

**STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR SAMBUNGAN
BALOK - KOLOM MENGGUNAKAN SISTEM BETON PRACETAK
(PRECAST) PADA GEDUNG RSUD dr. KANUJOSO DJATIWIOWO**

BALIKPAPAN

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



SRI HERYANTO

NIM. 175060101111010

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2021

(Halaman sengaja dikosongkan)



LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR SAMBUNGAN
BALOK-KOLOM MENGGUNAKAN SISTEM BETON PRACETAK
(PRECAST) PADA GEDUNG RSUD dr. KANUJOSO DJATIWIOWO
BALIKPAPAN**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**SRI HERYANTO
NIM. 175060101111010**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 30 Juni 2021

Dosen Pembimbing I

Ir. M. Taufik Hidayat, MT.
NIP. 19611228 198802 1 001

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT.
NIP. 19850221 201903 2 003

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1



Dr. Eng. Ir. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac.)
NIP. 19810220 200604 1 002

(Halaman sengaja dikosongkan)



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam Naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 19 Juli 2021

Mahasiswa,

Sri Heryanto

175060101111010

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



(Halaman sengaja dikosongkan)





**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA**



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 010/UN10.F07.11.11/PP/2021

Sertifikat ini diberikan kepada :

SRI HERYANTO

Dengan Judul Skripsi :

**STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR SAMBUNGAN BALOK-KOLOM
MENGUNAKAN SISTEM BETON PRACETAK (PRECAST)
PADA GEDUNG RSUD dr. KANUJOSO DJATIWIOWO BALIKPAPAN**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 14 Juli 2021



Jurusan Teknik Sipil

Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

Alwafi Pujihario, ST, MI

Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M. Eng. [Prac.]
NIP. 19700829 200012 1 001
NIP. 19810220 200604 1 002

(Halaman sengaja dikosongkan)



HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi:

STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR SAMBUNGAN BALOK-KOLOM MENGGUNAKAN SISTEM BETON PRACETAK (*PRECAST*) PADA GEDUNG RSUD dr KANUJOSO DJATIWIBOWO BALIKPAPAN

Nama Mahasiswa : Sri Heryanto

NIM : 175060101111010

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

Tim Dosen Penguji:

Dosen Penguji I : Dr. Eng. Ir. Ming Narto Wijaya., ST., M.Sc.

Dosen Penguji II : Ir. M. Taufik Hidayat, MT.

Dosen Penguji III : Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT.

Dosen Penguji IV : Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST., M.Sc.

Tanggal Ujian : 08 Juni 2021

SK Penguji : 854/UN10.F07/KP/2021

(Halaman sengaja dikosongkan)



(Halaman sengaja dikosongkan)



DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
RINGKASAN	xiii
SUMMARY	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.6 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Beton Pracetak (<i>Precast</i>)	5
2.2 Perbedaan Beton Pracetak dengan Beton Konvensional	6
2.3 Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan Beton Pracetak	7
2.4 Analisa terhadap Beton Pracetak	8
2.5 Analisa Balok Pracetak Saat Pengangkatan	12
2.6 Sambungan pada Beton Pracetak	16
2.6.1 Desain Sambungan pada Beton Pracetak	19
2.7 Pembebanan Struktur	21
2.7.1 Beban Mati	21
2.7.2 Beban Hidup	21
2.7.3 Beban Gempa	21
2.8 Analisis beban gempa SNI 1726:2019	22
2.8.1 Wilayah Gempa	22

2.8.2 Kategori Gedung	23
2.8.3 Konfigurasi Gedung	24
2.8.4 Respons Spektrum	25
2.8.5 Parameter Spektrum Desain	26
2.8.6 Respons Spektrum Desain	27
2.8.7 Geses Dasar Seismik	28
2.8.8 Distribusi Gaya Gempa	30
2.9 Sistem Struktur	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1 Pengumpulan Data	33
3.2 Data – Data Desain	33
3.2.1 Data Umum	33
3.2.1 Data Teknis Gedung Awal	34
3.3 Prosedur Perencanaan	34
3.3.1 Analisis Pembebanan	34
3.4 Tahapan Perencanaan	35
3.5 Hipotesis	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Perencanaan Dimensi Struktur	39
4.1.1 Perencanaan Balok	39
4.1.2 Perencanaan Kolom	40
4.1.3 Perencanaan Pelat	40
4.2 Analisis Pembebanan	40
4.2.1 Beban Matil(D)	40
4.2.2 Beban Mati Tambahan (<i>Super Dead Load</i>)	41
4.2.3 Beban Hidup (L)	41
4.2.4 Beban Gempa	42
4.2.5 Beban Kombinasi	46
4.3 Pemodelan Struktur Menggunakan SAP2000 v20	46
4.4 Perencanaan dan Analisis Kekuatan Balok Induk	51
4.4.1 Penulangan Balok 1 (Balok Memanjang)	51
4.4.2 Penulangan Geser Balok 1 (Balok Memanjang)	59
4.4.3 Penulangan Balok 2 (Balok Melintang)	59

4.4.4 Penulangan Geser Balok 2 (Balok Melintang).....	67
4.5 Perencanaan dan Analisis Kekuatan Kolom.....	69
4.5.1 Perencanaan Kolom K1 (80/80).....	69
4.5.2 Perencanaan Kolom K2 (50/50).....	74
4.6 Perhitungan Balok Pracetak.....	79
4.6.1 Balok Pracetak Sebelum Cor Penuh.....	79
4.6.2 Balok Pracetak Setelah Cor Penuh.....	81
4.7 Analisa Balok Pracetak Saat Pengangkatan.....	83
4.8 Perencanaan Sambungan Beton Pracetak.....	86
4.8.1 Panjang Penyaluran Tulangan.....	86
4.9 Analisa Sambungan Balok-Kolom Pracetak.....	88
4.9.1 Analisa Sambungan Untuk Balok-Kolom Tengah.....	88
4.9.2 Analisa Sambungan Untuk Balok-Kolom Pinggir.....	89
BAB V PENUTUP.....	91
5.1 Kesimpulan.....	91
5.2 Saran.....	92

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

(Halaman sengaja dikosongkan)



DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1 Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung	21
Tabel 2.2 Beban hidup terdistribusi minimum untuk Rumah Sakit	21
Tabel 2.3 Kategori risiko bangunan gedung untuk beban gempa	23
Tabel 2.4 Faktor keutamaan gempa	24
Tabel 2.5 Klasifikasi Situs	25
Tabel 2.6 Koefisien Situs, F_a	26
Tabel 2.7 Koefisien Situs, F_v	26
Tabel 2.8 Koefisien modifikasi respon	29
Tabel 4.1 Tinggi minimum balok nonprategang	39
Tabel 4.2 Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung	40
Tabel 4.3 Beban hidup terdistribusi minimum untuk Rumah Sakit	41
Tabel 4.4 Rekap penulangan balok	68
Tabel 4.5 Rekap penulangan kolom	78



(Halaman sengaja dikosongkan)



DAFTAR GAMBAR

Halaman

<i>Gambar 2.1</i> Tegangan sebelum cor penuh	9
<i>Gambar 2.2</i> Tegangan setelah terjadi cor penuh	11
<i>Gambar 2.3</i> Pengangkatan balok pracetak	12
<i>Gambar 2.4</i> Model pembebanan balok pracetak saat pengangkatan	13
<i>Gambar 2.5</i> Bidang momen balok pracetak saat pengangkatan	13
<i>Gambar 2.6</i> Tegangan sebelum pengangkatan	14
<i>Gambar 2.7</i> Letak titik angkat balok pracetak	15
<i>Gambar 2.8</i> Tegangan dengan tulangan tunggal	16
<i>Gambar 2.9</i> Penyaluran tulangan momen negatif	18
<i>Gambar 2.10</i> Sambungan pada tumpuan corbel	20
<i>Gambar 2.11</i> Karakteristik momen dan rotasi	20
<i>Gambar 2.12</i> S_s , Peta percepatan spektrum respons MCE_R periode 0,2 detik	22
<i>Gambar 2.13</i> S_1 , Peta percepatan spektrum respons MCE_R periode 1 detik	22
<i>Gambar 2.14</i> Desain Respon Spektrum	27
<i>Gambar 3.1</i> Ilustrasi gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan	33
<i>Gambar 3.2</i> Diagram alir tahapan perencanaan	36
<i>Gambar 4.1</i> Denah balok gedung RSUD Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan	39
<i>Gambar 4.2</i> Tabel 3 dan tabel 4 SNI 1726-2019	42
<i>Gambar 4.3</i> S_s Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R)	42
<i>Gambar 4.4</i> S_1 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R)	43
<i>Gambar 4.5</i> Tabel 6 SNI 1726-2019	43
<i>Gambar 4.6</i> Tabel 7 SNI 1726-2019	43
<i>Gambar 4.7</i> Spektrum respons desain	44
<i>Gambar 4.8</i> Peta transisi periode panjang (T_L)	45
<i>Gambar 4.9</i> Grid System	47
<i>Gambar 4.10</i> Material	47
<i>Gambar 4.11</i> Frame Section	48
<i>Gambar 4.12</i> Respons Spektrum	49
<i>Gambar 4.13</i> Pemodelan struktur gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan	50
<i>Gambar 4.14</i> Balok pracetak sebelum cor penuh	79
<i>Gambar 4.15</i> Model struktur balok pracetak pada saat pengangkatan	83

Gambar 4.16 Jarak tumpuan pada saat pengangkatan 84



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar struktur gedung eksisting 95



(Halaman sengaja dikosongkan)



RINGKASAN

Sri Heryanto, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Mei 2021, Studi Alternatif Perencanaan Struktur Sambungan Balok-Kolom Menggunakan Sistem Beton Pracetak (Precast) pada Gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan, Dosen Pembimbing: Ir. M. Taufik Hidayat, MT., dan Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT.

Pembangunan infrastruktur bidang kesehatan ialah bagian yang sangat penting untuk menunjang penyelenggaraan bidang kesehatan. Pembangunan tersebut bertujuan untuk meningkatkan fasilitas dalam rangka mewujudkan pelayanan kesehatan yang bermutu. Oleh karena itu dalam merencanakan konstruksi gedung rumah sakit diperlukan perencanaan yang matang. Selain perencanaan yang matang perencanaan konstruksi juga memerlukan inovasi dalam hal pengerjaan sehingga dapat mempercepat waktu pelaksanaannya. Saat ini pembangunan gedung di Indonesia tahapan pelaksanaannya masih di dominasi metode beton bertulang konvensional (cast in situ), dikarenakan metode tersebut prosesnya mudah dikerjakan. Salah satu inovasi yang dapat mempercepat waktu pelaksanaannya adalah dengan memakai beton precast atau beton pracetak sebagai alternatif komponen struktural dalam pelaksanaannya. Metode beton pracetak adalah teknologi konstruksi struktur beton dengan komponen-komponen yang dicetak terlebih dahulu pada suatu tempat khusus (fabrication) dan selanjutnya dipasang di lokasi proyek.

Mengacu pada SNI 7833:2012 tentang tata cara perancangan beton pracetak dan beton prategang untuk bangunan gedung dan SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, maka pembahasan ini menggunakan lokasi Gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan sebagai objek untuk dianalisa pada penyatuan elemen balok dan kolom menggunakan beton pracetak (precast). Sehingga skripsi ini memiliki tujuan untuk menjelaskan perencanaan struktur sambungan balok – kolom menggunakan sistem pracetak (precast).

Sebelum menganalisa sebelumnya dilakukan pemodelan struktur dan pembebanan pada SAP2000 v20 agar mendapatkan gaya yang akan dianalisa. Kemudian melakukan pengecekan pada momen yang harus memenuhi syarat $\Phi M_n \geq M_u$ dan pada perhitungan tulangan geser. Jika tidak memenuhi maka akan dilakukan beberapa kali proses percobaan dimensi balok dan kolom agar dapat menahan struktur bangunan dengan berpedoman pada strong column weak beam. Proses pengangkatan balok menggunakan profil baja WF dengan jarak (x) tertentu. Penyambungan balok pracetak dengan kolom yang sudah terpasang menggunakan scaffolding guna menyangga balok tersebut supaya saat menyambung menghasilkan sambungan yang baik. Syarat dalam penyambungan balok harus $1/3$ dari lebar (b) kolom agar mendapatkan tumpuan jepit. Tulangan balok telah terpasang pada kolom dan plat maka dilakukan proses pengecoran untuk menyatukan elemen tersebut.

Kata Kunci: beton pracetak, pemodelan struktur, pengangkatan balok, sambungan

(Halaman sengaja dikosongkan)



SUMMARY

Sri Heryanto, *Departement of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, May 2021, Alternative Study of Planning Beam-Column Connection Structure using Precast Concrete System in dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan Hospital, Supervisor: Ir. M. Taufik Hidayat, MT., and Dr. Eng, Lilya Susanti, ST., MT.*

Infrastructure development in the health sector is a very important part as it supports the implementation of the health sector. The development aims to improve facilities so that high-quality health services can be realized. Therefore, careful planning is needed for the construction of a hospital building. In addition to careful planning, construction planning also requires innovation in terms of workmanship so that it can accelerate the implementation process. The stages of implementing building construction in Indonesia are currently still dominated by the use of conventional reinforced concrete methods (cast in situ) since this method is easy to do. One innovation that is known to be able to accelerate the implementation process is through the use of precast concrete as an alternative structural component in its implementation. The precast concrete method is a concrete structure construction technology with components that have been produced in advance in a special place (fabrication) so that they only need to be installed at the project location.

Referring to SNI 7833:2012 regarding procedures for designing precast concrete and pre-stressed concrete for buildings and SNI 1726:2019 regarding procedures for planning earthquake resistance for building and non-building structures, this discussion thus selects the location of the dr. Kanujoso Djatiwibowo General Regional Hospital Balikpapan as an object for analysis on the joints of beam and column elements using precast concrete. The purpose of this undergraduate thesis is to explain the design of the beam-column joints structure using a precast system.

Structural and load modeling on SAP2000 v20 has been carried out before the analysis to obtain the forces to be analyzed. The next stage is to check the moment that must meet the requirements of $\Phi M_n \geq M_u$ and the calculation of shear reinforcement. If they do not meet these requirements, several experiments will be carried out on the dimensions of beams and columns that can withstand the building structure based on the strong column weak beam. The process of lifting the beam is carried out using a WF steel profile with a certain distance (x). The connection of precast beams with columns that have been installed uses scaffolding to support the beams so that a good connection can be obtained. Conditions in the connection of beams must be 1/3 of the width (b) of the column to get a fixed support. If the beam reinforcement has been installed on the column and plate, then the casting process to connect the elements can be carried out.

Keywords: *precast concrete, structural modeling, beam lifting, connection*

(Halaman sengaja dikosongkan)



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur bidang kesehatan ialah bagian yang sangat penting untuk menunjang penyelenggaraan bidang kesehatan. Pembangunan tersebut bertujuan untuk meningkatkan fasilitas dalam rangka mewujudkan pelayanan kesehatan yang bermutu. Pemerintah Provinsi Kalimantan Timur ingin mewujudkan suatu sarana dan prasarana rumah sakit yang secara kualitas maupun kuantitas diharapkan sanggup menciptakan atmosfer rumah sakit yang aman, nyaman dan memadai. Oleh karena itu dalam merencanakan konstruksi gedung rumah sakit diperlukan perencanaan yang matang.

Selain perencanaan yang matang perencanaan konstruksi juga memerlukan inovasi dalam hal pengerjaan sehingga dapat mempercepat waktu pelaksanaannya. Saat ini pembangunan gedung di Indonesia tahapan pelaksanaannya masih di dominasi metode beton bertulang konvensional (*cast in situ*), dikarenakan metode tersebut prosesnya mudah dikerjakan. Contoh gedung yang menggunakan metode beton bertulang konvensional yaitu gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan. Namun, metode ini memiliki beberapa kekurangan yaitu terkait waktu pengerjaannya yang relative lama dan tenaga kerja yang dibutuhkan cukup banyak.

Salah satu inovasi yang dapat mempercepat waktu pelaksanaannya adalah dengan memakai beton *precast* atau beton pracetak sebagai alternatif komponen struktural dalam pelaksanaannya. Metode beton pracetak adalah teknologi konstruksi struktur beton dengan komponen-komponen yang dicetak terlebih dahulu pada suatu tempat khusus (*fabrication*) dan selanjutnya dipasang di lokasi poryek.

Beberapa kelebihan penggunaan beton pracetak diantaranya adalah dari segi waktu pelaksanaan pekerjaannya lebih cepat, karena elemen bangunan setelah tiba dilokasi dapat langsung dipasang sehingga mempermudah proses pelaksanaan di lapangan dan dapat mengurangi jumlah tenaga kerja. Kemudian kelebihan lainnya yaitu mutu beton pracetak lebih terjamin dan dapat menghasilkan elemen bangunan dengan akurasi dimensi yang lebih baik karena proses pembuatan dilakukan di pabrik. Selain

itu, tidak memerlukan banyak bekisting dan perancah serta bisa menghemat tempat penyimpanan material disekitar proyek.

Tetapi selain kelebihan tersebut terdapat kekurangan pada penggunaan beton pracetak yakni diperlukan perhatian khusus pada sambungannya. Sambungan merupakan elemen yang sangat penting dalam desain konstruksi tahan gempa.

Keruntuhan bangunan tahan gempa yang menggunakan konsttuksi beton pracetak ditentukan oleh kualitas sambungannya, terutama pada sambungan balok – kolomnya.

Selain itu beton pracetak memiliki kekurangan dalam hal mobilisasi, karena proses pemindahan beton pracetak memerlukan alat berat sehingga sering terjadi kesalahan fatal saat pengangkatan beton pracetak di lapangan.

Dari permasalahan tersebut, maka penulis melakukan kajian khusus tentang Studi Alternatif Perencanaan Struktur Sambungan Balok Kolom Menggunakan Sistem Beton Pracetak (*Precast*) Pada Gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan yang mengacu pada SNI 7833:2012 tentang tata cara perancangan beton pracetak dan beton prategang untuk bangunan gedung, SNI 2847:2019 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung, serta SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

1.2 Identifikasi Masalah

Dari beberapa uraian yang dikemukakan pada latar belakang, maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Perlu dianalisis pada saat pengangkatan elemen beton pracetak pada gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan.
2. Perlu direncanakan sambungan balok – kolom dengan sistem pracetak pada gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan.
3. Perlu dianalisis kekuatan sambungan balok – kolom dengan sistem pracetak pada gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan ketika menerima beban vertikal dan beban gempa.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan masalah yang diidentifikasi, maka permasalahan yang akan dibahas adalah:

1. Bagaimana cara pengangkatan elemen beton pracetak pada gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan?
2. Bagaimana cara merencanakan sambungan balok-kolom dengan sistem pracetak sebelum komposit pada gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan?
3. Bagaimana kekuatan sambungan balok – kolom dengan sistem pracetak setelah komposit pada gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan?

1.4 Tujuan

Tujuan yang diharapkan dari kajian ini adalah:

1. Untuk mengetahui cara pengangkatan elemen beton pracetak pada gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan.
2. Untuk mengetahui desain sambungan balok - kolom dengan sistem pracetak sebelum komposit pada gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan.
3. Untuk mengetahui kekuatan sambungan balok – kolom dengan sistem pracetak setelah komposit pada gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan.

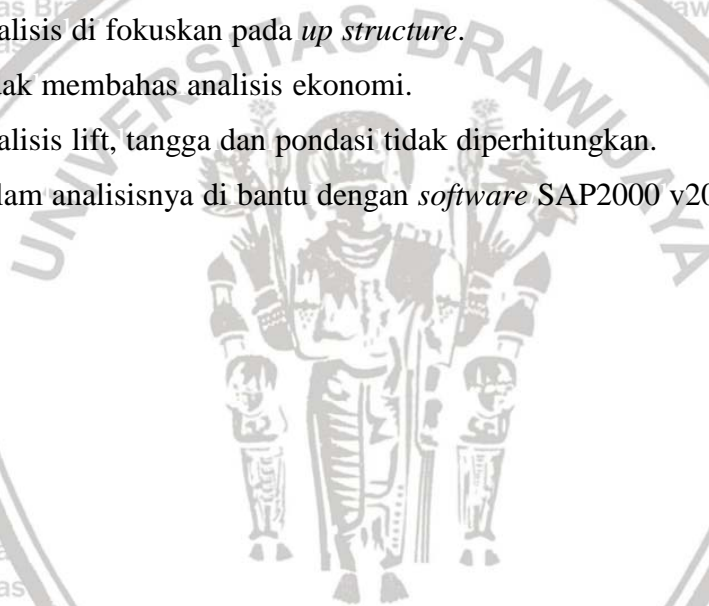
1.6 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari tugas akhir ini yaitu sebagai referensi untuk diri sendiri maupun orang lain dalam meningkatkan ilmu pengetahuan dibidang teknik sipil khususnya pemahaman terhadap perencanaan sambungan balok-kolom pada struktur bangunan yang menggunakan beton pracetak.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan – batasan masalahnya yaitu sebagai berikut:

1. Gedung yang akan dijadikan objek desain ulang dengan sistem pracetak hanya balok dan kolom pada Gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan.
2. Tidak meninjau metode atau sistem yang telah di gunakan dalam perencanaan pembangunan sebelumnya.
3. Kaki pada portal pondasi diasumsikan terjepit.
4. Menggunakan sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB).
5. Bangunan dianggap beraturan
6. Mutu beton yang digunakan adalah $f'c = 30$ Mpa
7. Mutu baja yang digunakan adalah $f_y = 320$ Mpa
8. Menggunakan satu tipe sambungan basah pada perencanaan struktur.
9. Analisis di fokuskan pada *up structure*.
10. Tidak membahas analisis ekonomi.
11. Analisis lift, tangga dan pondasi tidak diperhitungkan.
12. Dalam analisisnya di bantu dengan *software* SAP2000 v20.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Pracetak (*Precast*)

Beton pracetak terdiri dari sejumlah komponen yang dibuat di pabrik, setelah itu disambung di tempat pembangunan sampai akhirnya membentuk struktur utuh. Pada beton pracetak, hubungan hubungan yang menghasilkan kontinuitas dengan memakai bantuan perangkat keras khusus, batang tulangan dan beton untuk menyalurkan semua tegangan geser, tarik dan tekan disebut sambungan keras (*Winter*).

