

Analisis *Pushover* Terhadap Struktur Gedung Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus menggunakan Metode *Precast*

*Jaka Propika¹, Yanisfa Septiarsilia¹, Eka Susanti¹, Agus Edy Prasetyo¹

¹ Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Jl. Arief Rahman Hakim No.100, Klampis Ngasem, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60117
yanisfa.septi@itats.ac.id

Abstract

The ITS Tower 2 building was built on Keputih Street, Surabaya. This building has 13 floors with a height of +51.00 meters which was built using a conventional concrete system. Based on the structural analysis results, the authors found that the existing structure was included in the category of soft soil (SE). In SNI 2847-2019 for the Special Structural Wall Systems category, the building height had a maximum limit of 48 meters. Conventional system planning took a relatively long time to complete. So it was necessary to evaluate the existing structure and modify it using the SMRF method and Precast System. The SMRF-method was used because it did not have a height limit in its planning, and the precast system was chosen because the planned structure had a typical floor plan. The evaluation of the existing structure showed that the fundamental period was 1.2384 seconds, the mass participation in the X direction was 93.90%, the Y direction was 91.79% with 75 modals, and the most significant floor deviation occurred in the Y direction was 49.57 mm. This value met the requirements according to SNI 2847-2019 and SNI 1726-2019; several beam and column cross-section elements are still unsafe due to the reinforcement being smaller than the analysis result, but the performance level was included in the Immediate Occupancy. The evaluation results of the structure showed that the main beam B2 was 60/80 with the longitudinal reinforcement 8D29, the joist beam B4 was 50/70 and B6 was 40/60 with the longitudinal reinforcement 7D25, the column K1 was 110/110 with the longitudinal reinforcement 28D36. The structural behavior obtained the entire period of 1.6059 seconds, the mass participation in the X direction was 99.30%, the Y direction was 99.24% with 50 modals, and the most significant floor deviation occurred in the Y direction was 28.46 mm. This value met the requirements and performance of the building, including the Immediate Occupancy level. Connections for precast columns used dry joints, while the connections for other precast elements used wet joints.

Keywords: Precast Structure, Pushover Analysis, SMRF

Abstrak

Gedung ITS Tower 2 merupakan suatu gedung yang dibangun di Jl. Keputih, Surabaya setinggi 13 lantai (+51.00m) menggunakan sistem beton konvensional. Berdasarkan hasil analisis struktur didapatkan bahwa struktur *existing* termasuk kategori tanah lunak (SE). Dalam SNI 2847-2019 untuk kategori SDSK, ketinggian dibatasi maksimal 48m. Perencanaan sistem konvensional membutuhkan waktu yang relatif lama dalam penyelesaiannya, sehingga perlu dilakukan evaluasi struktur *existing* dan modifikasi struktur menggunakan metode SRPMK dan Sistem *Precast*. Metode SRPMK digunakan karena tidak memiliki batasan ketinggian dalam perencanaannya dan sistem pracetak dipilih karena struktur yang direncanakan memiliki denah yang bersifat tipikal. Hasil evaluasi struktur *existing* didapatkan periode fundamental sebesar 1.2384 detik, partisipasi massa arah X (93.90%), arah Y (91.79%) dengan 75 modal dan simpangan lantai terbesar terjadi pada arah Y 49.57 mm. Nilai tersebut telah memenuhi persyaratan sesuai SNI 2847-2019 dan SNI 1726-2019, namun terdapat beberapa elemen penampang balok dan kolom yang tidak memenuhi kapasitas momen nominal tetapi level kinerja termasuk dalam *Immediate Occupancy*. Hasil evaluasi struktur didapatkan balok induk B2 60/80 dengan tulangan longitudinal 8D29, balok anak B4 50/70cm dan B6 40/60 dengan tulangan longitudinal 7D25, kolom K1 110/110 dengan tulangan longitudinal 28D36. Perilaku struktur menghasilkan periode fundamental sebesar 1.6059 detik, partisipasi massa arah X (99.30%), arah Y (99.24%) dengan 50 modal, simpangan lantai terbesar terjadi pada arah Y 28.46 mm. Nilai tersebut memenuhi persyaratan dan kinerja bangunan termasuk dalam level *Immediate Occupancy*. Sambungan kolom-kolom pracetak menggunakan sambungan kering, sedangkan sambungan elemen pracetak lainnya menggunakan sambungan basah.

Kata Kunci: Struktur Pracetak, Analisis *Pushover*, SRPMK

PENDAHULUAN

Gedung ITS Tower 2 merupakan suatu gedung yang dibangun di Jl. Keputih, Surabaya setinggi 13 lantai (+51.00 m). Berdasarkan hasil analisis struktur menggunakan (SNI-1726, 2019) dan (SNI-2847, 2019) menghasilkan bahwa struktur termasuk dalam kategori sistem dinding geser beton bertulang khusus dan berada dalam kategori tanah lunak (SE). Dalam peraturan SNI 2847-2019, jika struktur yang direncanakan menggunakan sistem dinding geser beton bertulang khusus dibatasi dengan ketinggian maksimal 48 m dan untuk bangunan yang memiliki ketinggian lebih dari 48 m disarankan menggunakan SRPMK atau Sistem Ganda. Sistem yang digunakan pada Gedung ITS Tower 2 adalah sistem

konvensional yang memiliki denah yang tipikal antar lantainya. Jika struktur yang direncanakan bersifat tipikal maka sebaiknya menggunakan sistem beton pracetak karena memiliki mutu beton yang lebih terjamin (Erviyanto, 2006).

