

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Struktur gedung beton bertulang bertingkat pada umumnya dianalisis menggunakan analisis konvensional dengan metode linear. Menurut (Irfan *et al.*, 2022) pada analisis konvensional dengan metode linear, beban dianggap bekerja setelah struktur berdiri secara keseluruhan. Struktur mengalami kerusakan akibat beban yang diberikan pada setiap bangunan secara bersamaan yang menunjukkan bahwa seluruh tingkat di portal berada dalam kondisi awal yang sama dimana tegangan awal, gaya luar, dan deformasi struktur belum ada.

Di lapangan pengerjaan struktur dilakukan secara bertahap, dan pada pemodelan struktur lebih dikenal dengan analisis konstruksi bertahap. Portal dikerjakan dalam beberapa tahapan mulai dari tingkat 1, 2, 3, dan seterusnya. Ketika suatu tingkat tertentu sudah selesai dikerjakan, maka tingkat tersebut sudah menerima beban akibat berat sendiri maupun beban pelaksanaan walaupun struktur belum selesai dikerjakan secara keseluruhan. Akibatnya setiap struktur mengalami deformasi secara bersamaan (Bagiarta *et al.*, 2010).

Penelitian terkait perbandingan antara metode konvensional dengan metode *stage construction* ini sudah pernah dilakukan, yaitu perbandingan pengaruh *shear wall* dan juga *staged construction* terhadap gedung perkantoran 8 lantai, hasil yang didapatkan dengan metode konvensional yaitu deformasi terbesar terjadi pada puncak gedung tersebut. Sedangkan dengan memperhitungkan metode *stage construction* deformasi terbesar terjadi pada sekitar 2/3 dari tinggi total gedung.

Dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan metode *staged construction* akan menambah deformasi pada gedung (David *et al.*, 2023). Oleh karena itu, diperlukan perbandingan serupa dengan analisis *stage construction* pada struktur gedung beton bertulang 3 lantai dengan variasi umur beton agar dapat mengetahui pada umur berapa beton sudah kuat menahan beban maksimal dan penggunaan perancah sebagai penopang struktur saat umur beton belum maksimal.

Pada proyek poliklinik RSUP I.G.N.G Ngoerah Denpasar terdapat suatu pelaksanaan yang menarik dimana pada setiap kolom umur beton 21 hari sudah ditambah beban lantai pada lantai berikutnya dengan menambahkan perancah berupa *steel props* untuk membantu menopang balok. Kuat tekan beton semakin bertambah umur beton nilai rasio pada kuat tekan semakin besar selaras dengan nilai kuat tekan yang semakin naik dan maksimal pada umur 28 hari (Noer *et al.*, 2016) , maka perlu dianalisis dengan variasi umur beton.

Perancah adalah suatu struktur sementara yang digunakan untuk menyangga manusia dan material dalam konstruksi atau perbaikan gedung dan bangunan-bangunan besar lainnya. Dalam konstruksi gedung beton bertulang, perancah dapat digunakan sebagai penopang balok, pelat lantai, pelat atap, dan bagian-bagian lainnya (Nuzulia, 1967). Perancah digunakan sebagai lantai kerja dan sebagai jalan lintas bagi pekerja dalam berbagai proyek konstruksi. Selain itu perancah juga digunakan sebagai sarana keselamatan pekerja saat mengerjakan pekerjaannya. Sehingga pada penelitian ini dilakukan analisis *stage construction* pada struktur gedung beton bertulang 3 lantai dengan variasi umur beton dan penggunaan perancah berupa *steel prop*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat diuraikan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah perbandingan perilaku struktur rangka beton bertulang dengan menggunakan metode *staged construction* dan metode konvensional?
2. Bagaimana perilaku struktur rangka beton bertulang dengan perancah berupa *steel prop* sebagai penguat struktur jika umur beton 7, 14 dan 21 hari?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan dari laporan ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui perbandingan perilaku struktur rangka beton bertulang dengan menggunakan metode *staged construction* dan metode konvensional.
2. Mengetahui perilaku-perilaku struktur rangka beton bertulang dengan perancah berupa *steel prop* sebagai penguat struktur jika variasi umur beton 7, 14 dan 21 hari.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

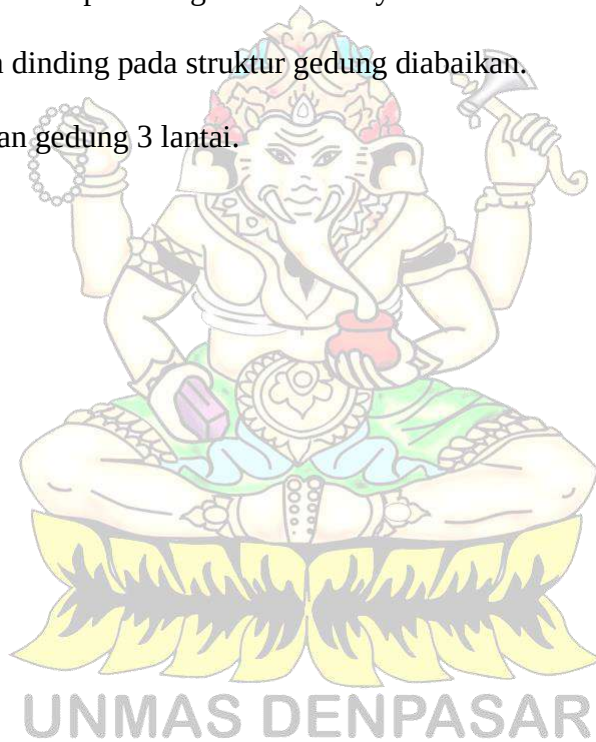
1. Dapat memberi manfaat bagi perancang bangunan dengan menambah pengetahuan mengenai perbandingan perilaku struktur rangka beton bertulang dengan menggunakan metode *staged construction* dan metode konvensional.