Pada saat pembuatan atau fabrikasi, beton pracetak berbeda dengan beton yang dicor ditempat, karena pada pracetak ada pemasangan dan penyatuan serta penyambungan antar komponen. Beberapa prinsip dari beton pracetak tersebut memberikan manfaat lebih dibandingkan beton monolit, antara lain terkait dengan pengurangan biaya dan waktu, serta peningkatan jaminan kualitas (*Gibb 1999*)

Pelaksanaan bangunan dengan menggunakan metoda beton pracetak memiliki kelebihan yakni hasil yang dicapai akan maksimal jika pada proyek konstruksi tersebut tercapai reduksi waktu pekerjaan dan reduksi biaya konstruksi. Pada beberapa kasus desain propertis dengan metoda beton pracetak terjadi kenaikan biaya material beton disebabkan analisa propertis material tersebut harus didesain juga terhadap aspek instalasi, pengangkatan, dan aspek transportasi sehingga pemilihan dimensi dan kekuatan yang diperlukan menjadi lebih besar daripada desain propertis dengan metoda cor ditempat. Namun, pada proses instalasi elemen beton pracetak memerlukan peralatan yang lebih banyak dari proses instalasi elemen beton cor ditempat.

Sebagai dasar ilmu untuk menganalisis desain sambungan pracetak harus memenuhi syarat yang telah ditetapkan SNI 7833:2012 yang secara umum menegaskan bahwa:

- a. Perencanaan komponen pracetak dan sambungannya harus memperhitungkan pengaruh toleransi yang dimana komponen struktur pracetak dan elemen penghubungnya harus dicantumkan dalam spesifikasi.

b. Pada setiap perencanaan komponen struktur beton pracetak dengan sambungannya harus mempertimbangkan semua kondisi pembebanan dan kekakuan deformasi dimulai dari saat pabrikasi awal, penyimpanan, pengangkutan, pemasangan, pembongkaran struktur hingga selesainya pelaksanaan struktur.

c. Apabila komponen struktur pracetak dimasukkan kedalam sistem struktural, maka gaya dan deformasi yang terjadi dan dekat sambungan harus diperhitungkan dalam perencanaan.

Sesuai dengan persyaratan bangunan pracetak yang harus memenuhi kriteria diatas sehingga bangunan bisa dikatakan aman. Desain sambungan maupun tumpuan pracetak diharapkan mampu menahan tegangan lentur yang terjadi, baik transversal maupun longitudinal.

2.2 Perbedaan Beton Pracetak dengan Beton Konvensional

Sebagai dasar ilmu untuk menganalisis desain sambungan pracetak harus memenuhi syarat yang telah ditetapkan SNI 7833:2012 yang secara umum menegaskan bahwa:

a. Pada setiap perencanaan komponen struktur beton pracetak dengan sambungannya harus mempertimbangkan semua kondisi pembebanan dan kekakuan deformasi dimulai dari saat pabrikasi awal, penyimpanan, pengangkutan, pemasangan, pembongkaran struktur hingga selesainya pelaksanaan struktur.

b. Perencanaan komponen pracetak dan sambungannya harus memperhitungkan pengaruh toleransi yang dimana komponen struktur pracetak dan elemen penghubungnya harus dicantumkan dalam spesifikasi.

c. Apabila komponen struktur pracetak dimasukkan kedalam sistem struktural, maka gaya dan deformasi yang terjadi dan dekat sambungan harus diperhitungkan dalam perencanaan.

d. Sesuai dengan persyaratan bangunan pracetak yang harus memenuhi kriteria diatas sehingga bangunan bisa dikatakan aman. Desain sambungan maupun tumpuan pracetak diharapkan mampu menahan tegangan lentur yang terjadi, baik transversal maupun longitudinal.

2.3 Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan Beton Pracetak

Dibandingkan dengan struktur konvensional struktur elemen pracetak memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah:

- a. Waktu pelaksanaan yang cepat.

Waktu pelaksanaan struktur merupakan pertimbangan utama dalam pembangunan suatu proyek karena sangat erat kaitannya dengan biaya proyek. Struktur elemen pracetak dapat dilaksanakan di pabrik bersamaan dengan pelaksanaan pondasi di lapangan.

- b. Penyederhanaan pelaksanaan konstruksi.

Dengan sistem elemen pracetak, selain cepat dalam segi pelaksanaan, juga tidak membutuhkan lahan proyek yang terlalu luas serta lahan proyek lebih bersih karena pelaksanaan elemen pracetaknya dapat dilakukan dipabrik.

- c. Penggunaan material yang optimum serta mutu bahan yang baik.

Elemen pracetak yang dihasilkan selalu melalui pengujian laboratorium di pabrik untuk mendapatkan struktur yang memenuhi persyaratan, baik dari segi kekuatan maupun dari segi efisiensi. Selain itu, kebutuhan jumlah tenaga kerja dapat disesuaikan dengan kebutuhan produksi.

- d. Lebih ekonomis.

Salah satu alasan mengapa struktur elemen pracetak sangat ekonomis dibandingkan dengan struktur yang dilaksanakan di tempat (*cast in situ*) adalah penggunaan cetakan beton yang tidak banyak variasi dan biasa digunakan berulang-ulang, mutu material yang dihasilkan pada umumnya sangat baik karena dilaksanakan dengan standar-standar yang baku, pengawasan dengan sistem komputer yang teliti dan ketat. Secara garis besar mengurangi biaya karena pengurangan pemakaian alat alat penunjang, seperti: perancah dan lain-lain.

- e. Penyelesaian finishing yang mudah.

Variasi untuk permukaan finishing pada struktur elemen pracetak dapat dengan mudah dilaksanakan bersamaan dengan pembuatan elemen tersebut di pabrik, seperti: warna dan model permukaan yang dapat dibentuk sesuai dengan rancangan.

f. Sertifikasi untuk mendapatkan pengakuan Internasional.

Apabila hasil produksi dari elemen pracetak memenuhi standarisasi yang telah ditetapkan, maka dapat diajukan untuk mendapatkan sertifikasi ISO 9002 yang diakui secara internasional.

Namun demikian, selain memiliki keuntungan, struktur elemen pracetak juga memiliki beberapa keterbatasan, antara lain:

a. Di Indonesia yang kondisi alamnya sering timbul gempa dengan kekuatan besar, konstruksi beton pracetak cukup berbahaya terutama pada daerah sambungannya, sehingga masalah sambungan merupakan persoalan yang utama yang dihadapi pada perencanaan beton pracetak.

b. Hanya dapat dilaksanakan didaerah yang sudah tersedia peralatan untuk *handling* dan *erection*.

c. Perlu ketelitian yang tinggi agar tidak terjadi deviasi yang besar antara elemen yang satu dengan elemen yang lain, sehingga tidak menyulitkan dalam pemasangan di lapangan.

d. Tidak ekonomis bagi produksi tipe elemen yang jumlahnya sedikit.

e. Panjang dan bentuk elemen pracetak yang terbatas, sesuai dengan kapasitas alat angkat dan alat angkut.

f. Memerlukan lahan yang besar untuk pabrikasi dan penimbunan (*stock yard*).

g. Jarak maksimum transportasi yang ekonomis dengan menggunakan truk adalah antara 150 sampai 350 km, tetapi ini juga tergantung dari tipe produknya. Sedangkan untuk angkutan laut, jarak maksimum transportasi dapat sampai di atas 1000 km.

h. Diperlukan ruang yang cukup untuk pekerja dalam mengerjakan sambungan pada beton pracetak.

2.4 Analisa terhadap Beton Pracetak

Dalam menganalisa balok pracetak ini menggunakan analisa elastis dengan kuat rencana yang ditentukan dari tegangan ijin bahan, yaitu:

$$f_{c\text{ijin}} = 0.33 f'c \text{ dan } f_{s\text{ijin}} = 0.58 f_y$$

Dimana:

$$f_{c\text{ijin}} = \text{tegangan ijin beton (Mpa)}$$

$$f_{s\text{ijin}} = \text{tegangan ijin tulangan (Mpa)}$$

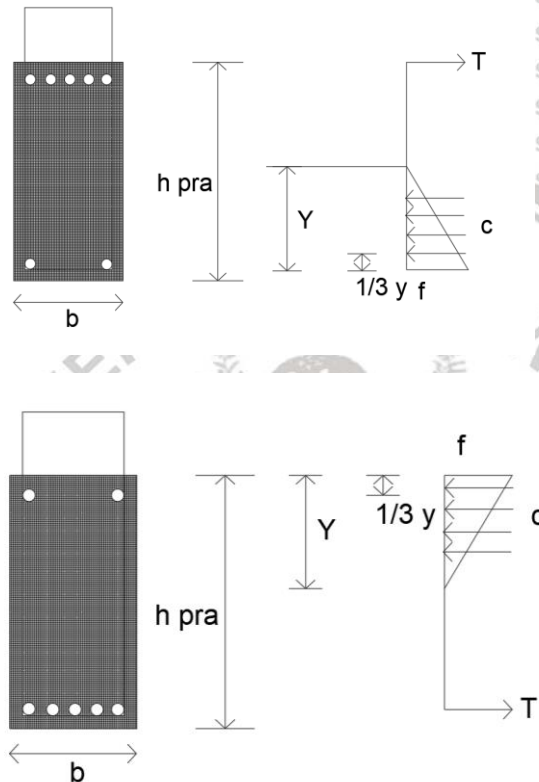
$$f'c = \text{tegangan hancur atau kuat tekan beton (Mpa)}$$

f_y = tegangan leleh tulangan (Mpa)

Dalam proses perhitungan perencanaan elemen balok pracetak ini meliputi analisa balok pracetak saat pengangkutan dan pemasangan.

a. Penentuan dimensi balok pracetak sebelum cor penuh

Tebal minimal balok diperoleh dari perhitungan kapasitas momen penampang balok dalam menghitung momen kapasitas dimensi balok, luasan tulangan lentur sudah diasumsikan



Gambar 2.1 Tegangan sebelum cor penuh

$$C = f_c \times 0.5 \times b \times c$$

$$T = A_s \times f_s$$

dimana:

f_c = tegangan ijin beton ($0.33 f_c$) (Mpa)

f_y = tegangan ijin tulangan baja ($0.53 f_y$) (Mpa)

b = lebar penampang balok (m)

A_s = luas tulangan tarik

Dengan persamaan keseimbangan penampang, dapat dicari nilai c :

$$C = T$$

$$f_c x 0.5 b x c = A_s x f_s \rightarrow c = \frac{2 \cdot A_s \cdot f_s}{f_c \cdot b}$$

sehingga kapasitas momen penampang beton :

$$M_n = T(d-c/3) = A_s x f_s (d-c/3)$$

tebal minimum (d_{min}) diperoleh jika $M_n = M_u$

$$M_u = A_s x f_s (d-c/3)$$

$$d_{min} = \frac{M_u}{A_s \cdot f_s} + c/3$$

dimana: M_n = momen kapasitas penampang (Nmm)

M_u = momen terhadap load factor penampang (Nmm)

D_{min} = tebal efektif minimal (mm)

Dimensi balok ($b \times h$) telah diasumsikan sebelumnya, sehingga tebal balok pracetak adalah sebagai berikut:

- untuk balok anak:

$$h'_{ba} = h_{ba} - h_{plat}$$

- untuk balok induk arah x:

$$h'_{bix} = h_{bix} - h_{ba}$$

- untuk balok induk arah y:

$$h'_{biy} = h_{biy} - h_{plat}$$

Tebal balok pracetak tersebut dicek terhadap tebal efektif minimal (d):

$$d = h'_{pra} - p - \phi_s - 1/2 \phi_{tul}$$

dimana; p = selimut beton (mm)

ϕ_s = diameter tulangan sengkang (mm)

ϕ_{tul} = diameter tulangan pokok (mm)

syarat: $d \geq d_{min}$

Cek terhadap momen nominal penampang:

$$M_n = A_s x f_s (d-c/3)$$

dengan syarat: $M_n \geq M_u$

Cek terhadap kelendutan saat pelaksanaan:

$$\delta = \frac{Pl^3}{48EI} + \frac{5qx^4}{384EI} \leq \delta$$

dimana: δ = lendutan yang terjadi (mm)

P = beban terpusat yang bekerja pada penampang (N)

q = beban merata yang bekerja pada penampang (N/mm)

L = bentang elemen pracetak (mm)

E = modulus elastisitas bahan beton pracetak (Mpa)

I = momen inersia penampang balok pracetak (mm⁴)

Lendutan ijin:

- untuk balok anak:

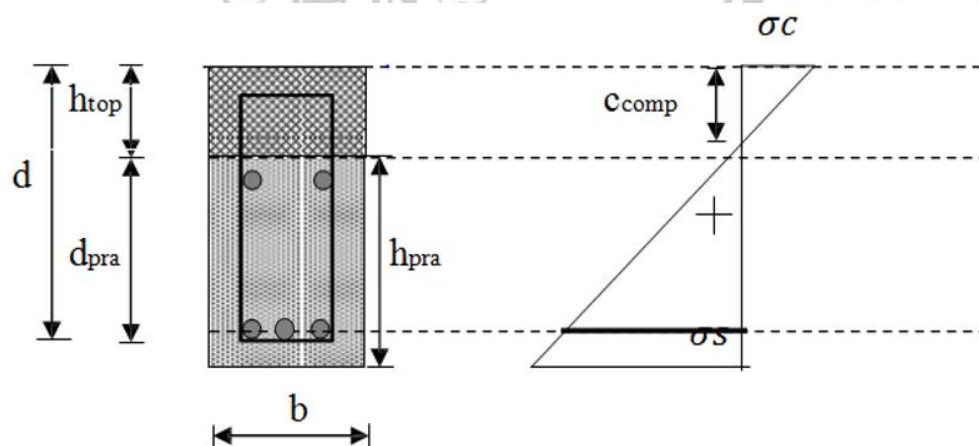
$$\delta = \frac{L}{240} \text{ (mm)}$$

- untuk balok induk:

$$\delta = \frac{L}{480} \text{ (mm)}$$

■ Tegangan setelah terjadi cor penuh

Tegangan balok pracetak akan terjadi setelah elemen pracetak disatukan dengan bantuan topping yang ditinjau terhadap kondisi beban.



Gambar 2.2 Tegangan setelah terjadi cor penuh

Untuk mencari nilai c diperlukan angka ekuivalen bahan (n):

$$n = \frac{E_s}{E_c} \rightarrow bc \times 0.5c - nA_s(d-c) = 0$$

dimana:

E_s = modulus elastisitas baja tulangan (2×10^5) (Mpa)

E_c = modulus elastisitas beton (2.1×10^5) (Mpa)

sehingga tegangan di penampang dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma_c = -\frac{M_u x c}{I_{pra}} \leq f_c$$

$$\sigma_s = \frac{M_u x (d - c)}{I_{pra}} \leq f_s$$

dimana:

σ_c = tegangan pada serat beton mengalami tekan (Mpa)

σ_s = tegangan pada serat beton mengalami tarik (Mpa)

M_u = momen eksternal yang terjadi pada penampang (Mpa)

d = tebal efektif balok (mm)

y = tebal area penampang tertekan (mm)

I_{pra} = momen inersia penampang cor penuh (mm^4)

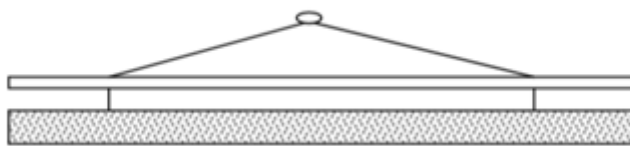
f_c = tegangan ijin beton = $0.33 f_c$ (Mpa)

f_s = tegangan ijin tulangan = $0.58 f_y$ (Mpa)

2.5 Analisa Balok Pracetak Saat Pengangkatan

Balok pracetak diangkat menggunakan crane yang diangkat dengan dua titik angkat, analisa pada kondisi ini beban mati akibat beban sendiri dikalikan dengan faktor beban 1,2. Pada kondisi pertama adalah saat pengangkatan balok pracetak untuk dipasang pada tumpuannya. Pada kondisi ini beban yang bekerja adalah berat sendiri balok pracetak yang ditumpu oleh angkur pengangkatan yang akan menyebabkan terjadinya momen pada tengah bentang dan tumpuan.

Ada dua hal yang harus ditinjau dalam kondisi ini, yaitu kekuatan angkur pengangkatan (*lifting anchor*) dan kekuatan lentur penampang beton pracetak.



Gambar 2.3 Pengangkatan balok pracetak

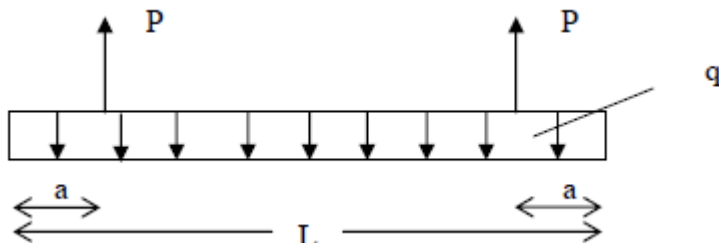
$$F = 1/2 \cdot q \cdot L$$

dimana:

F = gaya angkat balok anak (ton)

q_d = berat sendiri balok pracetak terfaktor, dengan faktor beban $\phi = 1.2$ (ton)

L = bentang balok pracetak (m)



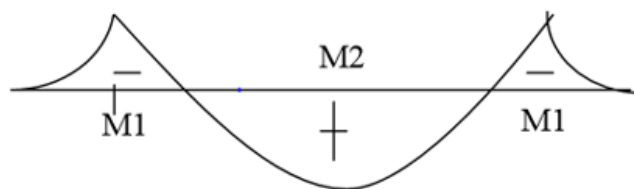
Gambar 2.4 Model pembebanan balok pracetak saat pengangkatan

Momen maksimum yang terjadi :

$$M1 = 1/2 \cdot q \cdot a^2$$

$$M2 = 1/8 \cdot q \cdot (L - 2 \cdot a)^2 - 1/2 \cdot q \cdot a^2$$

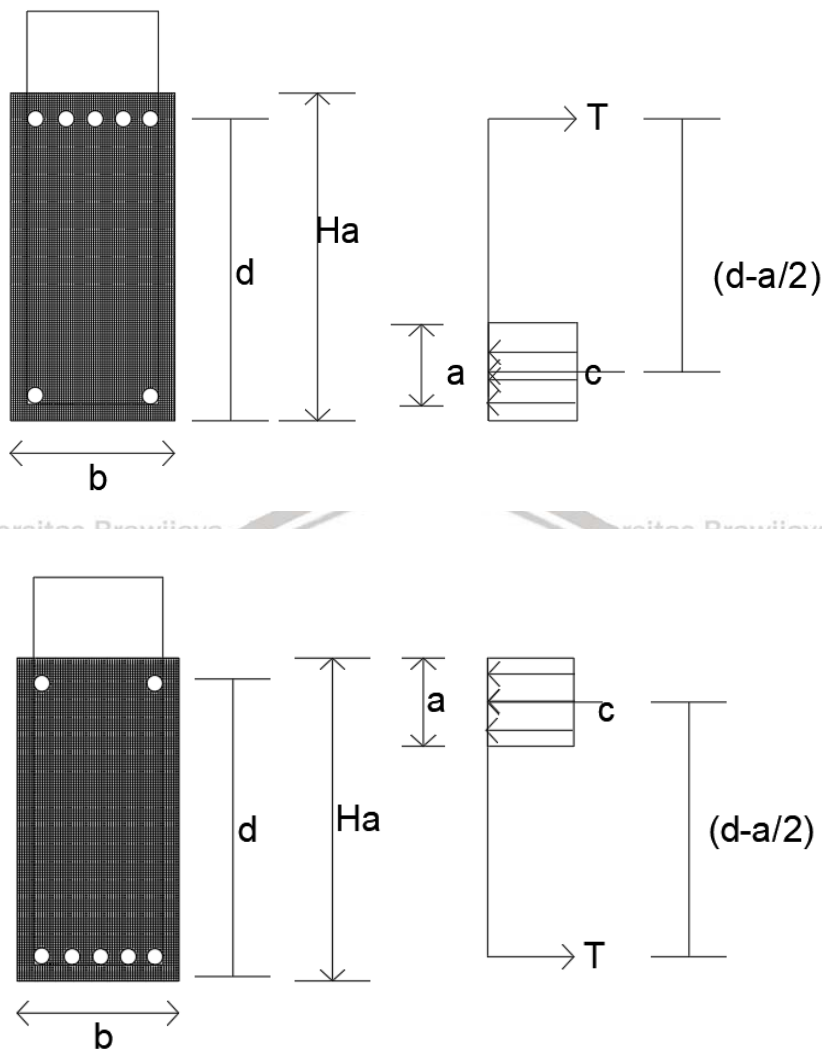
Sehingga, bidang momen yang terjadi pada balok adalah sebagai berikut:



Gambar 2.5 Bidang momen balok pracetak saat pengangkatan

Untuk menentukan letak titik angkat dimana penampang balok masih mampu untuk menahan momen negatif, perlu menentukan kapasitas momen negatif balok dengan asumsi tulangan ekstra yang sudah ditentukan. Perhitungan kapasitas momen negatif penampang saat pengangkatan dilakukan dengan prosedur sebagai berikut.

