Perpindahan yang dipertimbangkan adalah perpindahan atap dan gaya geser dasar (ATC 40, 1996). Kurva kapasitas ini juga dikenal sebagai kurva *pushover*.



Gambar 6. Kurva kapasitas gaya geser vs perpindahan atap

Metode Spektrum Kapasitas ATC-40

Metode spektrum kapasitas adalah representasi dari kurva kapasitas pushover dan spektrum permintaan, dan diidealkan dalam format kurva ADRS (spektrum respons percepatan-perpindahan), yaitu hubungan antara spektrum percepatan (S_a) dan spektrum perpindahan (S_d) (ATC 40, 1996). Titik kinerja struktur dari metode ini dapat ditemukan dengan perpotongan kurva spektrum kapasitas dan spektrum permintaan, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut,



Gambar 7. Titik kinerja metode spektrum kapasitas (ATC 40, 1996)

Metode Koefisien Perpindahan FEMA 356

Metode koefisien perpindahan FEMA 356 adalah pendekatan numerik langsung untuk menghitung perpindahan global maksimum dari suatu struktur bangunan. Prosedur ini memodifikasi respons elastis sistem SDOF (derajat kebebasan tunggal) menurut koefisien-koefisien C_1, C_2, C_3, C_4 dan didefinisikan sebagai perpindahan global maksimum (elastis dan tidak elastis) kemudian diselesaikan dan didapatkan. Target perpindahan (δ_T).

Secara umum nilai target perpindahan (δ_T) berdasarkan (FEMA 356, 2000) dapat dihitung dengan rumus berikut,

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g$$

Metode Koefisien Perpindahan FEMA 440

Metode koefisien perpindahan FEMA 440 sering disebut sebagai metode koefisien perpindahan yang ditingkatkan karena merupakan evolusi dari metode koefisien perpindahan FEMA 356. Secara umum perhitungan metode FEMA 440 sama dengan

perhitungan FEMA 356. Dengan kata lain, hasil akhir yang diperoleh adalah nilai target perpindahan (δ_T). Metode FEMA 440 merupakan perluasan dari metode Koefisien Variasi FEMA 356 dengan peningkatan penentuan nilai parameter (Tavio, 2018). Perbaikan pada metode (FEMA 440, 2005) terletak pada penentuan nilai parameter C_1 dan C_2 . Perhitungan lebih rinci diberikan dalam Bagian 5.2 dan 5.3 dari aturan FEMA 440.

Tingkat Kinerja Bangunan

Menurut ATC-40, tingkat kinerja suatu bangunan gedung adalah batasan pernyataan kerusakan atau kerusakan fisik yang telah terjadi pada gedung tersebut, ancaman terhadap keselamatan jiwa penghuni gedung karena kerusakan yang terjadi, dan kelayakan bangunan setelah terjadinya gempa bumi (ATC 40, 1996). Tingkat kinerja bangunan adalah suatu kombinasi dari tingkat kinerja struktur dan tingkat kinerja non struktur.

Menurut ASCE-41 yang dikutip dari FEMA 356, kinerja bangunan adalah suatu kombinasi dari kedua performa komponen struktural maupun non-struktural gedung (ASCE 41-13, 2013). Kinerja bangunan dalam standar ini dinyatakan dalam target level kinerja bangunan. Target level kinerja bangunan ini adalah status kerusakan terpisah yang dipilih dari spektrum tak terbatas dari status kerusakan yang mungkin dialami bangunan selama gempa. Status kerusakan tertentu yang diidentifikasi sebagai target Tingkat Kinerja Bangunan dalam standar ini telah dipilih karena memiliki konsekuensi yang dapat diidentifikasi terkait dengan disposisi bangunan pasca gempa yang sangat berguna bagi masyarakat. Konsekuensi ini mencakup kemampuan untuk melanjutkan fungsi normal di dalam gedung, kesesuaian untuk tempat tinggal pasca gempa, dan risiko keselamatan jiwa.

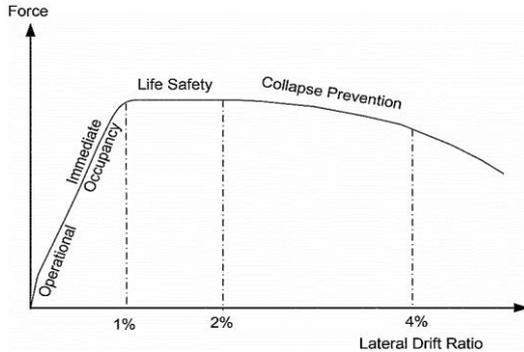
Target kinerja berdasarkan FEMA 440, FEMA 356, ATC-40, dan ASCE-41 secara garis besar adalah sama. Level kinerja struktur dibedakan menjadi empat level kategori yaitu *Operational*, *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS), dan *Collapse Prevention* (CP). Tingkat kinerja ini telah dipilih untuk berbagai potensi kerusakan yang dapat diderita bangunan selama gempa bumi. Tingkat kinerja ini memberikan hasil yang dapat dikenali dan sangat membantu para insinyur. Selain itu, tingkat kinerja struktural dapat dikorelasikan dengan karakteristik kinerja struktural kuantitatif yang digunakan dalam desain, memberikan penjelasan terkait dengan aspek sosial ekonomi penggunaan bangunan, seperti kemampuan untuk melanjutkan fungsi normal, kesesuaian untuk tempat tinggal setelah gempa bumi, dan risiko keselamatan hidup.