2. Dapat mengetahui perilaku struktur rangka beton bertulang dengan adanya variasi perancah berupa *steel prop* sebagai penguat struktur pada umur beton 7, 14 dan 21 hari.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan dalam penelitian ini yaitu:

1. Interaksi struktur dengan tanah tidak diperhitungkan.
2. Dinding tidak diperhitungkan kekuatannya.
3. Kekakuan dinding pada struktur gedung diabaikan.
4. Permodelan gedung 3 lantai.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bangunan Gedung

Bangunan gedung adalah wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, sebagian atau seluruhnya berada di atas dan atau di dalam tanah dan atau air, yang berfungsi sebagai tempat manusia melakukan kegiatannya, baik untuk hunian atau tempat tinggal, kegiatan keagamaan, kegiatan usaha, kegiatan sosial, budaya, maupun kegiatan khusus (Supriyatna, 2018).. Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 24 tahun 2008 tentang pedoman pemeliharaan bangunan gedung, fungsi dari bangunan gedung meliputi fungsi hunian, keagamaan, usaha, sosial dan budaya serta fungsi khusus adalah ketentuan mengenai pemenuhan persyaratan administratif dan persyaratan teknis bangunan gedung.

2.2 Beton

Beton adalah campuran antara agregat kasar, agregat halus, air dan semen Portland dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat SNI 2847:2019 (BSN, 2019a). Beton merupakan bahan struktur utama dalam pembangunan konstruksi. Hal ini dikarenakan beton mudah dibentuk dan biaya perawatannya tidak terlalu mahal, beton juga memiliki kekurangan yaitu beton memiliki kuat tarik yang kecil oleh sebab itu, beton dikombinasikan dengan besi tulangan untuk meningkatkan dan menambah kuat tariknya.

2.2.1 Mutu Beton

Menurut peraturan yang berlaku di Indonesia, mutu beton dapat diklasifikasikan menjadi kategori $f'c$. Perhitungan kuat tekan beton, yang menggunakan satuan MPa atau N/mm² untuk mutu beton kategori $f'c$. Peraturan yang berlaku di Indonesia tentang persyaratan beton dan yang mengatur tentang satuan benda uji beton adalah Peraturan SNI 2847:2019 (BSN, 2019a). Cara menghitung kuat tekan beton adalah

$$f'c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana:

$f'c$: Kuat tekan beton (MPa)

P : Berat beban maksimum (N)

A : Luas penampang benda uji (mm²)

2.2.2 Faktor Konversi Umur Beton

Berdasarkan (PBI 1971) Tabel 4.1.4, perbandingan kekuatan tekan beton pada berbagai-bagai umur, umur beton selama 21 hari dengan semen portland biasa memiliki kekuatan beton sebesar 95%. Dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2. 1 Perbandingan kekuatan tekan beton pada berbagai umur.

Umur beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
Semen portland biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
Semen portland dengan kekuatan awal yang tinggi	0,55	0,75	0,90	0, 95	1,00	1,15	1,25

(Sumber: (PBI, 1971)

Adapun perbedaan kuat tekan beton PBI dengan (ACI, 2014) terletak faktor reduksinya dan perbandingan kuat tekan beton berdasarkan umur beton antara SNI dan (ACI, 2014) dapat dilihat pada tabel di bawah:

Tabel 2. 2 Perbandingan kekuatan tekan beton pada berbagai-bagai umur dari SNI dan (ACI, 2014)

Umur beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
Semen portland biasa (PBI 1971)	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
Semen portland biasa (ACI 318)	0,50	0,7	0,85	0,95	1,00	1,10	1,20

(Sumber: PBI 1971 & ACI, 2014)

Perbedaan faktor reduksi berdasarkan PBI dan Aci 318-14 adalah:

- Faktor reduksi kekuatan: pada SNI 2847 memiliki ϕ 0,85 untuk geser dan torsi, sedangkan ACI, 2014 memiliki ϕ = 0,75.
- Faktor reduksi kekuatan untuk lentur tanpa aksial: Pada SNI 2847 tidak memiliki, sedangkan ACI, 2014 memiliki ϕ = 0,90.

2.3 Beton Bertulang

Beton bertulang adalah beton yang menggunakan tulangan dengan jumlah dan luas tulangan tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan, dengan atau tanpa pratekan dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja (Mulyono, 2004). Standar peraturan perencanaan bangunan beton bertulang di Indonesia mengacu pada SNI 2847:2019 (BSN, 2019a).

2.4 Analisis Struktur

Analisis struktur adalah proses untuk mengetahui respons atau perilaku struktur (seperti: reaksi perletakan, gaya dalam dan deformasi) akibat beban-beban

tertentu atau kombinasi beban yang bekerja pada struktur tersebut SNI 2847 BSN (2019).

2.4.1 Analisis Metode Konvensional

Analisis perilaku struktur bangunan yang dibangun secara metode konvensional ini melibatkan analisis gaya-gaya yang bekerja pada struktur yang dianalisis bersamaan dan menentukan perilaku struktur terhadap beban yang diterimanya. Analisis pada SAP2000 biasanya menggunakan metode konvensional untuk mengetahui respons struktur terhadap beban mati dan hidup, serta untuk memprediksi deformasi dan gaya-gaya yang bekerja pada struktur (Faqih, 2008).

2.4.2 Analisis Konstruksi Bertahap

Analisis konstruksi bertahap menurut *Comité Euro-International du Béton - Fédération Internationale de la Précontrainte* (CEB-FIP) Model Code 1990 adalah suatu pendekatan yang digunakan dalam analisis struktur bangunan untuk mengetahui perilaku struktur terhadap beban yang diterimanya. Metode ini mengasumsikan bahwa struktur bangunan dibangun secara bertahap, dimulai dari tingkat yang lebih rendah dan kemudian meningkat ke tingkat yang lebih tinggi. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan program SAP2000 yang memiliki fitur *staged construction*.

Dalam sebuah kasus yang diposting di Instagram, sebuah gedung beton bertulang runtuh. Setelah dianalisis sekilas, terlihat bahwa struktur lantai satu tidak cukup kuat untuk menahan beban lantai dua atau terlalu ramping dan kekuatan betonya belum mencapai kekuatan penuh sementara steger tidak dipasang pada lantai satu. Seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah.



