

Analisis Diafragma, Kord, dan Kolektor pada *Mixed Use Building*

Suci Putri Elza¹, Erlangga Rizqi Fitriansyah²

¹Prodi Teknik Sipil – Fakultas Teknik - Universitas Mercu Buana, Jakarta
email : suci.putri@mercubuana.ac.id

²Prodi Teknik Sipil – Fakultas Teknik - Universitas Mercu Buana, Jakarta
email : erlangga.rf@gmail.com

Received: 24-08-2023 Revised: 02-11-2023 Accepted: 11-03-2024

Abstract

In recent years, the population in Indonesia has been increasing, resulting in a growing demand for housing, shopping centers, office spaces, and so on. To accommodate these needs, buildings in city centers have adopted the concept of mixed-use buildings, which are characterized by the integration of residential, commercial, and recreational facilities within a single structure. Typically, these mixed-use buildings fall into the category of high-rise buildings, where each floor serves various functions. The seismic lateral load has received significant attention from structural designers of tall buildings. Diaphragms, chords, and collectors are structural components that have recently gained attention as they play a crucial role in stabilizing and transferring lateral seismic forces between the floor system and the vertical elements that resist seismic pressure. This research aimed to compare the design forces of diaphragms between floors and the reinforcement details of diaphragm components. It also aimed to compare the design forces of collectors between floors and the reinforcement details of collectors. Furthermore, it investigated the impact of diaphragm inspection on structural elements such as beams, slabs, columns, and shear walls in mixed-use buildings. The research findings revealed that different functions of buildings result in varying structural element details. This led to differences in the design forces of diaphragms, chords, and collectors, thereby affecting the need for additional reinforcement for each building function.

Keyword: Mixed use building; Diaphragm; Chord; Collector

Abstrak

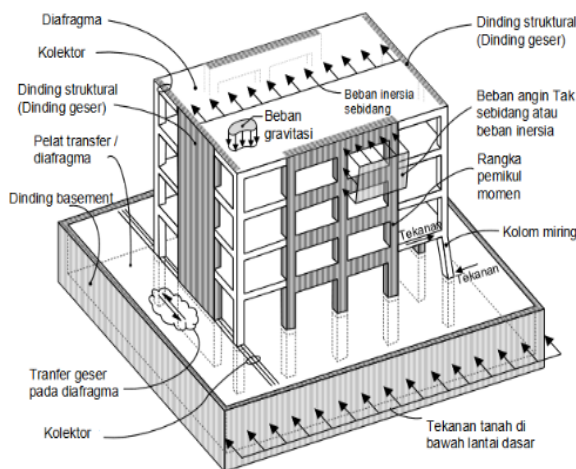
Pada beberapa tahun terakhir, jumlah penduduk di Indonesia mengalami peningkatan. Hal tersebut berdampak terhadap meningkatnya kebutuhan terhadap tempat tinggal, pusat perbelanjaan, perkantoran, dan sebagainya. Agar dapat mengakomodasi kebutuhan-kebutuhan tersebut, bangunan-bangunan di pusat kota sudah menerapkan konsep *mixed use building* yang memiliki ciri khas berupa adanya fasilitas hunian, komersial, dan rekreasi pada satu bangunan. Pada umumnya bangunan dengan konsep *mixed use building* ini termasuk ke dalam kategori *high rise building* dimana setiap lantainya memiliki fungsi yang bermacam-macam. Beban lateral gempa memiliki perhatian oleh para perencana struktur terhadap bangunan-bangunan tinggi. Diafragma, kord, dan kolektor, berfungsi untuk menstabilkan dan meneruskan gaya gempa lateral antara sistem lantai dan sistem elemen vertikal penahan tekanan gempa, merupakan beberapa komponen struktur yang akhir-akhir ini menarik perhatian. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan gaya desain diafragma antar lantai dan detail penulangan pada komponen diafragma, perbandingan gaya desain kolektor antar lantai dan detail penulangan pada kolektor, serta pengaruh pemeriksaan diafragma terhadap elemen struktur balok, pelat, kolom, dan *shear wall* pada bangunan *mix use building*. Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa fungsi bangunan yang berbeda-beda menghasilkan detail elemen-elemen struktur yang berbeda-beda. Hal tersebut mengakibatkan perbedaan gaya desain diafragma, kord, dan kolektor, sehingga berpengaruh terhadap kebutuhan tulangan ekstra dari setiap fungsi bangunan.

Kata kunci: *Mixed use building*; Diafragma; Kord; Kolektor;

PENDAHULUAN

Sebagai salah satu negara dengan jumlah penduduk terbanyak di dunia, belakangan ini jumlah penduduk Indonesia terus bertambah. Menurut laporan Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah penduduk meningkat 1,13% pada tahun 2021 sampai dengan tahun 2022. Jumlah penduduk Indonesia 272,68 juta pada pertengahan tahun 2021 dan meningkat menjadi 275,77 juta pada pertengahan tahun 2022. Hal tersebut berdampak terhadap meningkatnya kebutuhan terhadap tempat tinggal, pusat perbelanjaan, perkantoran, dan sebagainya. Agar dapat memenuhi kebutuhan-kebutuhan tersebut, bangunan-bangunan di pusat kota sudah menerapkan konsep *mixed use building* yang memiliki ciri khas berupa adanya fasilitas hunian, komersial, dan rekreasi pada satu bangunan. Pada umumnya bangunan dengan konsep *mixed use building* ini termasuk ke dalam kategori *high rise building* yang setiap lantainya memiliki fungsi beragam.