Diperlukannya inovasi pada metode konstruksi untuk mempercepat pelaksanaan Pembangunan lebih efektif dan efisien sehingga memperoleh keuntungan dari segi waktu dan biaya, salah satu metode yang dapat dipakai yakni beton *precast*, khususnya dalam pembangunan bangunan bertingkat (Fikri Pratama & Kurnia, 2022; Nofianto, 2022; Propika, Septiarsilia, Fitriyah, et al., 2023; Septiarsilia et al., 2023; Sodikin et al., 2020). Beton pracetak (*precast*) dihasilkan dari proses produksi dimana lokasi pembuatannya berbeda dengan

lokasi elemen akan digunakan. Lawan dari pracetak adalah beton cor di tempat atau *cast-in place*, dimana proses produksinya berlangsung di tempat elemen tersebut akan ditempatkan atau dapat dilakuka *pre-assembly* dan selanjutnya dipasang di lokasi proyek (Nurmaidah & Cristiani, 2019)(Ervianto, 2006). Perkembangan teknologi *precast* sudah menjadi hal yang umum dan makin diminati di Indonesia, karena banyak keunggulan yang ditawarkan (Propika, Septiarsilia, Susanti, et al., 2023). Perencanaan beton *precast* diperlukan perencanaan tulangan pada kondisi sebelum komposit, saat pengangkatan, dan saat kondisi monolit (Devania & Hermawan, 2020).

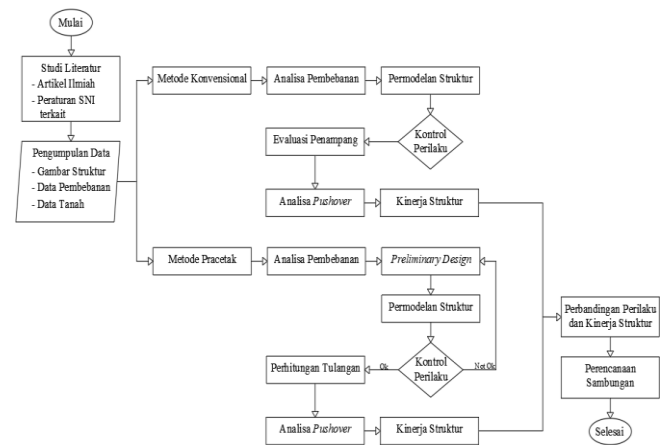
Dalam setiap perencanaan bangunan, struktur harus mampu menahan semua persyaratan persyaratan kelayanan (*serviceability*) dan keselamatan (*safety*) selama umur yang direncanakan (Lambado, 2020). Evaluasi merupakan metode yang tepat dalam pemeriksaan keandalan bangunan sehingga mampu meminimalisir risiko kegagalan struktur. Risiko kegagalan struktur yang utama adalah akibat beban gempa. Beban gempa bekerja secara kompleks sehingga kerusakan atau keruntuhan akibat beban gempa tidak dapat diprediksi. Namun ada pendekatan yang dapat memperkirakan sekaligus mengevaluasi struktur bangunan terhadap gempa yaitu analisis *pushover*. Analisis *pushover* merupakan salah satu metode analisis struktur dengan komponen *performance based design* yang memanfaatkan pembebanan gaya gempa secara statik dengan peningkatan gaya secara bertahap hingga struktur mencapai pola keruntuhan akibat gaya gempa, sehingga didapatkan level kinerja struktur berupa *nonlinear* dengan menggunakan program bantu berbasis komputer (Sultan, 2016)(Oktopianto & Andayani, 2013).

Gedung setinggi 51 meter dan total lantai mencapai 13 tingkat, penggunaan beton konvensional dianggap kurang sesuai. Hal ini dikarenakan dalam pengerjaan beton konvensional membutuhkan waktu pekerjaan yang lama karena bergantung terhadap cuaca serta membutuhkan waktu *setting time* beton untuk melanjutkan konstruksi selanjutnya. Selain itu pembuatan beton konvensional memiliki kelemahan lain yakni kualitas dan mutu yang sulit terukur dikarenakan sulitnya dilakukan pemantauan dan perawatan beton, sehingga metode yang dapat dipertimbangkan untuk mengatasi masalah tersebut adalah penggunaan sistem beton pracetak. Maka diperlukan evaluasi terhadap struktur *existing* dan struktur modifikasi struktur Gedung ITS Tower 2 Menggunakan Metode SRPMK dan Sistem Beton Pracetak. Evaluasi struktur *existing* yang dilakukan yaitu analisis kekuatan momen nominal balok dan kolom rencana, kemudian untuk mengetahui kinerja struktur dilakukan analisis *pushover*. Analisis *pushover* merupakan salah satu metode analisis struktur dengan komponen *performance based design* yang memanfaatkan pembebanan gaya gempa secara statik dengan peningkatan gaya secara bertahap hingga struktur mencapai pola keruntuhan rencana yang menghasilkan kinerja struktur berupa *nonlinear* dengan menggunakan program bantu berbasis komputer (Sultan, 2016). Modifikasi terhadap struktur existing yang dilakukan terhadap beberapa elemen struktur meliputi elemen balok, kolom dan pelat dengan

menggunakan beton *precast*. Hasil dari kedua permodelan ini akan dilakukan perbandingan perilaku dan kinerja struktur.

METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu metode analisis menggunakan program bantu perangkat lunak aplikasi pemrograman permodelan struktur yang mengacu pada peraturan SNI 2847-2019, SNI 1726-2019 dan (PCI-Design-Handbook-8th-Edition, 2017), untuk penentuan level kinerja struktur mengacu pada peraturan (FEMA440, 2005). Gambar 1 merupakan diagram alir penelitian.