Gambar 2. 1 Contoh bangunan gedung yang runtuh
(Sumber: @civilengineeringdiscoveries, 2024)

Dalam kasus ini seharusnya struktur dianalisis dan dibangun secara bertahap, dan setiap tahapan diberikan beban sesuai dengan beban perhitungan manual. Analisis ini harus dianalisis yang lebih akurat terhadap perilaku struktur bangunan yang dibangun secara bertahap, terutama dalam menghadapi beban gempa analisis konstruksi bertahap adalah suatu metode yang digunakan untuk menganalisis dan mengidentifikasi tahap-tahap dalam proses konstruksi, seperti analisis pembebanan bertahap selama masa konstruksi proyek dalam konteks konstruksi bangunan, analisis konstruksi bertahap dapat digunakan sebagai metode untuk menganalisis dan mengidentifikasi tahap-tahap yang diperlukan dalam proses pengembangan, dimana struktur dikerjakan secara bertahap, mulai dari tingkat satu dan seterusnya (Liantarawan *et al.*, 2018).

2.5 Perancah

Perancah adalah suatu struktur sementara yang digunakan untuk menyangga manusia dan material dalam konstruksi atau perbaikan gedung dan bangunan-bangunan besar lainnya. Dalam konstruksi gedung beton bertulang, perancah dapat

digunakan sebagai penompang balok, pelat lantai, pelat atap, dan bagian-bagian lainnya (Nuzulia, 1967).

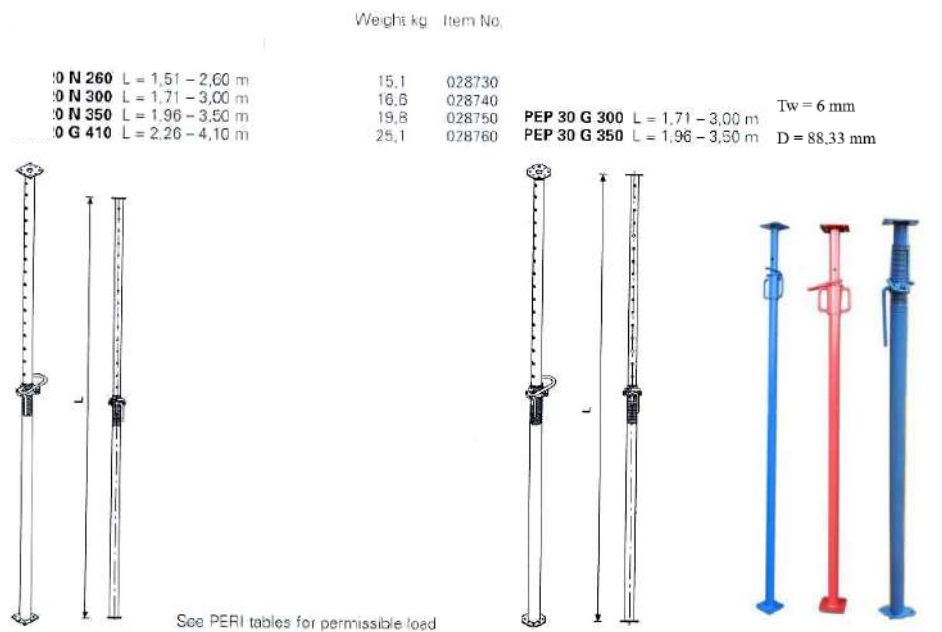
Menurut Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia, SKKNI, BSN (2022) scaffolding/perancah tetap adalah bangunan sementara atau temporer yang dibangun secara spesifik untuk mendukung akses lantai kerja. Perancah banyak digunakan selama konstruksi dan renovasi. Dalam bentuknya yang paling sederhana, perancah adalah permukaan kerja yang ditangguhkan atau ditinggikan untuk menopang pekerja dan material. Perancah tersedia dalam berbagai jenis ada yang digantung dan juga ada yang ditopang.

2.5.1 Perancah Modern

Menurut (Sumargo *et al.*, 2006), perancah modern adalah perkembangan terakhir dalam pemanfaatan acuan perancah. Sistem ini dapat memudahkan dan mempercepat proses pemasangan dan pembongkaran. Dengan kualitas hasil yang lebih baik dibandingkan dengan sistem lain, acuan perancah dengan sistem ini dapat dimanfaatkan untuk beberapa kali masa penggunaan. Untuk meningkatkan kecepatan kerja, sistem ini telah dilengkapi dengan berbagai alat bantu yang disesuaikan dengan tujuan penggunaan. Fungsi utama perancah adalah memberikan akses yang aman ke area kerja yang tinggi atau sulit dijangkau, serta menyediakan dukungan untuk pekerja dan peralatan konstruksi.

Perancah sistem modern dibuat untuk pengulangan penggunaan yang cukup besar, sehingga bahan yang digunakan harus memiliki kualitas yang cukup tinggi. Acuan dan perancah modern ini memerlukan biaya investasi yang tinggi, akan tetapi hanya memerlukan jumlah tenaga kerja yang sedikit (Ruslan, 2020). Salah

satunya adalah perancah *steel prop*, *steel prop* adalah salah satu komponen konstruksi penyangga balok dan lantai berupa pipa baja yang terdiri dari dua bagian pipa baja, panjangnya dapat distel sesuai dengan ketinggian konstruksi yang direncanakan. Untuk tipe-tipe *steel prop* bisa dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 2. 2 Tipe *steel prop*
 (Sumber: Ruslan, 2020)

Berikut adalah spesifikasi *steel prop* berdasarkan material menurut (Ruslan, 2020):

- Q195 dengan nilai kuat tekan 195 MPa.
- Q235 dengan nilai kuat tekan 235 MPa.
- Q345 dengan nilai kuat tekan 345 MPa.

2.6 Pembebanan

Pembebanan pada struktur merupakan tahap pemberian beban yang bekerja sesuai dengan kondisi. Pembebanan ini berfungsi sebagai input dalam analisis dan desain yang akan dilakukan sehingga dapat diketahui perilaku dari struktur dalam

menahan beban yang telah diinputkan. Pembebanan yang dilakukan mengacu pada SNI 1727:2020 (BSN, 2020) mengenai beban minimum untuk perancangan gedung dan struktur lain. Untuk kebutuhan perencanaan, beban yang dikerjakan harus dikombinasikan sesuai dengan peraturan. Adapun beberapa kombinasi beban berdasarkan SNI 1727:2020 (BSN, 2020) adalah sebagai berikut:

1. $1,4 D$.
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$.
3. $1,2 D + 1,6 L (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$.
4. $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$.
5. $1,2 D + 1,0 E + L$.
6. $0,9 D + 1,0 E$.
7. $0,9 D + 1,0 W$.

