

PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KANTOR OTORITAS JASA KEUANGAN (OJK) KAWASAN REGIONAL 4 DENGAN METODE BETON PRACETAK

Dwi Oktavianto^{1,*}, Nurul Rochmah¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

*Corresponding authors: dwi.oktavianto4@gmail.com

Submitted: 5 July 2022, Revised: 12 September 2022, Accepted: 24 September 2022

ABSTRACT: This study aims to plan the structure of the Regional Financial Services Authority Office Building 4 East Java using precast concrete. The use of precast concrete is based on advantages in terms of economy, efficiency, speed of implementation, and energy consumption that have an impact on the environment. The precast concrete structure is designed by assuming the structure is monolithic cast in place. Precast elements require joints that function to transfer the forces that occur between elements. Planning refers to the guidelines that apply in Indonesia, namely SNI 1727:2020, SNI 1726:2019, and SNI 2847:2019. Based on the results of the analysis obtained the configuration of the structure, the dimensions of each structural element, and the connection between the structural elements. The connection uses a combination of dry and wet joints which aims to produce a monolithic structure. The connection between the column and the column uses 4 PEC® Column Shoe, the connection between the main beam and the sub-beam uses a combination of corbel, 2 BECO® Beam Shoe at the bottom of the main beam, and a rebar coupler that connects the top reinforcement of the main beam. The connection between the beams and the main beam uses 2 BECO® Beam Shoes at the bottom of the beams and distribution reinforcement at the top of the beams. The connection of the slab to the beam uses joint reinforcement at the top and bottom of the slab.

KEYWORDS: dry connection; precast concrete; precast connection; wet connection.

ABSTRAK: Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan struktur Gedung Kantor Otoritas Jasa Keuangan Kawasan Regional 4 Jawa Timur menggunakan beton pracetak. Penggunaan beton pracetak didasarkan pada keunggulan dalam aspek ekonomi, efisien, kecepatan dalam pelaksanaan dan konsumsi energi yang berdampak terhadap lingkungan. Struktur beton pracetak direncanakan dengan menganggap struktur tersebut bersifat monolit yang dicor di tempat. Elemen pracetak memerlukan sambungan yang berfungsi mentransfer gaya – gaya yang terjadi antar elemen. Perencanaan mengacu pada pedoman yang berlaku di Indonesia yaitu SNI 1727:2020, SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019. Berdasarkan hasil analisis didapatkan konfigurasi struktur, dimensi masing – masing elemen struktur dan sambungan antar elemen strktur. Sambungan menggunakan kombinasi sambungan kering dan basah yang bertujuan untuk menghasilkan struktur yang monolit. Sambungan antara kolom dengan kolom menggunakan 4 buah PEC® Column Shoe, sambungan antara balok induk dengan balok anak menggunakan kombinasi konsol pendek, 2 buah BECO® Beam Shoe pada bagian bawah balok induk dan Rebar Coupler yang menyambungkan tulangan atas balok induk. Sambungan antara balok anak dengan balok induk menggunakan 2 buah BECO® Beam Shoe pada bagian bawah balok anak dan tulangan penyaluran pada bagian atas balok anak. Sambungan pelat dengan balok menggunakan tulangan penyaluran pada bagian atas dan bawah pelat.

KATA KUNCI: sambungan kering; beton pracetak; sambungan beton pracetak; sambungan basah.

© The Author(s) 2020. This article is distributed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International license.

1 PENDAHULUAN

Tujuan pembangunan adalah untuk meningkatkan fasilitas infrastruktur dan perekonomian. Pada tahap konstruksi, pengendalian dilakukan untuk mencapai penyelesaian pembangunan dengan tepat mutu, waktu dan biaya, tetapi seringkali mengesampingkan permasalahan lingkungan yang mungkin dapat ditimbulkan sebagai dampak dari pembangunan. Aktivitas intens di area konstruksi (karena dikerjakan secara konvensional) menghasilkan ketidakrapian, debu, polusi udara, gangguan lalu lintas dan ketidaknyamanan lainnya, hal ini menimbulkan

gangguan bagi orang-orang disekitar area pembangunan, gangguan lalu lintas yang dihasilkan menimbulkan kejengkelan pengendara yang melalui daerah tersebut, serta membutuhkan konsumsi energi yang lebih besar dan menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK). Hampir 50% dari semua emisi GRK dihasilkan oleh bangunan dan konstruksinya dalam hal energi yang digunakan dalam produksi bahan, transportasi bahan dari pabrik produksi ke lokasi konstruksi, serta energi dikonsumsi dalam tahap operasional (Wu, 2014).

Banyak upaya telah dilakukan untuk mengurangi emisi karbon untuk mencapai tujuan jangka panjang pembangunan berkelanjutan, termasuk inovasi proses dan teknologi (Spence & Mulligan, 1995). Beton pracetak didefinisikan sebagai proses pengangkutan beton yang diproduksi di tempat lain ke lokasi konstruksi dan merakitnya dengan benar (Elliott, 2019). Karena kemudahan dalam manajemen proses dan kemampuan konstruksi yang hebat, metode pracetak dianggap sebagai masa depan konstruksi karena memperpendek masa konstruksi, peningkatan kualitas, penurunan kecelakaan, dan pilihan beton ramah lingkungan yang disediakan untuk industri konstruksi (Kim & Chae, 2016).

Pemilihan penggunaan beton pracetak didasarkan pada aspek ekonomi, efisien dan kecepatan dalam pelaksanaannya. Metode beton yang paling umum digunakan untuk pembangunan gedung bertingkat di Surabaya adalah metode beton pracetak (64.9%). Sedangkan dengan metode beton tradisional, nilai persentasenya adalah 35.1%, yang ditentukan berdasarkan kriteria keselamatan pekerja, kekuatan struktur, kualitas kerja, biaya tenaga kerja, waktu pelaksanaan, jadwal kerja, kapasitas kontraktor, bentuk bangunan, keindahan bangunan, dan perubahan cuaca (Khakim et al., 2012).

Ditengah perubahan iklim dan pemanasan global, bangunan mengkonsumsi 36% energi yang dihasilkan, dan bertanggung jawab atas 39% emisi karbon global, menjadikannya sektor penyumbang terbesar perubahan iklim (Green Building Council Indonesia, 2021). Dimana hampir 50% dari semua emisi GRK dihasilkan oleh bangunan dan konstruksinya dalam hal energi yang digunakan dalam produksi bahan, transportasi bahan dari pabrik produksi ke lokasi konstruksi, serta energi dikonsumsi dalam tahap operasional (Wu, 2014). Metode beton pracetak dinilai mampu mengurangi konsumsi energi dengan minimnya aktivitas di area proyek. Pada rantai produksi beton pracetak, aktivitas paling banyak dilakukan pada pabrik beton pracetak, tetapi konsumsi energi yang terpusat di pabrik mudah dikontrol dengan mengurangi banyak kegiatan yang tidak menambah nilai proses produksi dan menerapkan Lean manufacturing (Peng & Low Sui Pheng, 2011).