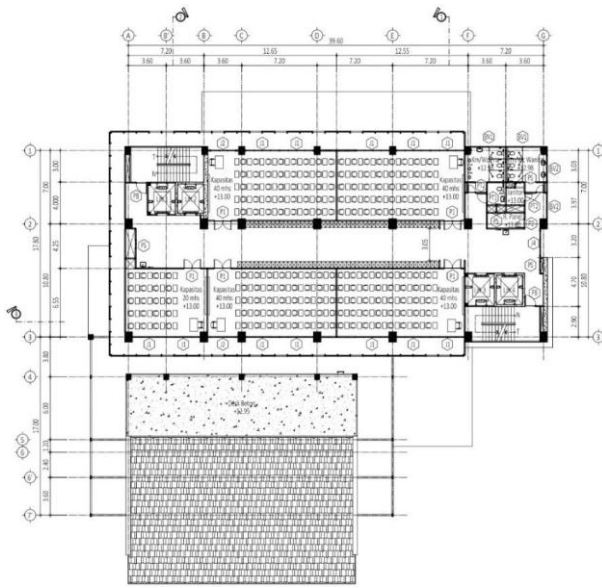


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

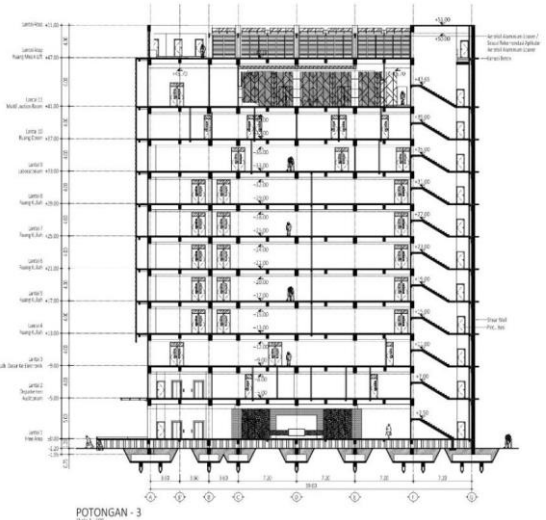
Data Perencanaan

Pada penelitian, dilakukan pengumpulan data *existing* meliputi data umum perencanaan, adapun denah perencanaan ditunjukkan pada Gambar 2, potongan melintang pada Gambar 3. Adapun data umum perencanaan gedung sebagai berikut :

- Nama Gedung : Gedung ITS TOWER 2
- Lokasi : Surabaya
- Jumlah Lantai : 13 Lantai
- Tinggi Bangunan : 51 Meter
- Struktur Utama : Struktur Beton Bertulang
- Fungsi Bangunan : Gedung Perkuliahan
- Mutu Beton (f'_c) : 20.75 MPa (K250)
- Mutu Baja (f_y) : 400 MPa



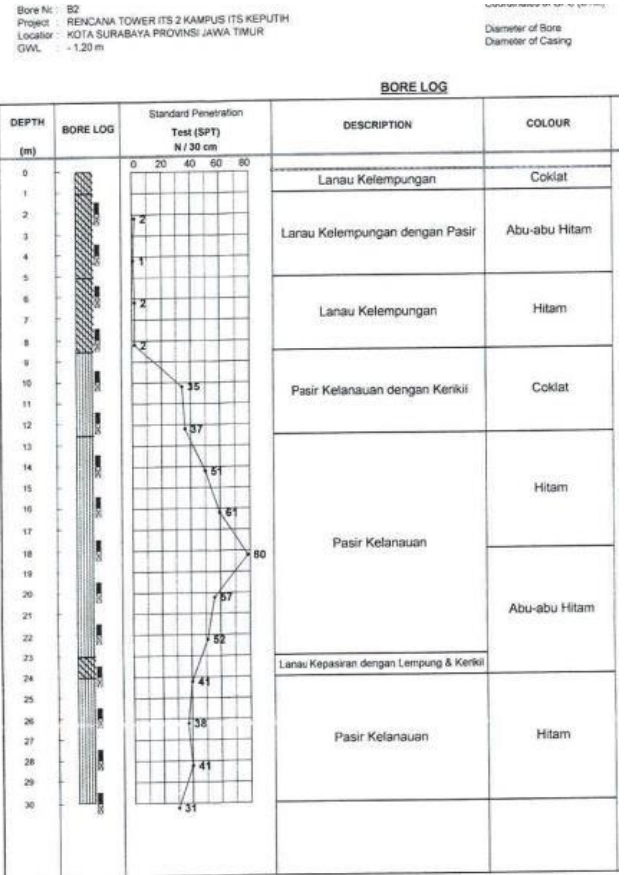
Gambar 2. Denah Gedung Existing



Gambar 3. Potongan Melintang Gedung Existing

Data Tanah

Data tanah menggunakan hasil penyelidikan tanah menggunakan pengujian *boring log* pada lokasi yang akan dilakukan pembangunan Gedung ITS Tower 2 dengan data tanah sesuai pada Gambar 4.