Level kinerja struktur dinilai berdasarkan persentase *drift ratio* dari suatu struktur bangunan, dimana *drift ratio* dapat dihitung dengan membagi antara nilai target perpindahan dengan tinggi total

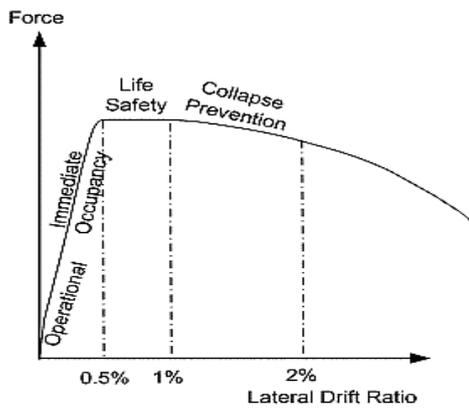
bangunan. Secara umum rumus *drift ratio* dapat dituliskan sebagai berikut,

$$Drift\ ratio = \frac{\delta_T}{T_{total}} \times 100$$

Berdasarkan ASCE-41 yang dikutip dari ACI-374, keempat tingkat kinerja struktur sebagai fungsi dari rasio simpangan antara lantai digambarkan dalam grafik berikut,



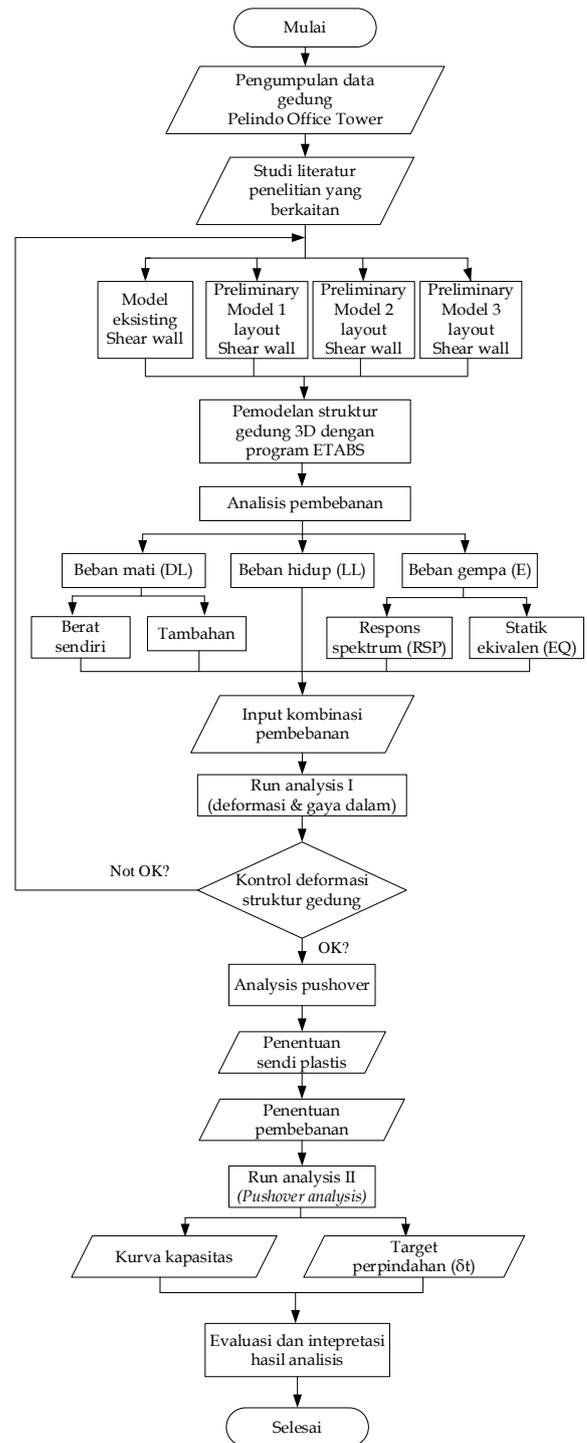
Gambar 8. Tingkat kinerja struktur *frame buildings* (ACI 374.2R-13, 2013)



Gambar 9. Tingkat kinerja struktur *wall buildings* (ACI 374.2R-13, 2013)

METODE PENELITIAN

Secara garis besar penelitian ini dilakukan sesuai dengan *flowchart* berikut ini,

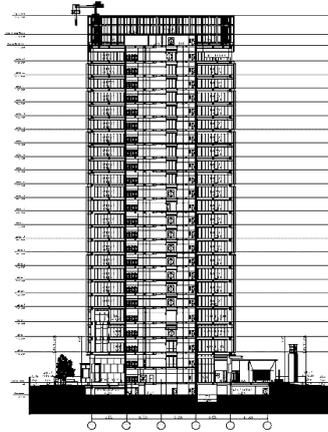


Gambar 10. Diagram alir penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer yang diambil dari kontraktor proyek terkait. Data yang digunakan di sini meliputi data gambar, rencana kerja dan syarat-syarat (RKS), dan data survei tanah dari lokasi konstruksi. Di bawah ini adalah data survey dan data struktur Gedung Pelindo Office Tower,

- Nama pekerjaan : Pelindo Office Tower
- Lokasi gedung : Jl. Perak Timur No. 487, Surabaya
- Fungsi bangunan : Perkantoran
- Jumlah lantai : 23 Lantai
- Mutu beton : 40 Mpa (*Shearwall*)

- : 40 Mpa (Kolom lt. GF-11)
- : 35 Mpa (Kolom lt. 11-23)
- : 30 Mpa (Balok & plat)
- f. Mutu baja : 390 Mpa (BJTD)
- g. Tebal plat lantai : 140 mm
- h. Kelas situs : SD (Tanak sedang)



Gambar 11. Potongan struktur gedung Pelindo Office Tower

PEMBAHASAN

Analisis Pembebanan

Desain pembebanan gedung mengacu pada peraturan SNI 1727:2020, kemudian untuk beban gempa desain diambil sesuai SNI 1726:2019. Beban mati yang bekerja pada bangunan ini terdiri dari beban struktur sendiri, beban mati tambahan, dan beban dinding sebagai partisi. Gedung Pelindo Office Tower menggunakan material beton bertulang, sehingga berat sendiri struktur berdasarkan SNI 1727:2020 Tabel C3.1-2 sebesar 23.6 kN/m^3 , beban dinding berdasarkan SNI 1727:2020 Tabel C3.1-1 sebesar 2.3 kN/m^2 , serta beban mati tambahan pada plat lantai dapat dilihat pada tabel berikut ini,