Maka pemilihan penggunaan beton pracetak tidak hanya berdasarkan aspek ekonomi, efisien dan kecepatan dalam pelaksanaannya saja tetapi juga dampak terhadap lingkungan. Namun metode beton pracetak akan efektif dan efisien jika penerapannya dilakukan pada pekerjaan yang bersifat massal dan berulang.

Dalam perencanaan struktur, struktur beton pracetak biasanya mengikuti pendekatan yang mengasumsikan struktur bersifat monolit menggunakan beton dengan pengecoran ditempat. Pendekatan ini dikenal sebagai pendekatan desain emulasi. Dengan pendekatan ini, perencanaan sistem

struktur untuk struktur beton pracetak dapat direncanakan dengan menggunakan aturan struktur beton konvensional (Tjahjono & Purnomo, 2010). Sambungan setiap elemen pracetak merupakan bagian yang sangat penting dalam mentransfer gaya-gaya yang terjadi antar elemen pracetak yang dirangkai menjadi satu kesatuan (Cahyani et al., 2019). Jika tidak direncanakan dengan baik, maka sambungan dapat mengubah aliran gaya sehingga dapat mengubah hirarki keruntuhan yang ingin dicapai dengan konsep *strong column-weak beam* (SCWB) yang akhirnya dapat mengakibatkan keruntuhan dini pada struktur.

Gedung kantor Otoritas Jasa Keuangan (OJK) Kawasan Regional 4 Jawa Timur ditargetkan mendapatkan sertifikasi *Gold* dari *Green Building Council Indonesia* yang merupakan bentuk komitmen OJK dalam mendukung pembangunan ekonomi hijau yang ramah lingkungan. Untuk mencapai hal tersebut maka pada tahap konstruksi digunakan metode beton pracetak pada struktur gedung. Oleh karena itu, tujuan penelitian pada studi ini adalah untuk merencanakan struktur gedung dengan menggunakan metode beton pracetak dan pendetailan pada perencanaan sambungan antar elemen pracetak. Saat merencanakan struktur, acuan standar diperlukan agar struktur yang dihasilkan nyaman, tahan lama, dan ekonomis. Persyaratan ini mencakup persyaratan material, metode analisis sebagai pedoman perhitungan, dan beban serta kombinasinya pada struktur (Pratama & Hidayatullah, 2021).

2 METODOLOGI

Struktur Gedung Kantor Otoritas Jasa Keuangan Kawasan Regional 4 Jawa Timur yang berlokasi di Jl. Gubernur Suryo No. 28-30, Surabaya direncanakan menggunakan metode beton pracetak. Dimana pada perencanaannya digunakan pendekatan dengan menganggap struktur bersifat monolit sehingga dapat menggunakan kaidah perencanaan seperti beton konvensional yang kemudian dilakukan pendetailan terhadap sambungan antar elemen pracetak.

Tahapan yang dilakukan dalam perencanaan Struktur Gedung Kantor Otoritas Jasa Keuangan Kawasan Regional 4 Jawa Timur sebagai berikut:

2.1 Pengumpulan Data dan Studi Literatur

Perencanaan dilakukan dengan mengacu pada peraturan yang berlaku di Indonesia yaitu SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Gedung dan Struktur Lain, SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan dan literatur lain terkait perencanaan struktur dengan metode beton pracetak.

Data umum dan teknis Gedung Kantor Otoritas Jasa Keuangan Kawasan Regional 4 Jawa Timur antara lain:

1. Data Umum
 - a. Nama gedung : Kantor Otoritas Jasa Keuangan Kawasan Regional 4
 - b. Lokasi : Jl. Gubernur Suryo No.28-30, Surabaya
 - c. Fungsi : Kantor
 - d. Jumlah lantai : 10 Lantai + Atap
 - e. Tinggi bangunan : 47.5m
 - f. Luas bangunan : $\pm 12,000 \text{ m}^2$
2. Data Spesifikasi Bahan

Mutu beton:

 - a. Balok & Pelat : $f'_c = 30 \text{ Mpa}$
 - b. Kolom : $f'_c = 35 \text{ Mpa}$

Mutu baja tulangan:

Tegangan leleh baja (f_y) : BJTS-420B, $f_y = 420 \text{ MPa}$
3. Data gambar

Gambar DED Arsitektur (ARS)

2.2 Analisis Struktur

Struktur dimodelkan secara 3 dimensi menggunakan perangkat lunak ETABS selanjutnya dilakukan input pembebanan menurut SNI 1727:2020 dan SNI 1726:2019. Hasil analisis struktur kemudian dikontrol terhadap suatu batasan tertentu sesuai SNI 1726:2019 untuk menentukan kelayakan sistem struktur.

2.3 Perencanaan Penulangan

Gaya – gaya dalam tiap elemen struktur yang didapatkan dari tahap analisis struktur kemudian dianalisis secara manual berdasarkan SNI 2847:2019 dengan tujuan mengetahui kebutuhan penulangan tiap elemen struktur yang mampu memenuhi batasan – batasan ketentuan yang ditetapkan.

2.4 Perencanaan Sambungan

Sambungan yang digunakan pada elemen beton pracetak dapat dikategorikan menjadi dua kelompok yaitu sambungan kering (*dry connection*) dan sambungan basah (*wet connection*) (Yuniarto Adi et al., 2014). (1) Sambungan tipe kering adalah sambungan yang menggunakan alat sambungan berbentuk pelat besi sebagai penyambung dan mengelas atau memasang bautnya. (2) Sambungan basah adalah sambungan dengan tulangan beton pracetak yang dipasang lebih panjang sehingga keluar dari beton pracetak, kemudian disambung dengan tulangan dari beton pracetak lain dengan cara pengecoran ditempat.

Sambungan kering dan basah dalam penggunaannya memiliki keunggulannya masing-masing. Perbandingan metode sambungan kering dan basah menurut (Erviyanto, 2006). (1) Sambungan kering

(*dry connection*) menghasilkan struktur yang tidak monolit dan dianggap memiliki toleransi dimensi yang ketat, yang membutuhkan akurasi tinggi dalam proses pembuatan dan pemasangan, tetapi waktu pemasangan 25% hingga 40% lebih cepat daripada sambungan basah. (2) Sambungan basah (*wet connection*) memiliki struktur yang monolit dengan toleransi dimensi yang besar, namun membutuhkan waktu karena membutuhkan waktu untuk mengeringkan beton.