Beban lateral gempa menjadi perhatian lebih oleh para perencana struktur terhadap bangunan-bangunan tinggi, hal tersebut dapat dilihat bahwa dalam 20 tahun terakhir sudah dilakukan beberapa kali perubahan terhadap peraturan gempa SNI 03-1726-2002 menjadi SNI 1726:2019. Diafragma, kord, dan kolektor, yang berfungsi untuk menstabilkan dan meneruskan gaya gempa lateral antara sistem lantai dan sistem elemen vertikal penahan tekanan gempa, merupakan beberapa komponen struktur yang akhir-akhir ini menarik perhatian. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis elemen-elemen struktur tersebut terhadap bangunan dengan konsep *mixed use building*.



Gambar 1. Modelisasi Elemen Struktur Diafragma.

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui perbandingan gaya desain diafragma antar lantai dan detail penulangan pada komponen diafragma.
2. Mengetahui perbandingan gaya desain kolektor antar lantai dan detail penulangan pada kolektor.
3. Mengetahui pengaruh pemeriksaan diafragma terhadap elemen struktur balok, pelat, kolom, dan dinding geser.

Menurut Prijasamda (2018) Dengan adanya gaya desain diafragma, menghasilkan tulangan ekstra pada diafragma ke shearwall sebagai tulangan geser friksi, tulangan elemen kolektor ke shearwall dan tulangan kord ke balok. Besarnya jumlah tulangan ekstra yang diperlukan tergantung dari tingkat irregulat bangunan tersebut.

Sedangkan menurut Egan (2018) Elemen kord pada daerah tarik diperlukan tulangan tambahan sedangkan daerah tekan tidak memerlukan tulangan dan dibeberapa elemen kolektor balok lainnya memerlukan tulangan lentur. Sedangkan untuk desain terhadap geser diafragma tidak memerlukan tulangan geser.

SNI 1726:2019 pasal 3.12 menjabarkan bahwa diafragma merupakan sistem atap, lantai, membran, atau bresing yang berfungsi untuk menyalurkan gaya-gaya lateral ke elemen vertikal pemikul beban lateral. Seperti pada Gambar 1, suatu diafragma gaya yang terjadi disebabkan oleh penyaluran gaya gempa dari elemen-elemen vertikal pemikul gaya gempa yang berada di atas diafragma ke elemen-elemen vertikal pemikul gaya gempa di bawahnya, karena adanya pergeseran dalam penempatan elemen-elemen vertikal tersebut atau adanya perubahan kekakuan lateral relatif pada elemen-elemen vertikal tersebut.

Desain diafragma diperuntukkan untuk menahan tegangan geser dan lentur yang dihasilkan dari gaya desain. Ketidak-sinambungan pada bukaan dan sudut dalam desain harus menjamin bahwa disipasi atau transfer gaya tepi (kord) terkombinasi dengan gaya lainnya dalam diafragma tidak boleh melebihi kapasitas geser dan tarik diafragma.

Berdasarkan Gambar 1. dapat dilihat bahwa peran diafragma, antara lain:

1. Menahan gaya sebidang (*in-plane forces*) baik akibat beban angin, beban gempa (inersia), dan beban lateral tanah (untuk *basement*).
2. Menahan gaya transfer akibat perbedaan properti kekakuan elemen vertikal sepanjang

tinggi struktur. Seperti peralihan podium ke tower mengakibatkan gaya transfer yang besar melalui diafragma podium.

3. Menahan gaya keluar bidang (*out of plane*) akibat gempa dan angin (ditahan oleh sambungan antara diafragma dan dinding).
4. Menahan gaya gravitasi.
5. Menahan gaya dorong akibat kolom miring yang diakibatkan oleh konfigurasi arsitektural (diafragma harus mampu menahan gaya horizontal tarik atau tekan yang muncul).
6. Diafragma menerima gaya transfer dari elemen vertikal yang berbeda sesuai dengan kompatibilitas perpindahan (*displacement compatibility*).

SNI 1726:2019 pasal 7.10.1.1, menjabarkan gaya desain diafragma diambil dari nilai terbesar antara:

1. Gaya desain seismik dari analisis struktural (F_i) menggunakan metode kuadrat lengkap (CQC)
2. Gaya desain diafragma F_{px}

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n w_i} W_{px} \quad (1)$$

Keterangan:

F_{px} = gaya pada desain diafragma di tingkat-x;

F_i = gaya pada desain yang diterapkan di tingkat-i;

w_i = tributari berat sampai tingkat-i;

w_{px} = tributari berat sampai diafragma di tingkat-x.

Gaya desain diafragma F_{px} , menggambarkan percepatan dari suatu diafragma dalam bangunan. Gaya tersebut pada umumnya lebih besar dari gaya lantai akibat statik ekuivalen (F_x) pada seluruh lantai di bawah atap.

Gaya yang ditetapkan pada persamaan 1 tidak kurang dari persamaan batas bawah (*lower bound*) berikut:

$$F_{px,min} = 0,2 SDS I_e W_{px} \quad (2)$$

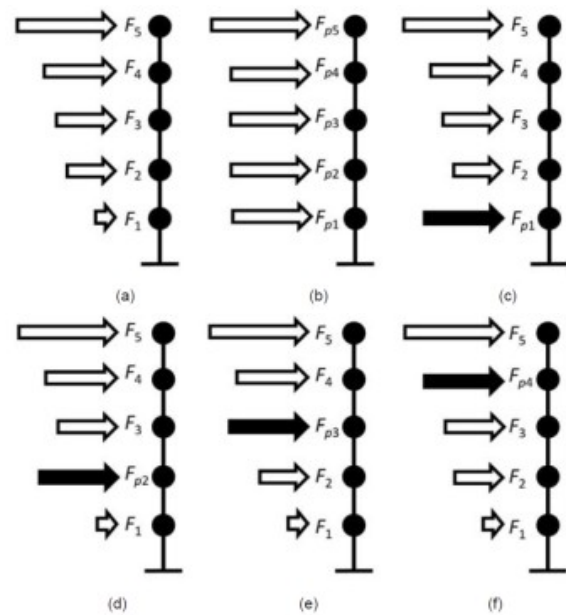
Dan tidak melebihi dari persamaan batas atas (*upper bound*) berikut:

$$F_{px,max} = 0,4 SDS I_e W_{px} \quad (3)$$

Batas bawah berguna untuk mengantisipasi potensi “*underestimation*” terhadap gaya diafragma pada bangunan akibat “*higher-mode effect*”. Ini penting khususnya untuk sistem dengan faktor modifikasi respon R , yang besar, karena reduksi dari respon lebih efektif pada mode

pertama ketimbang mode lainnya. Persamaan batas atas mengatur untuk sistem dengan R yang kecil. Penggunaan F_{px} pada seluruh diafragma dalam satu analisis akan memberikan gaya geser dan momen guling pada dinding dan rangka yang “*overestimate*”, karena gaya F_{px} tidak dianggap bekerja bersamaan.