Tabel 1. Beban mati pada plat lantai

Jenis Beban	Berat (kN/m ²)
Keramik beserta spesi	1,10
Ducting mekanikal	0,19
Penggantung langit-langit	0,10
Plafond	0,05
Total	1,44

Sumber: SNI 1727:2020 Tabel C3.1-1

Tabel 2. Beban mati pada plat atap

Jenis Beban	Berat (kN/m ²)
Lapisan waterproofing	0,05
Ducting mekanikal	0,19
Penggantung langit-langit	0,10
Plafond	0,05
Total	0,39

Sumber: SNI 1727:2020 Tabel C3.1-1

Beban hidup yang bekerja pada gedung ini mengacu pada (SNI 1727:2020, 2020) Tabel 4.3-1 dengan fungsi gedung sebagai ruang kantor, maka beban hidup yang terjadi sebesar $2,4 \text{ kN/m}^2$. Sedangkan pada lantai atap, sesuai dengan SNI 1727:2020

Tabel 4.3-1 beban yang terjadi pada lantai atap adalah sebesar $0,96 \text{ kN/m}^2$.

Beban gempa yang digunakan pada analisis ini menggunakan beban respons spektrum yang didesain berdasarkan SNI 1726:2019 serta data yang diperoleh dari situs <http://puskim.pu.go.id>. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.1.2 respons gempa didesain dengan probabilitas gempa 2% dalam kurun waktu 50 tahun. Respons spektrum ini mempunyai redaman sebesar 5% (SNI 1726:2013 Ps. 6.10.2.1). Respons spektrum didesain berdasarkan parameter-parameter berikut ini,

- Lokasi : Surabaya
- Tanah dasar : Tanah sedang
- Kategori risiko : II
- Faktor keutamaan gempa (I_e) : 1
- Prcptn. batuan dasar perioda 0,2 dt (S_s) : 0,657
- Prcptn. batuan dasar perioda 1,0 dt (S_I) : 0,243
- Klasifikasi situs : SD
- Fak. koefisien situs perioda 0,2 dt (F_a) : 1,386
- Fak. koefisien situs perioda 0,1 dt (F_v) : 3,026

Parameter respons percepatan pada perioda 0,2 dt (S_{MS})
 $S_{MS} = F_a \times S_s = 1,386 \times 0,657 = 0,910 \text{ g}$

Parameter respons percepatan pada perioda 1,0 dt (S_{M1})
 $S_{M1} = F_v \times S_I = 3,026 \times 0,243 = 0,735 \text{ g}$

Parameter spektral percepatan pada perioda 0,2 dt (S_{DS})
 $S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,910 = 0,606 \text{ g}$

Parameter spektral percepatan pada perioda 1,0 dt (S_{D1})
 $S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,735 = 0,490 \text{ g}$

Periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \times \frac{0,490}{0,606} = 0,162 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,490}{0,606} = 0,809 \text{ detik}$$

Perhitungan spektrum respons percepatan (S_a)

Untuk $T < T_0$ maka, $S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$

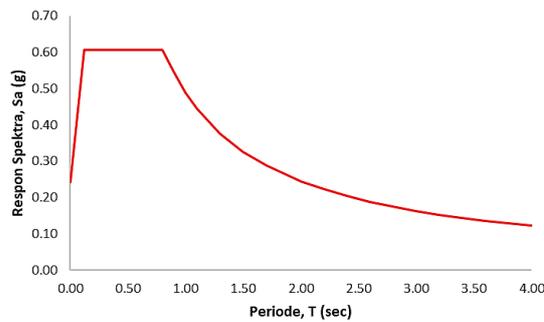
Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$ maka, $S_a = S_{DS}$

Untuk $T > T_s$ maka, $S_a = \frac{S_{D1}}{T}$

Selanjutnya dihitung dan ditabelkan sebagai berikut,

Tabel 3. Respons percepatan desain

T (sec)	S_a (g)	T (sec)	S_a (g)	T (sec)	S_a (g)
0,00	0,24	0,90	0,54	2,40	0,20
0,12	0,61	1,00	0,49	2,60	0,19
0,20	0,61	1,10	0,45	2,80	0,18
0,30	0,61	1,30	0,38	3,00	0,16
0,40	0,61	1,50	0,33	3,20	0,15
0,50	0,61	1,70	0,29	3,40	0,14
0,60	0,61	1,90	0,26	3,60	0,14
0,70	0,61	2,00	0,25	3,80	0,13
0,80	0,61	2,20	0,22	4,00	0,12



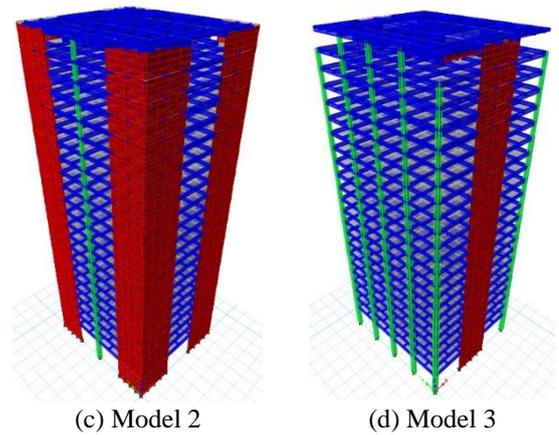
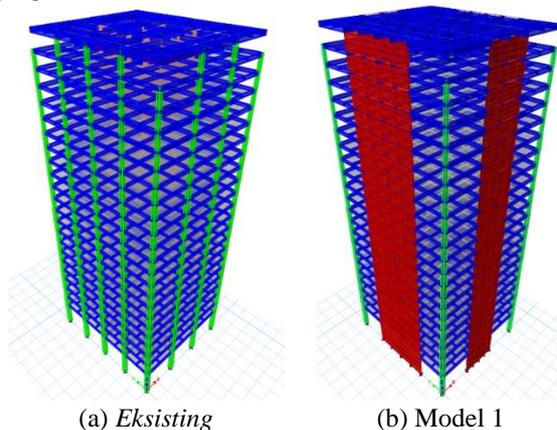
Gambar 12. Spektrum respons desain