Beton pracetak yang direncanakan menggunakan *half precast* atau pracetak sebagian pada bagian atas akan dilakukan pengecoran secara in situ maka perencanaan sambungan bagian atas dapat memanfaatkan tulangan penyaluran seperti sambungan pada beton konvensional. Perhitungan panjang tulangan penyaluran mengacu pada SNI 2847:2019 Pasal 25.4 sebagai berikut:

Panjang penyaluran batang ulir, l_d , dalam kondisi tarik diambil nilai terbesar dari persamaan 1-2 SNI 2847:2019 Pasal 25.4.2.1 (Anonim, 2019c):

$$l_{d \text{ maks1}} = 300 \text{ mm} \dots\dots\dots (1)$$

$$l_{d \text{ maks2}} = \left(\frac{f_y \times \Psi_t \times \Psi_e}{2.1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b \dots\dots\dots (2)$$

dimana d_b adalah diameter tulangan (mm), Ψ_t adalah faktor modifikasi posisi pengecoran $\Psi_t = 1,0$, Ψ_e adalah faktor modifikasi epoksi untuk tulangan tanpa pelapis (galvanis) $\Psi_e = 1,0$ dan λ adalah faktor modifikasi beton ringan, untuk beton normal $\lambda = 1.0$.

Panjang penyaluran batang ulir l_{dc} , dalam kondisi tekan digunakan nilai terbesar dari persamaan 3-5 SNI 2847:2019 Pasal 25.4.9.2 (Anonim, 2019c):

$$l_{dc \text{ maks1}} = 200 \text{ mm} \dots\dots\dots (3)$$

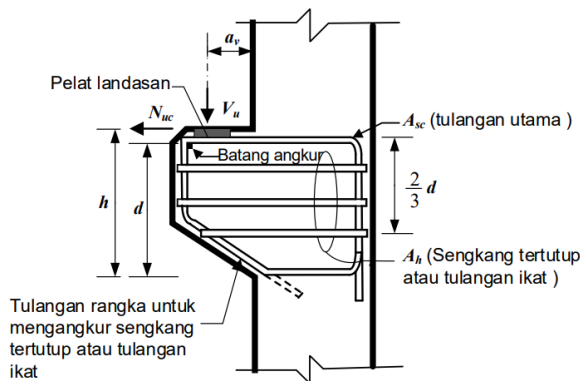
$$l_{dc \text{ maks2}} = \left(\frac{0.24 f_y \Psi_r}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b \dots\dots\dots (4)$$

$$l_{dc \text{ maks3}} = 0.043 f_y \Psi_r d_b \dots\dots\dots (5)$$

dimana d_b adalah diameter tulangan (mm), Ψ_r adalah faktor tulangan pengecoran, $\Psi_r = 1.0$ dan λ adalah faktor modifikasi beton ringan, untuk beton normal $\lambda = 1.0$.

Konsol pendek atau korbel adalah kantilever dengan rasio kedalaman bentang geser lebih rendah dari satu, umumnya menjorok keluar dari dinding atau kolom. Fungsi utama konsol pendek adalah mendukung balok atau lantai pracetak pada sambungan struktur bangunan. Pada prinsipnya konsol pendek didesain untuk menahan gaya geser ultimit, V_u , dan gaya tarik horizontal, N_u (Abdul-Razzaq et al., 2019). Perencanaan konsol pendek sesuai SNI 2847:2019 harus memenuhi rasio bentang terhadap tinggi $a_v/d \leq 1.0$, dengan gaya tarik horizontal terfaktor $N_{uc} \leq V_u$, Kebutuhan tulangan dan pelat landasan konsol pendek dihitung mengacu pada SNI 2847:2019 Pasal 16.5. Bentuk penampang dan notasi yang digunakan dalam

perencanaan konsol pendek ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Penampang Konsol Pendek
(Anonim, 2019c)

Area tulangan tarik utama, A_{sc} diambil nilai terbesar dari persamaan 6-7 SNI 2847:2019 Pasal 16.5.5.1 (Anonim, 2019c):

$$A_{sc1} = A_f + A_n \dots\dots\dots (6)$$

$$A_{sc2} = (2/3)A_{vf} + A_n \dots\dots\dots (7)$$

$$A_{sc2} = 0.04 (f_c' / f_y) (b_w d) \dots\dots\dots (8)$$

dimana A_f adalah luas tulangan dalam braket atau korbek yang menahan momen desain terfaktor (mm²), A_n adalah luas tulangan dalam braket atau korbek yang menahan gaya tarik, N_{uc} (mm²) dan A_{vf} adalah luas tulangan geser-friksi (mm²).

Luas sengkang, A_h dihitung menurut persamaan 9 SNI 2847:2019 Pasal 16.5.5.2 (Anonim, 2019c):

$$A_h = 0.5 (A_{sc} - A_n) \dots\dots\dots (9)$$

dimana A_{sc} adalah luas tulangan tarik utama dalam korbek atau braket (mm²), A_n adalah luas tulangan dalam braket atau korbek yang menahan gaya tarik, N_{uc}

Luas pelat landasan, Al dihitung menurut persamaan 10:

$$Al = V_u / (\phi 0.85 f'c) \dots\dots\dots (10)$$

dimana Al adalah luas pelat landasan (mm²).

PEC® Column Shoe dari PEIKKO GROUP merupakan alat penyambung berupa sepatu kolom yang digunakan untuk menyambungkan antara kolom beton pracetak dengan pondasi atau antar kolom beton pracetak.

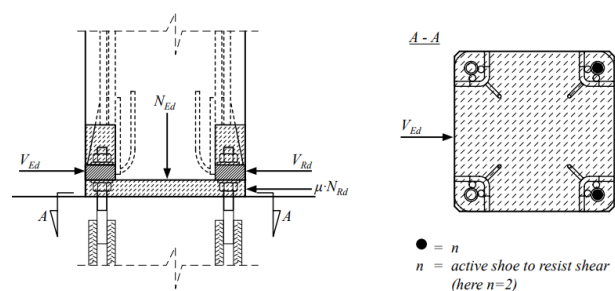
European Association of Earthquake Engineering, the Hellenic Society of the European Association for Earthquake Engineering telah melakukan investigasi penggunaan produk PEIKKO pada sambungan kolom beton pracetak untuk aplikasi sesimik dengan hasil percobaan yang menunjukkan bahwa sambungan dapat menahan beban gempa dengan daktilitas yang memuaskan dan kekakuan yang

sama dengan sambungan cor in situ (Camnasio & Kiriakopoulos, 2012).

Pada penggunaannya *PEC® Column Shoe* dicor pada kolom beton pracetak, didirikan pada angkur kekuatan tinggi yang dicor pada pondasi atau kolom yang lain dengan penyesuaian tingkat dan vertikal yang benar kemudian dihubungkan dengan mur yang dikencangkan. Celah sambungan antara kolom beton pracetak dengan pondasi atau antar kolom beton pracetak kemudian di *grouting*. Setelah *grouting* mencapai kekuatan yang direncanakan, sambungan bertindak sebagai sambungan yang monolit.