Pada saat diangkat, ada bagian penampang balok yang mengalami momen negatif. Serat atas mengalami tarik, sehingga perlu tulangan. Asumsi tulangan 2 ϕ 6 yang akan memberikan nilai luasan tulangan tarik A_s .



Gambar 2.6 Tegangan sebelum pengangkatan

■ Kapasitas Momen Negatif

$$T = A_s' \cdot f_y$$

$$C = 0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$$

Dimana:

T = gaya tarik pada serat tertarik yang dilimpahkan pada tulangan (N)

C = gaya tekan pada serat tertekan penampang beton (N)

a = kedalaman penampang tertekan (mm)

d = kedalaman efektif penampang beton (mm)

b = lebar penampang balok beton (mm)

As' = luasan tulangan tarik (mm²)

Jika $f_y = 400$ MPa, $f'_c = 40$ MPa, dan lebar penampang balok (b) diketahui, maka dengan keseimbangan $T = C$ nilai a didapatkan untuk perhitungan kapasitas momen penampang tarik (M_n).

- Kapasitas momen negatif penampang pada titik angkat akibat gaya angkat :

Keseimbangan momen internal, $T = C$

$$a = \frac{A_s' \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b}$$

$$M_n = T \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (\text{Nmm})$$

Untuk menentukan titik angkat (x), momen yang terjadi pada titik angkat tersebut harus lebih kecil atau sama dengan kapasitas momen tarik terfaktor ($\Phi = 0.8$) kapasitas momen negatif terfaktor ($\Phi = 0.8$).

$$M_u = M_x$$

Dimana M_x = momen yang terjadi pada titik angkat a

$$M_x = \frac{1}{2} q_d \cdot x^2$$

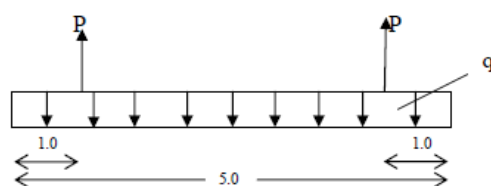
Maka ketika M_u di ketahui jarak titik angkat aka bisa di ketahui

Jika $M_u = 2,85$ kNm dan $q_d = 2.419$ Knm $L = 5$ m

$$\text{Maka } 2,85 = \frac{1}{2} 2.419 \cdot x^2$$

$$x = 1.54$$

Maka letak titik angkat adalah $x < 0 \leq 1.54$ dan akan di ambil sejauh 1 m.



Gambar 2.7 Letak titik angkat balok pracetak

Bila, $M_x = \Phi M_n$, maka didapatkan nilai x_{\max} :

$$x_{\max} = \sqrt{\frac{2 \cdot \phi M_n}{q_d}}$$

Dimana :

M_n = kapasitas momen nominal penampang (tonm)

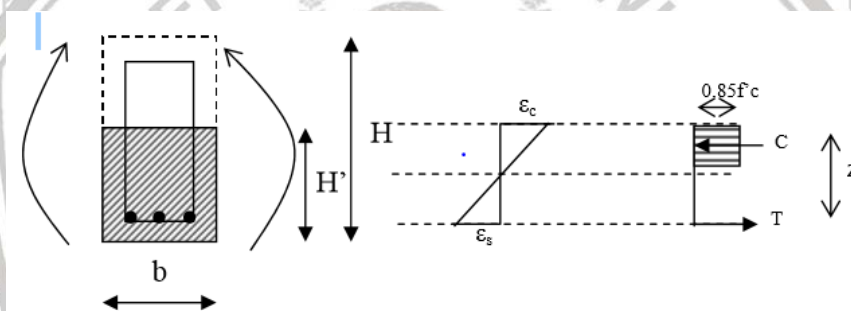
x_{max} = jarak titik angkat maksimal dari ujung bentang (m)

Nilai x memiliki batasan sebagai berikut :

$$0 < x \leq x_{maks}$$

Nilai x tersebut adalah batasan letak titik angkat balok anak dimana penampang dengan asumsi tulangan ekstra tertentu mampu menahan momen negatif yang terjadi akibat gaya angkat saat proses ereksi.

Perhitungan kapasitas momen positif dihitung dengan rumus kapasitas momen (M_n) struktur beton bertulang dengan tulangan tunggal yang telah dijelaskan sebelumnya yang secara singkat dapat dijabarkan sebagai berikut:



Gambar 2.8 Tegangan dengan tulangan tunggal

$$M_n = T_s \cdot (d - z)$$

$$= T_s \cdot (d - 0,5a)$$

$$= A_s \cdot f_y \cdot (d - 0,5 \cdot \beta_1 \cdot c)$$

$$= A_s \cdot f_y \cdot (d - 0,5 \cdot 0,85 \cdot c)$$

$$= A_s \cdot f_y \cdot (d - 0,425 \cdot c)$$

$M_n > M_2 \dots \dots$ (OK), dimana $M_2 = M_{max}$ Eksternal Positif Balok

2.6 Sambungan pada Beton Pracetak

Sambungan dalam perencanaan elemen pracetak selain sebagai penghubung antar elemen pracetak juga berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya yang bekerja dari elemen struktur satu dengan lain yang nantinya akan diteruskan ke pondasi.

Terdapat dua jenis sambungan yang bisa dipergunakan untuk menyatukan antar komponen beton pracetak yaitu sebagai berikut:

1. Sambungan basah (*wet connection*)

Sambungan basah terdiri dari keluarnya besi tulangan dari bagian ujung komponen beton pracetak yang mana antar tulangan tersebut dihubungkan dengan bantuan *mechanical joint*, *mechanical coupled*, *splice sleeve* atau panjang penyaluran. Kemudian pada bagian sambungan tersebut dilakukan pengecoran beton ditempat. Jenis sambungan ini dapat berfungsi baik untuk mengurangi penambahan tegangan yang terjadi akibat rangkai, susut dan perubahan temperatur. Sambungan basah ini sangat dianjurkan untuk bangunan di daerah rawan gempa karena dapat menjadikan masing - masing komponen beton pracetak menjadi monolit

2. Sambungan kering (*dry connection*)

Sambungan kering menggunakan bantuan pelat besi sebagai penghubung antar komponen beton pracetak dan hubungan antara pelat besi dilakukan dengan baut atau dilas. Penggunaan metode sambungan ini perlu perhatian khusus dalam analisa dan pemodelan komputer karena antar elemen struktur bangunan dapat berperilaku tidak monolit.

Desain sambungan yang dipakai dalam perancangan ini adalah sambungan basah, seperti cor di tempat maupun dengan cara grouting sudah banyak diterapkan atau dipergunakan sebagai salah satu pemecahan masalah dalam mendesain konstruksi pracetak.

Dalam desain sambungan ini menggunakan metode pracetak tanpa penahan, sehingga tumpuan balok dianggap sendi (momen pada sambungan balok-kolom dianggap 0) ketika menahan beban sendiri balok pracetak. Pada saat sambungan telah mengeras dan diberi gaya luar sambungan tersebut menjadi tumpuan jepit (memiliki momen pada sambungan balok-kolom).

Berdasar SKSNI T-15-1991-03 menyatakan bahwa panjang penyaluran tulangan untuk D-36 dan lebih kecil adalah:

$$l_{db} = 0,02 A_b \times f_y / \sqrt{f'_c}$$

Dengan syarat harus kurang dari $0,06 \times d_b \times f_y$

Dimana:

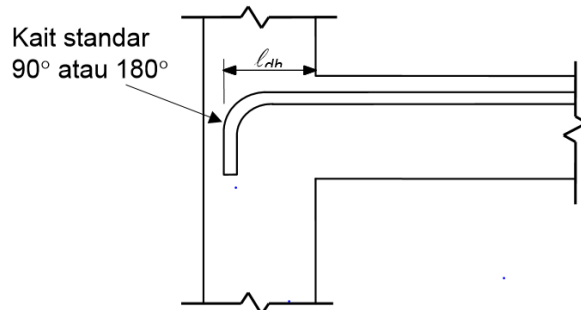
l_{db} = Panjang penyaluran tulangan (mm)

A_b = Luas tulangan (mm^2)

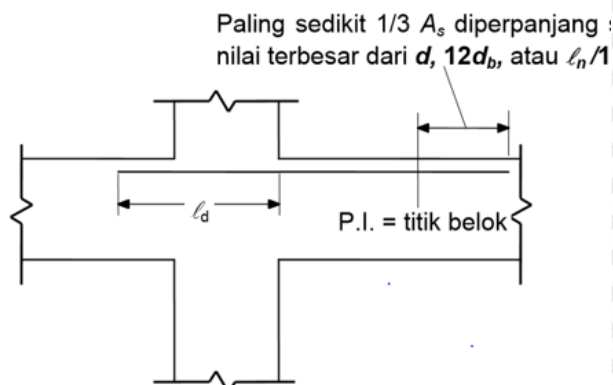
d_b = Diameter tulangan (mm)

Berdasarkan SK SNI 03 - 2847 - 2002 Pasal 14.12 tentang penyaluran tulangan momen negatif berbunyi:

- Tulangan momen negatif pada suatu komponen struktur menerus, komponen struktur yang terkekang deformasinya, atau komponen struktur kantilever, atau pada sebarang komponen struktur dari suatu rangka kaku, harus diangkur di dalam atau sepanjang komponen struktur pendukung, dengan menggunakan panjang penanaman, kait, atau angkur mekanis (Gambar 2.9 a).
- Tulangan momen negatif harus mempunyai suatu panjang penanaman ke dalam bentang
- Paling sedikit sepertiga dari jumlah tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada suatu tumpuan harus ditanamkan hingga melewati titik belok sejauh tidak kurang dari nilai terbesar antara tinggi efektif komponen struktur, $12d_b$, atau seperenambelas bentang bersih (Gambar 2.9 b).
- Pada tumpuan dalam dari komponen struktur lentur tinggi, tulangan tarik momen negatif harus menerus dengan tulangan tarik pada bentang disebelahnya.



(a) Pengangkuran untuk kolom luar



(b) Pengangkuran ke dalam balok yang bersebelahan

Gambar 2.9 Penyaluran tulangan momen negatif

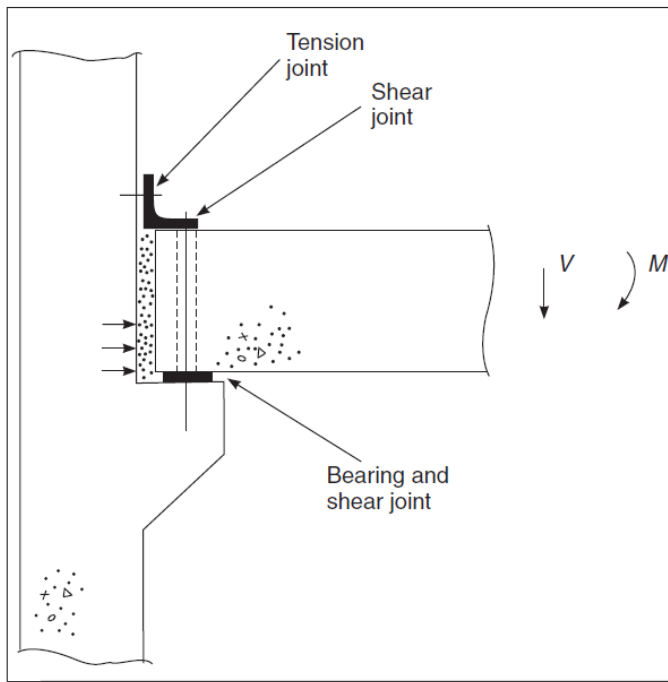
Penyaluran tulangan momen positif paling sedikit $1/3$ dari tulangan momen positif pada komponen struktur sederhana dan $1/4$ dari tulangan momen positif komponen struktur menerus harus diteruskan sepanjang muka yang sama dari komponen struktur hingga ke dalam tumpuan. Pada balok, tulangan tersebut harus menerus ke dalam tumpuan paling sedikit 150mm. Pada daerah tumpuan sederhana dan titik balik, tulangan tarik momen positif harus dibatasi diameternya sedemikian sehingga l_{db} yang dihitung untuk f_y tersebut tidak perlu dipenuhi untuk tulangan yang dihentikan setelah melampaui titik pusat tumpuan sederhana dengan menggunakan kait standar atau menggunakan suatu jangkar mekanis yang minimal ekuivalen dengan suatu kait standar.

Panjang penyaluran dari tulangan negatif harus dijangkar di dalam atau sepanjang komponen struktur pendukung, dengan menggunakan panjang penanaman, kait, jangkar mekanis paling sedikit $1/3$ dari jumlah tulangan tarik total yang disediakan untuk momen negatif pada suatu tumpuan harus ditanamkan hingga melewati titik balik sejauh tidak kurang dari harga terbesar antara tinggi efektif komponen struktur, $12d_b$ atau $1/16$ bentang bersih.

2.6.1 Desain Sambungan pada Beton Pracetak

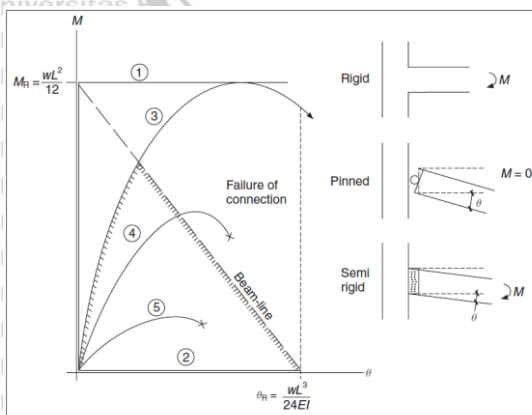
Sambungan adalah bagian penting yang berada pada desain beton pracetak dan sebuah konstruksi. Desain sambungan dapat di tentukan sendiri jenis kerangka pracetak. Di katakan bahwa dinding kerangka memberikakan kekauan sambungan $1/100$ dari kekauan dinding panel 200 N/mm^2 per mm dari panjang beton panel yang terpasang vs 2.7 ke 15 N/mm^2 . Struktur sambungan yang di butuhkan untuk menstransfer semua tipe gaya yang umum tekan, geser, dan juga tarik. Baja atau material lainnya mungkin menjadi satu jika beton tertekan dari lebih besar nilai yang diizinkan.

Dibandingkan dengan pengecoran di tempat kosntruksi ada sejumlah gaya dari sambungan yang dinamakan gaya gesek karena adanya gerakan gaya relatif dari *shrinkage*.



Gambar 2.10 Sambungan pada tumpuan corbel

Pergerakan dari frame dapat dikontrol dari desain sambungan yang sesuai. Dalam mencapai berbagai sistem struktur mungkin di butuhkan design dan konstruksi sambungan. Kekakuan monolithic pada sambungan hanya bisa dibuat pada waktu membuat bekisting. Di teori bahwa ketika tidak ada sambungan maka akan di anggap sebagai kekakuan penuh yang berperilaku sebagai kekakuan yang semu dengan cara menggunakan analisis retak lentur. Dengan menggunakan *beam-line* analisis dengan pendekatan *beam-analysis* dengan pendekatan yang dikembangkan oleh *steelwork*.



Gambar 2.11 Karakteristik momen dan rotasi

2.7 Pembebanan Struktur

2.7.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut. Sesuai dengan SNI 1727:1989 maka beban mati yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1

Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung

Baja	=	7850	kg/m ³
Beton bertulang	=	2400	kg/m ³
Pasir	=	1600	kg/m ³
Keramik per cm tebal	=	24	kg/m ²
Spesi per cm tebal	=	21	kg/m ²
Langit-langit + penggantung	=	18	kg/m ²
Pasangan bata merah ½ batu	=	250	kg/m ²

Sumber: SNI 1727:1989

2.7.2 Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung dan struktur lain harus beban maksimum yang diharapkan tidak boleh kurang dari beban merata minimum sesuai dengan SNI 1727-2013

Tabel 2.2

Beban hidup terdistribusi minimum untuk Rumah Sakit

Ruang operasi, laboratorium	=	2.87	kN/m ²
Ruang pasien	=	1.92	kN/m ²
Koridor diatas lantai pertama	=	3.83	kN/m ²
Atap	=	0.96	kN/m ²

Sumber: SNI 1727:2013

2.7.3 Beban Gempa

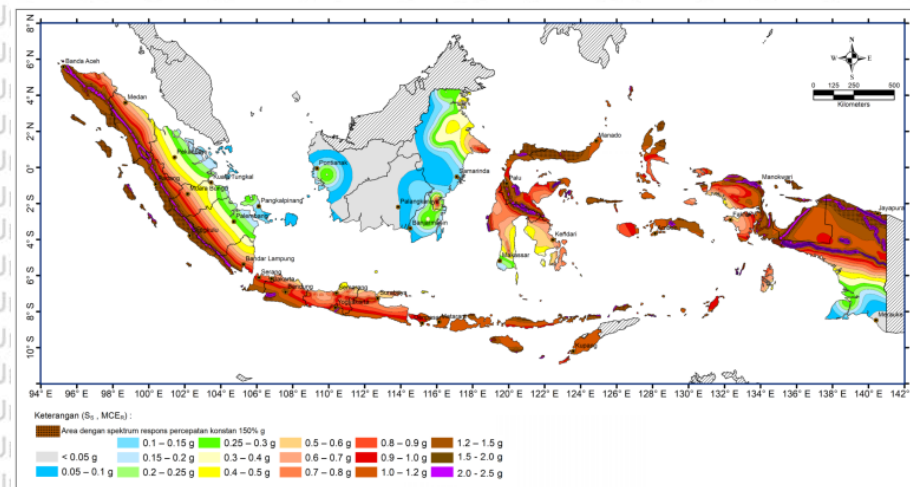
Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat

gempa tersebut. Dalam tulisan ini, untuk beban gempa dilakukan dengan menggunakan peraturan terbaru perencanaan ketahanan gempa untuk gedung yaitu SNI 1726:2019.

2.8 Analisis beban gempa SNI 1726:2019

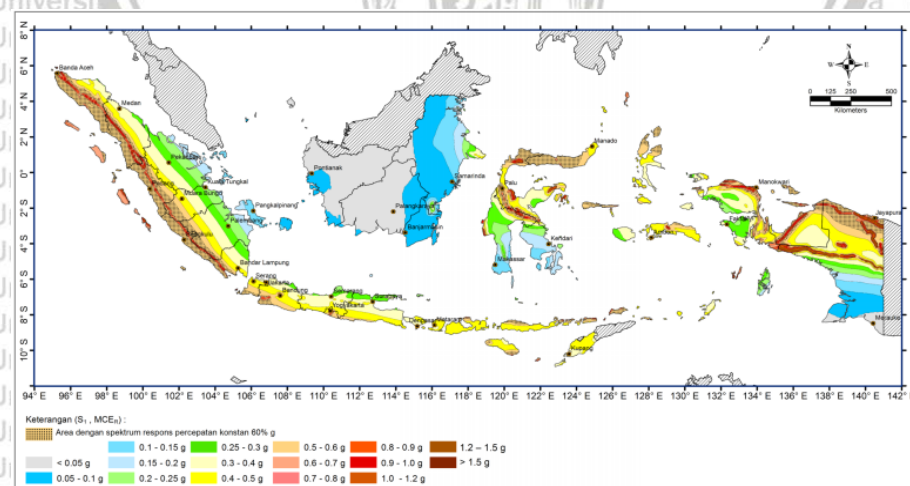
2.8.1 Wilayah Gempa

Parameter percepatan gempa dapat ditentukan berdasarkan parameter gerak tanah dan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) sesuai kelas situs.