Pembebanan diafragma menggunakan suatu pendekatan dalam melakukan analisis terhadap kombinasi gaya transfer dan gaya inersia yaitu dengan melakukan analisis bangunan terpisah untuk setiap diafragma, dengan menyubstitusi gaya tingkat F_x dengan gaya diafragma F_{px} pada lantai yang ditinjau. Gaya desain diafragma ini diaplikasikan per lantai (*one floor at a time*), dan lantai lainnya diaplikasikan gaya CQC. F_{px} tidak perlu dikenai lagi gaya gempa CQC dan kombinasi pembebanan awal menggunakan faktor redundansi (ρ) yang sesuai dengan faktor redundansi struktur.



Gambar 2. Pembebanan Diafragma

Sebagaimana pada Gambar 2. Dapat dijabarkan sebagai berikut:

- (a) Gaya gempa desain CQC
- (b) Gaya gempa F_{px} yang dihitung
- (c) Aplikasi gaya desain diafragma di lantai 1 (*one floor at a time*)
- (d) Aplikasi gaya desain diafragma di lantai 2 (*one floor at a time*)
- (e) Aplikasi gaya desain diafragma di lantai 3 (*one floor at a time*)
- (f) Aplikasi gaya desain diafragma di lantai 4 (*one floor at a time*)

Kord merupakan bagian dari diafragma yang terletak di ujung-ujung (tegak lurus arah beban lateral yang berfungsi seperti batas pada dinding geser. Kord ini merupakan balok atau pelat lantai yang posisinya berada pada tepi bangunan sebagai penahan gaya tarik dan tekan akibat adanya gaya gempa pada diafragma seperti yang terlihat pada Gambar 3.

Penulangan kord tarik akibat momen harus diletakkan selebar $\frac{1}{4} h$ dari tepi tarik diafragma. Ketika kedalaman diafragma berubah sepanjang bentangnya, diperbolehkan menempatkan panjang penyaluran ke segmen diafragma di dekatnya yang tidak masuk ke dalam batas $\frac{1}{4} h$ segmen tersebut.

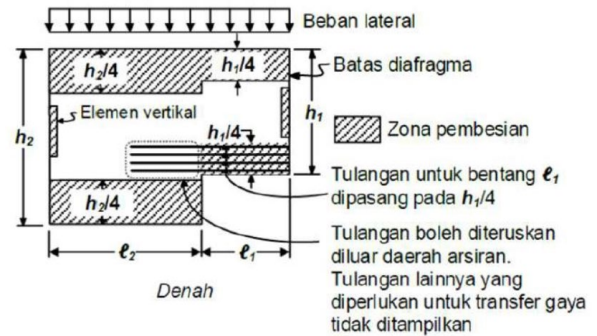


Gambar 3. Lokasi kord pada diafragma

Ketika tulangan kord diposisikan pada tepi diafragma, persamaan untuk menghitung area tulangan tarik kord ($\phi=0.9$) yaitu:

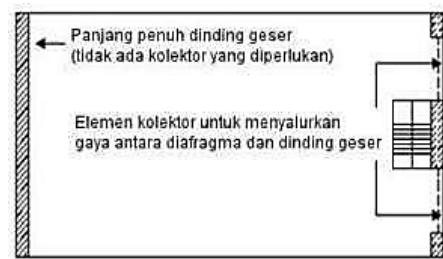
$$A_s = \frac{T_u}{\phi f_y} \quad (4)$$

Berdasarkan Gambar 4. Penulangan kord biasanya diletakkan pada tengah tebal pelat atau balok, untuk mengurangi kontribusi kuat lentur pelat dan balok. Berdasarkan NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 3, Ketika kord diposisikan selebar balok, kord dan balok ditujukan untuk menahan efek orthogonal, sehingga tulangan yang sama dapat menahan momen akibat beban di satu arah dan gaya tarik kord pada arah tegak lurus. Pada umumnya, apabila balok merupakan bagian dari rangka penahan momen khusus, kebutuhan tulangan longitudinal akan cukup untuk kebutuhan kord.



Gambar 4. Area penulangan kord pada diafragma

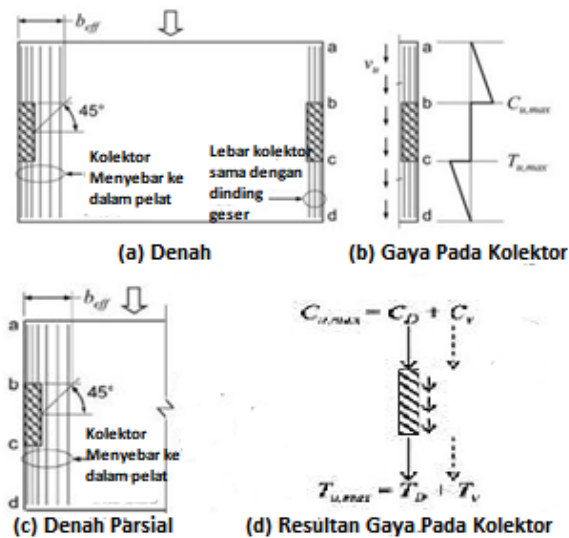
Suatu elemen struktur yang berfungsi mentransfer gaya dari diafragma ke elemen vertikal ataupun dari elemen vertikal ke diafragma, serta gaya lateral dari satu bagian penahan lateral ke elemen penahan lateral lainnya dinamakan kolektor seperti yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Elemen Kolektor Pada Diafragma