Metode desain yang digunakan adalah dengan memastikan desain mampu menahan gaya geser, metode ini telah diverifikasi secara eksperimental sesuai dengan standar Eropa EN 1993-1-8. Nilai desain geser untuk sepatu kolom tunggal pada sisi aktif penampang kolom dihitung sesuai persamaan 11-12 (Kinnunen, 2017).

Metode desain tersebut sesuai dengan petunjuk teknis *PEC® Column Shoe* versi PEIKKO GROUP 09/2018 (Anonim, 2018). Konfigurasi dan notasi dalam perencanaan sepatu kolom ditunjukkan pada Gambar 2, sedangkan nilai desain ketahanan geser masing – masing tipe sepatu kolom ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 2. Konfigurasi Sepatu Kolom
(Anonim, 2018)

Tabel 1. Nilai Desain Ketahanan Geser V_{RD} Masing – Masing Tipe Column Shoe

	PEC 30	PEC 36	PEC 39	PEC 45	PEC 52
V_{RD} kN	89	130	155	207	219

Sumber: Anonim, 2018

$$V'_{ED} \leq V_{RD} \dots\dots\dots (11)$$

$$V'_{ED} = \frac{V_{ED} - \mu N_{ED}}{n} \dots\dots\dots (12)$$

dimana V_{RD} adalah nilai desain ketahanan geser *PEC® Column Shoe* (kN), V_{ED} adalah tegangan geser ultimit di daerah koneksi kolom (kN), N_{ED} adalah gaya tekan aksial di daerah koneksi kolom (kN), μ adalah koefisien gesekan antara pelat dasar dan *grouting*, $\mu = 0.20$ dan n adalah jumlah masing-masing *PEC® Column Shoe* aktif yang menahan gaya geser, lihat Gambar 2.

BECO® Beam Shoe dari PEIKKO GROUP merupakan alat penyambung berupa sepatu balok yang digunakan untuk menyambungkan antara kolom beton pracetak dengan balok beton pracetak. Pada penggunaannya *BECO® Beam Shoe* dipasang pada balok beton pracetak di cor menjadi satu kesatuan yang monolit, kemudian diletakkan diatas konsol pendek, *BECO® Beam Shoe* dihubungkan pada angkur yang telah dipasang pada kolom beton pracetak menggunakan mur yang dikencangkan. Celah sambungan antara kolom beton pracetak dengan balok beton pracetak harus di *grouting* sebagai penguat struktur. Kebutuhan jumlah dan tipe *BECO® Beam Shoe* dihitung berdasarkan ketahanan tarik sistem *BECO® Beam Shoe* menurut petunjuk teknis *BECO® Beam Shoe* versi PEIKKO GROUP 03/2019 sesuai persamaan 13 (Anonim, 2019a).

$$N_{ED} \leq N_{RD} \dots \dots \dots (13)$$

dimana N_{RD} adalah nilai desain ketahanan tarik *BECO® Beam Shoe* (kN), N_{ED} adalah tegangan tarik ultimit di daerah koneksi balok (per satu sepatu balok) (kN).

Tegangan tarik ultimit di daerah koneksi balok (per satu sepatu balok) N_{ED} , dihitung sesuai persamaan 14.

$$N_{ED} = \frac{M_u \times d_i}{(\sum_{i=1}^n d_i^2)} \dots \dots \dots (14)$$

dimana M_u adalah momen ultimit daerah koneksi balok, d_i adalah jarak vertikal antar sepatu balok.

Pada pengaplikasian sistem *PEC® Column Shoe* dan *BECO® Beam Shoe* digunakan angkur *COPRA® Anchoring Coupler* dari PEIKKO GROUP yang merupakan angkur dengan tulangan ulir betina dengan batang berulir yang dapat dilepas untuk menghindari risiko kerusakan selama konstruksi. *COPRA® Anchoring Coupler* berfungsi mentransfer gaya tarik, kompresi dan geser melalui sambungan. Nilai desain ketahanan tarik masing-masing tipe *BECO® Beam Shoe* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Desain Ketahanan Tarik N_{RD} Masing – Masing Tipe *BECO® Beam Shoe* dan *COPRA® Anchoring Coupler*

<i>Beam Shoe</i>	BECO 16H	BECO 20H	BECO 24H	BECO 30H	BECO 39H	BECO 30P	BECO 36P	BECO 39P	BECO 45P	BECO 52P
<i>Anchoring Coupler</i>	COPRA 16H	COPRA 20H	COPRA 24H	COPRA 30H	COPRA 39H	COPRA 30P	COPRA 36P	COPRA 39P	COPRA 45P	COPRA 52P
N_{RD} (kN)	62	96	139	220	383	299	436	521	697	938

Sumber: Anonim, 2019

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

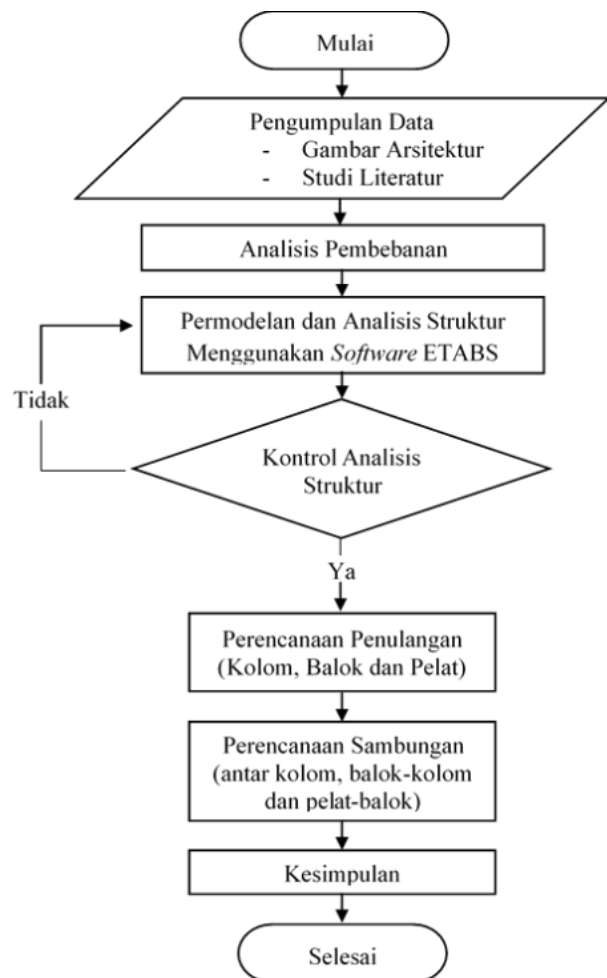
3.1 Analisis dan Kombinasi Pembebanan

Pembebanan yang digunakan dalam analisis struktur adalah beban mati yang merupakan berat sendiri struktur dihitung otomatis oleh *software*

2.5 Kesimpulan

Langkah terakhir dari penelitian ini adalah menarik kesimpulan untuk memenuhi tujuan akhir penelitian berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data yang dilakukan.