Gambar 2.12 S_s , Peta percepatan spektrum respons MCE_R periode 0,2 detik

Sumber: SNI 1726:2019 (2019)



Gambar 2.13 S_1 , Peta percepatan spektrum respons MCE_R periode 1 detik

Sumber: SNI 1726:2019 (2019)

2.8.2 Kategori Gedung

Pada SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2, berdasarkan fungsi layannya gedung akan di klasifikasikan dengan kategori risiko sebagai berikut.

Tabel 2.3
Kategori risiko bangunan gedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Sumber: SNI 1726:2019 (2019)

Tabel 2.4

Faktor keutamaan gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber: SNI 1726:2019 (2019)

2.8.3 Konfigurasi Gedung

Struktur Gedung diklasifikasikan menjadi 2 konfigurasi, yaitu beraturan dan tidak beraturan. Pada SNI 1726:2019 Pasal 7.3.2 terdapat syarat-syarat yang kemudian dapat menentukan suatu gedung beraturan atau tidak.

Analisis konfigurasi gedung beraturan dapat dilakukan berdasarkan analisis statik ekuivalen. Sedangkan gedung dengan konfigurasi tidak beraturan harus ditinjau sebagai pengaruh gempa rencana dengan pembebanan dinamik yang analisisnya harus dilakukan berdasarkan analisis respon dinamis.

2.8.4 Respons Spektrum

Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait dengan percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh dari klasifikasi situs tanah yang didapatkan dari perhitungan berikut:

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (2-1)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (2-2)$$

Keterangan

S_s = Parameter respons spektrum percepatan gempa MCE_R terpetakan periode pendek (0,2 detik)

S_1 = Parameter respons spektrum percepatan gempa MCE_R terpetakan periode 1 detik

Tabel 2.5
Klasifikasi Situs

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut :		
	1. Indeks plastisitas, $PI > 20$,		
	2. Kadar air, $w \geq 40 \%$,		
	3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:		
	- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah		
	- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		
	- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$)		
	Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

Sumber: SNI 1726:2019 (2019)

Tabel 2.6
Koefisien Sitis, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_z					
	$S_z \leq 0,25$	$S_z = 0,5$	$S_z = 0,75$	$S_z = 1,0$	$S_z = 1,25$	$S_z \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

CATATAN:

(a) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Sumber: SNI 1726:2019 (2019)

Tabel 2.7
Koefisien Sitis, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 \leq 0,2$	$S_1 \leq 0,3$	$S_1 \leq 0,4$	$S_1 \leq 0,5$	$S_1 \leq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

CATATAN :

(a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier

(b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Sumber: SNI 1726:2019 (2019)

2.8.5 Parameter Spektrum Desain

Parameter percepatan spektrum desain pada periode pendek yaitu S_{DS} dan untuk periode 1 detik yaitu S_{D1} , harus diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2-3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2-4)$$

2.8.6 Respons Spektrum Desain

Penggambaran respons spektrum untuk masing-masing wilayah gempa dan jenis tanah adalah:

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2-5)$$

2. Untuk nilai periode yang lebih besar atau sama dengan dari T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS}

3. Untuk periode lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil dari persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2-6)$$

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2-7)$$

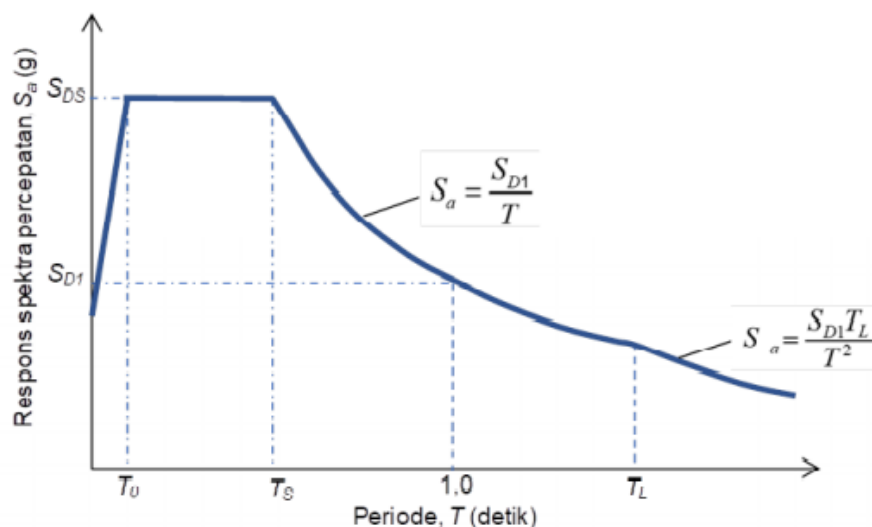
$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2-8)$$

Keterangan:

S_{DS} = Parameter respons spektra percepatan desain periode pendek

S_{D1} = Parameter respons spektra percepatan desain periode 1 detik

T = Periode getar fundamental struktur



Gambar 2.14 Desain Respon Spektrum

Sumber: SNI 1726:2019 (2019)

2.8.7 Geses Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan dengan persamaan berikut: (SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1)

$$V = C_s W \quad (2-9)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

Perhitungan koefisien respons seismik, C_s , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut: (SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1.1)

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2-10)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek

R = koefisien modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

Ketentuan:

a. Nilai C_s , yang terhitung tidak perlu melebihi hasil persamaan berikut:

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2-11)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2-12)$$

b. Dan juga besarnya nilai C_s yang dihitung tidak kurang dari hasil persamaan berikut:

$$C_s (\min) = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (2.7.d)$$

c. Sebagai tambahan untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana S_f sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2 - 14)$$

d. periode fundamental (T) untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat dimana sistem pemikul gaya seismik terdiri dari rangka pemikul momen yang seluruhnya beton atau seluruhnya baja dan rata-rata tinggi tingkat sekurang-kurangnya 3 m yaitu:

$$T = 0,1 N \quad (N = \text{jumlah tingkat}) \quad (2 - 15)$$

Keterangan:

Dimana I_e dan R sebagaimana didefinisikan dalam 0, dan

S_{DI} = parameter percepatan respons spektral desain pada periode 1,0 detik

T = periode fundamental struktur (detik)

S_1 = parameter percepatan respons spektral maksimum yang dipetakan

Tabel 2.8

Koefisien modifikasi respon

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
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 ^k	TI ^k	TI ^k
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^l	TI ^l	TI ^l
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	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
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembuatan ⁿ	3½	3 ^e	3½	10	10	10	10	10

Sumber: SNI 1726:2019 (2019)

2.8.8 Distribusi Gaya Gempa

Gaya gempa yang akan direncanakan pada elemen struktur dibagi menjadi:

- a. Gaya gempa lateral (F_x), gaya yang akan muncul pada semua tingkat, yang harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$F_i = i C_{vx} V \quad (2-16)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2-17)$$

- b. Gempa horizontal (V_x), geser tingkat desain gempa di semua tingkat harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \quad (2-18)$$

Keterangan:

F_i = bagian dari geser dasar seismik (V) pada tingkat ke- i (kN)

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

w_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur sebagai berikut:

- Untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$
- Untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$
- Untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

2.9 Sistem Struktur

Pada dasarnya setiap struktur pada suatu bangunan merupakan penggabungan berbagai elemen struktur secara tiga dimensi. Fungsi utama dari sistem struktur adalah untuk memikul secara aman dan efektif beban yang bekerja pada bangunan, serta menyalurkannya ke tanah melalui pondasi. Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur; sistem ini terbagi menjadi 3, yaitu SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa), SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah), dan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus).

a. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

SRPMB pada struktur bangunan diharapkan dapat mengalami deformasi inelastis secara terbatas pada komponen struktur sambungannya akibat gaya gempa rencana. SRPMB diterapkan pada wilayah gempa 1 dan 2.

b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Sistem Struktur bangunan ini diharapkan dapat menahan resiko kegempaan sedang yaitu, wilayah gempa 3 dan 4.

c. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

SRPMK pada struktur bangunan diharapkan dapat mengalami deformasi besar apabila dibebani oleh gaya-gaya yang berasal dari beban gempa rencana. SRPMK diterapkan pada wilayah gempa 5 dan 6.

(Halaman sengaja dikosongkan)



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pengumpulan Data

Data primer berupa gambar denah bangunan didapatkan dari bagian sarana dan prasarana RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan yang digunakan sebagai acuan untuk analisis alternatif perencanaan gedung dalam pembahasan studi alternatif ini.

3.2 Data – Data Desain

3.2.1 Data Umum



Gambar 3.1 Ilustrasi gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan

Sumber: Data proyek

Nama Proyek : RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan

Alamat Proyek : Jl. MT Haryono No.656, Batu Ampar, Kec. Balikpapan

Utara Kota Balikpapan, Kalimantan Timur 76115

Fungsi : 7 Lantai untuk Rumah Sakit

Waktu Pelaksanaan : 300 hari (Agustus 2009 - Juni 2010)

Biaya : Rp 282.254.000.000,00

3.2.1 Data Teknis Gedung Awal

Struktur gedung : Gedung menggunakan struktur beton bertulang

Jumlah lantai : 7 lantai

Tinggi bangunan : ± 35 m

Tinggi tiap lantai : Lantai dasar : 5,7 m

Lantai 1-7 : 4,2 m

Lantai atap : 4,2 m

3.3 Prosedur Perencanaan

3.3.1 Analisis Pembebanan

Dengan memperhitungkan beban gempa berdasarkan SNI 1727:2019 gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan harus mampu memikul seluruh kombinasi pembebanan berikut ini:

- 1,4D
- 1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr atau R)
- 1,2D + 1,6(Lr atau R) + (L atau 0,5W)
- 1,2D + 1,0W + L + 0,5(Lr atau R)
- 0,9D + 1,0W
- 1,2D + Ev + Eh + L
- 0,9D - Ev + Eh

Keterangan:

D : beban mati yang diakibatkan oleh material bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, serta peralatan layan tetap.

L : beban hidup yang diakibatkan oleh penggunaan gedung yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

Lr : beban hidup pada atap yang timbul selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material. Atau pada masa layan yang ditimbulkan oleh orang dan benda bergerak.

R : beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan oleh genangan air

W : beban angin.

E : beban gempa yang ditentukan sesuai dengan SNI 1726:2019

3.3.2 Analisis Struktur

Studi alternatif ini menggunakan aplikasi analisis struktur SAP 2000 V.20 untuk membantu dalam menghitung besarnya momen, gaya aksial, serta gaya geser yang terjadi setelah diberikan beban pada gedung Gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan. Perhitungan analisis gempa dalam studi alternatif ini menggunakan analisis respon spektrum dimana dengan digunakannya aplikasi ini akan membantu untuk menghitung gaya yang bekerja pada struktur akibat gaya gempa tersebut.

3.3.3 Desain Penampang

Prinsip dasar yang digunakan dalam pendesainan penampang pada gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan yakni dengan menggunakan konsep beton bertulang dengan menggunakan metode *precast*. Detail penampang yang akan digunakan pada balok berupa beton pracetak yang di sambungkan dengan kolom dan pelat dengan menggunakan sambungan basah.

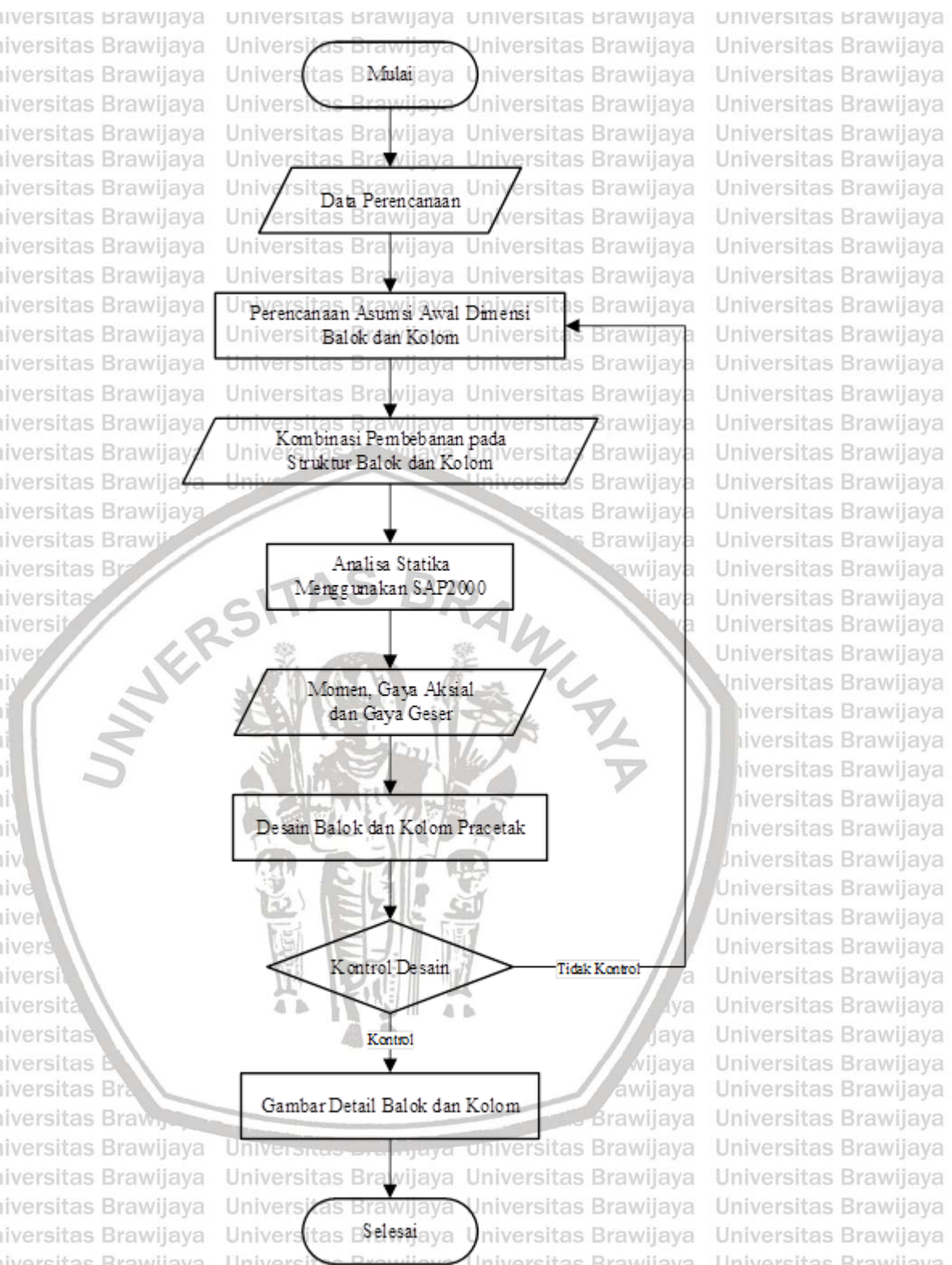
Setelah melakukan perencanaan dimensi, dilakukan kontrol dalam beberapa kondisi, yaitu kondisi sebelum komposit dan kondisi setelah komposit. Pada kondisi sebelum komposit, pembebanan meliputi berat sendiri, spesi, keramik, plafon, instalasi, dinding dan beban guna (hidup). Setelah itu balok dan kolom harus di lakukan kontrol pada penampang.

3.3.4 Gambar Struktur

Penggambaran dalam perencanaan dan perhitungan gambar pada studi alternatif ini dibantu dengan menggunakan software AutoCAD 2018. Gambar denah Gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan terlampir.

3.4 Tahapan Perencanaan

Studi alternatif ini akan membahas sambunngan balok – kolom dengan sistem pracetak, dalam melakukan perhitungan dan pengecekan bahwa semua komponen sudah aman atau belum harus sesuai dengan tahapan perencanaan sebagai berikut:



Gambar 3.2 Diagram alir perencanaan

3.5 Hipotesis

Berdasarkan hasil kajian pustaka, maka studi alternatif ini diharapkan memberikan hasil sebagai berikut:

- Diduga balok pracetak sebelum cor penuh pada bangunan gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan perlu adanya tulangan tambahan pada tulangan tekan transversal agar aman terhadap beban sendiri saat pengangkatan.
- Diduga sambungan balok-kolom pracetak ketika terjadi cor penuh pada bangunan gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan menunjukkan momen kapasitas yang terjadi lebih besar dari momen ultimate serta gaya geser nominal yang terjadi lebih besar dari gaya geser ultimate.



(Halaman sengaja dikosongkan)



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Dimensi Struktur

4.1.1 Perencanaan Balok

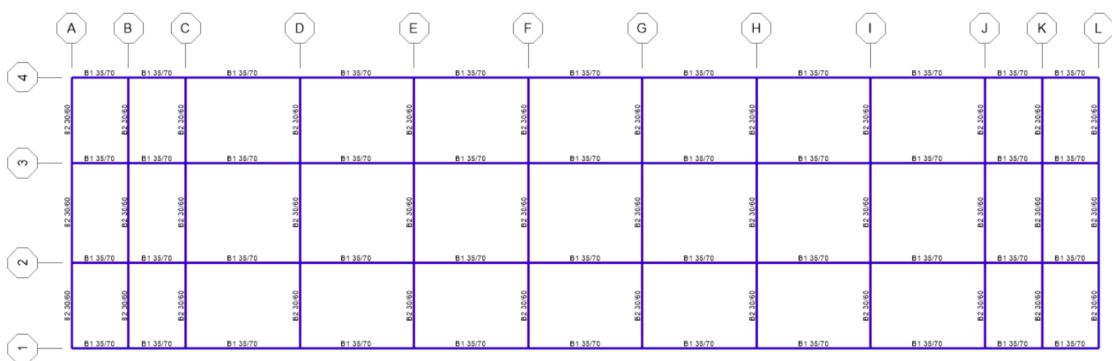
Untuk perencanaan dimensi balok mengacu pada tabel 4.1 berdasarkan pasal 9.3.1.1 SNI 2847:2019.

Tabel 4.1

Tinggi minimum balok nonprategang

Konsidi perletakan	Minimum $h^{[1]}$
Pereletakan sederhana	$L/16$
Menerus satu sisi	$L/18,5$
Menerus dua sisi	$L/21$
Kantilever	$L/8$

Sumber: SNI 2847:2019



Gambar 4.1 Denah balok gedung RSUD Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan

4.1.2 Perencanaan Kolom

Perencanaan dimensi kolom harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- Kolom direncanakan memikul beban aksial terfaktor yang berkerja pada lantai atau atap dan momen maksimum yang berasal dari beban terfaktor pada suatu bentang terdekat.
- Pada perhitungan momen akibat beban gravitasi yang bekerja pada kolom, ujung kolom di anggap terjepit.
- Momen yang bekerja pada tiap level atau atap harus didistribusikan pada kolom di atas dan di bawah lantai tersebut berdasarkan kekakuan relative.

Sehingga akan memakai kolom berdimensi 80x80 cm (K1) dan 50x50 cm (K2)

4.1.3 Perencanaan Pelat

Pelat yang akan direncanakan menggunakan sistem diafragma dengan tebal pelat atap menggunakan 10 cm dan pelat lantai menggunakan 12 cm sesuai dengan keadaan existing gedung tersebut.

4.2 Analisis Pembebanan

Pembebanan yang diperhitungkan dalam perencanaan gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowi Balikpapan adalah sebagai berikut:

4.2.1 Beban Mati (D)

Perkiraan berat struktur harus relevan dan diperoleh berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 1727:1989)

Tabel 4.2

Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung

Baja	=	7850	kg/m ³
Beton bertulang	=	2400	kg/m ³
Pasir	=	1600	kg/m ³
Keramik per cm tebal	=	24	kg/m ²
Spesi per cm tebal	=	21	kg/m ²
Langit-langit + penggantung	=	18	kg/m ²
Pasangan bata merah ½ batu	=	250	kg/m ²

Sumber: SNI 1727:1989

4.2.2 Beban Mati Tambahan (*Super Dead Load*)

Beban Mati Pelat Lantai

Pasir setebal 1 cm (0,01 x 1600)	=	16	kg/m ²
Spesi setebal 3 cm (0,03 x 21)	=	0.63	kg/m ²
Keramik setebal 1 cm (0,01 x 24)	=	0.24	kg/m ²
Langit-langit + penggantung	=	18	kg/m ²
Instalasi ME	=	30	kg/m ²
Total beban mati pada pelat lantai	=	64.87	kg/m ²

Beban Mati Pelat Atap

Waterproofing tebal 2 cm = 0,02 x 14	=	0.28	kg/m ²
Langit-langit + penggantung	=	18	kg/m ²
Instalasi ME	=	30	kg/m ²
Total beban mati pada pelat atap	=	48.28	kg/m ²

Beban Mati Balok

Beban dinding pasangan ½ batu (250 kg/m²)

Lantai Dasar (5.7-0.8) x 250	=	1225	kg/m ²
Lantai 1 - 7 (4.2-0.8) x 250	=	850	kg/m ²

4.2.3 Beban Hidup (L)

Beban hidup yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung dan struktur lain harus beban maksimum yang diharapkan tidak boleh kurang dari beban merata minimum sesuai dengan SNI 1727:2013.