Untuk kombinasi beban yang digunakan untuk menganalisis struktur bangunan ini mengacu pada SNI 1726:2019 Pasal 4.2.2, dengan rincian kombinasi pembebanan yang dipakai adalah sebagai berikut:

1. Comb. 1 : 1.4D
2. Comb. 2 : 1.2D + 1.6L
3. Comb. 3 : 1.2D + 1.0EQX + 0.3EQY + 0.5L
4. Comb. 4 : 1.2D + 1.0EQX - 0.3EQY + 0.5L
5. Comb. 5 : 1.2D - 1.0EQX + 0.3EQY + 0.5L
6. Comb. 6 : 1.2D - 1.0EQX - 0.3EQY + 0.5L
7. Comb. 7 : 1.2D + 1.0EQY + 0.3EQX + 0.5L
8. Comb. 8 : 1.2D + 1.0EQY - 0.3EQX + 0.5L
9. Comb. 9 : 1.2D + 1.0EQY + 0.3EQX + 0.5L
10. Comb. 10 : 1.2D + 1.0EQY - 0.3EQX + 0.5L
11. Comb. 11 : 0.9D + 1.0EQX + 0.3EQY
12. Comb. 12 : 0.9D + 1.0EQX - 0.3EQY
13. Comb. 13 : 0.9D - 1.0EQX + 0.3EQY
14. Comb. 14 : 0.9D - 1.0EQX - 0.3EQY
15. Comb. 15 : 0.9D + 1.0EQY + 0.3EQX
16. Comb. 16 : 0.9D + 1.0EQY - 0.3EQX
17. Comb. 17 : 0.9D - 1.0EQY + 0.3EQX
18. Comb. 18 : 0.9D - 1.0EQY - 0.3EQX

Pemodelan struktur gedung

Struktur bangunan dimodelkan dalam 3D menggunakan program ETABS 2016. Pemodelan struktur gedung ini mengacu pada data-data struktur gedung serta *layout* modifikasi struktur gedung lainnya. Pemodelan struktur gedung dilakukan dengan cara menggambarkan komponen *frame*, *shell*, serta komponen *wall* dari gedung yang terdiri dari balok, kolom, plat, dan *shear wall*. Berikut ini merupakan hasil pemodelan struktur gedung menggunakan program ETABS 2016,



Gambar 13. Tampak 3D gedung *eksisting* Pelindo Office Tower

Kontrol deformasi struktur gedung

A. Kontrol gaya geser dasar

Untuk memenuhi persyaratan deformasi struktur, gaya geser dasar yang dihasilkan pada suatu gedung harus memenuhi persyaratan $V_t > 100\%V$ (SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1). Disini V_t adalah gaya geser dasar yang diperoleh dari hasil analisis kombinasi ragam ($V_{dinamik}$), sedangkan V adalah gaya geser dasar yang diperoleh dari analisis statik ekuivalen (V_{statik}). Apabila V_t kurang dari 100 % dari V , maka gaya tersebut harus dikalikan dengan faktor skala V/V_t .

Hasil analisis ETABS 2016 adalah sebagai berikut untuk gaya geser dasar.,

Tabel 4. Gaya geser dasar yang terjadi

Model Text	Arah Text	V_t kN	V kN	Kontrol $V_t > V$
<i>Eksisting</i>	X	8962,74	13236,5	Not OK!
	Y	7425,34	8497,01	Not OK!
Model 1	X	5671,171	12686,1	Not OK!
	Y	9361,205	8144,91	OK!
Model 2	X	9385,02	13303,1	Not OK!
	Y	8057,51	8540,6	Not OK!
Model 3	X	6429,67	12474,5	Not OK!
	Y	2847,31	8007,32	Not OK!

Untuk memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1, gaya geser dasar nominal harus dikalikan dengan faktor skala V/V_t .

Tabel 5. Faktor skala gaya geser dasar nominal

Model Text	Arah Text	V_t kN	V kN	Skala V/V_t
<i>Eksisting</i>	X	8962,74	13236,5	1,477
	Y	7425,34	8497,01	1,145
Model 1	X	5671,171	12686,1	2,24
	Y	9361,205	8144,91	-
Model 2	X	9385,02	13303,1	1,42
	Y	8057,51	8540,6	1,06
Model 3	X	6429,67	12474,5	1,95
	Y	2847,31	8007,32	2,82

Sehingga dari hasil faktor skala tersebut model akan dianalisis ulang menggunakan ETABS 2016

menggunakan faktor skala perbesaran dan diperoleh nilai gaya geser nominal yang terjadi adalah sebagai berikut,

Tabel 6. Gaya geser dasar nominal terkoreksi

Model	Arah	V_t	V	Kontrol
Text	Text	kN	kN	$V_t > V$
Eksisting	X	13237,97	13236,5	OK!
	Y	8502,014	8497,01	OK!
Model 1	X	12703,42	12686,1	OK!
	Y	12703,7	8905,79	OK!
Model 2	X	13326,73	13303,1	OK!
	Y	8540,96	8540,6	OK!
Model 3	X	12537,86	12474,5	OK!
	Y	8029,42	8007,32	OK!

Dari hasil analisis ulang diatas maka nilai gaya geser dasar tersebut sudah memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1.

B. Kontrol partisipasi massa

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.1 analisis struktur harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Namun apabila persyaratan tersebut tidak terpenuhi maka diberikan alternatif lain dengan analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal orthogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

Dari hasil analisis ETABS 2016 maka diperoleh nilai dari partisipasi massa dari setiap model struktur gedung sebagai berikut,

Tabel 7. Partisipasi massa ragam terkombinasi

Model	Case	Mode	Sum UX	Sum UY	Kontrol
Eksisting	Modal	12	0,946	0,975	OK!
Model 1	Modal	12	0,980	0,972	OK!
Model 2	Modal	12	0,970	0,983	OK!
Model 3	Modal	12	0,914	0,989	OK!