Keterangan:

D = Beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap.

L = Beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain.

L_r = Beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak.

R = Beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air.

W = Beban angin.

N = Beban lateral.

E = Beban gempa.

2.6.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu bangunan yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari bangunan tersebut (Irfan *et al.*, 2022). Contoh berat dari beberapa komponen bangunan dapat dilihat pada Tabel 2. 3.

Tabel 2. 3 Beban Mati

No.	Material	Berat
1	Dinding pasangan bata merah	250 kg/m ²
2	Langit-langit (semen asbes)	11 kg/m ²
3	Rangka langit-langit menggunakan besi hollow	8 kg/m ²
4	Penutup lantai	24 kg/m ²
5	Spesi	21 kg/m ²
6	Instalasi MEP	25 kg/m ²

(Sumber: DPMB 1983)

2.6.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain SNI 1727:2020 (BSN, 2020). Beban hidup selalu berubah-ubah dan sulit diperkirakan. Perubahan tersebut terjadi sepanjang waktu, baik untuk jangka pendek maupun jangka Panjang.

Beban hidup atap merupakan beban yang diakibatkan pelaksanaan pemeliharaan oleh pekerja, peralatan, dan material. Selain itu juga beban selama masa layan struktur yang diakibatkan oleh benda bergerak, seperti tanaman atau benda dekorasi kecil yang tidak berhubungan dengan penghunian SNI 1727:2020 (BSN, 2020). Pada beban hidup saat masa konstruksi bangunan mempunyai faktor safety.

Tabel 2. 4 Beban hidup

Hunian atau penggunaan	Merata, L_p psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup dizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak dizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
Sekolah					
Ruang kelas	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Scuttles, rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses				200 (0,89)	
Jalan di pinggir untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	8.000 (35,90)	4.15
Tangga dan jalan keluar					
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
Gudang diatas langit-langit	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Gudang penyimpanan dan pekerja (harus dirancang untuk beban lebih berat jika diperlukan)					
Ringan	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)		
Berat	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)		
Toko					
Eceran	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Lantai pertama	75 (3,59)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Lantai diatasnya	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	1.000 (4,45)	
Grosir, di semua lantai					
Penghalang kendaraan					Lihat Pasal 4.5.3
Susunan jalan dan pengung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	80 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		

(Sumber:BSN, 2020)

2.6.3 Beban Konstruksi

Standar ASCE 37, yang dikenal sebagai "*Design Loads on Structures During Construction*," mengatur mengenai beban yang harus dipertimbangkan dan dihitung saat sebuah struktur sedang dalam tahap konstruksi adapun kelas permukaan kerja untuk beban merata menurut ASCE 37-14 dapat dilihat pada tabel di bawah:

Tabel 2. 5 Beban hidup menurut ASCE 37-14

Kelas permukaan kerja untuk beban merata	
Operation class	Uniform Load [psf (kN/m)]
<i>Very Light Duty</i> : populasinya jarang dengan personel, perkakas tangan, dan jumlah bahan konstruksi yang sangat sedikit	20 (0,96)
<i>Light Duty</i> : jarang dihuni oleh personel, peralatan yang dioperasikan dengan tangan, pementasan material untuk konstruksi ringan.	25 (1,20)
<i>Medium Duty</i> : konsentrasi personil, penempatan material untuk konstruksi rata-rata.	50 (2,40)
<i>Heavy Duty</i> : penempatan material dengan kendaraan, penempatan material untuk konstruksi berat.	75 (3,95)
Beban tersebut belum termasuk beban mati, D; beban mati konstruksi, CD atau beban material tetap, CFML	

(Sumber: ASCE, 2014)

Pada penelitian ini menggunakan desain beban *medium duty*, dan adapun kombinasi beban pada tahap konstruksi menurut ASCE 37-14 adalah:

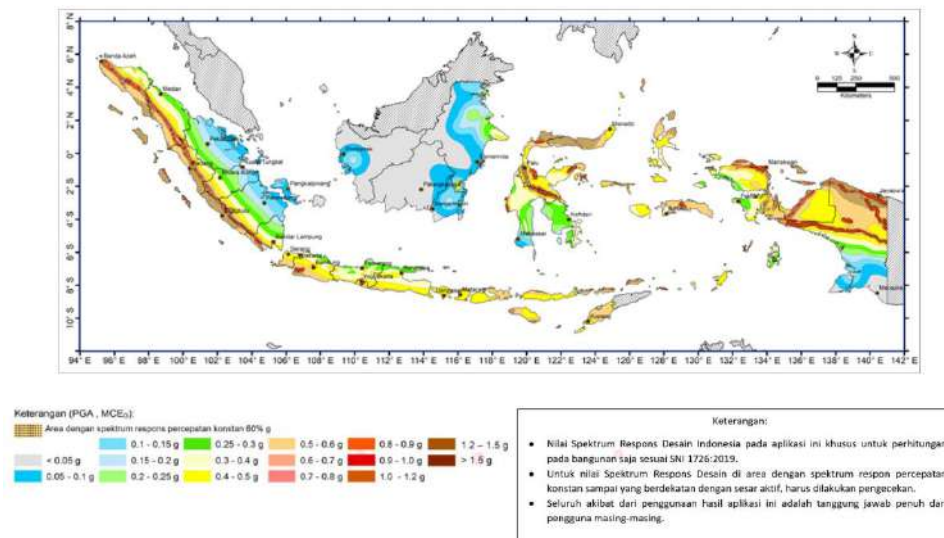
1. $D + C_D + C_{FML} + C_{VML} + L$
2. $D + C_D + C_{FML} + C_{VML} + C_P + C_H + L$
3. $D + C_D + C_{FML} + C_{VML} + 0,6W + C_P + L$
4. $D + C_D + C_{FML} + C_{VML} + 0,7E + C_P + L$
5. $0,6D + C_D + (0,6W \text{ or } 0,7E)$