Gambar 4. Data Tanah

Preliminary Design

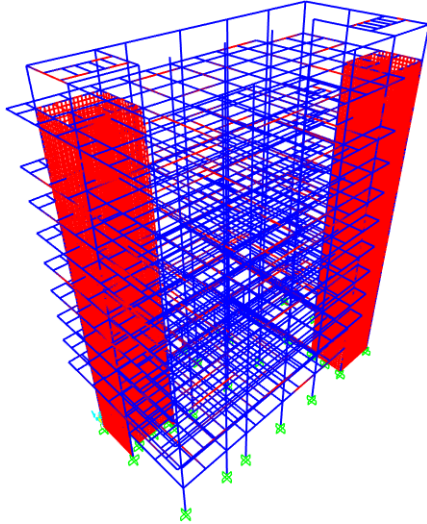
Preliminary design merupakan perencanaan untuk mendapatkan dimensi awal komponen struktur setelah dilakukan analisis pembebanan. *Preliminary design* memberikan gambaran mengenai dimensi komponen struktur yang direncanakan pada struktur bangunan. Perencanaan tersebut meliputi perencanaan dimensi pelat, balok dan kolom. Pada struktur existing sudah didapatkan dimensi perencanaan sehingga tidak diperlukan *preliminary design*, namun pada struktur modifikasi dengan metode pracetak perlu dilakukan *preliminary design* pada pelat, kolom dan balok yang mengacu pada sistem yang ditinjau yaitu Sistem Pracetak SRPMK. Pada *preliminary design* dengan sistem pracetak diperlukan adanya beberapa kontrol elemen sampai elemen pracetak terpasang sesuai dengan tempatnya. Kontrol yang harus dilakukan yaitu kontrol pengangkatan, penumpukan, pemasangan, pengecoran, dan komposit.

Analisis Pembebanan

Analisis pembebanan diperlukan untuk menentukan beban yang dikenakan pada struktur rencana yang dibangun. Pembebanan yang dikenakan pada struktur yaitu beban gravitasi berupa beban hidup dan beban mati berdasarkan (SNI-1727, 2020) serta beban lateral berupa beban gempa yang diatur dalam peraturan SNI 1726-2019.

Structure Modelling

Dalam penelitian ini akan dilakukan permodelan menggunakan aplikasi pemrograman struktur, dimana nantinya akan didapatkan hasil data output gaya yang bekerja pada masing-masing elemen struktur sehingga dapat dilakukan perencanaan penulangan masing-masing elemennya. Permodelan gedung yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Permodelan Struktur Gedung dengan Aplikasi Pemrograman Struktur

Kontrol Perilaku Struktur

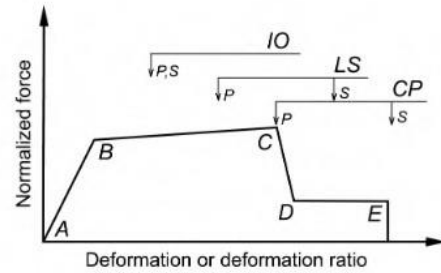
Kontrol perilaku digunakan untuk mengetahui perilaku struktur akibat permodelan struktur yang dilakukan dengan program bantu *software*. Hasil dari kontrol perilaku struktur meliputi periode fundamental, partisipasi massa struktur, simpangan antar lantai, pengaruh $p-\Delta$, ketidakberaturan torsi serta gaya geser gempa yang harus memenuhi persyaratan terkait.

Analisis Pushover

Analisis *pushover* adalah analisis berupa peningkatan gaya statis secara berangsur sampai perpindahan target tercapai atau keadaan runtuh struktur tercapai. Analisis *pushover* menggambarkan perbandingan antara gaya dorong total (*base shear*) dengan perpindahan lateral struktur (*displacement*) yang disebut dengan kurva kapasitas. Kurva kapasitas tidak perlu digambarkan secara manual karena sudah terdapat fitur pada program bantu (*software*). Analisis *pushover* pada penelitian ini menggunakan analisis *pushover* 2D.

Kinerja Struktur

Kinerja struktur menggambarkan perilaku struktur ketika dikenai beban kerja. Kinerja struktur dapat ditentukan dengan analisis statik *nonlinear pushover* berdasarkan target perpindahan yang dihasilkan. Dalam penentuan level kinerja struktur digunakan metode koefisien perpindahan berdasarkan FEMA 440.



Gambar 6. Kriteria penerimaan deformasi berdasarkan (FEMA440, 2005)

Berdasarkan Gambar 6, kriteria penerimaan beban untuk komponen struktur terbagi menjadi tiga level kinerja struktur yaitu IO (*Immediate Occupancy*), LS (*Life Safety*), dan CP (*Collapse Prevention*).

a. Immediate Occupancy (IO)

Pada level kinerja struktur ini, struktur mengalami kerusakan yang tidak terlalu berarti dan komponen non-struktur masih berfungsi dan berada atau tersedia pada tempatnya. Bangunan masih dapat digunakan tanpa terganggu pada masalah perbaikan kerusakan struktur.

b. Life Safety (LS)

Pada level kinerja struktur ini, struktur mengalami kerusakan sehingga mengurangi kekakuan struktur tetapi masih memiliki kemampuan yang cukup terhadap keruntuhan dan komponen non-struktur mengalami kerusakan dengan perbaikan yang tidak ekonomis lagi.

c. Collapse Prevention (CP)

Pada level kinerja struktur ini, struktur mengalami kerusakan yang cukup parah pada komponen struktur dan non-struktur sehingga bangunan secara keseluruhan hampir mengalami keruntuhan akibat kekakuan yang berkurang dengan mengalami kerugian struktur yang cukup besar secara ekonomi.