Elemen-elemen yang dapat dikategorikan sebagai kolektor seperti yang terlihat pada Gambar 6 dijabarkan menjadi:

1. Elemen tarik dan tekan yang menerima gaya geser dari diafragma dan mentransfer gaya tersebut ke elemen vertikal.
2. Pada area transisi podium dapat dijumpai elemen kolektor yang mentransfer gaya dari elemen vertikal ke diafragma
3. Balok dan pelat. Kolektor yang berfungsi sebagai area pelat yang luas sering disebut *distributed collectors*.
4. Elemen kolektor dapat disandingkan dengan lebar yang sama dengan dinding, namun pada beberapa kondisi akibat keterbatasan ketebalan atau gaya transfer yang besar, kolektor harus disebar sepanjang beff.
5. Lebar sebaran tulangan kolektor (b_{eff}) tidak diatur dalam peraturan namun dapat diambil tidak perlu diambil lebih lebar dari lebar dinding ditambah setengah panjang kontak diafragma dan dinding seperti pada Gambar 5.
6. Transfer gaya dengan mekanisme geser friksi harus ditinjau pada kasus ini.



Gambar 6. Area Penulangan Kolektor Dan Pembebanan Pada Diafragma

Pada SNI 1726:2019 pasal 7.10.2.1 menjelaskan bahwa gaya desain elemen kolektor ditentukan sebagai berikut:

1. Gaya-gaya yang dihasilkan dari aplikasi F_x pada struktur dalam kombinasi pembebanan yang menggunakan faktor kuat lebih Ω_0 .
2. Gaya-gaya yang dihasilkan dari aplikasi F_{px} pada struktur dalam kombinasi pembebanan yang menggunakan faktor kuat lebih Ω_0 .
3. Gaya-gaya yang dihasilkan dari aplikasi $F_{px,min}$ pada struktur dalam kombinasi pembebanan dasar (tanpa menggunakan faktor kuat lebih Ω_0).

Dalam desain kolektor terhadap tarik (yang sangat bergantung pada kekuatan tarik tulangan), kolektor harus didesain sedemikian rupa sehingga tulangan longitudinal pada area sambungan (*splices*) dan juga pengankuran memiliki satu dari dua poin berikut:

1. Jarak pusat ke pusat minimum sebesar tiga diameter batang tulangan utama namun tidak kurang dari 40 mm, dan selimut bersih beton minimum sebesar dua setengah diameter batang tulangan utama, tapi tidak kurang dari 50 mm.
2. Tulangan geser tidak boleh kurang dari nilai terkecil di bawah ini:

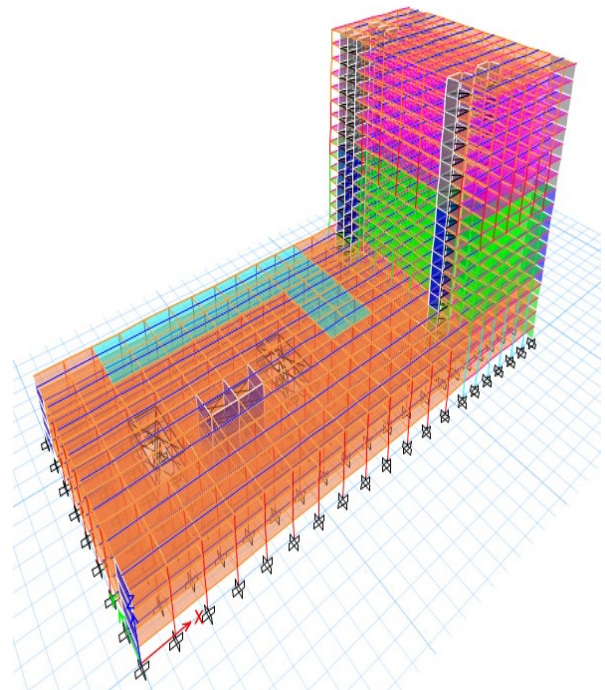
$$A_{s,min} = 0,062\sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}} \text{ dan } \frac{0,35b_w s}{f_{yt}} \quad (5)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model dalam analisis penelitian ini adalah bangunan dengan konsep *mixed use building* bertingkat 20 lantai dengan luas total sebesar 79360 m² seperti yang terlihat pada Gambar 7. Bangunan ini memiliki 3 fungsi sebagai berikut:

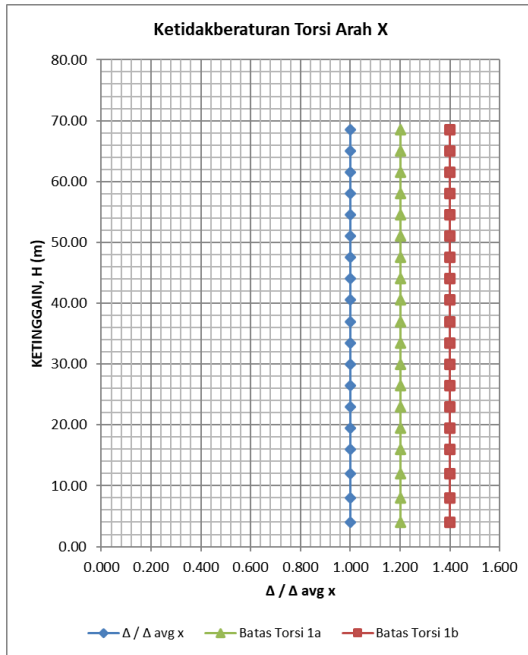
1. Mall (Lantai 1 s/d Lantai 5), berada pada area podium gedung, dengan fungsi *roof top* sebagai kolam renang.
2. Perkantoran (Lantai 6 s/d Lantai 12)
3. Apartemen (Lantai 13 s/d Lantai 20)