Tabel 4.3

Beban hidup terdistribusi minimum untuk Rumah Sakit

Ruang operasi, laboratorium	=	2.87	kN/m ²
Ruang pasien	=	1.92	kN/m ²
Koridor diatas lantai pertama	=	3.83	kN/m ²
Atap	=	0.96	kN/m ²

Sumber: SNI 1727:2013

4.2.4 Beban Gempa

Langkah — langkah analisis beban gempa dengan metode respon spektrum adalah sebagai berikut:

a. Mencari Kategori Resiko Gempa dan Faktor Keutamaan Gempa

Tabel 3 – Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa (lanjutan)

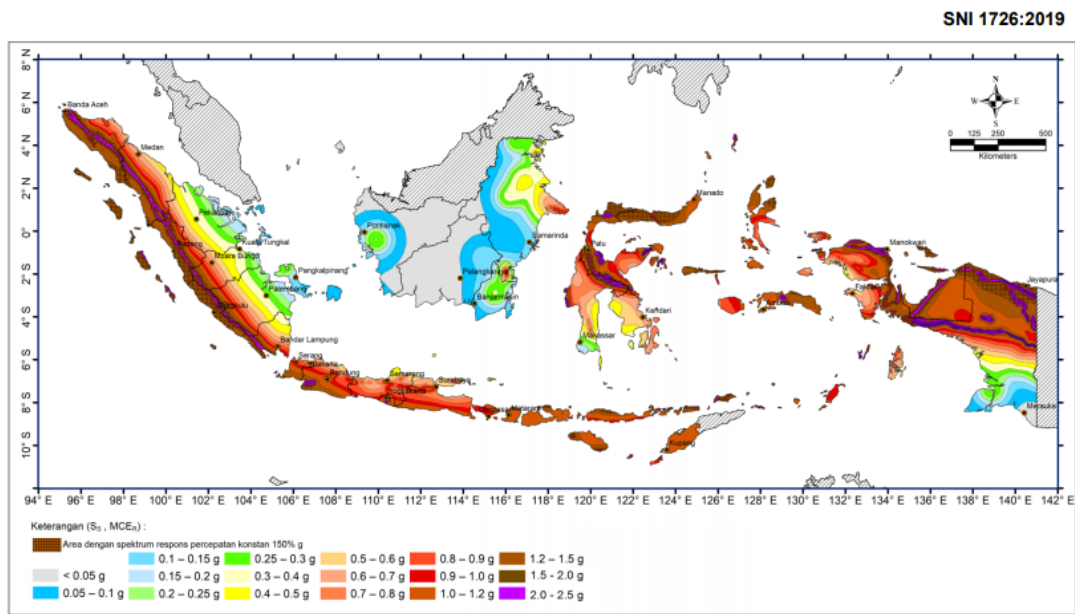
Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat 	IV
Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	

Tabel 4 – Faktor keutamaan gempa

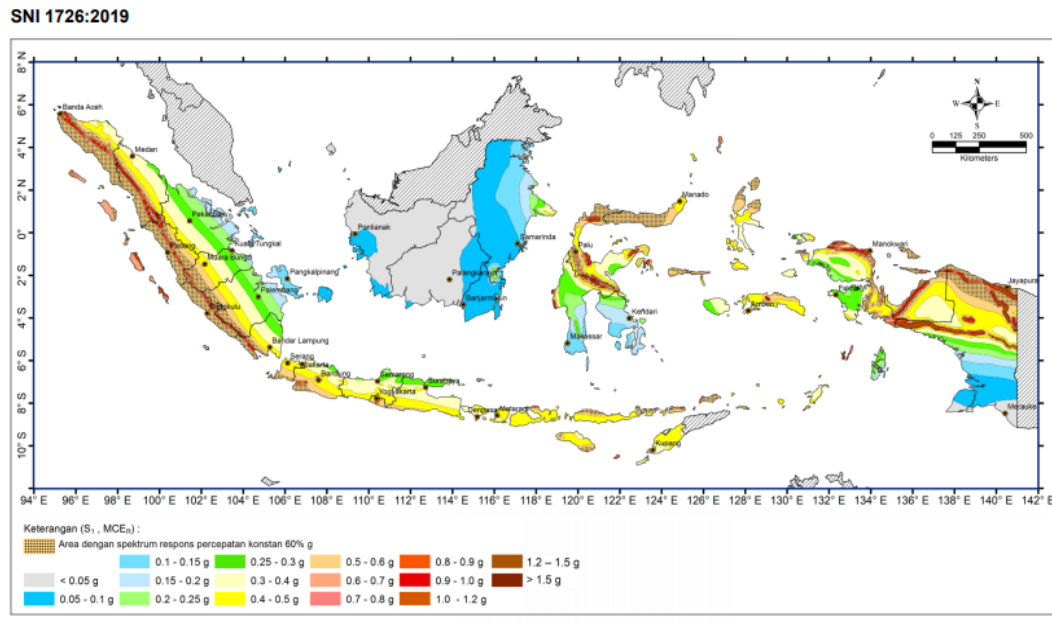
Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Gambar 4.2 Tabel 3 dan tabel 4 SNI 1726-2019

b. Parameter Respon Spektral MCE_R (S_s dan S_1)



Gambar 4.3 S_s Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R)



Gambar 4. 4 S_1 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_r)

c. Menentukan nilai dari koefisien F_a dan F_v

Tabel 6 – Koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_r) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,25$	$S_1 = 0,5$	$S_1 = 0,75$	$S_1 = 1,0$	$S_1 = 1,25$	$S_1 \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

CATATAN:

(a) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 0

Gambar 4.5 Tabel 6 SNI 1726-2019

Tabel 7 – Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_r) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

CATATAN:

(a) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 0

Gambar 4.6 Tabel 7 SNI 1726-2019

d. Menentukan nilai S_{MS} dan S_{M1}

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,6 \times 0,12g = \mathbf{0,192}$$

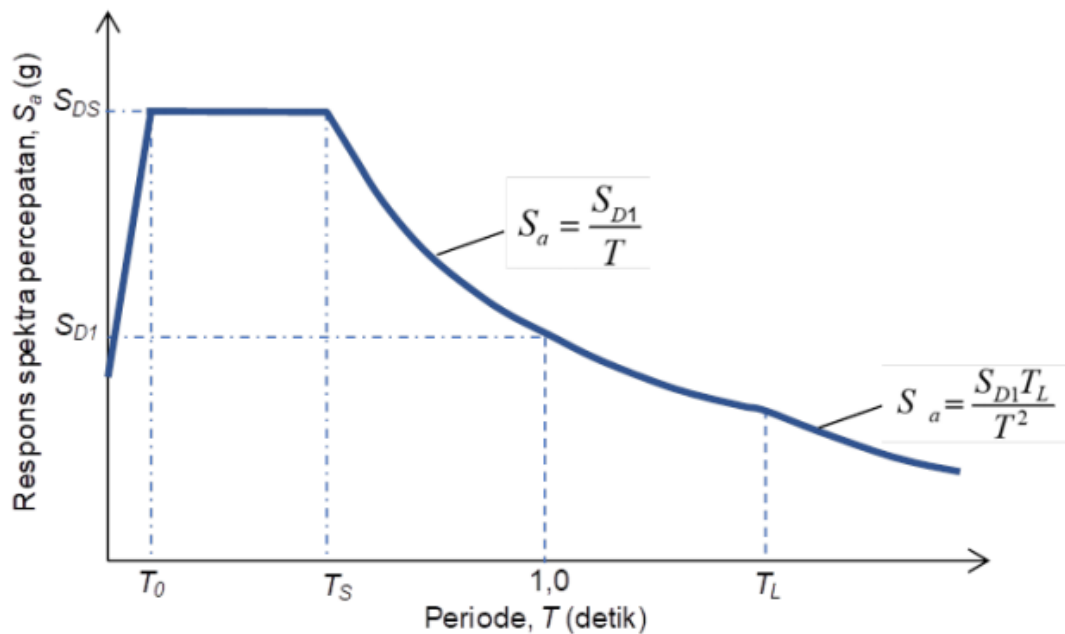
$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 2,4 \times 0,06g = \mathbf{0,144}$$

e. Menentukan nilai S_{DS} dan S_{D1}

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,192 = \mathbf{0,128}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,144 = \mathbf{0,096}$$

f. Menentukan Nilai T_0 dan T_s

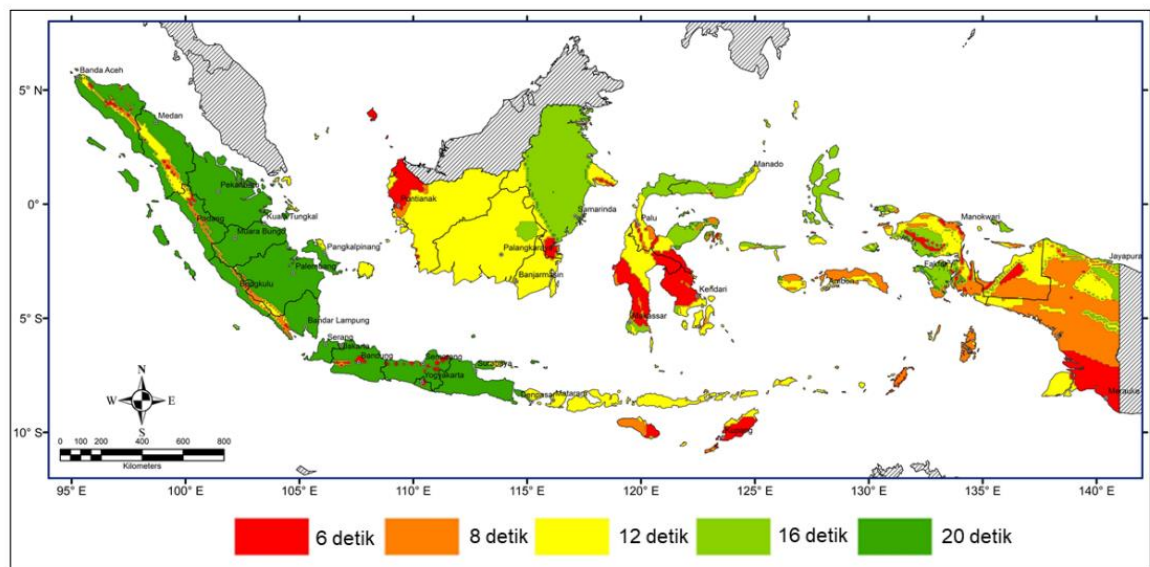


Gambar 4.7 Spektrum respons desain

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \frac{0,096}{0,128} = \mathbf{0,15}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,096}{0,128} = \mathbf{0,75}$$

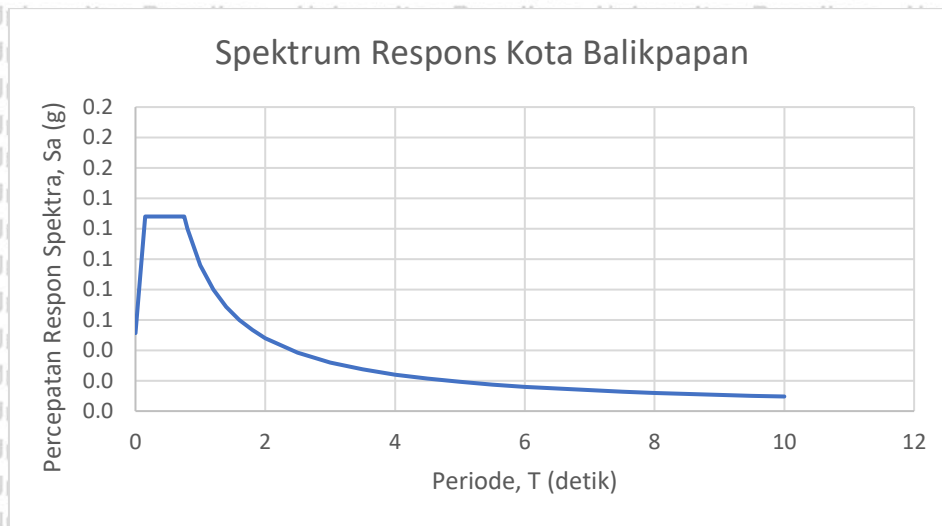
SNI 1726:2019



Gambar 4.8 Peta transisi periode panjang (TL)

T	Sa
(detik)	(g)
0	0.051
0.15	0.128
0.75	0.128
0.8	0.120
1	0.096
1.2	0.080
1.4	0.069
1.6	0.060
1.8	0.053
2	0.048
2.5	0.038
3	0.032
3.5	0.027

T	Sa
(detik)	(g)
4	0.024
4.5	0.021
5	0.019
5.5	0.017
6	0.016
6.5	0.015
7	0.014
7.5	0.013
8	0.012
8.5	0.011
9	0.011
9.5	0.010
10	0.010



4.2.5 Beban Kombinasi

Struktur yang direncanakan harus sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban terfaktor dengan kombinasi pembebanan sesuai SNI 1726:2019 sebagai berikut;

- 1,4D
- 1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr atau R)
- 1,2D + 1,6(Lr atau R) + (L atau 0,5W)
- 1,2D + 1,0W + L + 0,5(Lr atau R)
- 0,9D + 1,0W
- 1,2D + Ev + Eh + L
- 0,9D – Ev + Eh

Dimana:

$$E_v = 0,2SD_s$$

$$E_{hx} = \rho (E_x + 0,3E_y)$$

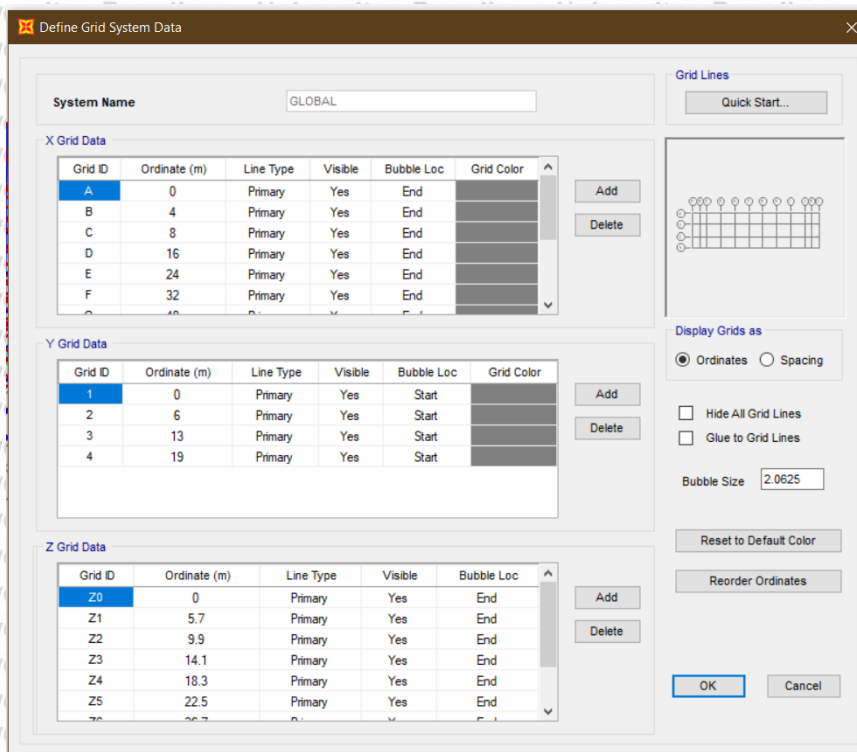
$$E_{hy} = \rho (E_y + 0,3E_x)$$

4.3 Pemodelan Struktur Menggunakan SAP2000 v20

Ada beberapa tahapan yang dilakukan untuk membuat pemodelan struktur pada software SAP2000 v20. Berikut adalah beberapa tahapan dan input yang dimasukkan pada software SAP2000 v20:

a. Grid System

Grid system adalah untuk menentukan letak koordinat titik-titik pada struktur dalam sumbu x, y dan z.



Gambar 4.9 Grid System

b. *Define* → *Materials*

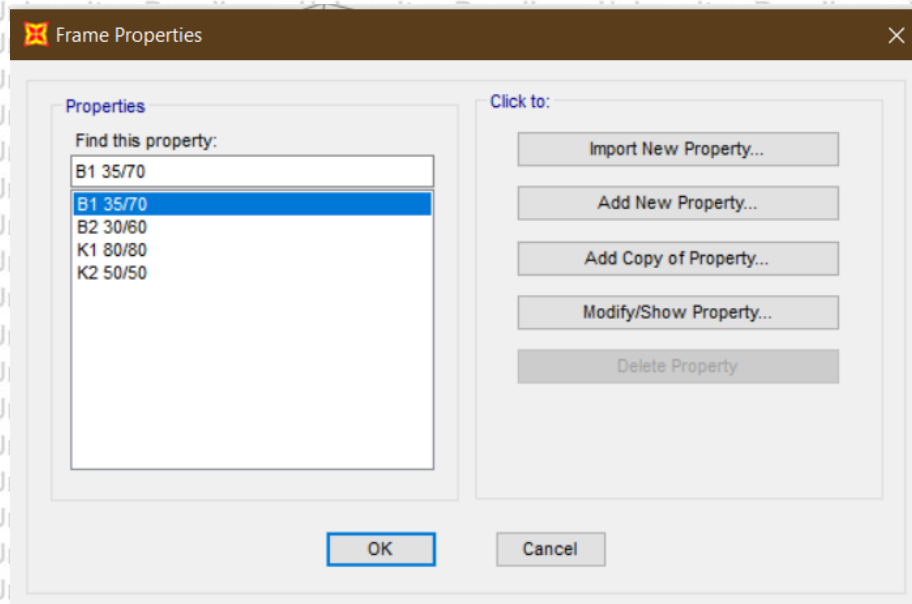
Mendefinisikan data material atau mutu bahan yang akan digunakan dalam pemodelan struktur.



Gambar 4.10 Material

c. *Define* → *Section Properties*

Menginput data dimensi balok, kolom dan pelat.



Gambar 4.11 Frame Section

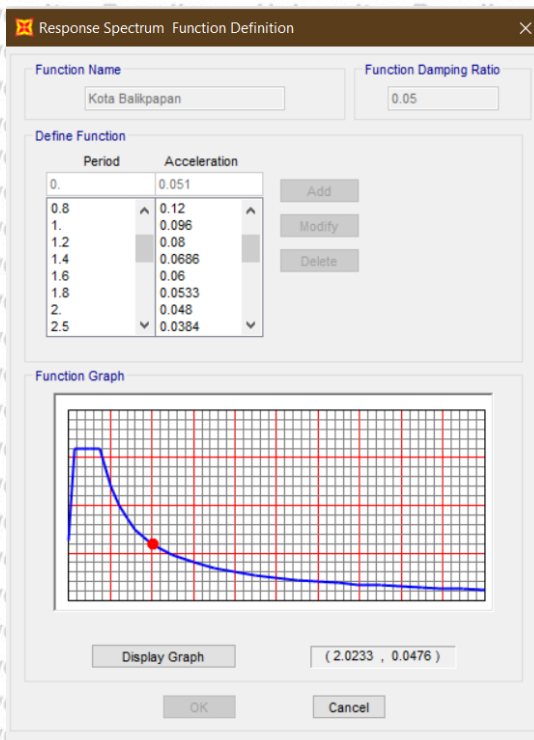
d. *Define* → *Load Patterns*

Memuat informasi tentang data pembebanan pada struktur yang dianalisis. Beban yang bekerja dari analisis struktur yang dilakukan, antara lain sebagai berikut:

- *Dead load*
- *Super dead*
- *Live load*
- *Quake*

e. *Other Function* → *Respon Spektrum*

Memasukkan data respon spektrum yang akan bekerja sebagai beban gempa pada pemodelan struktur.