Untuk memperjelas, tahapan penelitian disajikan dalam bagan alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

ETABS, berat material struktur dan *finishing* gedung. Beban hidup dihitung berdasarkan fungsi masing – masing lantai mengacu SNI 1727:2020 Pasal 4.3.1. Beban angin dihitung mengacu pada SNI 1727:2020 Pasal 27. Parameter beban angin berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 27 ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter Beban Angin

Parameter beban angin	
V (m/s)	40.9
K_d	0.85
Kategori eksposur	C
K_{zt}	1.0
K_e	1.0
Faktor tiupan angin (G)	0.85

Dinding sisi angin datang, pergi dan tepi secara berturut-turut nilai koefisien tekanan eksternal C_p sebesar (0.8), (-0.5), (-0.7). Beban gempa dihitung mengacu pada SNI 1726:2019 (Anonim, 2019b). Parameter beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019 ditunjukkan pada Tabel 4. Kombinasi pembebanan yang digunakan mengacu pada SNI 1726:2019 Pasal 2.3.1.

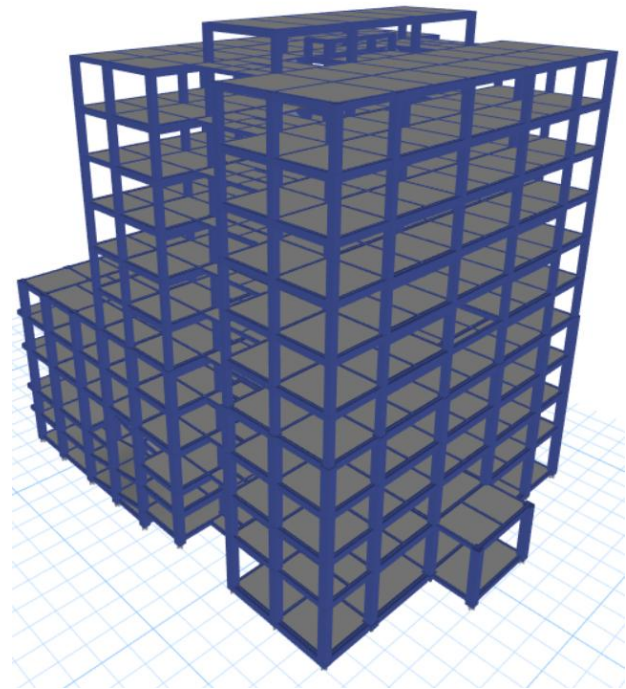
Tabel 4. Kriteria Desain

Parameter		
Kategori risiko bangunan		II
Faktor keutamaan	Ie	1.0
Kelas situs		Tanah lunak (SE)
Percepatan respons spektral MCE	S_S	0.7259
	S_1	0.3198
Percepatan respons spektral	S_{DS}	0.65
	S_{D1}	0.58
Kategori desain seismik		D
Sistem struktur penahan gaya gempa		Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
Faktor reduksi daktilitas		$R = 7$; $\Omega_0 = 3$; $C_d = 5.5$

3.2 Pemodelan dan Analisis Struktur

Struktur gedung dimodelkan kemudian dilakukan analisis struktur secara 3 dimensi menggunakan

perangkat lunak ETABS seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

**Gambar 4.** Pemodelan Struktur Gedung

3.3 Kontrol Analisis Struktur

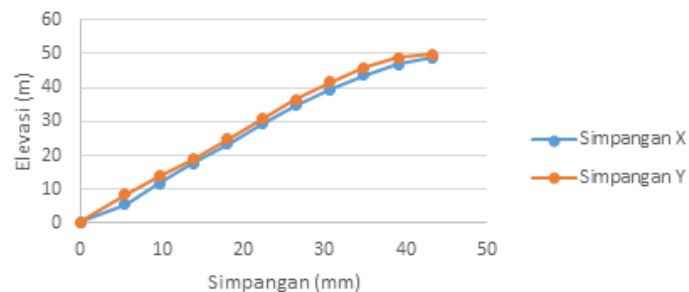
Kontrol analisis struktur dilakukan menurut SNI 1726:2019. Besarnya simpangan antar tingkat yang terjadi pada struktur tidak boleh melebihi simpangan ijin yang dihitung menurut SNI 1726:2019 Tabel 20. Kontrol simpangan antar tingkat pada arah sumbu X akibat beban gempa arah sumbu X ditunjukkan pada Tabel 5 sedangkan kontrol simpangan antar tingkat pada arah sumbu Y akibat beban gempa arah sumbu Y ditunjukkan pada Tabel 6. Kemudian simpangan antar tingkat yang terjadi pada arah sumbu X dan Y disajikan dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Tabel 5. Simpangan Arah Sumbu X

Lantai	Elevasi (m)	Simpangan (mm)	Simpangan Antar Tingkat mm	Story Drift Arah X mm	Story Drift Ijin ($\Delta a/p$) mm	Story Drift < Story Drift Ijin
Lantai Atap	43.3	48.924	2.091	11.5005	64.615	Sesuai
Lantai 10	39.1	46.833	3.28	18.04	64.615	Sesuai
Lantai 9	34.9	43.553	4.169	22.9295	64.615	Sesuai
Lantai 8	30.7	39.384	4.71	25.905	64.615	Sesuai
Lantai 7	26.5	34.674	5.278	29.029	64.615	Sesuai
Lantai 6	22.3	29.396	6.026	33.143	64.615	Sesuai
Lantai 5	18.1	23.37	5.612	30.866	64.615	Sesuai
Lantai 4	13.9	17.758	6.059	33.3245	64.615	Sesuai
Lantai 3	9.7	11.699	6.047	33.2585	64.615	Sesuai
Lantai 2	5.5	5.652	5.378	29.579	64.615	Sesuai
P1B & Lantai 1	0	0.274	0.274	1.507	84.615	Sesuai