Gedung dengan kelas situs tanah lunak (SE) yang berada di Jakarta menggunakan sistem struktur ganda yaitu gabungan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) beton bertulang dengan dinding geser beton bertulang khusus. Sebelum dilakukan pemeriksaan diafragma, kord, dan kolektor. Elemen-elemen struktur lainnya (kolom, balok, pelat, dan dinding geser) telah direncanakan dengan efisien berdasarkan perhitungan terhadap kombinasi pembebanan maksimum dan prosedur analisa struktur lainnya.

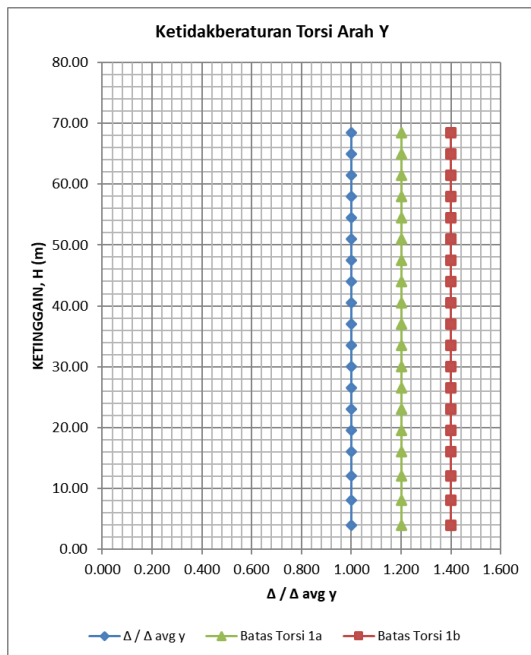


Gambar 7. Permodelan Struktur pada Software ETABS

Pada gedung dengan konsep *mixed use building* ini, terdapat perubahan luasan lantai yang cukup besar antara menara ke podiumnya. Oleh karena itu, diperlukan pemeriksaan terlebih dahulu terhadap ketidakberaturan horizontal.



Gambar 8. Pemeriksaan Ketidakberaturan Puntir 1a dan 1b arah x



Gambar 9. Pemeriksaan Ketidakberaturan Puntir 1a dan 1b arah y

Berdasarkan Gambar 8. dan Gambar 9. Bangunan tidak mengalami ketidakberaturan puntir horizontal 1a dan puntir berlebih 1b. Ketidakberaturan sudut dalam terjadi jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan. Dalam hal ini, struktur bangunan ini memiliki denah yang proyeksinya tidak mempunyai kondisi ketidakberaturan sudut dalam sehingga dapat dikatakan bahwa ketidakberaturannya tidak ada. Pada struktur ini

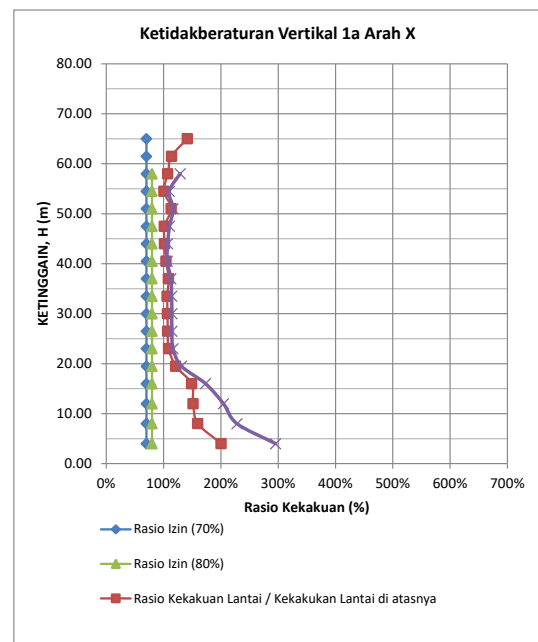
juga tidak memiliki denah yang proyeksinya menunjukkan kondisi ketidakberaturan diskontinuitas diafragma. Rangkuman hasil pengecekan struktur terhadap ketidakberaturan horizontal, disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal

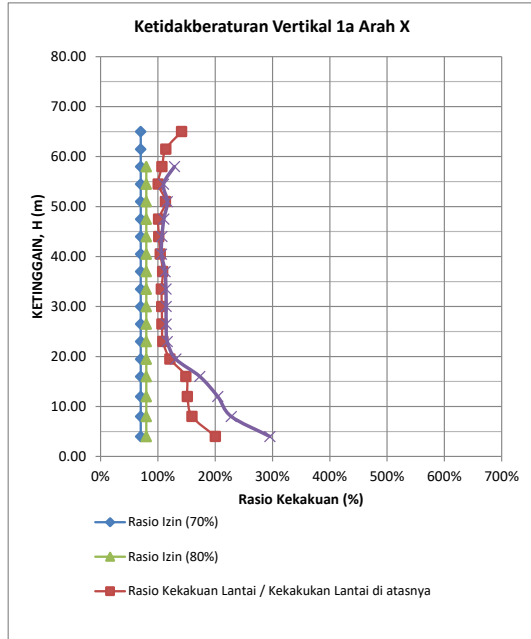
Type Ketidakberaturan Horizontal	Status
1a Ketidakberaturan torsi	Tidak ada
1b Ketidakberaturan torsi berlebihan	Tidak ada
2 Ketidakberaturan sudut dalam	Tidak ada
3 Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma	Tidak ada
4 Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap	Tidak ada
5 Ketidakberaturan sistem non paralel	Tidak ada

Pada Tabel 1. terlihat bahwa bangunan yang ditinjau tidak mengalami semua ketidakberaturan horizontal.