Dari tabel 8 diatas maka didapatkan hasil bahwa dalam penjumlahan respons total pada mode ke 12 telah mencapai minimum 90% pada arah X dan arah Y. Sehingga ketentuan menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.1 telah terpenuhi dan dapat dilanjutkan pada analisis berikutnya.

C. Kontrol simpangan antar lantai

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1 simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a). Simpangan antar tingkat desain dihitung berdasarkan Pasal 7.8.6 dimana $\Delta = \frac{(\delta_{xe} - \delta_{xe-1}) \cdot C_d}{I_e}$ dan $\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e}$. Sedangkan simpangan antar tingkat izin dihitung berdasarkan Tabel 20 SNI 1726:2019 dimana $\Delta_a = 0,020 \cdot h_{sx}$.

- $\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} = \frac{5,5 \times \delta_{xe}}{1} = 5,5 \delta_{xe}$
- $\Delta_a = 0,020 \cdot h_{sx} = 0,020 \times 4450 = 89 \text{ mm}$

Dari hasil analisis struktur ETABS 2016, maka didapat nilai simpangan antar tingkat maksimum sebagai berikut,

Tabel 8. Simpangan antar lantai maksimum arah X

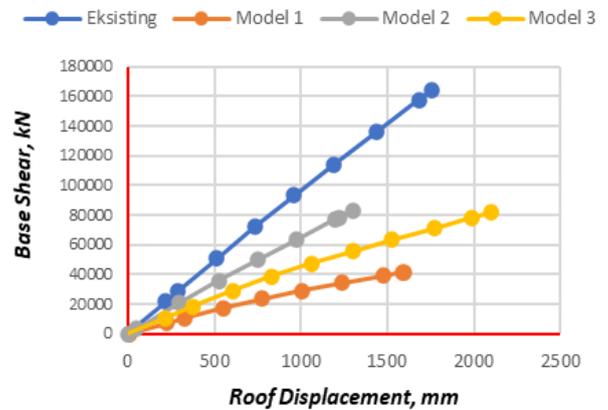
Model	δ_{xe}	δ_x	Δ	Δ_a	Kontrol
Text	mm	mm	mm	mm	$\Delta \leq \Delta_a$
Eksisting	274,9	1511	73,2	89,0	OK!
Model 1	206,3	1134	60,9	89,0	OK!
Model 2	271,3	1492	79,5	89,0	OK!
Model 3	123,8	680,9	35,5	89,0	OK!

Tabel 9. Simpangan antar lantai maksimum arah Y

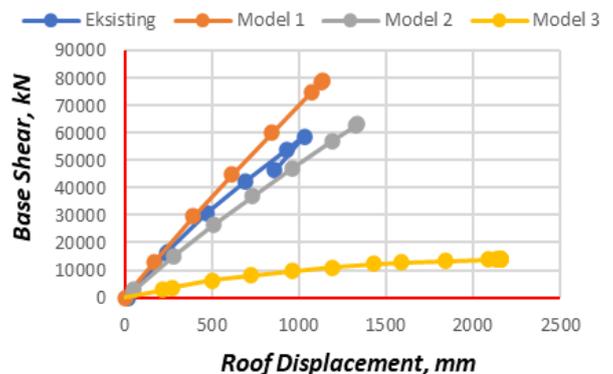
Model	δ_{ye}	δ_y	Δ	Δ_a	Kontrol
Text	mm	mm	mm	mm	$\Delta \leq \Delta_a$
Eksisting	186,9	1027	37,9	89,0	OK!
Model 1	72,18	396,9	22,7	89,0	OK!
Model 2	226,1	1243	64,9	89,0	OK!
Model 3	671,3	3692	44,3	89,0	OK!

Analisis Pushover

Setelah struktur bangunan diperiksa untuk parameter di atas, analisis pushover dilakukan. Hasil dari analisa pushover berupa kurva kapasitas yang merangkum distribusi sendi plastis yang terjadi. Berikut ini merupakan kurva kapasitas bangunan yang ditinjau pada masing-masing arah,



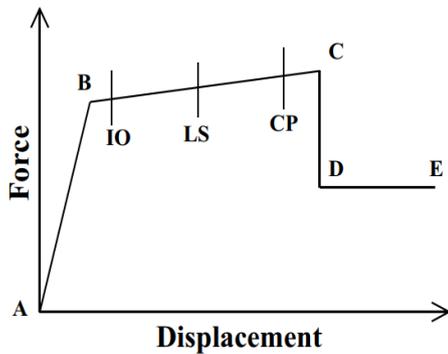
Gambar 14. Kurva kapasitas arah X



Gambar 15. Kurva kapasitas arah Y

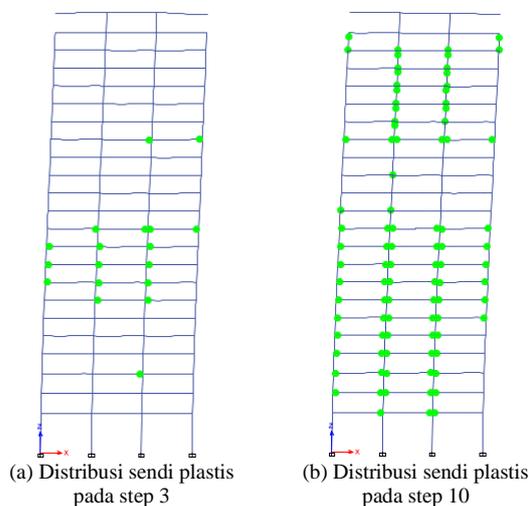
Skema Pembentukan Sendi Plastis

Dari analisis *pushover* yang telah dilakukan, struktur bangunan menunjukkan terbentuknya sendi plastis pada setiap peningkatan pembebanan yang terjadi. Sendi plastis merupakan bentuk ketidakmampuan struktur dalam menahan gaya dalam. Sendi plastis terbentuk akibat elemen struktur mengalami leleh pada tingkat tertentu. Secara umum kurva hubungan antara gaya dan perpindahan beserta tingkat sendi plastis sudah *built-in* pada program ETABS 2016 seperti pada gambar berikut,