Tabel 6. Simpangan Arah Sumbu Y

Story	Elevasi	Simpangan	Simpangan Antar Tingkat	Story Drift Arah X	Story Drift Ijin ($\Delta a/p$)	Story Drift < Story Drift Ijin
	(m)	(mm)	mm	mm	mm	
Lantai Atap	43.3	49.938	1.025	5.6375	64.615	Sesuai
Lantai 10	39.1	48.913	3.087	16.9785	64.615	Sesuai
Lantai 9	34.9	45.826	4.229	23.2595	64.615	Sesuai
Lantai 8	30.7	41.597	5.124	28.182	64.615	Sesuai
Lantai 7	26.5	36.473	5.636	30.998	64.615	Sesuai
Lantai 6	22.3	30.837	6.059	33.3245	64.615	Sesuai
Lantai 5	18.1	24.778	5.943	32.6865	64.615	Sesuai
Lantai 4	13.9	18.835	4.942	27.181	64.615	Sesuai
Lantai 3	9.7	13.893	5.286	29.073	64.615	Sesuai
Lantai 2	5.5	8.607	8.314	45.727	64.615	Sesuai
P1B & Lantai 1	0	0.293	0.293	1.6115	84.615	Sesuai

**Gambar 5.** Simpangan Sumbu X dan Y

3.4 Hasil Analisis Struktur

Dari analisis struktur yang telah dilakukan didapatkan gaya momen ultimit (M_u), geser ultimit (V_u) dan aksial tekan ultimit (P_u) kemudian dilakukan

perencanaan penulangan. Perencanaan penulangan dihitung berdasarkan SNI 2847:2019 dengan hasil perencanaan penulangan pada kolom, balok induk, balok anak dan pelat secara berturut – turut ditunjukkan pada Tabel 7, 8, 9 dan 10.

Tabel 7. Rekapitulasi Perhitungan Kolom

Tipe Kolom	Dimensi		Tul. Utama (mm)	Tul. Geser	
	b (mm)	h (mm)		Tumpuan (mm)	Lapangan (mm)
K1	800	800	24D25	4D13-75	2D13-150
K1-A	600	600	12 D25	4D13-100	2D13-150
K2	450	600	16 D25	4D13-100	2D13-150

Tabel 8. Rekapitulasi Perhitungan Balok Induk

Tipe Balok Induk	Dimensi Pracetak		Over-topping h (mm)	Diamter Tulangan Pakai (mm)							
	b (mm)	h (mm)		Tul. Lentur Tekan Tump.	Tul. Lentur Tarik Tump.	Tul. Lentur Tekan Lap.	Tul. Lentur Tarik Lap.	Tul. Geser Tump.	Tul. Geser Lap.	Tul. Torsi Lap.	Tul. Torsi Tump.
G2A3A	250	230	120	4D19	4D19	5D19	3D19	D10-100	D10-100	2D16	2D16
G34	300	280	120	7D19	4D19	8D19	4D19	D10-100	D10-150	2D16	2D16
G34A	300	330	120	9D19	6D19	7D19	6D19	3D10-100	3D10-200	2D16	2D16
G3A5	350	380	120	8D22	5D22	6D22	7D22	D13-100	D13-200	2D19	2D19
G46	400	480	120	9D22	7D22	8D22	6D22	D13-100	D13-200	2D19	2D19
G57	500	580	120	10D22	8D22	9D22	10D22	3D13-100	3D13-200	4D19	4D19
G69	600	780	120	11D22	11D22	12D22	11D22	3D13-100	3D13-200	6D19	6D19

Tabel 9. Rekapitulasi Perhitungan Balok Anak

Tipe Balok Anak	Dimensi Pracetak		<i>Overtopping</i>	Tul. Pakai (mm)				Tul. Pakai (mm)	
	b (mm)	h (mm)	h (mm)	Tul. Lentur Tekan Tump.	Tul. Lentur Tarik Tump.	Tul. Lentur Tekan Lap.	Tul. Lentur Tarik Lap.	Tul. Geser Tump.	Tul. Geser Lap.
B2A3	250	180	120	4D16	4D16	4D16	4D16	D10-100	D10-200
B2A3A	250	230	120	6D16	2D16	5D16	3D16	D10-100	D10-200
B34	300	280	120	7D19	3D19	7D19	6D19	D10-100	D10-150
B3A5	350	380	120	6D19	6D19	6D19	5D19	D10-75	D10-150

Tabel 10. Rekapitulasi Perhitungan Pelat

Tipe Pelat	Tulangan Pakai		Stud
	Tulangan Utama (mm)	Tulangan Pembagi (mm)	
S1 (<i>Slab On Ground</i>)	D10-100	D10-200	-
S2	D10-120	D10-240	D10-600
S3	D10-120	D10-240	D10-600

3.5 Sambungan Kolom - Kolom

Sambungan antar kolom menggunakan 4 buah *PEC® Column Shoe* tipe PEC 39 dengan ketahanan geser 155 kN, $V'_{ED} = 188,03 \text{ kN} \leq V_{RD} = 155 \text{ kN}$, yang dicor pada bagian bawah kolom kemudian dihubungkan dengan angkur berkekuatan tinggi yang merupakan satu kesatuan sistem yang dicor pada pondasi atau bagian atas kolom yang lain menggunakan mur yang dikencangkan.

3.6 Sambungan Balok Induk-Kolom

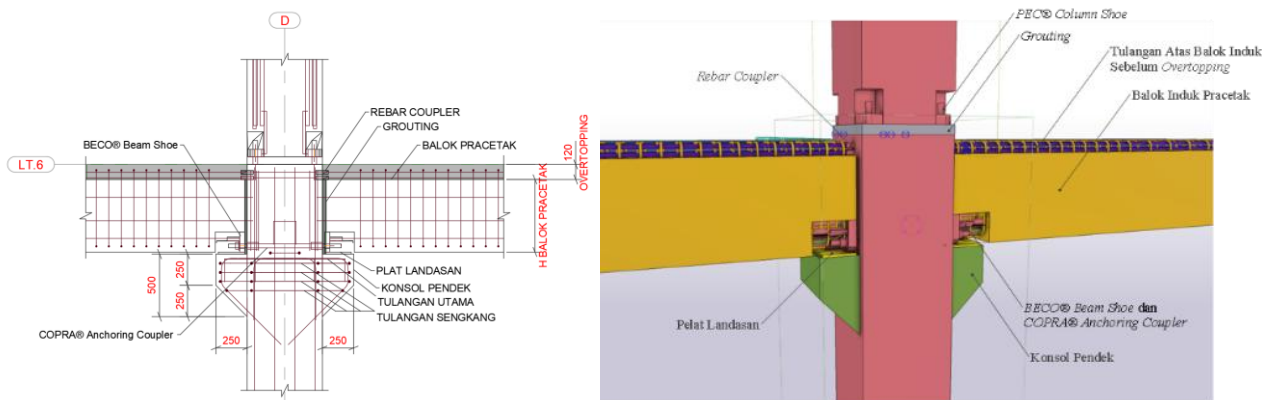
Sambungan antara balok induk dengan kolom menggunakan kombinasi konsol pendek, sepatu balok dengan angkur sebagai alat penyambung pada bagian bawah balok dan *rebar coupler* dengan angkur sebagai alat penyambung pada bagian atas balok. Sepatu balok sebagai penghubung bagian bawah balok dengan kolom dihubungkan dengan angkur yang telah ditanam pada kolom kemudian dibaut. Bagian atas balok dihubungkan dengan *rebar coupler* antara tulangan