Pada SNI 1726:2019 dalam tabel 14 tentang ketidakberaturan vertikal pada struktur, ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Pengecualian jika terjadi kondisi berikut yaitu ketidakberaturan tidak ada jika *drift ratio* tingkat tidak lebih besar dari 1,3 kali rasio *drift* tingkat di atas.



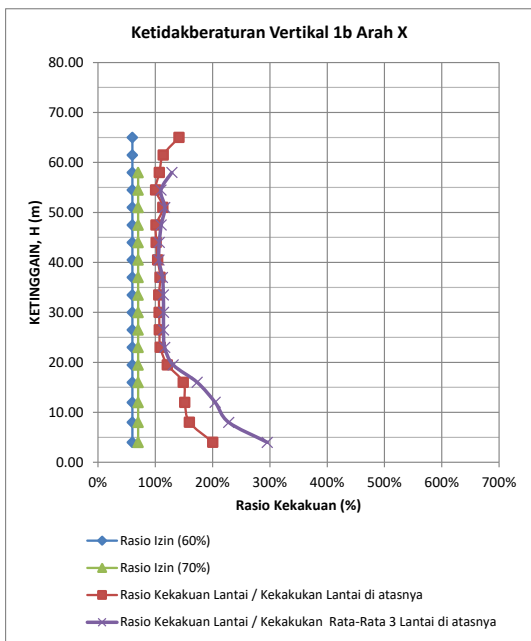
Gambar 10. Pemeriksaan Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1a Arah x



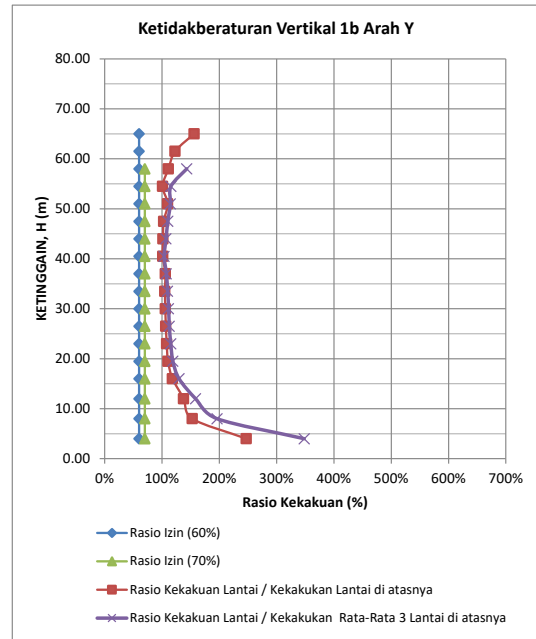
Gambar 11. Pemeriksaan Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1a Arah y

Pada Gambar 10 dan Gambar 11 menunjukkan bangunan tidak mengalami ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak.

Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya (SNI 1726:2019).



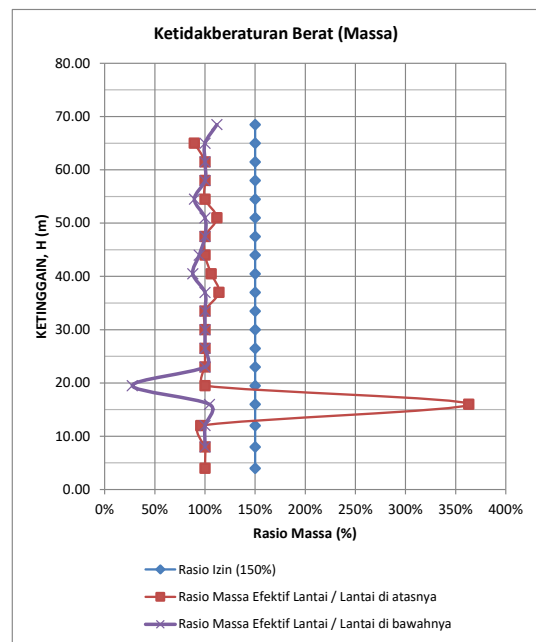
Gambar 12. Pemeriksaan Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan 1b Arah x



Gambar 13. Pemeriksaan Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan 1b Arah y

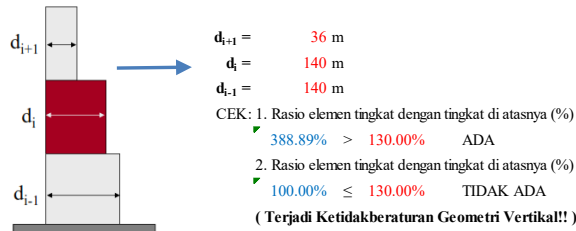
Pada Gambar 12 dan Gambar 13 menunjukkan menunjukkan bangunan tidak mengalami ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan.

Ketidakberaturan berat (massa) ada jika massa efektif dari suatu tingkat lebih dari 150% massa efektif dari tingkat yang berdekatan. Pengecualian jika terjadi kondisi berikut yaitu ketidakberaturan tidak ada jika *drift ratio* tingkat tidak lebih besar dari 1,3 kali rasio *drift ratio* tingkat di atas (SNI 1726:2019).



Gambar 14. Pemeriksaan Ketidakberaturan Massa

Ketidakteraturan geometri vertikal didefinisikan jika ada dimensi horizontal sistem penahan seismik di semua tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem penahan seismik tingkat di dekatnya (SNI 1726:2019)..