Perencanaan Sambungan Precast

Sambungan berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya yang dipikul oleh elemen struktur ke elemen struktur yang lainnya. Gaya-gaya tersebut untuk selanjutnya diteruskan ke pondasi. Selain itu desain sambungan dibuat untuk menciptakan kestabilan. Suatu sambungan diharapkan dapat mentransfer beberapa gaya secara bersamaan. Dalam penelitian ini akan meninjau terhadap sambungan balok-kolom, sambungan balok dengan pelat, dan sambungan kolom-kolom.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Preliminary Design Struktur Precast Modifikasi

Pada penelitian ini akan ditinjau modifikasi terhadap elemen struktur balok, pelat, dan kolom. Perencanaan dimensi balok diatur dalam SNI 2847-2019 Pasal 9.3.1 dan Pasal 18.6 untuk persyaratan balok SRPMK yang dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Perencanaan Elemen Balok

Balok	Dimensi Modifikasi mm
B2.A	450/600
B2.B	600/800
B2.C	600/800
B2.D	600/800

Sumber: Hasil Pengolahan data (2024)

Selanjutnya perencanaan dimensi pelat dimulai dengan menentukan jenis pelat termasuk dalam pelat satu arah atau pelat dua arah. Hal ini dapat diketahui dengan menghitung nilai rasio antara bentang panjang dan bentang pendek pelat. Perencanaan tebal pelat diatur dalam SNI 2847-2019 Pasal 7.3.1.1 untuk pelat satu arah dan pasal 8.3.1.1 untuk pelat dua arah, didapatkan tebal pelat pada struktur modifikasi sebesar 130 mm.

Perencanaan dimensi kolom dilakukan dengan cara menghitung *tributary area* yang dipikul oleh kolom dengan persyaratan dimensi penampang yang diatur dalam SNI 2847-2019 Pasal 18.7. Rekapitulasi *Preliminary Design* elemen Kolom dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Perencanaan Elemen Kolom

Kolom	Dimensi mm
K1	1100 x 1100
K2	1100 x 1100
K6	600 x 600
KL	600 x 600

Sumber: Hasil Pengolahan data (2024)

Kontrol Perilaku Struktur

Kontrol perilaku struktur merupakan hasil analisis permodelan serta pembebanan yang diterapkan sehingga terjadi perilaku yang mempengaruhi fungsi kelayakan dan kenyamanan struktur. Perilaku struktur tersebut harus memenuhi persyaratan sesuai dengan kaidah SNI 1726-2019.

a. Periode Struktur dan Partisipasi Massa

Persyaratan berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.2 menyebutkan bahwa periode struktur (T_c) harus melebihi periode pendekatan (T_a) namun tidak boleh melebihi periode maksimum T_{max} . Periode struktur (T_c) diperoleh dari hasil analisis struktur dengan program bantu permodelan, sedangkan untuk periode T_a dan T_{max} dihitung secara manual dengan rumus pada Persamaan 1 dan Persamaan 2.

$$T_a = C_t \cdot (H_n)^x \quad (1)$$

$$T_{max} = C_u \cdot T_a \quad (2)$$

Dimana :

T_a : Periode Pendekatan (s)

T_{max} : Periode Maksimum Struktur (s)

H_n : Tinggi Struktur Bangunan (m)

Selanjutnya dilakukan analisis terhadap hasil output program. Pada hasil analisis terhadap struktur *existing* diperoleh partisipasi massa sebesar 90% pada mode ke 75 dan periode getar sebesar 1.2349 detik.

$$T_{a \min} = 0.0488 \times 510.75$$

$$= 0.9313 \text{ s}$$

$$T_{a \max} = 1.40 \times 0.9313$$

$$= 1.3038 \text{ s}$$

Sehingga periode getar dan partisipasi massa struktur *existing* telah memenuhi persyaratan. Sedangkan pada hasil analisis terhadap struktur modifikasi diperoleh partisipasi massa sebesar 90% pada mode ke 50 dan periode getar sebesar 1.6059 detik.

$$T_{a \min} = 0.0466 \times 510.90$$

$$= 1.6040 \text{ s}$$

$$T_{a \max} = 1.40 \times 1.6040$$

$$= 2.2456 \text{ s}$$

Sehingga periode getar dan partisipasi massa struktur yang dimodifikasi telah memenuhi persyaratan.

b. Gaya Geser Dasar

Pada hasil analisis terhadap struktur *existing* diperoleh bahwa gaya geser dinamik tidak melebihi atau sama dengan 100% gaya geser statik sehingga harus dikalikan faktor skala 1.32579336 pada arah X dan 1.30063364 pada arah Y sehingga dihasilkan kontrol perilaku gaya geser dasar seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Kontrol Gaya Geser Dasar Struktur Existing

Base Shear	Gaya Geser Dinamik	Gaya Geser Statik
X-Direction	19532.7690	19532.7690
Y Direction	17303.0550	17303.0550

Sumber: Hasil Pengolahan data (2024)

Pada hasil analisis terhadap struktur modifikasi diperoleh bahwa gaya geser dinamik tidak melebihi atau sama dengan 100% gaya geser statik sehingga harus dikalikan faktor skala 1.09713153 pada arah X dan 1.09936855 pada arah Y sehingga dihasilkan kontrol perilaku gaya geser dasar seperti pada Tabel 4.