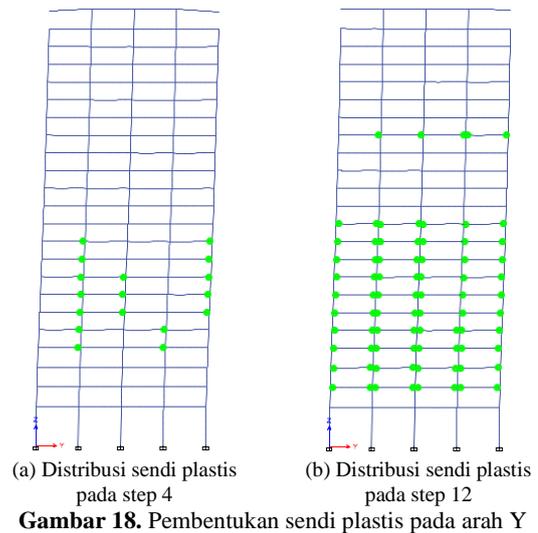
Gambar 16. Kurva hubungan gaya dan perpindahan serta karakteristik sendi plastis (ETABS 2016)

Analisis *pushover* pada arah X menghasilkan 10 *step/* langkah. Sendi plastis mulai terbentuk pada step 3 dan maksimum pada step 10. Sendi plastis pada step 3-9 terjadi pada titik kinerja B, dan pada step 10 pada level kinerja IO. Pembentukan sendi plastis pada arah X ditampilkan pada gambar berikut,



Gambar 17. Pembentukan sendi plastis pada arah X

Analisis *pushover* pada arah Y menghasilkan 12 *step/* langkah. Sendi plastis mulai terbentuk pada step 4 dan maksimum pada step 12. Sendi plastis pada step 4-12 terjadi pada titik kinerja B. Pembentukan sendi plastis pada arah Y ditampilkan pada gambar berikut,



Gambar 18. Pembentukan sendi plastis pada arah Y

Target Perpindahan FEMA 440

Kurva *pushover* kemudian diidealkan sebagai kurva bilinear untuk mendapatkan waktu getar alami yang valid berdasarkan metode FEMA 440. Kemudian target perpindahan (δ_T) dihitung berdasarkan metode *Coefficient Method* FEMA 440 yang secara langsung *built-in* pada program ETABS 2016.

Asumsi yang dipakai adalah gaya geser dasar gedung bertipe triangular load pattern dan direncanakan sesuai kriteria tingkat kinerja struktur *life safety*. Hasil evaluasi kinerja FEMA 440 dengan metode *displacement coefficient* pada masing-masing arah ditampilkan dalam tabel berikut,

Tabel 10. Target perpindahan FEMA 440 arah X

Keterangan	Tipe Gedung			
	Eksisting	Model 1	Model 2	Model 3
T_e	3.114	5.959	3.933	4.403
T_s	2.953	5.412	3.507	4.178
C_0	1.3	1.3	1.3	1.3
C_1	1	1	1	1
C_2	1	1	1	1
C_3	1	1	1	1
S_a	0.166	0.089	0.145	0.114
g	9.8	9.8	9.8	9.8
δ_T	0.519	1.019	0.724	0.713

Tabel 11. Target perpindahan FEMA 440 arah Y

Keterangan	Tipe Gedung			
	Eksisting	Model 1	Model 2	Model 3
T_e	3.943	4.055	4.670	11.787
T_s	3.340	3.325	4.107	11.031
C_0	1.3	1.3	1.3	1.3
C_1	1	1	1	1
C_2	1	1	1	1
C_3	1	1	1	1
S_a	0.154	0.168	0.124	0.0281
g	9.8	9.8	9.8	9.8
δ_T	0.773	0.891	0.873	1.260

Tingkat Kinerja Struktur

Dari hasil target perpindahan pada tabel sebelumnya, tingkat kinerja struktur dapat diketahui

dengan menghitung *drift ratio* yang terjadi. Secara umum *drift ratio* dihitung dengan rumus berikut,

$$Drift\ ratio = \frac{\delta_T}{T_{total}} \times 100(\%)$$

Tabel 12. Level kinerja struktur berdasarkan FEMA 440 arah X

Parameter	Eksisting	Tipe Gedung		
		Model 1	Model 2	Model 3
δ_r	0.519	1.019	0.724	0.713
Tinggi total	110.5	110.5	110.5	110.5
Drift ratio (%)	0.47	0.922	0.655	0.645
Level Kinerja	IO	LS	LS	LS

Tabel 13. Level kinerja struktur berdasarkan FEMA 440 arah Y

Parameter	Eksisting	Tipe Gedung		
		Model 1	Model 2	Model 3
δ_r	0.773	0.891	0.873	1.260
Tinggi total	110.5	110.5	110.5	110.5
Drift ratio (%)	0.699	0.806	0.790	1.140
Level Kinerja	LS	LS	LS	LS

Berdasarkan nilai drift ratio diatas, maka tingkat kinerja struktur masing-masing model bangunan dapat diketahui dengan melihat Gambar 8 dan Gambar 9 pada sub pembahasan sebelumnya. Berdasarkan nilai tersebut dapat diketahui pula bahwa kinerja struktur paling tinggi dicapai pada level *Immediate Occupancy* dan paling rendah pada level *Life Safety*.