Gambar 15. Pemeriksaan Ketidakteraturan Geometri Vertikal

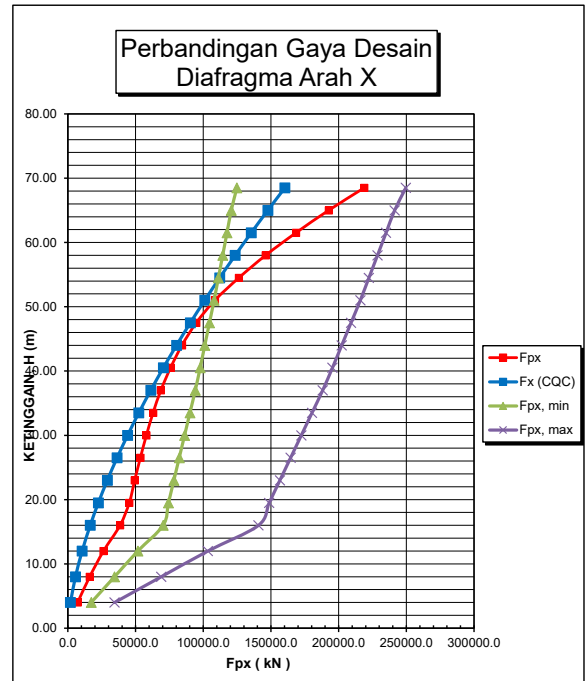
Pada Gambar 14. dan Gambar 15. Terlihat bahwa pada lantai 5 terjadi ketidakteraturan massa dan geometri vertikal pada bangunan. Hal tersebut umum terjadi pada bangunan yang terdapat menara dan podium, Oleh karena itu, diperlukan pemeriksaan diafragma, kord, dan kolektor pada lantai 5 tersebut.

Rangkuman hasil pengecekan struktur terhadap ketidakteraturan vertikal, disajikan dalam Tabel 2.

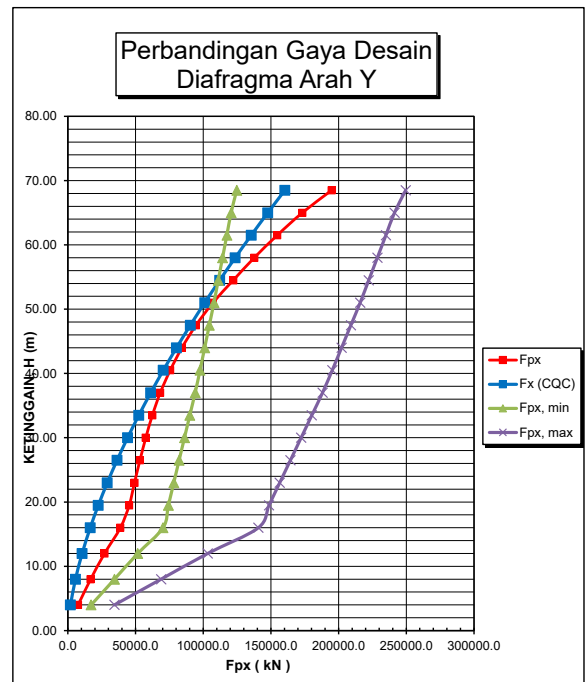
Tabel 2. Pengecekan Ketidakteraturan Vertikal

Type Ketidakteraturan Vertikal	Status
1a Ketidakteraturan kekakuan tingkat lunak	Tidak ada
1b Ketidakteraturan kekakuan tingkat lunak berlebihan	Tidak ada
2 Ketidakteraturan berat(massa)	ada
3 Ketidakteraturan geometri vertikal	ada
4 Diskontinuitas arah bidang dalam ketidakteraturan elemen penahan gaya lateral vertikal	Tidak ada
5a Diskontinuitas dalam ketidakteraturan kuat lateral tingkat	Tidak ada
5b Diskontinuitas dalam ketidakteraturan kuat lateral tingkat yang berlebihan	Tidak ada

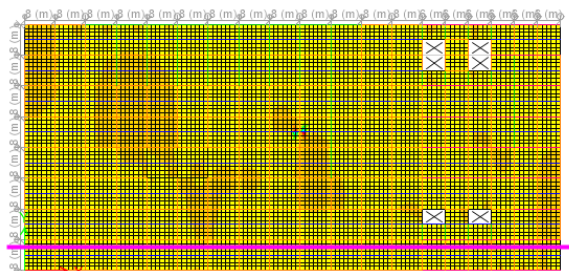
Berdasarkan pemeriksaan ketidakteraturan vertikal maka perlu dilakukan peninjauan gaya desain diafragma. Pada Gambar 16. dan Gambar 17 dapat dilihat bahwa nilai F_{px} dan $F_{px}(CQC)$ lebih kecil dari nilai $F_{px,min}$, pada peninjauan lantai 5 (story 4) sehingga digunakan nilai $F_{px,mi}$ untuk pemeriksaan diafragma dan kordnya



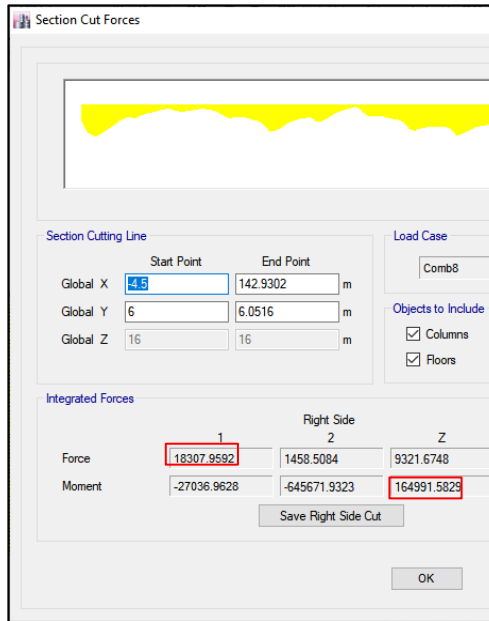
Gambar 16. Perbandingan Gaya Desain Diafragma Arah x