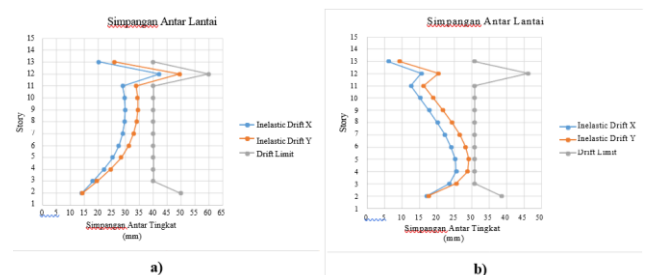
Tabel 4. Kontrol Gaya Geser Dasar Struktur Existing

Base Shear	Gaya Geser Dinamik	Gaya Geser Statik
X-Direction	11502.0320	11501.8760
Y Direction	10566.9800	10566.8370

Sumber: Hasil Pengolahan data (2024)

c. Simpangan Antar Lantai

Hasil dari analisis diperoleh simpangan antar lantai sebagai berikut, seperti ditunjukkan pada Gambar 7 (a) untuk struktur *existing* dan Gambar 7 (b) untuk struktur modifikasi. Dari gambar grafik simpangan antar lantai yang terjadi masih memenuhi batas simpangan ijin yang ditentukan.



Gambar 7. Simpangan Antar Lantai (a) Struktur *existing* (b) Struktur modifikasi

d. Kontrol Pengaruh P-Delta
Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.7, pengaruh P-delta tidak perlu diperhitungkan apabila koefisien stabilitas (θ) kurang atau sama dengan 0.10. Namun nilai koefisien stabilitas yang dihasilkan tidak boleh melebihi koefisien stabilitas maksimum karena akan mengakibatkan struktur tidak stabil dan harus didesain ulang. Koefisien stabilitas struktur dapat dilihat pada Persamaan 3.

$$\theta_{max} = 0.5/\beta C d \leq 0.25 \quad (3)$$

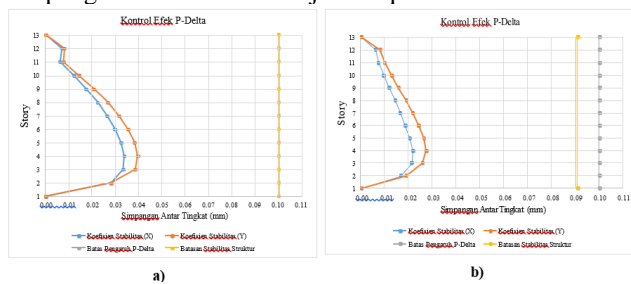
Perhitungan koefisien stabilitas maksimum struktur (*Existing*) :

$$\begin{aligned} \theta_{max} &= 0.5/(1 \times 5.5) \leq 0.25 \\ &= 0.0909 \leq 0.25 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Perhitungan koefisien stabilitas maksimum struktur (Modifikasi) :

$$\begin{aligned} \theta_{max} &= 0.5/(1 \times 5.0) \leq 0.25 \\ &= 0.0909 \leq 0.25 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

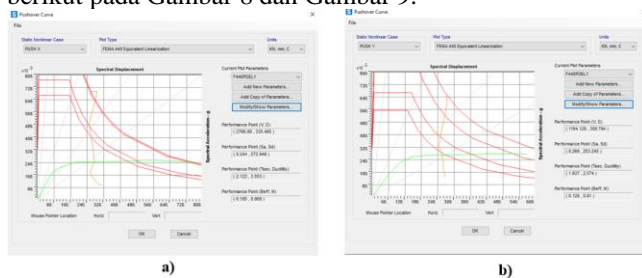
Hasil dari kontrol perhitungan pengaruh P-Delta terhadap simpangan antar lantai ditunjukkan pada Gambar 8.



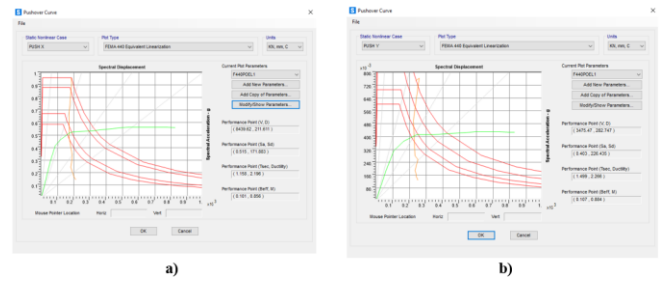
Gambar 8. Kontrol Simpangan Antar Lantai terhadap Pengaruh P-Delta (a) Struktur *existing* (b) Struktur modifikasi

Analisis Pushover

Pada penelitian ini dilakukan analisis *pushover* pada dua permodelan struktur yang ditinjau yaitu struktur *existing* dan struktur modifikasi. Analisis *pushover* yang digunakan adalah analisis dua dimensi sehingga harus menentukan portal yang memikul momen terbesar pada arah X dan arah Y. Analisa *pushover* yang digunakan yaitu analisa *pushover* 2D sehingga pembebanan yang dilakukan pada perhitungan analisa *pushover* dibedakan menjadi 2 jenis. Masing-masing pembebanan tersebut digunakan untuk analisis pada kedua arah, yaitu arah X dan arah Y. Analisa *pushover* dilakukan 2 dimensi sehingga diperoleh kurva kapasitas, target *displacement*, dan level kinerja sebagai berikut pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Kurva *Pushover* Struktur *existing* (a) Arah X (b) Arah Y



Gambar 9. Kurva *Pushover* Struktur Modifikasi (a) Arah X (b) Arah Y

Dari Gambar 8 dan Gambar 9 diperoleh titik penting (*performance point*) pada kurva kapasitas yang ditunjukkan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Analisis *Pushover* Struktur *existing*