2.6.4 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa bumi baik itu gempa vulkanik atau tektonik yang mempengaruhi struktur tersebut. Peraturan-peraturan yang memuat perencanaan beban gempa pada gedung-gedung di Indonesia yang berlaku pada saat ini diatur dalam SNI1726:2019 (BSN, 2019b). Dalam peraturan ini dijelaskan faktor-faktor yang berhubungan dengan perhitungan beban gempa yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Letak geografis

Perhitungan perencanaan beban gempa pada sebuah bangunan gedung tergantung dari letak geografisnya. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan dalam wilayah yang memiliki percepatan batuan yang berbeda-beda, dijelaskan pada parameter di bawah ini:



Gambar 2. 3 Peta gempa
(Sumber: PuSGeN, 2021)

- S_s (Respons Spektral Percepatan Periode Pendek): Mewakili bangunan-bangunan bertingkat rendah.
- S_1 (Respons Spektral Percepatan Periode 1 Detik): Merepresentasikan bangunan-bangunan bertingkat tinggi.
- PGA (*Peak Ground Acceleration*): Nilai percepatan maksimum yang terjadi pada permukaan bumi.
- MCE (*Maximum Considered Earthquake*): Gempa maksimum yang terjadi di suatu wilayah dengan mempertimbangkan seismisitas dari wilayah tersebut dan disesuaikan dengan target risiko.
- Kategori Risiko: Berdasarkan pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan dan non gedung, kategori risiko dibagi menjadi I, II, III, dan IV.

Pada kategori risiko gempa, ada struktur bangunan dan non gedung untuk beban gempa dibagi menjadi empat kategori, dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. 6 Kategori resiko gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori resiko
Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan, fasilitas sementara, gudang penyimpanan, rumah jaga, dan struktur kecil lainnya	I
Perumahan, rumah toko dan rumah kantor, pasar, gedung perkantoran, gedung apartemen/rumah susun, pusat perbelanjaan/mall, bangunan industri, fasilitas manufaktur, pabrik	II
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan	III
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko sangat tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan	IV

(Sumber: BSN, 2019b)

2. Faktor Keutamaan Gedung

Faktor keutamaan gedung adalah suatu nilai yang digunakan dalam perencanaan struktur bangunan untuk menyesuaikan periode ulang gempa rencana yang berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa selama umur rencana dari gedung. Faktor keutamaan gedung ditentukan berdasarkan jenis/fungsi gedung. Berdasarkan jenis/fungsinya dapat diambil kategori resiko yang dimiliki gedung tersebut. Dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 2. 7 Faktor keutamaan gedung

Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa I_e
I Atau II	1
III	1,25
IV	1,50

(Sumber: SNI 1726:2019 BSN, 2019b)

3. Kategori Desain Seismik SDS, *Seismic Design Category* (SDC)

Pembagian kategori desain seismik menurut SNI1726:2019 (BSN, 2019b) dari rendah ke tinggi untuk struktur bangunan dan non gedung ini dibagi menjadi 6 kategori yaitu:

- a) SDC A: Risiko seismik rendah, dengan persyaratan desain serupa dengan area non-seismik.
- b) SDC B: Risiko seismik sedang, dengan persyaratan desain yang mencakup beberapa fitur tahan gempa.
- c) SDC C: Risiko seismik tinggi, dengan persyaratan desain yang mencakup fitur tahan gempa yang lebih luas.
- d) SDC D: Risiko seismik sangat tinggi, dengan persyaratan desain yang mencakup fitur tahan gempa paling ketat.
- e) SDC E: Risiko seismik yang sangat tinggi, dengan persyaratan desain yang mencakup fitur tahan gempa tingkat tertinggi.
- f) SDC F: Risiko seismik tertinggi, dengan persyaratan desain yang mencakup fitur tahan gempa paling ekstrem Sistem Penahan Gaya Seismik.

Struktur dengan sistem penahan gaya seismik memiliki faktor reduksi gempa atau koefisien modifikasi respon (R), faktor kuat lebih sistem, dan faktor pembesaran defleksi yang berbeda-beda yang yang dibagi menjadi tiga tingkatan, yaitu:

- a) Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB): untuk daerah yang berada di wilayah gempa kecil dengan kategori disain seismik (KDS) A dan B.

- b) Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM): untuk daerah yang berada di wilayah gempa sedang dengan kategori disain seismik (KDS) A, B, dan C.
- c) Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK): untuk daerah yang berada di wilayah gempa besar dengan kategori disain seismik (KDS) D, E, atau F.

2.7 Simpangan Ijin

Dalam perencanaan struktur, salah satu syarat bangunan adalah memiliki kemampuan untuk menahan gaya lateral akibat gempa, salah satu indikasi yang menyatakan bangunan tersebut aman terhadap gempa adalah simpangan bangunan, dimana simpangan yang terjadi akibat gempa (Δ) harus lebih kecil terhadap simpangan ijin (Δ_a) (Hidayah & Mughni, 2018). Simpangan akibat beban gempa merujuk pada pergeseran atau deformasi yang dialami oleh suatu bangunan saat terkena beban gempa. Simpangan ini merupakan respons bangunan terhadap gaya dinamis yang dihasilkan oleh gerakan tanah selama gempa. Pengendalian simpangan akibat beban gempa adalah krusial untuk memastikan keselamatan dan kinerja struktural bangunan.

Berdasarkan SNI1726:2019 (BSN, 2019b) pasal 7.12.1, simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin (Δ_a). Simpangan antar lantai ijin (Δ_a) dapat dilihat pada Tabel berikut ini. Hsx pada tabel menunjukkan tinggi tingkat dibawah tingkat x.