Gambar 17. Perbandingan Gaya Desain Diafragma Arah y

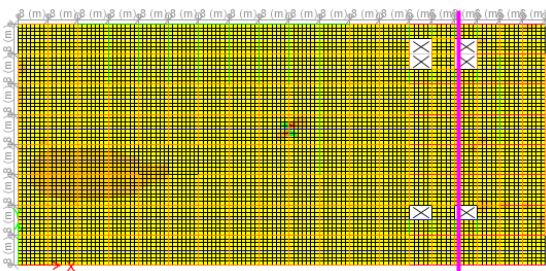


Gambar 18. Garis Potongan (1) Pada Lantai 5

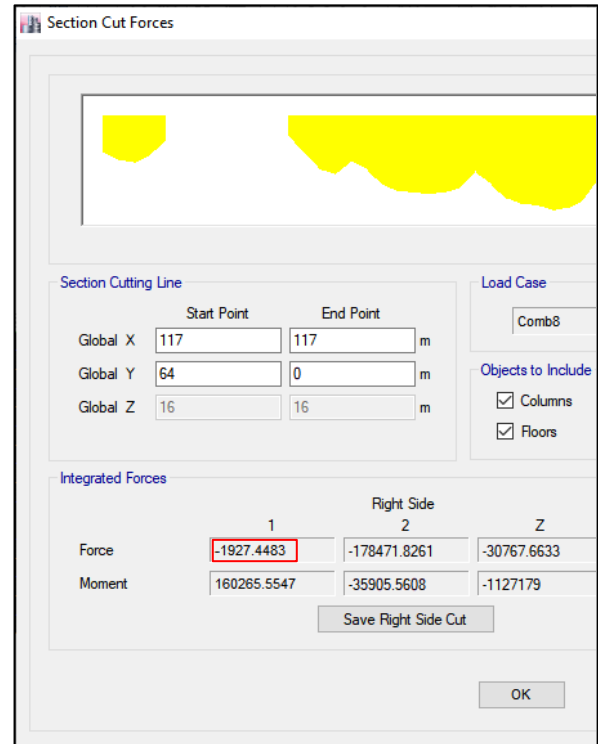


Gambar 19. Potongan Gaya (1)

Berdasarkan Potongan pada Gambar 18. dan Gambar 19. diketahui bahwa *Moment Inplane* sebesar 164991,58 dan Gaya Geser sebesar 18307,95 kN. Selanjutnya dilakukan pemeriksaan terhadap struktur diafragma di lantai 5. Pada *section cut*, gaya geser yang terjadi sebesar 1837,95 kN. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan diketahui bahwa kapasitas geser beton pelat lantai diafragma = 17500 kN yang lebih besar dari gaya geser yang terjadi = 1837,95 kN sehingga desain diafragma mampu untuk memikul gaya geser.



Gambar 20. Garis Potongan (2) Pada Lantai 5



Gambar 21. Potongan Gaya (2)

Dari Gambar 20. dan Gambar 21. diketahui bahwa gaya tarik yang terjadi adalah sebesar 1927.44 kN, kemudian dilakukan pemeriksaan terhadap kolektor. Berdasarkan pemeriksaan gaya gempa f_{px} terhadap elemen diafragma di lantai 5, dapat dilihat bahwa elemen diafragma mampu menerima pembebanan yang terjadi.

KESIMPULAN

Berdasarkan pemeriksaan dan pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Gaya desain diafragma pada bangunan *mix used building* ini dapat diambil dari 2 tipe gaya desain yaitu gaya gempa f_{px} dan $f_{px,min}$. Hal tersebut akan mempengaruhi penulangan diafragma yaitu pada pelat perlu diberikan tambahan penulangan terutama pada lantai yang berfungsi sebagai perkantoran dan apartemen karena pada lantai-lantai tersebut direncanakan menggunakan ketebalan pelat yang relatif tipis yaitu sebesar 120 mm dan 130 mm.
2. Gaya desain kolektor terbesar terjadi pada lantai yang menghubungkan podium dengan menara. Dengan adanya gaya desain kolektor tersebut mengakibatkan dibutuhkannya penambahan tulangan pada pelat dengan bentangan tertentu tergantung dengan jumlah tulangannya. Pada lantai 5, diperlukan penambahan tulangan pada pelat menggunakan tulangan D10-100 disepanjang bentang 3,3 m.

3. Pemeriksaan terhadap diafragma, kord, dan kolektor ini akan mempengaruhi desain elemen-elemen struktur lainnya. Umumnya akan mengakibatkan penambahan tulangan, terutama balok di area sekitar dinding geser yang berfungsi menyalurkan beban dari elemen struktur vertikal ke elemen horizontal.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2016). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. ASCE 7-16*. Reston, VA : ASCE.
- Badan Pusat Statistik, 2023. *Statistik Indonesia 2023*. Jakarta, Indonesia: Badan Pusat Statistik.
- Badan Standarisasi Nasional (2019). SNI 1726-2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Banunan Gedung dan non Gedung*.
- Badan Standarisasi Nasional (2019). SNI 2847-2019. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Egan, E., & Leo, E. (2018). *Analisis Gaya Dan Momen Yang Terjadi Di Sekitar Elemen Chord Dan Balok Kolektor Akibat Gaya Gempa Pada Bangunan Bertingkat Tinggi*. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 1(1), 271–274.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2012). *NEHRP Recommended Seismic Provision Design Example*. Washington, D.C.: FEMA.
- National Institute of Standard and Technology (NIST). (2010). *NEHRP Seismic Design of Cast-in-place Concrete Diaphragms Chord and Collector*. NIST GCR 10-917-4. California.
- Prijasambada, & Hafifah, V. (2018). *Analisa Gaya Diafragma, Kord Dan Kolektor Pada Bangunan Gedung Sesuai Dengan Sni 1726:2012*. *Ikraith-Teknologi*, 2(1), 41–48.