Gambar 4.12 Respons Spektrum

f. *Define* → *Load Combination*

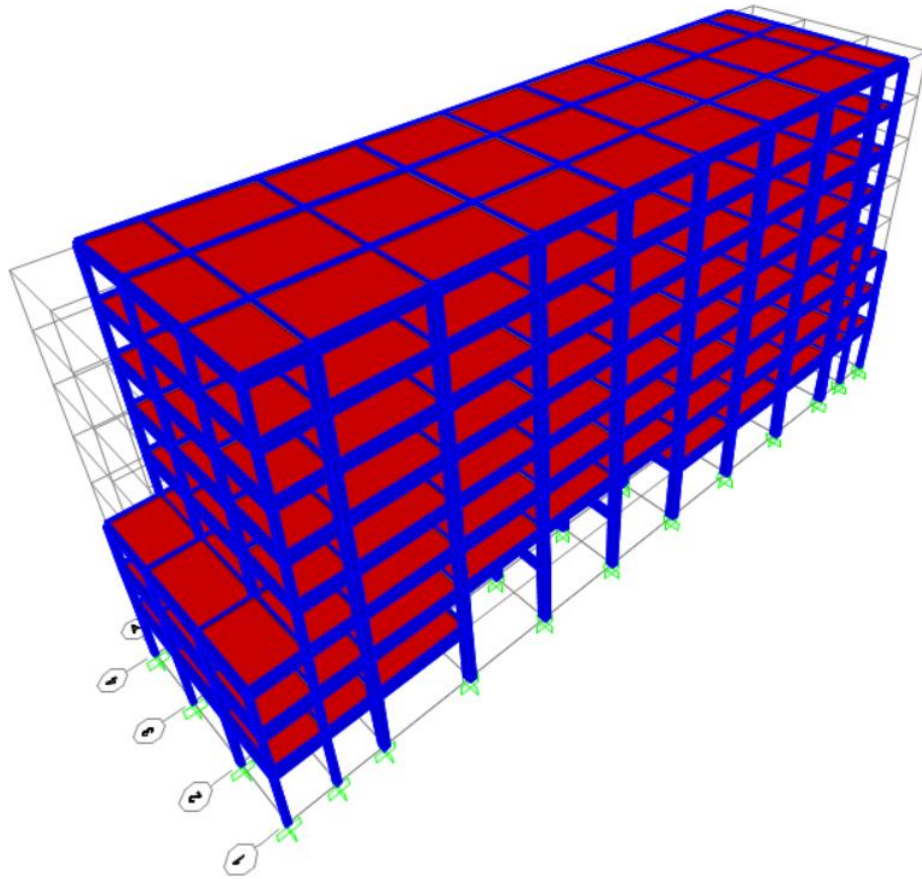
Mendefinisikan kombinasi pembebanan yang digunakan pada analisis struktur utama.

g. *Analyze* → *Run Analyze*

Langkah untuk mendapatkan hasil dari data input yang telah dimasukkan.

h. *Display* → *Show Tables*

Memuat data yang di dapat, meliputi besaran momen, gaya lintang maupun gaya normal pada elemen setelah dianalisis.



Gambar 4.13 Pemodelan struktur gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan



4.4 Perencanaan dan Analisis Kekuatan Balok Induk

4.4.1 Penulangan Balok 1 (Balok Memanjang)

Dari analisis menggunakan software SAP2000 v20 diperoleh momen maksimum pada tumpuan dan lapangan:

$$MU_{\text{Tump}} = -23935,53 \text{ kgm}$$

$$MU_{\text{Lap}} = 13753,13 \text{ kgm}$$

$$f'_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 320 \text{ Mpa}$$

$$\text{Dimensi balok} = 350 \times 700 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Bentang balok} = 8000 \text{ mm}$$

Analisis Tulangan Tumpuan

Nilai Momen terbesar dari momen negatif

$$Mu = -23935,53 \text{ kgm}$$

Tinggi balok

$$(d) = 700 - 40 = 660 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,00438$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$= 0,75 \times \frac{(0,85 \times \beta_1 \times f'_c)}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,75 \times \frac{(0,85 \times 0,85 \times 30)}{320} \times \frac{600}{600 + 320}$$

$$= 0,033130$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b_e \times d^2}$$

$$= \frac{-23935,53 \times 10^4}{0,8 \times 350 \times 660^2} = 19,6 \text{ kg/cm}^2 = 1,96 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c}$$

$$= \frac{320}{0,85 \times 30} = 12,549$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{12,54901} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,549 \times 1,96}{320}} \right]$$

$$= 0,01090$$

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, dipakai $\rho = 0,0109$

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0109 \times 350 \times 660 = 2517,9 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 0,5 \times A_s = 0,5 \times 2517,9 = 1258,95 \text{ mm}^2$$

Dari nilai A_s dan A_s' yang diperoleh maka jumlah tulangan atas dan tulangan bawah yang digunakan adalah :

Tulangan tarik: 7 D22 (2661 mm²)

Tulangan tekan: 4 D22 (1521 mm²)

Kontrol Momen Kapasitas Penampang

Diketahui :

- Tulangan tarik = 7 D22 (2661 mm²)
- Tulangan tekan = 4 D22 (1521 mm²)
- f_c = 30 Mpa
- ϵ_s = 0,003
- E_s = 2×10^5 Mpa
- Ukuran Balok = 35/70 cm
- d = 660 mm
- d' = 40 mm

Perhitungan:

Asumsi:

Tulangan tarik (A_s) sudah leleh $\Rightarrow f_s = f_y$

Tulangan tekan (A_s') sudah leleh $\Rightarrow f_s' = f_y$

$$T = A_s \times f_y = 2661 \times 320 = 851520 \text{ N}$$

$$C_s = A_s' \times f_y = 1521 \times 320 = 486720 \text{ N}$$

$$C_c = 0,85 \times f'_c \times b \times e \times a$$

$$= 0,85 \times 30 \times 350 \times a = 8925 a$$

Kesetimbangan gaya:

$$C_c + C_s = T$$

$$8925 a + 486720 = 851520$$

$$a = 40,87 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{0,85} = \frac{40,87}{0,85} = 48,09 \text{ mm}$$

Kontrol Tegangan:

Tulangan Tarik

$$f_s = \epsilon_s \times E_s$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{d-c}{c}\right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{660-48,09}{48,09}\right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 7635,074 \text{ MPa} > f_y = 320 \text{ MPa (sesuai asumsi)}$$

Tulangan Tekan

$$f_s' = \epsilon_s' \times E_s$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{c-d'}{c}\right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{48,09-40}{48,09}\right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 100,9 \text{ MPa} < f_y = 320 \text{ MPa (tulangan tekan belum leleh)}$$

Karena tulangan tekan belum leleh (tidak sesuai asumsi) maka dilakukan perhitungan ulang dengan asumsi baru.

Asumsi ke-2:

Tulangan tarik (As) sudah leleh $\Rightarrow f_s = f_y$

Tulangan tekan (As') belum leleh $\Rightarrow f_s' = \epsilon_s' \times E_s$

$$\epsilon_s' = \epsilon_c \times \left(\frac{c-d'}{c}\right)$$

Kesetimbangan gaya:

$$C_c + C_s = T$$

$$0,85x f'c x b_e x a + A_s' x f's = A_s x f_y$$

$$0,85x f'c x b_e x a + A_s' x \epsilon_c x \frac{\frac{a}{0,85} - d'}{0,85} x E_s = A_s x f_y$$

$$0,85x 30 x 350 x a + 1521 x 0,003 x \frac{1,18a - 40}{1,18a} x 200000 = 2661 x 320$$

$$8925a + 912600 - \frac{30935593,2}{a} = 851520$$

$$8925a^2 + 912600a - 30935593,2 = 851520a$$

$$8925a^2 + 61080a - 30935593,2 = 0$$

$$a_1 = 55,5 \text{ mm}$$

$$a_2 = -62,4 \text{ mm}$$

$$a = 55,5 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{0,85} = \frac{55,5}{0,85} = 65,29 \text{ mm}$$

Kontrol Tegangan:

Tulangan Tarik

$$f_s = \epsilon_s x E_s$$

$$= 0,003 x \left(\frac{d-c}{c}\right) x 2 x 10^5$$

$$= 0,003 x \left(\frac{660-65,29}{65,29}\right) x 2 x 10^5$$

$$= 5465,2 \text{ MPa} > f_y = 320 \text{ MPa (sesuai asumsi)}$$

Tulangan Tekan

$$f_s' = \epsilon_s' x E_s$$

$$= 0,003 x \left(\frac{c-d'}{c}\right) x 2 x 10^5$$

$$= 0,003 x \left(\frac{65,29-40}{65,29}\right) x 2 x 10^5$$

$$= 232,4 \text{ MPa} < f_y = 320 \text{ MPa (sesuai asumsi)}$$

$$M_n = C_c (d - a/2) + C_s (d - d')$$

$$= 0,85 x f'c x b x a (d - a/2) + A_s' f's (d - d')$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,85 \times 30 \times 350 \times 55,5 \times (660 - 55,5/2) + 1521 \times 232,4 (660 - 40) \\
 &= 532334982,4 \text{ Nmm} \\
 &= 53233,49824 \times 0,8 \text{ kgm} \\
 &= 42586,8 \text{ kgm} > \text{Mu} = 23935,53 \text{ kgm} \quad \text{OK!!!}
 \end{aligned}$$

Analisa Tulangan Lapangan

$$\text{MU Lapangan} = 13753,13 \text{ m}$$

Perhitungan lebar efektif (be):

Berdasarkan SK SNI 2847:2019 :

Lebar efektif balok T tidak lebih besar dan diambil nilai terkecil dari:

$$\begin{aligned}
 \text{bw} + 1/12 \times \text{bentang balok} &= 350 + (1/12 \times 8000) = 1016,6 \text{ mm} \\
 \text{bw} + 6 \times \text{hf} &= 350 + (6 \times 120) = 1070 \text{ mm} \\
 \text{bw} + 1/2 \text{ jarak bersih antar balok} &= 350 + (0,5 \times (8000-350)) = 4175 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka diambil lebar efektif (be) yang terkecil yaitu = 1016,6 mm

$$\begin{aligned}
 \text{MR (momen tahanan)} &= \phi \times 0,85 \times f_c' \times \text{be} \times \text{hf} \times (d - \text{hf} / 2) \\
 &= 0,8 \times 0,85 \times 30 \times 1016,6 \times 120 \times (660 - 120/2) \\
 &= 1493182080 \text{ Nmm} \\
 &= 149318,208 \text{ kgm} > 14077,18 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

MR > Mulap → T-Persegi

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,00438$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times \frac{(0,85 \times \beta_1 \times f_c')}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= 0,75 \times \frac{(0,85 \times 0,85 \times 30)}{320} \times \frac{600}{600 + 320} \\
 &= 0,033130
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_u}{\phi \times \text{be} \times d^2} \\
 &= \frac{13753,13 \times 10^4}{0,8 \times 350 \times 660^2} = 11,28 \text{ kg/cm}^2 = 1,128 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{320}{0,85 \times 30} = 12,549$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{12,5490} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,5490 \times 1,128}{320}} \right]$$

$$\rho = 0,00861$$

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, dipakai $\rho = 0,00861$

$$A_s = \rho \times b_e \times d = 0,00861 \times 350 \times 660 = 1989 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 0,5 \times A_s = 0,5 \times 1021 = 994,5 \text{ mm}^2$$

Dari nilai A_s dan A_s' yang diperoleh maka jumlah tulangan atas dan tulangan bawah yang digunakan adalah :

Tulangan tarik: 6 D22 (2281 mm²)

Tulangan tekan: 3 D22 (1140 mm²)

Kontrol Momen Kapasitas Penampang

Diketahui :

- Tulangan tarik = 6 D22 (2281 mm²)

- Tulangan tekan = 3 D22 (1140 mm²)

- f_c = 30 Mpa

- ϵ_s = 0,003

- E_s = 2×10^5 Mpa

- Ukuran Balok = 35/70 cm

- d = 660 mm

- d' = 40 mm

Perhitungan:

Asumsi:

Tulangan tarik (A_s) sudah leleh $\Rightarrow f_s = f_y$

Tulangan tekan (A_s') sudah leleh $\Rightarrow f_s' = f_y$

$$T = A_s \times f_y = 2281 \times 320 = 729920 \text{ N}$$

$$C_s = A_s' \times f_y = 1140 \times 320 = 364800 \text{ N}$$

$$C_c = 0,85 \times f_c \times b_e \times a$$

$$= 0,85 \times 30 \times 350 \times a = 8925 a$$

Kesetimbangan gaya:

$$C_c + C_s = T$$

$$8925 a + 364800 = 729920$$

$$a = 40,87 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{40,9}{0,85} = 48,13 \text{ mm} > d'$$

Kontrol Tegangan:

Tulangan Tarik

$$f_s = \epsilon_s \times E_s$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{d-c}{c}\right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{660-48,13}{48,13}\right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 7627,86 \text{ MPa} > f_y = 320 \text{ MPa (sesuai asumsi)}$$

Tulangan Tekan

$$f_s' = \epsilon_s' \times E_s$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{c-d'}{c}\right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{48,13-40}{48,13}\right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 101,34 \text{ MPa} < f_y = 320 \text{ MPa (tulangan tekan belum leleh)}$$

Karena tulangan tekan belum leleh (tidak sesuai asumsi) maka dilakukan perhitungan ulang dengan asumsi baru.

Asumsi ke-2:

Tulangan tarik (A_s) sudah leleh $\Rightarrow f_s = f_y$

Tulangan tekan (A_s') belum leleh $\Rightarrow f_s' = \epsilon_s' \times E_s$

$$\epsilon_s' = \epsilon_c \times \left(\frac{c-d'}{c}\right)$$

Kesetimbangan gaya:

$$C_c + C_s = T$$

$$0,85 \times f_c \times b \times e \times a + A_s' \times f_s' = A_s \times f_y$$

$$0,85x f'c x be x a + As' x \epsilon c x \frac{0,85d'}{a} x Es = As x fy$$

$$0,85x 30 x 350 x a + 1140 x 0,003 x \frac{1,18a-40}{1,18a} x 200000 = 2281 x 320$$

$$8925a + 684000 - \frac{23186440,68}{a} = 729920$$

$$8925a^2 + 684000a - 23186440,68 = 729920a$$

$$8925a^2 - 45920a - 23186440,68 = 0$$

$$a1 = 53,6 \text{ mm}$$

$$a2 = -48,46 \text{ mm}$$

$$a = 53,6 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{0,85} = \frac{53,6}{0,85} = 63 \text{ mm}$$

Kontrol Tegangan:

Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} f_s &= \epsilon_s x E_s \\ &= 0,003 x \left(\frac{d-c}{c}\right) x 2 x 10^5 \\ &= 0,003 x \left(\frac{660-63}{63}\right) x 2 x 10^5 \\ &= 5679,9 \text{ MPa} > f_y = 320 \text{ MPa (sesuai asumsi)} \end{aligned}$$

Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} f_s' &= \epsilon_s' x E_s \\ &= 0,003 x \left(\frac{c-d'}{c}\right) x 2 x 10^5 \\ &= 0,003 x \left(\frac{63-40}{63}\right) x 2 x 10^5 \\ &= 219 \text{ MPa} < f_y = 320 \text{ MPa (sesuai asumsi)} \end{aligned}$$

$$M_n = C_c (d - a/2) + C_s (d - d')$$

$$= 0,85 x f'c x b x a (d - a/2) + As' x f_s (d - d')$$

$$= 0,85 x 30 x 350 x 53,6 x (660 - 53,6/2) + 1140 x 165 (660 - 40)$$

$$= 317232216 \text{ Nmm}$$

$$M_n \times \phi \geq M_u$$

$$31723,2216 \text{ kgm} \times 0,8 \geq 13753,13 \text{ kgm}$$

$$25378,6 \text{ kgm} \geq 13753,13 \text{ kgm} \dots\dots\dots \text{OK!!}$$

4.4.2 Penulangan Geser Balok 1 (Balok Memanjang)

Dari analisis menggunakan software SAP2000 v20 diperoleh gaya geser maksimum.

$$V_u \text{ maksimum} = 15634,1 \text{ kg}$$

Syarat kebutuhan tulangan geser : $V_n > V_c$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

$$= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 350 \times 660$$

$$= 210873,18 \text{ N} = 21087,318 \text{ kg}$$

$$\phi = 0,75 \text{ (Faktor reduksi untuk geser)}$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{15634,1}{0,75} = 20845,5 \text{ kg}$$

$$V_n = 20845,5 \text{ kg} < V_c = 21087,318 \text{ kg} \text{ (Tidak perlu tulangan geser)}$$

Maka digunakan tulangan geser praktis $\phi 8-200$.

4.4.3 Penulangan Balok 2 (Balok Melintang)

Dari analisis menggunakan software SAP2000 v20 diperoleh momen maksimum pada tumpuan dan lapangan:

$$M_U \text{ Tump} = -21176,85 \text{ kgm}$$

$$M_U \text{ Lap} = 9607,63 \text{ kgm}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 320 \text{ Mpa}$$

$$\text{Dimensi balok} = 300 \times 600 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Bentang balok} = 7000 \text{ mm}$$

Analisis Tulangan Tumpuan

Nilai Momen terbesar dari momen negatif

$$Mu = -21176,85 \text{ kgm}$$

Tinggi balok

$$(d) = 600 - 40 = 560 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = 1,4 / f_y = 1,4 / 320 = 0,00438$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$= 0,75 \times \frac{(0,85 \times \beta_1 \times f'_c)}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,75 \times \frac{(0,85 \times 0,85 \times 30)}{320} \times \frac{600}{600 + 320}$$

$$= 0,033130$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b_e \times d^2}$$

$$= \frac{-21176,85 \times 10^4}{0,8 \times 300 \times 560^2} = 28,14 \text{ kg/cm}^2 = 2,814 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c}$$

$$= \frac{320}{0,85 \times 30} = 12,549$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{12,54901} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,549 \times 2,814}{320}} \right] = 0,00934$$

$\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}$, dipakai $\rho = 0,00934$

$$A_s = \rho \times b_e \times d = 0,00934 \times 300 \times 560 = 1569,1 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 0,5 \times A_s = 0,5 \times 1569,1 = 784,57 \text{ mm}^2$$

Dari nilai A_s dan A_s' yang diperoleh maka jumlah tulangan atas dan tulangan bawah yang digunakan adalah :

Tulangan tarik: 6 D19 (1701 mm²)

Tulangan tekan : 3 D19 (851 mm²)

Kontrol Momen Kapasitas Penampang

Diketahui :

$$- \text{Tulangan tarik} = 6 \text{ D19 (1701 mm}^2\text{)}$$

$$- \text{Tulangan tekan} = 3 \text{ D19 (851 mm}^2\text{)}$$

$$- f_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$- \epsilon_s = 0,003$$

$$- E_s = 2 \times 10^5 \text{ Mpa}$$

$$- \text{Ukuran Balok} = 30/60 \text{ cm}$$

$$- d = 560 \text{ mm}$$

$$- d' = 40 \text{ mm}$$

Perhitungan :

Asumsi:

Tulangan tarik (As) sudah leleh $\Rightarrow f_s = f_y$

Tulangan tekan (As') sudah leleh $\Rightarrow f_s' = f_y$

$$T = A_s \times f_y = 1701 \times 320 = 544320 \text{ N}$$

$$C_s = A_{s'} \times f_y = 851 \times 320 = 272320 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \times f_c \times b_e \times a \\ &= 0,85 \times 30 \times 350 \times a = 8925 a \end{aligned}$$

Kesetimbangan gaya:

$$C_c + C_s = T$$

$$7650 a + 272320 = 544320$$

$$a = 35,56 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{0,85} = \frac{35,56}{0,85} = 41,83 \text{ mm}$$

Kontrol Tegangan:

Tulangan Tarik

$$f_s = \epsilon_s \times E_s$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{d-c}{c}\right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{560-41,83}{41,83} \right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 7432,5 \text{ MPa} > f_y = 320 \text{ MPa (sesuai asumsi)}$$

Tulangan Tekan

$$f_s' = \epsilon_s' \times E_s$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{c-d'}{c} \right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{41,83 - 40}{41,83} \right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 26,5 \text{ MPa} < f_y = 320 \text{ MPa (tulangan tekan belum leleh)}$$

Karena tulangan tekan belum leleh (tidak sesuai asumsi) maka dilakukan perhitungan ulang dengan asumsi baru.