Tabel 2. 8 Simpangan antar lantai izin

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	0,025hsx	0,020hsx	0,015hsx
Struktur dinding geser kantilever batu.	0,010hsx	0,010hsx	0,010hsx
Struktur dinding geser batu bata lainnya.	0,007hsx	0,007hsx	0,007hsx
Semua struktur lainnya.	0,020hsx	0,015hsx	0,010hsx

(Sumber:BSN 2019)

2.8 Demand/Capacity (D/C Ratio)

D/C ratio atau *Ratio Demand/Capacity* (Rasio Daya Dukung terhadap Beban) adalah ukuran yang digunakan dalam rekayasa struktur untuk mengevaluasi kinerja elemen struktural di bawah beban yang diberikan. Rasio ini membandingkan beban yang bekerja pada elemen (*demand*) dengan kapasitas maksimum elemen tersebut (*capacity*) untuk menahan beban tersebut. *Demand* merepresentasikan beban gempa sedangkan *capacity* merepresentasikan kemampuan struktur dalam menahan beban gempa (Nurhidayatullah *et al.*, 2018).

2.9 Rasio Tulangan Beton (ρ)

Rasio tulangan beton, yang dilambangkan dengan simbol ρ (*rho*), adalah perbandingan antara luas penampang baja tulangan terhadap luas penampang beton pada suatu elemen struktural. Rasio tulangan longitudinal berpengaruh pada kelendutan suatu kolom ke arah aksial dan lateral. Dimana besarnya nilai rasio tulangan longitudinal ini dipengaruhi oleh besarnya dimensi tulangan longitudinal

dan jarak antar tulangan longitudinal. Semakin besar dimensi dan semakin rapatnya jarak antar tulangan longitudinal, maka akan semakin besar rasio tulangan longitudinal tersebut. Dengan semakin besarnya rasio tulangan longitudinal maka akan mengurangi besarnya lendutan yang terjadi kearah aksial dan lateral dan akan mampu memberikan peningkatan kekuatan pada suatu penampang (Ezpinoza *et al.*, 2018).

Rumus untuk mencari rasio tulangan beton yaitu dengan cara:

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

A_s = adalah luas penampang tulangan baja (m^2)

b = adalah lebar penampang beton (m)

d = adalah jarak efektif (m)

2.10 Faktor Kuat Lebih Beton (Ω_0)

Faktor kuat lebih beton, juga dikenal sebagai *overstregh*, adalah suatu konsep dalam desain struktur yang mengacu pada kemampuan suatu elemen struktur, seperti balok, untuk menahan beban yang lebih besar daripada yang direncanakan. Dimana faktor kuat lebih memastikan keselamatan struktur dalam situasi yang tak terduga, dalam konteks struktur beton bertulang, faktor kuat lebih beton dapat dihitung dengan mengacu pada nilai kuat leleh, kuat tarik, daktilitas, dan rasio kuat tarik terhadap kuat leleh dari tulangan baja yang digunakan. Kuat lebih balok ini sangat penting dalam desain struktur untuk memastikan bahwa struktur dapat menahan beban yang diterapkan tanpa mengalami

kerusakan atau runtuh SNI 2847:2019 (BSN, 2019a), dapat dilihat pada Tabel di bawah bahwa faktor kuat lebih untuk rangka beton bertulang adalah 3.

Tabel 2. 9 Faktor kuat lebih beton

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^s	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^N	TI ^b	TI ^f
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^h	TI ^h	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB

(Sumber: BSN 2019)

2.11 Ketidakberaturan Struktur

Menurut SNI 1726 BSN (2019) ketidakberaturan pada struktur bangunan dapat dikategorikan menjadi beberapa tipe berdasarkan sifat dan bentuk struktur. Berikut adalah beberapa tipe ketidakberaturan yang dihitung berdasarkan SNI 1726:2019 BSN (2019):

- 1) Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak.
- 2) Ketidakberaturan Berat (Massa).
- 3) Ketidakberaturan Geometri Vertikal.
- 4) Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral.
- 5) Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat.

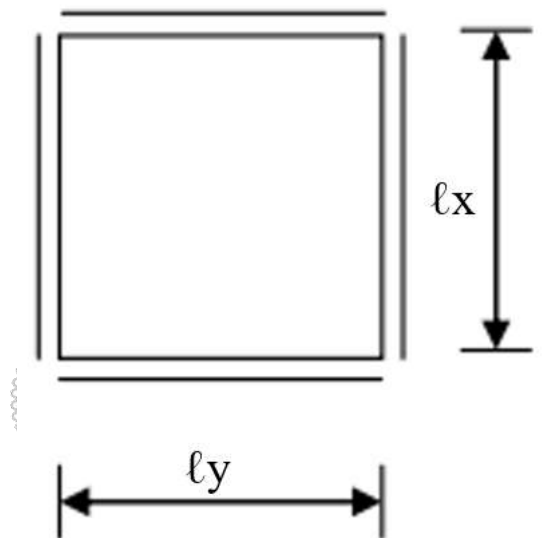
- 6) Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat.
- 7) Ketidakberaturan Sistem Nonparalel.
- 8) Ketidakberaturan Torsi.
- 9) Ketidakberaturan Sudut Dalam.
- 10) Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma.
- 11) Ketidakberaturan Pergeseran Melintang Terhadap Bidang.
- 12) Ketidakberaturan Sistem Nonparalel.
- 13) Ketidakberaturan Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal.
- 14) Ketidakberaturan Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan kuat Lateral Tingkat.

2.12 Pelat

Salah satu komponen struktur dalam menahan beban adalah pelat. Pelat merupakan salah satu komponen struktur yang memiliki peran penting dalam meningkatkan fungsi kegunaan bangunan. Dalam pelaksanaannya, pelat dapat dibagi menjadi dua yaitu sistem pelat satu arah dan sistem pelat dua arah. Perbedaannya terletak pada asumsi distribusi beban yang disalurkan ke balok. Pada beberapa model bangunan, terdapat model yang hanya cocok dengan sistem pelat dua arah, begitu pun sebaliknya (Putra *et al.*, 2020).

Secara geometri, penerapan pelat dibagi menjadi dua yaitu sistem pelat satu arah (*One Way Slab*) dan pelat dua arah (*Two Way Slab*). Perbedaannya terletak pada ukuran bentang penampang. Bisa dikatakan satu arah jika rasio antara bentang

terpanjang dan terpendek adalah lebih dari dua ($\ell_y/\ell_x > 2$). Dan bisa dikatakan dua arah jika rasio antara bentang terpanjang dan terpendek adalah kurang dari dua ($\ell_y/\ell_x < 2$).