balok yang dicor ditempat dengan angkur. (1) Konsol pendek direncanakan menurut SNI 2847:2019 Pasal 16.5, didapatkan tinggi konsol pendek adalah 500mm, tulangan utama 6D25, tulangan sengkang 4D19 dan pelat landasan $200 \text{ mm}^2 \times 300 \text{ mm}^2$ dengan tebal 15mm. (2) Sepatu balok menggunakan 2 buah *BECO® Beam Shoe* pada bagian bawah balok induk yang dihubungkan dengan angkur *COPRA® Anchoring Coupler* yang dicor pada kolom menggunakan mur yang dikencangkan. Pemilihan tipe *COPRA® Anchoring Coupler* dan *BECO® Beam Shoe* berdasarkan perhitungan kuat tarik yang terjadi pada masing – masing angkur kemudian dipilih tipe *COPRA® Anchoring Coupler* dan *BECO® Beam Shoe* dengan ketahanan tarik sama dengan atau melebihi kuat tarik yang diperlukan, $N_{ED} \leq N_{RD}$.

Rekapitulasi hasil perencanaan sambungan balok induk-kolom pada tiap tipe balok induk ditunjukkan pada Tabel 11, sedangkan gambar detail dan ilustrasi sambungan kolom-kolom dan balok induk-kolom ditunjukkan pada Gambar 6.

Tabel 11. Rekapitulasi Perhitungan Sambungan Balok Induk-Kolom

Tipe Balok	Dimensi (mm)	N_{ED} (kN)	N_{RD} (kN)	<i>Anchoring Coupler</i>	<i>Beam Shoe</i>
G2A3A	250/350	107.933	139	COPRA 24H	BECO 24H
G34	300/400	162.392	220	COPRA 30H	BECO 30H
G34A	300/450	224.482	383	COPRA 39H	BECO 39H
G3A5	350/500	249.993	299	COPRA 30P	BECO 30P
G46	400/600	276.605	299	COPRA 30P	BECO 30P
G57	500/700	349.173	436	COPRA 36P	BECO 36P
G69	600/900	394.590	436	COPRA 36P	BECO 36P



Gambar 6. Sambungan Kolom – Kolom dan Balok Induk - Kolom

3.7 Sambungan Balok Anak – Balok Induk

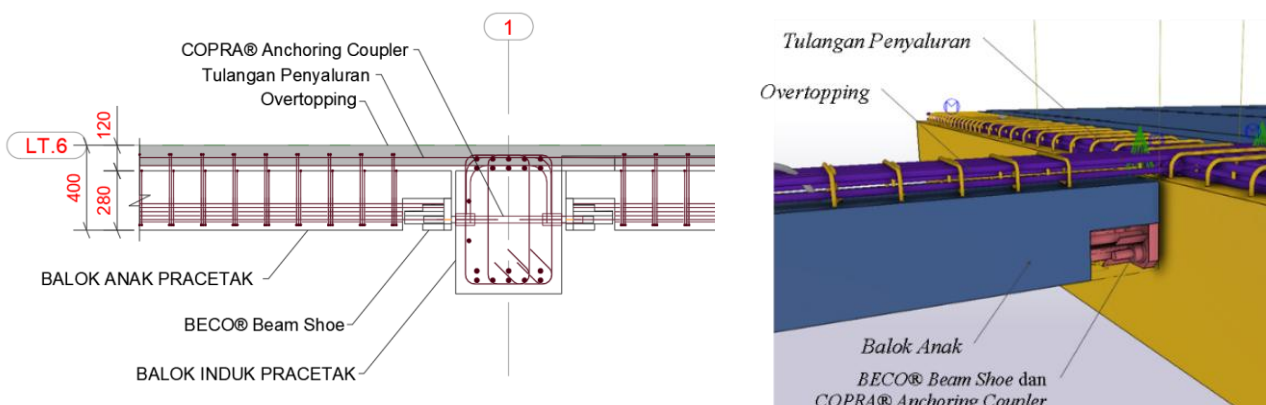
Sambungan antara balok anak dengan balok induk menggunakan kombinasi sepatu balok yang menghubungkan bagian bawah balok induk dengan balok anak dan tulangan dengan panjang penyaluran tanpa kait yang menghubungkan balok bagian atas. (1) Bagian atas balok anak yang diasumsikan menerima tekan menggunakan sambungan dengan tulangan penyaluran tanpa kait dalam kondisi tekan yang dihitung mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 25.4.9.2. Didapatkan kebutuhan panjang tulangan penyaluran dalam kondisi tekan, $l_{dc} = 350\text{mm}$. Panjang tulangan

penyaluran didesain tanpa kait maka kebutuhan panjang tulangan penyaluran tersebut dikalikan 2.5 kali, $l_{dc} = 2.5 \times 350\text{mm} = 875\text{ mm}$. (2) Sepatu balok direncanakan menggunakan 2 buah *BECO® Beam Shoe* pada bagian bawah balok anak yang dihubungkan dengan angkur *COPRA® Anchoring Coupler* yang dicor pada balok induk menggunakan mur yang dikencangkan.

Rekapitulasi hasil perencanaan sambungan balok anak-balok induk pada tiap tipe balok anak ditunjukkan pada Tabel 12, sedangkan gambar detail dan ilustrasi sambungan balok anak-balok induk ditunjukkan pada Gambar 7.

Tabel 12. Rekapitulasi Perhitungan Sambungan Balok Anak-Balok Induk

Tipe Balok	Dimensi (mm)	N_{ED} (kN)	N_{RD} (kN)	Anchoring Coupler	Beam Shoe
B2A3	250/300	73.851	96	COPRA 20H	BECO 20H
B2A3A	250/350	89.968	96	COPRA 20H	BECO 20H
B3A5	350/500	193.567	220	COPRA 30H	BECO 30H
B34	300/400	153.958	220	COPRA 30H	BECO 30H



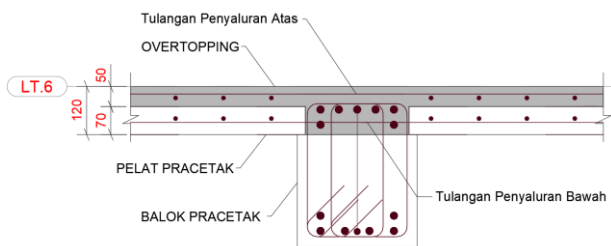
Gambar 7. Sambungan Balok Anak-Balok Induk

3.8 Sambungan Pelat - Balok

Sambungan antara pelat dengan balok (balok induk dan balok anak) direncanakan menggunakan tulangan penyaluran pelat bagian atas dalam kondisi tekan dan bagian bawah dalam kondisi tarik. (1) Pelat

bagian bawah adalah pelat pracetak *half slab*, tulangan penyalurannya merupakan tulangan pelat pracetak yang dibuat keluar dari pelat pracetak dengan panjang dihitung berdasarkan panjang tulangan penyaluran tanpa kait dalam tarik SNI 2847:2019 Pasal 25.4.2.1.