Momen Inersia Bangunan

Momen inersia didefinisikan sebagai kecenderungan suatu sistem beda untuk terus berputar atau diam sebagai reaksi terhadap gaya torsi yang terjadi. Dalam suatu sistem bangunan momen inersia terjadi akibat suatu bangunan mempertahankan posisinya akibat gaya gempa yang terjadi dari luar. Semakin sukar bangunan tersebut bergerak akibat gaya gempa maka dapat dikatakan bangunan tersebut memiliki momen inersia yang besar pula.

Momen inersia dalam suatu bangunan dapat dihitung berdasarkan titik pusat massa pada bangunan tersebut. Perbedaan *layout* serta tata letak penempatan suatu struktur bangunan dapat mempengaruhi pula nilai inersia bangunan tersebut. Momen inersia adalah luasan kuadrat dikalikan dengan jarak, sehingga satuan SI nya adalah mm^4 atau m^4 . Karena *layout* bangunan yang ditinjau berbentuk persegi panjang, maka momen inersia bangunan tersebut dapat dihitung berdasarkan rumus berikut,

$$I'_x = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 + c^2 \cdot b \cdot h \quad \text{dan} \quad I'_y = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 + d^2 \cdot b \cdot h$$

Tabel 14. Inersia bangunan

Parameter	Eksisting	Tipe Gedung		
		Model 1	Model 2	Model 3
b (m)	37,6	37,6	37,6	37,6
h (m)	42,6	42,6	42,6	42,6
c (m)	18,78	18,70	18,72	18,73
d (m)	21,72	21,30	21,36	21,29
I'_x (m^4)	807156,3	802353,6	803552,4	804152,2
I'_y (m^4)	944352,4	915411,2	919511,1	914728,9

Dari tabel diatas maka dapat diketahui bahwa inersia bangunan yang terbesar terjadi pada bangunan model *eksisting*, dimana inersia pada arah X sebesar $907156,3 \text{ m}^4$ dan pada arah Y sebesar $944352,4 \text{ m}^4$.

Kekakuan Efektif Bangunan

Kekakuan efektif adalah nilai perpotongan dari kurva kapasitas pushover yang dihitung pada gaya geser dasar sama dengan 60% dari kuat leleh nya ($0,6 \cdot P_u$). Kekakuan efektif merupakan salah satu parameter yang dapat digunakan untuk mengamati kekuatan suatu struktur bangunan dalam mengakomodasi gaya lateral yang terjadi. Secara umum nilai kekakuan efektif dapat dihitung berdasarkan rumus berikut,

$$K_e = \frac{0,6 \times P_u}{\delta_e}$$

Tabel 15. Kekakuan efektif bangunan arah X

Model Gedung	P_u (kN)	$0,6 \cdot P_u$ (kN)	δ_e (m)	K_e (kN/m)
<i>Eksisting</i>	164107	98464.4	990	99.5
Model 1	41592.2	24955.4	820	30.4
Model 2	81625.1	48975.1	1100	44.5
Model 3	83210.8	49926.5	750	66.6

Tabel 16. Kekakuan efektif bangunan arah Y

Model Gedung	P_u (kN)	$0,6 \cdot P_u$ (kN)	δ_e (m)	K_e (kN/m)
<i>Eksisting</i>	78821.8	47293.1	670	70.6
Model 1	62554.9	37532.9	740	50.7
Model 2	58635.2	35181.2	550	63.9
Model 3	13865.7	8319.45	750	11.1

Berdasarkan parameter gaya geser ultimate serta nilai perpindahan pada setiap model bangunan, maka dapat dilihat bahwa nilai kekakuan efektif terbesar pada arah X terjadi pada bangunan model *eksisting* sedangkan pada arah Y terjadi pada bangunan model 1. Dimana nilai kekakuan efektif berturut-turut pada arah X sebesar $99,5 \text{ kN/m}$ dan pada arah Y sebesar $70,6 \text{ kN/m}$.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis keseluruhan model bangunan terhadap kinerja struktur dengan bantuan *software* ETABS 2016, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan lokasi bangunan yang sama dan gaya gempa yang sama pula, namun dengan penempatan *layout* dinding geser yang berbeda maka dapat mempengaruhi kinerja struktur yang terjadi.
2. Pada semua model *layout* dinding geser pada bangunan masih bisa memenuhi syarat deformasi struktur dari SNI 1726:2019.
3. Dari semua bentuk *layout* dinding geser, penempatan dinding geser dengan kinerja struktur paling baik terjadi pada bangunan *eksisting* dengan *drift ratio* pada sumbu X sebesar 0,47% dan level kinerjanya adalah *Immediate Occupancy*, kemudian pada sumbu Y terjadi *drift ratio* sebesar 0,699% dengan level kinerja *Life Safety*.
4. Kinerja struktur gedung paling baik pada kedua arah terjadi pada bangunan model *eksisting* dikarenakan konfigurasi *shear wall* pada bangunan *eksisting* tersebut memiliki nilai inersia bangunan serta kekakuan efektif yang baik pada masing-masing arah, sehingga berpengaruh terhadap nilai target perpindahan dan tingkat kinerja struktur bangunan model *eksisting*.
5. Kinerja struktur *Immediate Occupancy* menandakan bangunan aman saat terjadi gempa, risiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti, dan dapat segera difungsikan kembali.
6. Kinerja struktur *Life Safety* menandakan bangunan saat terjadi gempa mengalami kerusakan tetapi tidak sampai mengalami keruntuhan yang menyebabkan korban jiwa manusia.

Secara umum setelah terjadi gempa maka bangunan dapat difungsikan kembali setelah dilakukan perbaikan komponen struktural maupun non-struktural.