Gambar 2. 4 Skema Pelat Sisi ℓ_x dan ℓ_y
(Sumber: Putra et al., 2020)

Dimana:

ℓ_y = Panjang bentang terpanjang (m)

ℓ_x = Panjang bentang terpendek (m)

2.13 Penelitian Terkait

Beberapa penelitian telah dilakukan mengenai penerapan metode *staged construction* dan metode konvensional. Penelitian tersebut mengenai perilaku metode *staged construction* dibandingkan dengan metode konvensional. Selain itu, terdapat penelitian mengenai pengaruh perancah *steel prop* pada struktur beton bertulang.

2.13.1 Analisis dan Perbandingan Metode *Staged Construction* dan Metode Konvensional

Penelitian yang telah dilakukan terhadap metode *staged construction* yang dilakukan oleh (David and Supartono, 2023), penelitian tersebut mengenai metode *staged construction* dengan metode konvensional dengan judul “analisis pengaruh *construction stage* terhadap deformasi dan gaya dalam struktur gedung bertingkat dengan dinding geser” penelitian ini mendapatkan hasil analisis pada struktur gedung perkantoran lantai 8. Penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil berupa perbandingan yang memperhitungkan *construction staged* dan tanpa memperhitungkan *construction staged* dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 2. 5 Deformasi as F tanpa *construction stage analysis*

Dapat dilihat deformasi yang terjadi pada as F (Gambar 2. 5) dari struktur gedung perkantoran 8 lantai tanpa memperhitungkan *construction stage* memiliki deformasi terbesar di puncak dari gedung tersebut.



Gambar 2. 6 Deformasi as F dengan *construction stage analysis*

Untuk deformasi as F, gedung perkantoran 8 lantai dengan memperhitungkan *contruction staged* mengalami deformasi terbesar pada sekitar 2/3 dari tinggi total gedung.

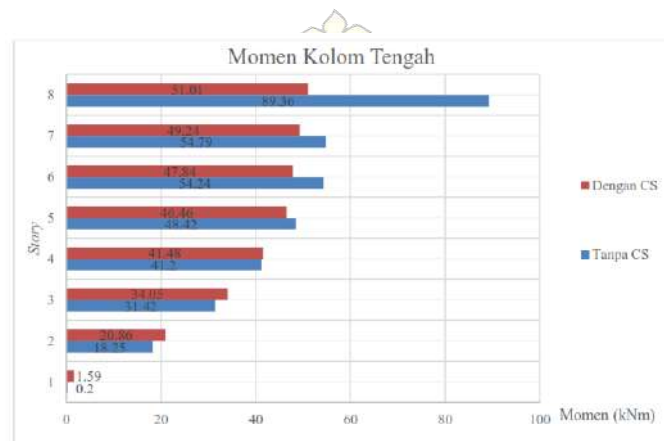
Penelitian yang telah dilakukan mendapatkan hasil gaya axial, gaya geser kolom, dan momen kolom, berupa perbandingan yang memperhitungkan *construction staged* dan tanpa memperhitungkan *construction staged* dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 2. 7 Grafik perbandingan gaya axial kolom tengah



Gambar 2. 8 Grafik perbandingan gaya *shear* kolom tengah



Gambar 2. 9 Grafik perbandingan momen kolom tengah

Gaya geser dasar berdasarkan Gambar 2. 8 struktur dengan *staged construction* mengalami deformasi terbesar pada sekitar 2/3 dari tinggi total gedung. Sedangkan struktur tanpa memperhitungkan *staged construction* yang mengalami deformasi terbesar di puncak gedung, struktur perkantoran 8 lantai ini memiliki deformasi as F yang dapat dilihat pada Gambar 2. 8.

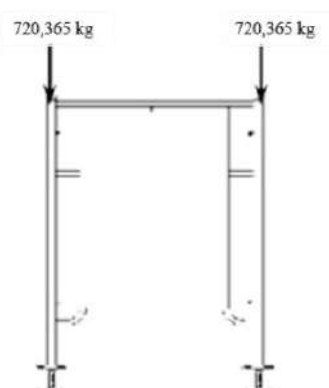
2.13.2 Analisis Kekuatan Dan Kebutuhan Perancah Scaffolding Pada Konstruksi Gedung

Penelitian ini mengenai kekuatan dan kebutuhan dengan perancah *scaffolding* pada konstruksi, penelitian ini dibuat oleh (Dan *et al.*, 2019) yang

meneliti tentang kekuatan perancah pada proyek bangunan dengan judul “kekuatan dan kebutuhan perancah bingkai/frame scaffold pada konstruksi gedung” penelitian ini didapatkan analisis pada kekuatan perancah Beban maksimum yang dapat ditanggung *main frame* dengan uraian dibawah.

Perancah harus dibuat dari baja atau kayu yang bermutu baik dan tidak mudah lapuk. Pemakaian bambu pada proyek pembangunan Perkantoran The Manhattan Square tidak diperbolehkan, (Wiratman & Associates, 2012). Satu set perancah dapat menahan beban ± 5 ton atau 5.000 kg, sedangkan steel support mampu menahan beban ± 2 ton atau 2.000 kg dengan tinggi perlantai 2,3 m, (*Hands Out Perancah Waskita Karya*. (2008).