$l_{dc} = 250$ mm. (2) Pelat bagian atas yang akan dicor in situ dihubungkan dengan tulangan penyaluran dengan panjang penyaluran tanpa kait dalam kondisi tekan mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 25.4.9.2. $l_d = 400$ mm. Gambar detail sambungan antara pelat dan balok ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Sambungan Pelat-Balok

4 KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Balok menggunakan balok *half precast* dengan ketebalan *overtopping* 120mm.
2. Kolom menggunakan kolom pracetak penuh.
3. Pelat menggunakan *half slab* dengan ketebalan *overtopping* 50mm.
4. Sambungan antara kolom dengan kolom menggunakan *PEC® Column Shoe*.
5. Sambungan antara balok induk dengan kolom menggunakan kombinasi konsol pendek, 2 buah *BECO® Beam Shoe* yang dicor pada bagian bawah balok induk pracetak disambungkan dengan *COPRA® Anchoring Coupler* yang telah dicor pada kolom dan tulangan bagian atas balok induk disambungkan dengan angkur yang telah dicor pada kolom menggunakan rebar coupler.
6. Sambungan antara balok anak dengan balok induk menggunakan 2 buah *BECO® Beam Shoe* yang dicor pada bagian bawah balok anak pracetak disambungkan dengan *COPRA® Anchoring Coupler* yang telah dicor pada balok induk dan bagian atas balok anak disambungkan dengan tulangan penyaluran tanpa kait dengan panjang 875mm.
7. Sambungan antara pelat dengan balok menggunakan tulangan penyaluran tanpa kait, bagian bawah pelat merupakan tulangan pelat pracetak yang dibuat keluar dari pelat pracetak dengan panjang 250mm. Bagian atas menggunakan tulangan penyaluran dengan panjang penyaluran 400mm.

Saran bagi penelitian selanjutnya antara lain:

1. Penggunaan metode beton pracetak akan efektif dan efisien jika digunakan pada konfigurasi struktur yang seragam atau tipikal sehingga pada perencanaan struktur sebaiknya

memperhatikan keseragaman konfigurasi struktur.

2. Penggunaan kombinasi sambungan kering dan basah harus mempertimbangkan untuk memastikan kedua mekanisme tersebut bekerja sesuai rencana sehingga diperlukan penelitian atau pengujian lebih lanjut terhadap penggunaan kombinasi kedua mekanisme tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2018). *Petunjuk Teknis PEC® Column Shoe versi PEIKKO Group 09/2018*. Finlandia: PEIKKO Group Corporation
- Anonim. (2019a). *Petunjuk Teknis BECO® Beam Shoe versi PEIKKO Group 03/2019*. Finlandia: PEIKKO Group Corporation
- Anonim. (2019b). *SNI 03-1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim. (2019c). *SNI 2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim. (2020). *SNI 1727-2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Abdul-Razzaq, K. S., Dawood, A. A., & Mohammed, A. H. (2019). A Review of Previous Studies on the Reinforced Concrete Corbels. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 518(2). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/518/2/022057>
- Cahyani, K. N., Soehardjono, A., & Wibowo, A. (2019). Kajian Eksperimental Pola Retak Pada Sambungan Balok-Kolom Beton Pracetak Dengan Menggunakan Sambungan Kering. *PROKONS Jurusan Teknik Sipil*, 13(1), 31. <https://doi.org/10.33795/prokons.v13i1.171>
- Camnasio, E., & Kiriakopoulos, P. (2012). *Investigation on Bolted Precast Column Connection for Seismic Applications*. 1–8.
- Elliott, K. S. (2019). *Precast Concrete Structures (Second Edition)*. Crc Press. www.TechnicalBooksPdf.com
- Ervianto, W. I. (2006). *Studi Implementasi Teknologi Beton Pracetak Bagi Bangunan Gedung*. Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta .
- Green Building Council Indonesia. (2021, November 18). *Net Zero Healthy*. <https://Gbcindonesia.Org>. <https://gbcindonesia.org/netzero>
- Khakim, Z., Anwar, M. R., & Hasyim, M. H. (2012). Studi Pemilihan Pengerjaan Beton Antara Pracetak Dan Konvensional Pada Pelaksanaan Konstruksi Gedung Dengan Metode Ahp. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 5(2), 13.
- Kim, T., & Chae, C. U. (2016). Evaluation analysis of the CO2 emission and absorption life cycle for precast concrete in Korea. *Sustainability (Switzerland)*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/su8070663>
- Kinnunen, J. (2017). ETA Tests and Design of HPKM Column Shoe Connections. *Procedia Engineering*, 172, 521–528. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.061>
- Peng, W., & Low Sui Pheng. (2011). Lean Production, Value Chain and Sustainability in Precast Concrete Factory – A Case Study in Singapore. *Lean Construction Journal* 2011, 19–37.
- Pratama, M. F. W., & Hidayatullah, E. F. N. (2021). Perancangan Ulang Struktur Atas Gedung Kantor Otoritas Jasa Keuangan Surakarta Menggunakan Baja

- Konvensional. *INERSIA Informasi dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur*, 17(2), 141–152. <https://doi.org/10.21831/inersia.v17i2.34187>
- Spence, R., & Mulligan, H. (1995). Sustainable development and the construction industry. *Habitat International*, 19(3), 279–292. [https://doi.org/10.1016/0197-3975\(94\)00071-9](https://doi.org/10.1016/0197-3975(94)00071-9)
- Tjahjono, E., & Purnomo, H. (2010). Pengaruh Penempatan Penyambungan Pada Perilaku Rangkaian Balok-Kolom Beton Pracetak Bagian Sisi Luar. *MAKARA of Technology Series*, 8(3), 90–97. <https://doi.org/10.7454/mst.v8i3.266>
- Wu, P. (2014). Monitoring Carbon Emissions in Precast Concrete installation Through Lean Production - A Case Study in Singapore. *Journal of Green Building*, 191–211.
- Yuniarto Adi, R., Nurhuda, I., Fitriani Perilaku dan Kekuatan Sambungan Kolom pada Sistem Beton Pracetak, I., & Fitriani, I. (2014). Perilaku dan Kekuatan Sambungan Kolom pada Sistem Beton Pracetak. *Jurnal MKTS*, 20(1).