SARAN

Dalam penyusunan penelitian ini penulis menyadari akan terdapatnya kekurangan-kekurangan dalam hal pembahasan. Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut mengenai evaluasi kinerja pada struktur bangunan Pelindo Office Tower ini dapat dihasilkan rekomendasi dan saran sebagai berikut,

1. Perlu dilakukan studi yang lebih mendalam terhadap aspek lain seperti aspek ekonomi, estetika, dan efisiensi sehingga diharapkan perancangan dapat dilaksanakan mendekati dengan kondisi sesungguhnya di lapangan dan hasil yang diperoleh sesuai dengan tujuan.
2. Dalam analisis ini ada banyak faktor yang tidak dipertimbangkan seperti perencanaan pondasi,

pengaruh dinding geser terhadap kekakuan bangunan, dan lain-lain sehingga perlu studi lebih lanjut yang mengikutsertakan faktor-faktor tersebut.

3. Dalam analisis ini hanya digunakan metode analisis statik *nonlinear* saja, sehingga perlu dilakukan studi lebih lanjut dengan analisis lain seperti metode analisis dinamik *time history* sebagai pembanding dari analisis ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 374.2R-13. (2013). *Guide for Testing Reinforced Concrete Structural Elements under Slowly Applied Simulated Seismic Loads*. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- Aribisma, F. (2015). *Evaluasi Gedung MNC Tower Menggunakan SNI 03-1726-2012 Dengan Metode Pushover Analysis*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- ASCE 41-13. (2013). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. Virginia: American Society of Civil Engineers.
- ATC 40. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. California: APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL.
- Badan Pusat Statistik. (2022). *STATISTICAL YEAR BOOK OF INDONESIA 2022*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Dave Fernando Indotjoa, d. (2018). EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG DUAL SYSTEM BERBASIS KINERJA. *JMTS (Jurnal Mitra Teknik Sipil)* (pp. 91-100). Jakarta: Universitas Tarumanegara.
- FEMA 356. (2000). *PRESTANDARD AND COMMENTARY FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS*. Virginia: AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS.
- FEMA 440. (2005). *IMPROVEMENT OF NONLINEAR STATIC SEISMIC ANALYSIS PROCEDURES*. California: Applied Technology Council.
- Mangoda, N. Z. (2018). *Evaluasi Kinerja Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan Analisa Pushover*. Ternate: Universitas Khairun.
- Masbudi. (2015). EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG DENGAN ANALISIS PUSHOVER (STUDI KASUS: GEDUNG BEDAH SENTRAL TERPADU RUMAH SAKIT BETHESDA YOGYAKARTA). *Matriks Teknik Sipil* (pp. 1056-1064). Surakarta: Universitas Negeri Sebelas Maret.
- Oktopianto, Y. (2013). EVALUASI KINERJA STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN PUSHOVER ANALYSIS. *PESAT (Psikologi, Ekonomi, Sastra, Arsitektur &*

- Teknik Sipil*) (pp. 64-72). Bandung: Universitas Gunadarma.
- Pranata, Y. A. (2006). EVALUASI KINERJA GEDUNG BETON BERTULANG TAHAN GEMPA dengan PUSHOVER ANALYSIS dengan PUSHOVER ANALYSIS. *Jurnal Teknik Sipil* (pp. 41-52). Jakarta: Universitas Pelita Harapan.
- Prasetyo, H. (2020). EVALUASI KINERJA STRUKTUR BANGUNAN MENGGUNAKAN PUSHOVER EVALUASI KINERJA STRUKTUR BANGUNAN MENGGUNAKAN PUSHOVER (Studi Kasus: Gedung RSGM UGM Prof. Soedomo). *Jurnal Pendidikan Teknik Sipil (JPenSil)* (pp. 40-46). Jakarta: Universitas Negeri Jakarta.
- Rendra, R. (2015). *KINERJA STRUKTUR AKIBAT BEBAN GEMPA DENGAN METODE RESPON SPEKTRUM DAN TIME HISTORY*. Pekanbaru: Universitas Riau.
- SNI 1726:2019 . (2019). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1727:2020. (2020). *Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Tavio. (2018). *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja*. Surabaya: Andi.
- Trimarentra, K. (2015). *Evaluasi Gedung Apartemen Casablanca East Residence Sesuai SNI 03-1726-2012 Dengan Metode Pushover Analysis*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wijaya, H. (2020). Studi Perbandingan Letak Shear Wall terhadap Perilaku Struktur dengan menggunakan SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VIII 2020* (pp. 467-474). Surabaya: Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- S_a : Akselerasi respons spektrum yang berhubungan dengan waktu getar alami efektif pada arah yang ditinjau.
- δ_T : Target perpindahan.
- T_e : Waktu getar alami efektif.
- g : Percepatan gravitasi.
- T_{Total} : Tinggi total struktur bangunan
- V_t : Gaya geser dasar akibat beban gempa dinamik.
- V : Gaya geser dasar akibat beban gempa statik.
- Δ : Simpangan antar tingkat desain.
- Δ_a : Simpangan antar tingkat izin.
- T_c : Periode fundamental struktur keluaran software ETABS
- T_a : Periode fundamental struktur pendekatan.
- C_u : Koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung.
- δ_x : Defleksi pusat massa di tingkat x .
- δ_{xe} : Defleksi pusat massa pada lokasi yang ditinjau.
- I_e : Faktor keutamaan gempa.
- h_{sx} : Tinggi tingkat antar lantai.
- IO : *Immediate Occupancy*.
- LS : *Life Safety*.
- CP : *Collapse Prevention*.
- I_x' : Momen inersia gadung pada arah X
- I_y' : Momen inersia gadung pada arah Y
- c : Jarak titik pusat massa gedung terhadap sumbu X
- d : Jarak titik pusat massa gedung terhadap sumbu Y
- K_e : Kekakuan efektif bangunan

NOTASI

- C_0 : Faktor modifikasi untuk perpindahan spektral menjadi perpindahan atap (FEMA 356 Tabel 3-2).
- C_1 : Faktor modifikasi untuk menghubungkan perpindahan inelastik maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respons elastik linear.
- C_2 : Faktor modifikasi yang mewakili efek dari bentuk histeresis pada perpindahan maksimum (FEMA 356 Tabel 3-3).
- C_3 : Koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat efek P -Delta.