Beban maksimum yang dapat ditanggung *main frame* adalah 5.000 kg, akibat kondisi lapangan yang sulit diprediksi maka nilai reduksi dari kekuatan *scaffolding* yang digunakan sebesar 0,6. Maka besar kekuatan tiap tiang *scaffolding* untuk menahan beban adalah 3.000 kg. $P = 0,6 \times 5.000 \text{ kg} = 3.000 \text{ kg} > 1.440,73 \text{ kg}$, maka diasumsikan bahwa *scaffolding* terbilang aman. Berikut merupakan perhitungan beban struktur yang di topang pada setiap tiang *scaffolding* dapat dilihat pada Gambar 2.10

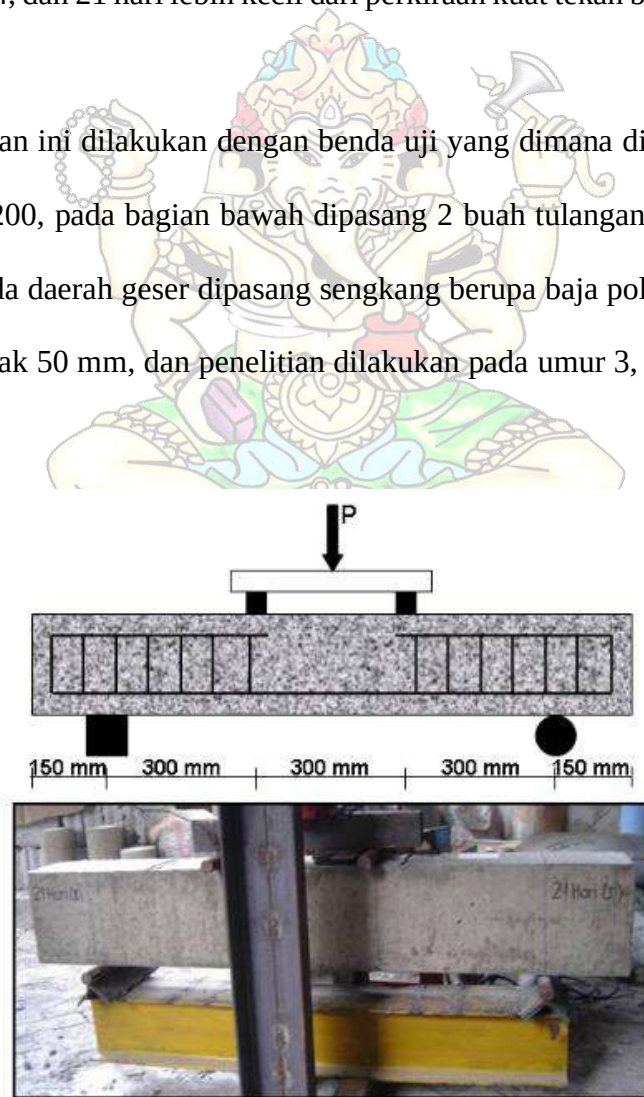


Gambar 2. 10 Beban tiang tiap *scaffolding*

2.13.3 Analisis Perbandingan Peningkatan Kuat Tekan Dengan Kuat Lentur Pada Berbagai Umur Beton.

Penelitian yang telah dilakukan terhadap analisis kuat tekan dan kuat lentur pada berbagai umur beton dengan judul “Perbandingan Peningkatan Kuat Tekan Dengan Kuat Lentur Pada Berbagai Umur Beton” (Ginting, 2019) penelitian ini didapatkan hasil yang berbeda dengan PBI 1971 yang dimana Kuat tekan beton pada umur 3, 14, dan 21 hari lebih kecil dari perkiraan kuat tekan beton berdasarkan PBI 1971.

Penelitian ini dilakukan dengan benda uji yang dimana dimensinya adalah 140 x 200 x 1200, pada bagian bawah dipasang 2 buah tulangan ulir berdiameter 10 mm dan pada daerah geser dipasang sengkang berupa baja polos berdiameter 6 mm dengan jarak 50 mm, dan penelitian dilakukan pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari.



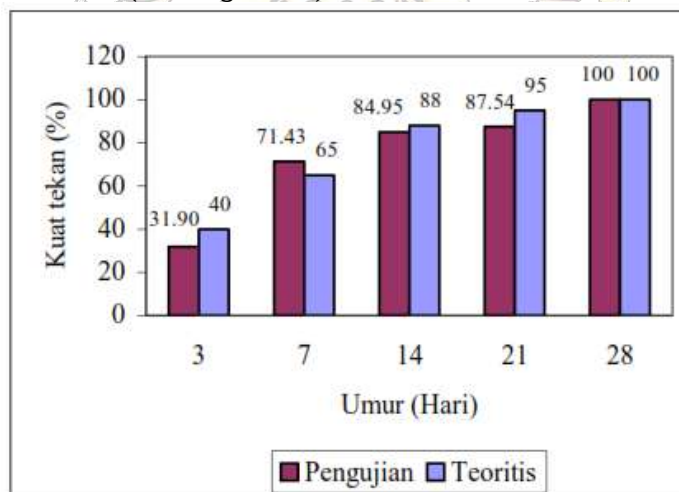
Gambar 2. 11 Pengujian balok
(Sumber: (Ginting, 2019))

Penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil kuat tekan beton, dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 2. 10 Kuat tekan beton

Umur (Hari)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Gaya tekan (N)	Kuat tekan (MPa)	Kuat tekan rata-rata (MPa)	Kuat tekan terhadap beton 28 hari (%)
3	148,50	301,15	79343	4,58	4,98	31,90
	150,25	299,55	94313	5,32		
	149,45	302,75	88325	5,04		
7	150,50	301,15	206591	11,61	11,15	71,43
	149,45	300,60	214076	12,20		
	150,25	301,95	191621	10,81		
14	150,25	303,60	176650	9,96	13,26	84,95
	149,50	304,95	235035	13,39		
	151,00	298,95	235035	13,12		
21	149,50	302,70	251502	14,33	13,66	87,54
	148,80	301,20	258987	14,89		
	150,90	301,40	229047	12,81		
28	150,02	309,90	223058	12,62	15,61	100
	150,20	301,00	273958	15,46		
	150,50	298,00	297910	16,75		
	151,10	296,60	261981	14,61		

Sumber: (Ginting, 2019)



Gambar 2. 12 Perbandingan peningkatan kuat tekan beton hasil pengujian dengan teoritis berdasarkan (PBI 1971)

Sumber: (Ginting, 2019)

Dari 2.12 dapat dilihat bahwa kuat tekan beton pada umur 3, 14, dan 21 hari berada dibawah kuat tekan beton berdasarkan PBI, sedangkan pada umur beton 7 hari hasil pengujian lebih besar dibandingkan PBI. Dapat disimpulkan bahwa kuat tekan menurut PBI lebih besar dibandingkan pengujian pada penelitian tersebut. Dan pada penelitian ini akan memakai kuat tekan beton dengan teoritis.