Parameter	Arah X	Arah Y	Parameter	Arah X	Arah Y
Gaya Geser Saat			<i>Displacement</i> Saat		
Leleh (kN)	2762.73	1170.58	Leleh (mm)	320.27	327.89
Gaya Geser Saat			<i>Displacement</i> Saat		
Ultimate (kN)	2932.27	1229.78	Ultimate (mm)	677.73	596.02
C0	1.2295	1.2158	Sa	0.639	0.639
C1	1.0000	1.0000	Target		
C2	1.0000	1.0000	<i>Displacement</i> (mm)	0.302	0.321

Sumber: Hasil Pengolahan data (2024)

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Analisis *Pushover* Struktur Modifikasi

Parameter	Arah X	Arah Y	Parameter	Arah X	Arah Y
Gaya Geser Saat			<i>Displacement</i> Saat		
Leleh (kN)	8600.83	3545.00	Leleh (mm)	234.22	301.53
Gaya Geser Saat			<i>Displacement</i> Saat		
Ultimate (kN)	9592.25	3873.77	Ultimate (mm)	833.62	878.76
C0	1.2300	1.2550	Sa	0.639	0.639
C1	1.0366	1.0000	Target		
C2	1.0000	1.0000	<i>Displacement</i> (mm)	0.156	0.255

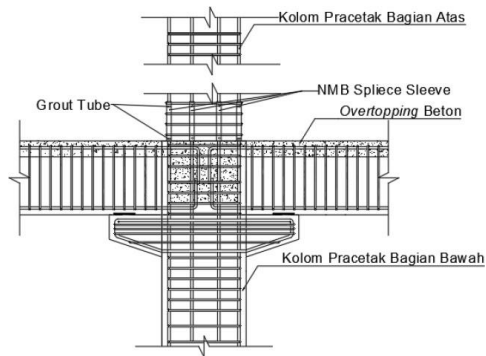
Sumber: Hasil Pengolahan data (2024)

Berdasarkan analisis data, didapatkan hasil bahwa level kinerja struktur *existing* maupun modifikasi termasuk dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO).

Perencanaan Sambungan antar Elemen Precast

a. Sambungan Balok-Kolom

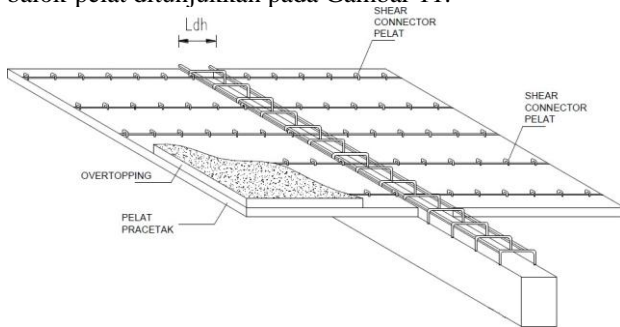
Sambungan balok dan kolom menggunakan konsol pendek pada kolom K1 dan K2 dengan dimensi konsol pendek 500 x 350 mm, dan memanfaatkan panjang penyaluran tulangan balok induk dalam tekan 550 mm dan dalam tarik 500 mm dengan panjang bengkokan kait 90° sebesar 348 mm. Sketsa perencanaan ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Sambungan Balok-Kolom *Precast* dengan Konsol

b. Sambungan Balok-Pelat

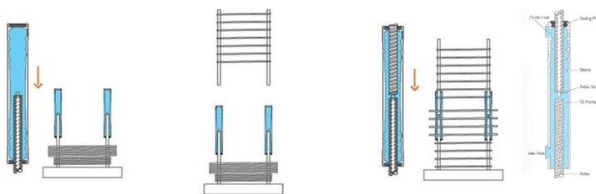
Sambungan antara balok dengan pelat mengandalkan adanya tulangan tumpuan yang dipasang memanjang melintang tegak lurus di atas balok (menghubungkan *stud-stud* pelat). Selanjutnya pelat pracetak yang sudah dihubungkan *stud-studnya* tersebut diberi *overtopping* dengan cor setempat. Sketsa perencanaan sambungan balok-pelat ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Sambungan Balok-Pelat *Precast*

c. Sambungan Kolom-Kolom

Penyambungan antara elemen kolom pracetak menggunakan sambungan mekanik dengan menggunakan produk dari *NMB Splice Sleeve*. Penyambungan tulangan antar kolom pracetak dengan *NMB Splice Sleeve* tidak membutuhkan panjang penyaluran, sketsa perakitan dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Sambungan Kolom-Kolom *Precast* dengan *NMB Splice Sleeve*

Setelah dilakukan analisis dan perhitungan penggunaan *NMB Splice Sleeve*, maka digunakan profil 14-UX dan 9-UX, rekapitulasi perhitungan dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi Perhitungan Sambungan Kolom – Kolom Pracetak

Kolom	Dimensi (mm)	Profil NMB Splice Sleeve
K1	1100 x 1100	14-UX
K2	1100 x 1100	14-UX
K6	600 x 600	9-UX
KL	600 x 600	9-UX

Sumber: Hasil Pengolahan data (2024)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, didapatkan beberapa kesimpulan penelitian, diantaranya sebagai berikut :

1. Perilaku Struktur
 - a) Periode fundamental yang dihasilkan dari struktur modifikasi (1.6059 detik) sedangkan pada struktur *existing* dihasilkan periode fundamental struktur (1.2349 detik). Berdasarkan periode yang dihasilkan, didapatkan bahwa periode pada struktur modifikasi menghasilkan nilai yang lebih besar daripada struktur *existing*, namun nilai ini masih dalam batasan periode minimum dan maksimum.
 - b) Berdasarkan gaya geser dasar yang dihasilkan, didapatkan bahwa gaya geser dasar lebih dominan arah X pada kedua permodelan struktur, namun gaya geser dasar yang dihasilkan pada struktur *existing* memiliki nilai yang lebih besar daripada struktur modifikasi.
 - c) Simpangan antar lantai struktur *existing* maupun struktur modifikasi memenuhi persyaratan.(masih memenuhi batas simpangan ijin yang ditentukan).
2. Kinerja Struktur