Asumsi ke-2:

Tulangan tarik (A_s) sudah leleh $\Rightarrow f_s = f_y$

Tulangan tekan (A_s') belum leleh $\Rightarrow f_s' = \epsilon_s' \times E_s$

$$\epsilon_s' = \epsilon_c \times \left(\frac{c-d'}{c} \right)$$

Keseimbangan gaya :

$$C_c + C_s = T$$

$$0,85 \times f'_c \times b \times e \times a + A_s' \times f'_s = A_s \times f_y$$

$$0,85 \times f'_c \times b \times e \times a + A_s' \times \epsilon_c \times \frac{0,85-d'}{0,85} \times E_s = A_s \times f_y$$

$$0,85 \times 30 \times 300 \times a + 851 \times 0,003 \times \frac{1,18a-40}{1,18a} \times 200000 = 1701 \times 320$$

$$7650a + 510600 - \frac{17308474,6}{a} = 544320$$

$$7650a^2 + 510600a - 17308474,6 = 544320a$$

$$7650a^2 - 33720a - 17308474,6 = 0$$

$$a_1 = 49,8 \text{ mm}$$

$$a_2 = -45,4 \text{ mm}$$

$$a = 49,8 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{0,85} = \frac{49,8}{0,85} = 58,6 \text{ mm}$$

Kontrol Tegangan:

Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} f_s &= \epsilon_s \times E_s \\ &= 0,003 \times \left(\frac{d-c}{c} \right) \times 2 \times 10^5 \\ &= 0,003 \times \left(\frac{560-58,6}{58,6} \right) \times 2 \times 10^5 \\ &= 5134,9 \text{ MPa} > f_y = 320 \text{ MPa (sesuai asumsi)} \end{aligned}$$

Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} f_s' &= \epsilon_s' \times E_s \\ &= 0,003 \times \left(\frac{c-d'}{c} \right) \times 2 \times 10^5 \\ &= 0,003 \times \left(\frac{58,6-40}{58,6} \right) \times 2 \times 10^5 \\ &= 190,4 \text{ MPa} < f_y = 320 \text{ MPa (sesuai asumsi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= C_c (d - a/2) + C_s \cdot (d-d') \\ &= 0,85 \times f'c \times b \times a (d - a/2) + A_s' f'_s (d-d') \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 49,8 \times (560 - 49,8 / 2) + 851 \times 190,4 (560 - 40) \\ &= 288112855 \text{ Nmm} \\ &= 28811,2855 \times 0,8 \text{ kgm} \\ &= 23049 \text{ kgm} > M_u = 21176,85 \text{ kgm OK!!!} \end{aligned}$$

Analisa Tulangan Lapangan

$$M_U \text{ Lapangan} = 9607,63 \text{ m}$$

Perhitungan lebar efektif (be):

Berdasarkan SK SNI 2847:2019 :

Lebar efektif balok T tidak lebih besar dan diambil nilai terkecil dari:

$$b_w + 1/12 \times \text{bentang balok} = 300 + (1/12 \times 8000) = 966,67 \text{ mm}$$

$$b_w + 6 \times h_f = 300 + (6 \times 120) = 1020 \text{ mm}$$

$$b_w + 1/2 \text{ jarak bersih antar balok} = 300 + (0,5 \times (7000-300)) = 3650 \text{ mm}$$

Maka diambil lebar efektif (be) yang terkecil yaitu = 966,67 mm

$$\begin{aligned}
 M_R (\text{momen tahanan}) &= \phi \times 0,85 \times f_c' \times b_e \times h_f \times (d - h_f / 2) \\
 &= 0,8 \times 0,85 \times 30 \times 966,67 \times 120 \times (560 - 120/2) \\
 &= 1183204080 \text{ Nmm} \\
 &= 118320,408 \text{ kgm} > 9607,63 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$M_R > M_{ulap} \rightarrow$ T-Persegi

$$\rho_{\min} = 1,4 / f_y = 1,4 / 320 = 0,00438$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times \frac{(0,85 \times \beta_1 \times f_c')}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= 0,75 \times \frac{(0,85 \times 0,85 \times 30)}{320} \times \frac{600}{600 + 320} \\
 &= 0,033130
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b_e \times d^2} \\
 &= \frac{9607,63 \times 10^4}{0,8 \times 300 \times 560^2} = 12,8 \text{ kg/cm}^2 = 1,28 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\
 &= \frac{320}{0,85 \times 30} = 12,549
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{12,5490} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,5490 \times 1,28}{320}} \right] \\
 &= 0,00808
 \end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, dipakai $\rho = 0,00808$

$$A_s = \rho \times b_e \times d = 0,00808 \times 300 \times 560 = 1357 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 0,5 \times A_s = 0,5 \times 1357 = 678,5 \text{ mm}^2$$

Dari nilai A_s dan A_s' yang diperoleh maka jumlah tulangan atas dan tulangan bawah yang digunakan adalah :

Tulangan tarik: 6 D19 (1701 mm²)

Tulangan tekan: 3 D19 (851 mm²)

Kontrol Momen Kapasitas Penampang

Diketahui :

$$- \text{Tulangan tarik} = 6 \text{ D19 (1701 mm}^2\text{)}$$

$$- \text{Tulangan tekan} = 3 \text{ D19 (851 mm}^2\text{)}$$

$$- f_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$- \epsilon_s = 0,003$$

$$- E_s = 2 \times 10^5 \text{ Mpa}$$

$$- \text{Ukuran Balok} = 30/60 \text{ cm}$$

$$- d = 560 \text{ mm}$$

$$- d' = 40 \text{ mm}$$

Perhitungan :

Asumsi :

Tulangan tarik (As) sudah leleh $\Rightarrow f_s = f_y$

Tulangan tekan (As') sudah leleh $\Rightarrow f_s' = T = A_s \times f_y$

$$C_s = A_s' \times f_y$$

$$= 1701 \times 320 = 544320 \text{ N}$$

$$= 851 \times 320 = 272320 \text{ N}$$

$$C_c = 0,85 \times f_c \times b_e \times a = 0,85 \times 30 \times 300 \times a = 7650 a$$

Kesetimbangan gaya :

$$C_c + C_s = T$$

$$7650 a + 272320 = 544320$$

$$a = 35,56 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{0,85} = \frac{35,56}{0,85} = 41,83 \text{ mm}$$

Kontrol Tegangan:

Tulangan Tarik

$$f_s = \epsilon_s \times E_s$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{d-c}{c}\right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{560-41,83}{41,83}\right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 7432,5 \text{ MPa} > f_y = 320 \text{ MPa (sesuai asumsi)}$$

Tulangan Tekan

$$f_s' = \epsilon_s' \times E_s$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{c-d}{c}\right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{41,83 - 40}{41,83}\right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 26,5 \text{ MPa} < f_y = 320 \text{ MPa (tulangan tekan belum leleh)}$$

Karena tulangan tekan belum leleh (tidak sesuai asumsi) maka dilakukan perhitungan ulang dengan asumsi baru.

Asumsi ke-2:

Tulangan tarik (A_s) sudah leleh $\Rightarrow f_s = f_y$

Tulangan tekan (A_s') belum leleh $\Rightarrow f_s' = \epsilon_s' \times E_s$

$$\epsilon_s' = \epsilon_c \times \left(\frac{c-d}{c}\right)$$

Kesetimbangan gaya :

$$C_c + C_s = T$$

$$0,85 \times f'_c \times b_e \times x_a + A_s' \times f'_s = A_s \times f_y$$

$$0,85 \times f'_c \times b_e \times x_a + A_s' \times \epsilon_c \times \frac{\frac{a}{0,85} \times d'}{0,85} \times E_s = A_s \times f_y$$

$$0,85 \times 30 \times 300 \times a + 851 \times 0,003 \times \frac{1,18a - 40}{1,18a} \times 200000 = 1701 \times 320$$

$$7650a + 510600 - \frac{17308474,6}{a} = 544320$$

$$7650a^2 + 510600a - 17308474,6 = 544320a$$

$$7650a^2 - 33720a - 17308474,6 = 0$$

$$a_1 = 49,8 \text{ mm}$$

$$a_2 = -45,4 \text{ mm}$$

$$a = 49,8 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{0,85} = \frac{49,8}{0,85} = 58,6 \text{ mm}$$

Kontrol Tegangan :

Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} f_s &= \epsilon_s \times E_s \\ &= 0,003 \times \left(\frac{d-c}{c}\right) \times 2 \times 10^5 \\ &= 0,003 \times \left(\frac{560-58,6}{58,6}\right) \times 2 \times 10^5 \\ &= 5134,9 \text{ MPa} > f_y = 320 \text{ MPa (sesuai asumsi)} \end{aligned}$$

Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} f_s' &= \epsilon_s' \times E_s \\ &= 0,003 \times \left(\frac{c-d'}{c}\right) \times 2 \times 10^5 \\ &= 0,003 \times \left(\frac{58,6-40}{58,6}\right) \times 2 \times 10^5 \\ &= 190,4 \text{ MPa} < f_y = 320 \text{ MPa (sesuai asumsi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= C_c (d - a/2) + C_s (d - d') \\ &= 0,85 \times f'_c \times b \times a (d - a/2) + A_s' f'_s (d - d') \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 49,8 \times (560 - 49,8 / 2) + 851 \times 190,4 (560 - 40) \\ &= 288112855 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \times \phi &\geq M_u \\ 28811,2855 \text{ kgm} \times 0,8 &\geq 9607,63 \text{ kgm} \\ 23049 \text{ kgm} &\geq 9607,63 \text{ kgm} \quad \text{OK!!} \end{aligned}$$

4.4.4 Penulangan Geser Balok 2 (Balok Melintang)

Dari analisis menggunakan software SAP2000 v20 diperoleh gaya geser maksimum.

$$V_u \text{ maksimum} = 13278,1 \text{ kg}$$

Syarat kebutuhan tulangan geser : $V_n > V_c$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 300 \times 560 \\ &= 153362,32 \text{ N} = 15336,232 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75 \text{ (Faktor reduksi untuk geser)}$$

$$V_n = \frac{vu}{\Phi} = \frac{13278,1}{0,75} = 17704,1 \text{ kg}$$

$$V_n = 17704,1 \text{ kg} > V_c = 15336,232 \text{ kg} \text{ (Perlu Tulangan Geser)}$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_s = V_n - V_c = 17704,1 - 15336,23 = 2367,9 \text{ kg}$$

$$V_s < \left(\frac{2x\sqrt{f_c}}{3}\right)bw \times d$$

$$2367,9 < \left(\frac{2x\sqrt{30}}{3}\right) \times 300 \times 560$$

$$2367,9 < 613449,26 \text{ OK!}$$

Dicoba menggunakan $\phi 10$ ($A_v = 157 \text{ mm}^2$)

Jarak sengkang maksimum:

$$V_s = (A_v \cdot f_y \cdot d) / s$$

$$2367,9 = (157 \times 320 \times 560) / s$$

$$s = 760,57 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{3} \cdot bw \cdot d \cdot \sqrt{f_c'} &= \frac{1}{3} \cdot 300 \cdot 560 \cdot \sqrt{30} \\ &= 306724,6 \text{ N} \\ &= 30672,46 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$V_s = 2367,9 \text{ kg} < 30672,46 \text{ kg} \text{ (jarak maksimum } d/2 = 560/2 = 280 \text{ mm)}$$

Maka digunakan sengkang $\phi 10-200$.

Tabel 4.4

Rekap penulangan balok

Balok	Tumpuan		Lapangan		Sengkang
	Tarik	Tekan	Tarik	Tekan	
B1 (35/70)	7 D 22	4 D 22	6 D 22	3 D 22	$\phi 8-200$
B2 (30/60)	6 D 19	3 D 19	6 D 19	3 D 19	$\phi 10-200$

Sumber: Perhitungan

4.5 Perencanaan dan Analisis Kekuatan Kolom

4.5.1 Perencanaan Kolom K1 (80/80)

Dari analisis menggunakan software SAP2000 v20 didapatkan momem maksimum + sebesar 6971,9 kgm dan momen maksimum - sebesar 6845,47 kgm

▪ Data Kolom:

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

$$d' = 40 \text{ mm}$$

$$d = 760 \text{ mm}$$

$$L = 4200 \text{ mm} = 4,2 \text{ m}$$

$$P_u = 560303,65 \text{ kg} = 5603036,5 \text{ N}$$

$$M_A = 6845,47 \text{ kgm}$$

$$M_B = 6971,9 \text{ kgm}$$

▪ Data Balok:

$$b = 350 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$d' = 40 \text{ mm}$$

$$d = 660 \text{ mm}$$

$$L_1 = 8000 \text{ mm} = 8 \text{ m}$$

$$L_2 = 7000 \text{ mm} = 7 \text{ m}$$

▪ Data Material:

$$f_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 320 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c} = 4700 \sqrt{30} = 25742,96 \text{ MPa}$$

▪ Menghitung Kekakuan Kolom

$$I_{g_{kolom}} = \frac{1}{12} b x h^3$$

$$I_{g_{kolom}} = \frac{1}{12} x 800 x 800$$

$$I_{g_{kolom}} = 34133333333 \text{ mm}^4$$

$$\beta_D = \frac{\text{Momen beban mati rencana}}{\text{momen total rencana}}$$

$$\beta_D = \frac{6845,47}{6971,9}$$

$$\beta_D = 0,98 < 1$$

$$EI_{kolom} = \frac{0,4 E_c I_g}{1 + \beta_D} = \frac{0,4 \times 25742,96 \times 3413333333}{1 + 0,98}$$

$$= 1,77 \times 10^{14} \text{ N/mm}^2$$

■ Menghitung Kekakuan Balok

$$I_{g_{balok}} = \frac{1}{12} b \times h^3$$

$$I_{g_{balok}} = \frac{1}{12} \times 350 \times 700^3$$

$$I_{g_{balok}} = 10004166667 \text{ mm}^4$$

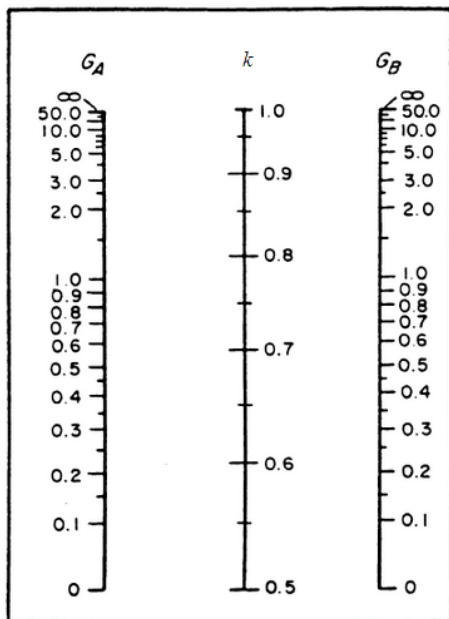
$$EI_{balok} = E_c \times I_{g_{balok}} = 25742,96 \times 10004166667 = 2,57 \times 10^{14} \text{ N/mm}^2$$

■ Perhitungan G

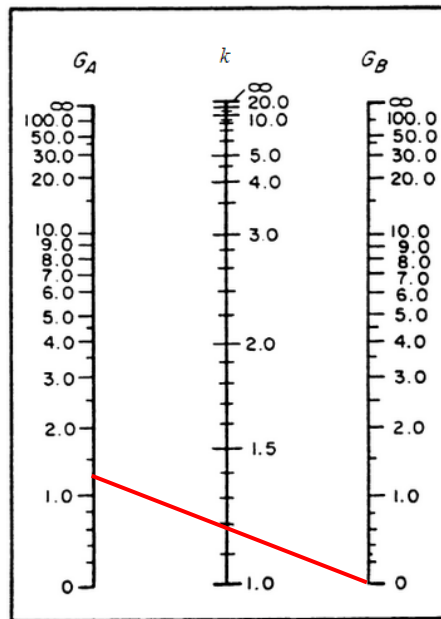
$$G_{atas} = \frac{\sum \frac{EI}{Lk}}{\sum \frac{EI}{Lb}} = \frac{2 \times \frac{1,77 \times 10^{14}}{4200}}{\frac{2,57 \times 10^{14}}{8000} + \frac{2,57 \times 10^{14}}{7000}}$$

$$G_{atas} = 1,22$$

$$G_{bawah} = 0 \text{ (jepit)}$$



(a) portal tidak bergoyang.



(b) portal bergoyang.

Berdasarkan nomogram faktor panjang efektif, diperoleh $k=1,2$

- **Cek Kelangsingan Kolom**

$$kLu = k \cdot Lk$$

$$= 1,2 \times 4200$$

$$= 5040 \text{ mm}$$

$$r = 0,3 \times h$$

$$= 0,3 \times 800$$

$$= 240 \text{ mm}$$

$$\frac{kLu}{r} = \frac{5040}{240} = 21$$

Karena $\frac{kLu}{r} = 21 < 22 \rightarrow$ maka kolom termasuk kolom pendek

- **Pembesaran Momen**

$$Pc = \frac{\pi^2 \times EI_k}{(kLu)^2}$$

$$Pc = \frac{\pi^2 \times 1,77 \times 10^{14}}{(5040)^2}$$

$$Pc = 68962206,61 \text{ N}$$

$$\delta s = \frac{1}{1 - \frac{Pu}{0,65 \times Pc}}$$

$$\delta s = \frac{1}{1 - \frac{560303,65}{0,65 \times 68962206,61}}$$

$$\delta s = 1,14 \geq 1 \rightarrow \text{Terjadi Pembesaran}$$

$$Mc = M1ns + \delta s \times Mu$$

$$Mc = 68454700 + 1,14 \times 69719000$$

$$Mc = 148133267,08 \text{ Nmm}$$

- **Penulangan Kolom**

Rasio Tulangan : $\rho = 4\% \rightarrow 4$ sisi

$$\rho = \rho' = 1\%$$

$$Ag = 800 \times 800 = 250000 \text{ mm}^2$$

$$As = As' = 0,01 \times b \times d$$

$$= 0,01 \times 800 \times 760$$

$$= 6080 \text{ mm}^2$$

Dicoba:

$$\text{Tulangan tarik} = 16\text{-D22} \rightarrow A_s = 6082 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tekan} = 16\text{-D22} \rightarrow A_s' = 6082 \text{ mm}^2$$

▪ Cek Keadaan Imbang

$$C_b = \frac{600 \times d}{600 + f_y} = \frac{600 \times 760}{600 + 320} = 495,65 \text{ mm}$$

$$f_s' = \frac{600(C_b - d')}{C_b} = \frac{600(495,65 - 40)}{495,65} = 551,58$$

$$f_y (= 320) < f_s' (= 551,58) \text{ (tulangan tekan sudah leleh)}$$

maka digunakan $f_s' = f_y$

$$a_b = 0,85 \times c_b$$

$$= 0,85 \times 495,65 = 421,3 \text{ cm}$$

$$P_{n_b} = 0,85 \times f_c' \times a_b \times b + A_s' \times f_s' - A_s \times f_y$$

$$= 0,85 \times 30 \times 421,3 \times 800$$

$$= 8594608,696 \text{ N}$$

$$\phi P_{n_b} = 0,65 \times 8594608,696 = 5586495,65 \text{ N} < P_u = 5603036,50 \text{ N}$$

→ Kolom mengalami runtuh tekan

▪ Cek Penampang Kolom

$\rho = \rho'$ maka,

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{148133267,08}{5603036,5} = 26,44 \text{ mm}$$

$$P_n = \frac{A_s' \times f_y}{\frac{e}{d - d'} + 0,5} + \frac{b \times h \times f_c'}{\frac{3 \times h \times e}{(d)^2} + 1,18}$$

$$P_n = \frac{6082 \times 320}{\frac{26,44}{760 - 40} + 0,5} + \frac{800 \times 800 \times 30}{\frac{3 \times 800 \times 26,44}{(760)^2} + 1,18}$$

$$P_n = 18511477,9 \text{ N}$$

$$\phi P_n = 0,65 \times P_n$$

$$= 0,65 \times 18511477,9 \text{ N}$$

$$= 12032460,64 > P_u = 5603036,5 \text{ N} \rightarrow \text{OK!}$$

- **Tulangan Geser**

$$V_u = 3188,65 \text{ kg} = 31886,5 \text{ N}$$

Pemeriksaan kebutuhan tulangan geser

Syarat kebutuhan tulangan geser : $V_n > V_c$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b \times d \times \left[1 + \frac{N_u}{14A_g} \right]$$

$$= \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 800 \times 760 \times \left[1 + \frac{31886,5}{14 \times 800 \times 800} \right]$$

$$= 557000,73 \text{ N} = 55700,073 \text{ kg}$$

$$V_n = \frac{3188,65}{0,6} = 5314,4 \text{ kg} < V_c = 55700,073 \text{ kg}$$

→ Menggunakan tulangan geser praktis

Digunakan sengkang $\emptyset 8-200$



4.5.2 Perencanaan Kolom K2 (50/50)

Dari analisis menggunakan software SAP2000 v20 didapatkan momem maksimum + sebesar 7328,58 kgm dan momen maksimum - sebesar 7330,33 kgm

- **Data Kolom:**

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$d' = 40 \text{ mm}$$

$$d = 460 \text{ mm}$$

$$L = 4500 \text{ mm} = 4,5 \text{ m}$$

$$P_u = 215615,99 \text{ kg} = 2156159,9 \text{ N}$$

$$M_A = 7328,58 \text{ kgm}$$

$$M_B = 7330,33 \text{ kgm}$$

- **Data Balok:**

$$b = 350 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$d' = 40 \text{ mm}$$

$$d = 660 \text{ mm}$$

$$L_1 = 8000 \text{ mm} = 8 \text{ m}$$

$$L_2 = 7000 \text{ mm} = 7 \text{ m}$$

- **Data Material:**

$$f_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 320 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c} = 4700 \sqrt{30} = 25742,96 \text{ MPa}$$

- **Menghitung Kekakuan Kolom**

$$I_{gkolom} = \frac{1}{12} b \times h^3$$

$$I_{gkolom} = \frac{1}{12} \times 500 \times 500$$

$$I_{gkolom} = 5208333333 \text{ mm}^4$$



$$\beta_D = \frac{\text{Momen beban mati rencana}}{\text{momen total rencana}}$$

$$\beta_D = \frac{7328,58}{7330,33}$$

$$\beta_D = 0,9 < 1$$

$$EI_{kolom} = \frac{0,4 E_c I_g}{1 + \beta_D} = \frac{0,4 \times 25742,96 \times 5208333333}{1 + 0,9} = 2,68 \times 10^{13} \text{ N/mm}^2$$

▪ Menghitung Kekakuan Balok

$$I_{g_{balok}} = \frac{1}{12} b \times h^3$$

$$I_{g_{balok}} = \frac{1}{12} \times 350 \times 700^3$$

$$I_{g_{balok}} = 10004166667 \text{ mm}^4$$

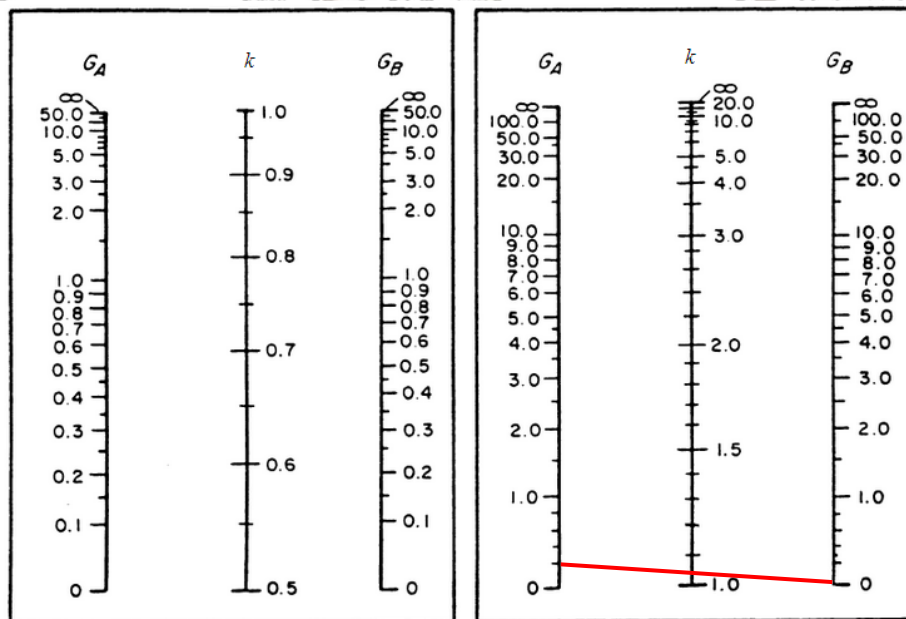
$$EI_{balok} = E_c \times I_{g_{balok}} = 25742,96 \times 10004166667 = 2,57 \times 10^{14} \text{ N/mm}^2$$

▪ Perhitungan G

$$G_{atas} = \frac{\sum \frac{EI}{Lk}}{\sum \frac{EI}{Lb}} = \frac{2 \times \frac{2,68 \times 10^{13}}{4200}}{\frac{2,57 \times 10^{14}}{8000} + \frac{2,57 \times 10^{14}}{7000}}$$

$$G_{atas} = 0,185$$

$$G_{bawah} = 0 \text{ (Jepit)}$$



(a) portal tidak bergoyang.