Level kinerja struktur bangunan *existing* dan struktur bangunan modifikasi pada penelitian ini menggunakan perhitungan data analisis berdasarkan FEMA 440 untuk arah X dan Y didapatkan hasil sebagai berikut:

Level kinerja bangunan pada arah X didapatkan senilai 0.00593 pada struktur *existing* dan senilai 0.00305 pada struktur modifikasi, dimana nilai tersebut kurang dari 1%. Sehingga level kinerja struktur *existing* maupun struktur modifikasi termasuk dalam level IO (*Immediate Occupancy*)

Level kinerja bangunan pada arah Y didapatkan senilai 0.00641 pada struktur *existing* dan senilai 0.00499 pada struktur modifikasi, dimana nilai tersebut kurang dari 1%. Sehingga level kinerja struktur *existing* maupun modifikasi termasuk dalam level IO (*Immediate Occupancy*)
3. Perencanaan Sambungan
 - a) Sambungan balok dan kolom menggunakan konsol pendek pada kolom dengan dimensi 500 x 350 mm, dan memanfaatkan panjang penyaluran tulangan balok induk dalam tekan 550 mm dan dalam tarik 500 mm dengan panjang bengkokan kait 90° 348 mm.

- b) Sambungan balok dan pelat menggunakan panjang penyaluran tulangan pelat dalam tarik 350 mm dan dalam tekan 200 mm.
- c) Sambungan antar elemen kolom utama pracetak menggunakan sambungan kering dari produk NMB Splice Sleeve 14-UX.

DAFTAR PUSTAKA

- Devania, A., & Hermawan, A. R. (2020). Modifikasi Struktur Gedung Dengan Beton Pracetak Pada Apartemen the Conexio. *Construction and Material Journal*, 2(2), 115–122. <https://doi.org/10.32722/cmj.v2i2.3092>
- Erviyanto, W. I. (2006). Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi; Beton Pracetak dan Bekisting. In *Cv Andi Offset*.
- FEMA440. (2005). *FEMA 440* (Issue 10).
- Fikri Pratama, B. S., & Kurnia, F. (2022). Analisis Struktur Gedung Dengan Modifikasi Pelat Lantai Dan Dinding Dengan Metode Penerapan Rekayasa Nilai (Value Engineering). *Jurnal ARTESIS*, 2(2), 185–191. <https://doi.org/10.35814/artesis.v2i2.4301>
- Lambado, Z. S. (2020). Perencanaan Struktur Gedung 5 Lantai Di Kelurahan Ngade Ternate. *Clapeyron : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 1(1), 8–14. <https://doi.org/10.33387/clapeyron.v1i1.1629>
- Nofianto, A. T. (2022). *Analisis Modifikasi Struktur Atas Dengan Plat Precast Half Slab Dan Rab Gedung Apartemen the Grand Stand Surabaya*. 3(September), 70–75.
- Nurmaidah, N., & Cristiani, R. (2019). Analisa Pekerjaan Dinding Beton Pracetak Pada Proyek Podomoro City Deli Medan. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 6–12. <https://doi.org/10.30811/portal.v10i1.970>
- Oktopianto, Y., & Andayani, R. (2013). *Fenomena gempa merupakan gejala alam yang sangat berpengaruh terhadap bangunan , terutama pada bangunan tinggi . tahan gempa sangat penting di Indonesia , terletak dalam wilayah gempa dengan intensitas sedang hingga tinggi . Bangunan performance based sei*. 5, 8–9.
- PCI-Design-Handbook-8th-Edition. (2017). *PCI Design Handbook*, 8th Edition. In *PCI-Design-Handbook-8th-Edition*. <https://doi.org/10.15554/mnl-120-17>
- Propika, J., Septiarsilia, Y., Fitriyah, D. K., & Sipil, T. (2023). *Redesign Struktur Gedung Rusun dengan Half Slab System dan Balok Precast*. 8(2).
- Propika, J., Septiarsilia, Y., Susanti, E., & Pertiwi, D. (2023). Komparasi Sistem Pelat Konvensional dan Sistem Pelat Precast Hollow Core Slab pada Struktur Gedung. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen*, 4(2), 111–118. <https://doi.org/10.31284/j.jtm.2023.v4i2.4491>
- Septiarsilia, Y., Iranata, D., & Suswanto, B. (2023). Hybrid Beam-Column Connection of Precast Concrete Structures: A Review. *E3S Web of Conferences*, 434, 1–12. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343402019>
- SNI-1726. (2019). *SNI 1726-2019* (Issue 8).
- SNI-1727. (2020). *SNI 1727:2020* Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. In *Jakarta* (Issue 8).
- SNI-2847. (2019). *SNI 2847-2019* Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. In *Sni 2847-2019* (Issue 8).
- Sodikin, M., Zulaicha, L., & Hadisaputro, I. (2020). Pemakaian Beton Pracetak Alternatif Pada Perencanaan Gedung Rsud Tipe B Kabupaten Magelang. *Equilib*, 01(01), 1–10.
- Sultan, M. A. (2016). Evaluasi Struktur Beton Bertulang. *Jurnal Sipil Sains*, 06, 1–8.