(b) portal bergoyang.

Berdasarkan nomogram faktor panjang efektif, diperoleh $k = 1,04$

▪ Cek Kelangsingan Kolom

$$kLu = k \cdot Lk$$

$$= 1,04 \times 4200$$

$$= 4368 \text{ mm}$$

$$r = 0,3 \times h$$

$$= 0,3 \times 500$$

$$= 150 \text{ mm}$$

$$\frac{kLu}{r} = \frac{4368}{150} = 29,12$$

Karena $\frac{kLu}{r} = 29,12 > 22 \rightarrow$ maka kolom termasuk kolom langsing

▪ Pembesaran Momen

$$Pc = \frac{\pi^2 \times EI k}{(kLu)^2}$$

$$Pc = \frac{\pi^2 \times 2,68 \times 10^{13}}{(4368)^2}$$

$$Pc = 13884272,16 \text{ N}$$

$$\delta sMs = \frac{Ms}{1 - \frac{Pu}{0,75 \times Pc}}$$

$$\delta sMs = \frac{73285800}{1 - \frac{2156159,9}{0,75 \times 13884272,16}}$$

$$\delta sMs = 92422902,7 \geq Ms = 73285800 \rightarrow \text{Terjadi pembesaran}$$

$$Mc = M1ns + \delta sMs$$

$$Mc = 73303300 + 92422902,7$$

$$Mc = 165726202,7 \text{ Nmm}$$

▪ Penulangan Kolom

Rasio Tulangan : $\rho = 4\% \rightarrow 4$ sisi

$$\rho = \rho' = 1\%$$

$$Ag = 500 \times 500 = 250000 \text{ mm}^2$$

$$As = As' = 0,01 \times b \times d = 0,01 \times 500 \times 500 = 2500 \text{ mm}^2$$

Dicoba :

$$\text{Tulangan tarik} = 12\text{-D19} \rightarrow A_s = 3402 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tekan} = 12\text{-D19} \rightarrow A_s' = 3402 \text{ mm}^2$$

■ Cek Keadaan Imbang

$$Cb = \frac{600 \times d}{600 + f_y} = \frac{600 \times 460}{600 + 320} = 300 \text{ mm}$$

$$f_s' = \frac{600(Cb - d')}{Cb} = \frac{600(300 - 40)}{300} = 520$$

$$f_y (= 390) < f_s' (= 520) \quad (\text{tulangan tekan sudah leleh})$$

maka digunakan $f_s' = f_y$

$$ab = 0,85 \times cb$$

$$= 0,85 \times 300$$

$$= 255 \text{ cm}$$

$$Pn_b = 0,85 \times f'c \times ab \times b + A_s' \times f_s' - A_s \times f_y$$

$$= 0,85 \times 30 \times 255 \times 500$$

$$= 3251250 \text{ N}$$

$$\phi Pn_b = 0,65 \times 3251250 = 2113312,50 \text{ N} < Pu = 2156159,9$$

→ Kolom mengalami runtuh tekan

■ Cek Penampang Kolom

$$\rho = \rho' \quad \text{maka,}$$

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{165726202,7}{2156159,9} = 76,86 \text{ mm}$$

$$Pn = \frac{A_s' \times f_y}{\frac{e}{d - d'} + 0,5} + \frac{b \times h \times f'c}{\frac{3 \times h \times e}{(d)^2} + 1,18}$$

$$Pn = \frac{3402 \times 320}{\frac{76,86}{460 - 40} + 0,5} + \frac{500 \times 500 \times 30}{\frac{3 \times 500 \times 76,86}{(460)^2} + 1,18}$$

$$Pn = 5942075,739 \text{ N}$$

$$\phi Pn = 0,65 \times Pn$$

$$= 0,65 \times 5942075,739 \text{ N} = 3862349,231 > Pu = 2156159,9 \text{ N} \rightarrow \text{OK!}$$

- **Tulangan Geser**

$$V_u = 3203,01 \text{ kg} = 32030,1 \text{ N}$$

Pemeriksaan kebutuhan tulangan geser

Syarat kebutuhan tulangan geser : $V_n > V_c$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b \times d \times \left[1 + \frac{N_u}{14A_g} \right]$$

$$= \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 500 \times 460 \times \left[1 + \frac{32030,1}{14 \times 500 \times 500} \right]$$

$$= 211881,76 \text{ N} = 21188,176 \text{ kg}$$

$$V_n = \frac{3203,01}{0,6} = 5338,35 \text{ kg} < V_c = 21188,176 \text{ kg}$$

→ Menggunakan tulangan geser praktis

Digunakan sengkang $\phi 8-200$

Tabel 4.5

Rekap penulangan kolom

Kolom	Tulangan		Sengkang
	Tarik	Tekan	
K1 (80/80)	16 D 22	16 D 22	$\phi 8-200$
K2 (50/50)	12 D 19	12 D 19	$\phi 8-200$

Sumber: Perhitungan

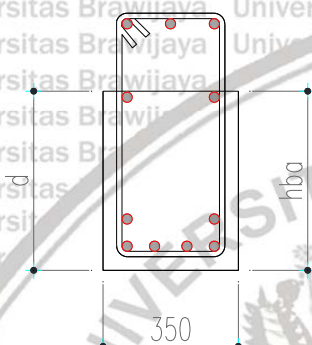
4.6 Perhitungan Balok Pracetak

Dalam pelaksanaannya akan di bagi menjadi 2 tahap, yaitu :

- Tahap sebelum cor penuh dengan dimensi pracetak 350 x 467 mm
- Tahap setelah cor penuh, dengan dimensi balok sesuai dengan perencanaan balok yaitu 350x700 mm

4.6.1 Balok Pracetak Sebelum Cor Penuh

Saat pemasangan pada balok pracetak sebelum cor penuh akan mengalami beban dari berat sendiri.



Gambar 4.14 Balok pracetak sebelum cor penuh

Beban yang bekerja pada balok induk

Berat balok (berat sendiri)

$$\begin{aligned} qd &= B_j \text{ beton} \times b \times h \\ &= 2,4 \times 0,35 \times 0,467 \\ &= 0,39 \text{ t/m} \end{aligned}$$

Momen maksimal yang terjadi pada balok induk saat terjadinya dengan bentang

$$L = 8 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Mu &= 1/8 \times qd \times L^2 \\ &= 1/8 \times 0,39 \times 8^2 \\ &= 3,12 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$Mu = 3120000 \text{ Nmm}$$

Tulangan lentur balok induk

$$6D - 22 \text{ maka menggunakan Astot} = 2281 \text{ mm}^2$$

$$T = Cc$$

$$As \times fy = f'c \times 0,5 \times b \times y$$

$$2281 \times 320 = 30 \times 0,5 \times 350 \times y$$

$$y = 139 \text{ mm}$$

$$Mn = T(d - y/2)$$

untuk mendapatkan nilai d (tebal efektif minimum)

$$3120000 = 729920(d - 139/2)$$

maka didapat nilai $d_{min} = 73 \text{ mm}$

$$h_{ba}' = h_{ba} - h_{pelat} = 700 - 120 = 580 \text{ mm}$$

cek tebal efektif balok induk:

$$d = 467 - 40 - 0,5 \times 22$$

$$= 416 \text{ mm} > d_{min} \dots \text{OK!}$$

Analisa dan desain penampang balok induk pracetak dengan dimensi 350 x 467 mm

Asumsi tulangan lentur balok induk.

$$6D - 22 \text{ maka menggunakan Astot} = 2281 \text{ mm}^2$$

Kapasitas momen penampang (Mn)

$$Mn = T(d - y/2)$$

$$= 729920 (416 - 139/2)$$

$$= 252917280 \text{ Nmm} > Mu = 3120000 \text{ Nmm OK!}$$

Cek lendutan (mm)

$$\Delta = \frac{5xqdxLxLxLxL}{384 x EI}$$

$$= \frac{5x390x8000^4}{384 x 25742,96 x 350 x 467^3} = 22,6 \text{ mm}$$

$$\delta_{ijin} = L/240$$

$$= 8000/240$$

$$= 33,333 \text{ mm} > \delta \dots \text{OK!}$$

Analisa Tegangan Penampang Nilai tegangan ijin:

$$f_{cijin} = 0,33 \times f'c = 0,33 \times 30 = 9,9 \text{ MPa}$$

$$f_{sijin} = 0,58 \times fy = 0,58 \times 320 = 185,6 \text{ MPa}$$

Balok induk sebelum cor penuh

$$\sigma = \pm \text{Mu} \times \frac{y}{I_{\text{pracetak}}}$$

$$\sigma_c = -3120000 \frac{139}{\frac{1}{12} \times 350 \times 467^3}$$

$$= -0,14 \text{ Mpa} < f_c \text{ ijin} \quad \text{OK!}$$

$$\sigma_s = 3120000 \frac{467-139}{\frac{1}{12} \times 350 \times 467^3}$$

$$= 0,34 \text{ Mpa} < f_s \text{ ijin} \quad \text{OK!}$$

4.6.2 Balok Pracetak Setelah Cor Penuh

Menghitung tegangan pada tengah bentang

Momen yang terjadi pada tengah bentang

$$\text{Mu} = 13753,13 \text{ kgm} = 137531300 \text{ Nmm}$$

$$I_{\text{comp}} = \frac{1}{12} \times 350 \times 700^3 = 10004166667 \text{ mm}^4$$

Menghitung nilai y

$$b = 350 \text{ mm}$$

$$A_s = 2281 \text{ mm}^2$$

$$d = 700 \text{ mm}$$

$$T = C_c$$

$$A_s \times f_y = 0,85 \times f'_c \times 0,5 \times b \times y$$

$$2281 \times 320 = 0,85 \times 30 \times 0,5 \times 350 \times y$$

$$y = 164 \text{ mm}$$

Menghitung tegangan pada penampang setelah cor penuh (tengah bentang)

$$\sigma = \pm \text{Mu} \times \frac{y}{I_{\text{comp}}}$$

$$\sigma_c' = -137531300 \frac{139}{10004166667} = -2,25 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_s' = 137531300 \frac{467-139}{10004166667} = 4,17 \text{ Mpa}$$

Resultan Tegangan

$$f_{atas} = -2,25 \text{ MPa} < f_{cijin} \text{ . . . OK!}$$

$$f_A = \sigma_c$$

$$= -0,14 \text{ MPa} < f_{cijin} \text{ . . . OK!}$$

$$f_s = \sigma_s + \sigma_s'$$

$$= 0,34 + 4,17 = 4,51 \text{ MPa} < f_{sijin} \text{ . . . OK!}$$

Menghitung tegangan yang terjadi pada ujung bentang

Momen yang terjadi pada ujung bentang (momen tumpuan)

$$M_u = 23935,53 \text{ kgm} = 239355300 \text{ Nmm}$$

$$I_{comp} = \frac{1}{12} \times 350 \times 700^3 = 10004166667 \text{ mm}^4$$

Menghitung nilai y

$$b = 350 \text{ mm}$$

$$A_s = 2281 \text{ mm}^2$$

$$d = 700 \text{ mm}$$

$$T = C_c$$

$$A_s \times f_y = 0,85 \times f'_c \times 0,5 \times b \times y$$

$$2281 \times 320 = 0,85 \times 30 \times 0,5 \times 350 \times y$$

$$y = 164 \text{ mm}$$

Menghitung tegangan pada penampang setelah cor penuh (tengah bentang)

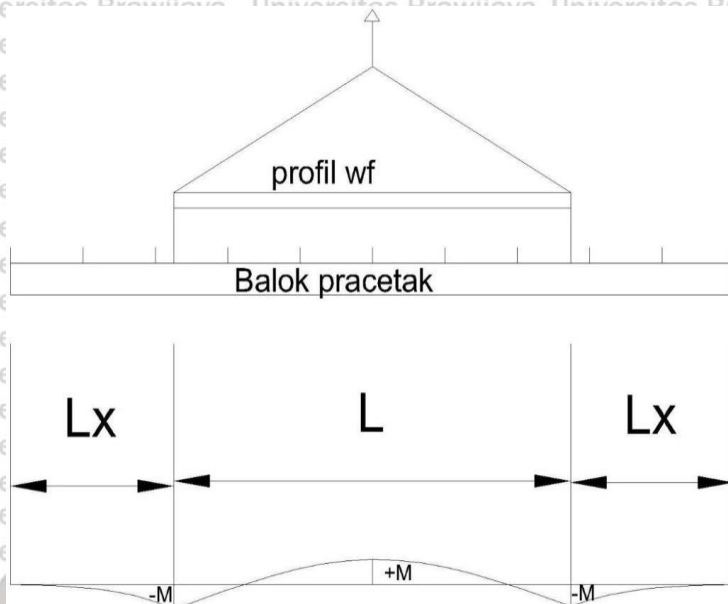
$$\sigma = \pm M_u \times \frac{y}{I_{comp}}$$

$$\sigma_c = - 239355300 \frac{139}{10004166667} = -3,9 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_s = 239355300 \frac{467-139}{10004166667} = 7,26 \text{ Mpa}$$

4.7 Analisa Balok Pracetak Saat Pengangkatan

Balok pracetak diangkat dengan menggunakan crane yang diangkat dengan dua titik angkat. Analisa pada kondisi ini perlu dikontrol pada saat pengangkatan terjadi.



Gambar 4.15 Model struktur balok pracetak pada saat pengangkatan

Analisa Balok Pracetak Saat Pengangkatan Balok Pracetak

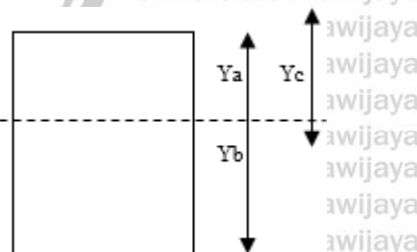
Dimensi (35/46,7) L= 8 m

Dimana:

$$+M = \frac{WL^2}{8} \times \left(1 - 4X + \frac{4Yc}{L \times \text{tg}\theta}\right)$$

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$X = \frac{\left(\frac{4Yc}{L \times \text{tg}\theta}\right)}{\left(2 \times \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Ya}{Yb} \left(1 + \frac{4Yc}{L \times \text{tg}\theta}\right)}\right)\right)}$$



Balok induk (35/46,7)

L= 8

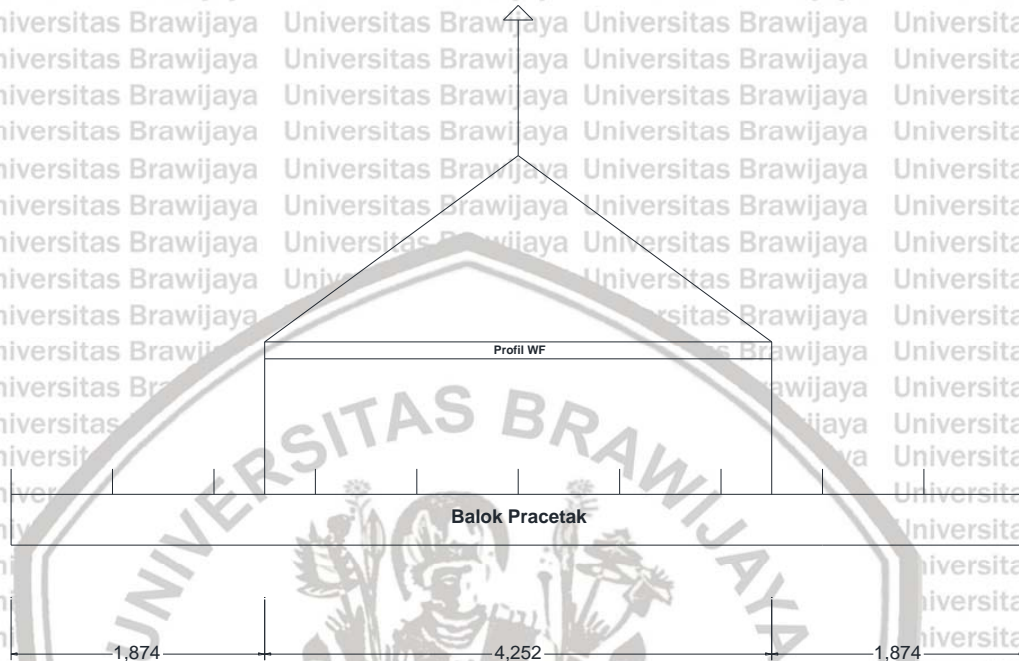
$$Yt = yb = \frac{46,7}{2} = 23,35$$

$$I = \frac{1}{12} \times 35 \times 46,7^3 = 297055,4 \text{ cm}^4$$

$$Yc = 23,35 + 8 = 31,35 \text{ cm}$$

$$X = \frac{\left(1 + \frac{4 \times 31,35}{800 \times \tan 45}\right)}{\left(2 \times \left(1 + \sqrt{1 + \frac{23,35}{23,35} \left(1 + \frac{4 \times 31,35}{800 \times \tan 45}\right)}\right)} = 0,234 \text{ cm}$$

$$X \times L = 0,234 \times 800 = 187,4 \text{ cm} = 1,874 \text{ m}$$



Gambar 4.16 Jarak tumpuan pada saat pengangkatan

Mutu profil BJ 37

$$f_y = 2400 \text{ kg/m}$$

Profil WF 100 x 100 x 6 x 8

$$A = 21,9 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 4,18 \text{ cm}$$

$$I_y = 2,47 \text{ cm}$$

$$W = 17,2 \text{ kg/m}$$

Pembebanan:

$$\text{Balok} = 0,35 \times 0,467 \times 8 \times 2400 = 3138,24 \text{ kg}$$

$$\text{Balok profil} = 20 \times 8 = 160 \text{ kg}$$

$$W = 3298,24 \text{ kg}$$

$$k \text{ (faktorkejut)} = 1,2$$

$$T \sin \Theta = P_y = \frac{1,2 \times k \times Wt}{2}$$

$$= \frac{1,2 \times 1,2 \times 3298,24}{2}$$

$$= 2374,73 \text{ kg}$$

$$T = \frac{2374,73}{\sin 45} = 3358,38 \text{ kg}$$

Tulangan angkat

$$P_u = 3358,38 \text{ kg}$$

$$\sigma \text{ tarik ijin} = \frac{f_y}{1,5} = \frac{320}{1,5} = 213,333 \text{ kg/m}^2$$

$$\phi \text{ tulangan angkat} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\delta i j i n \times \pi}}$$

$$\geq 2,24$$

Digunakan tulangan $\phi 16$

Momen yang terjadi:

Pembebanan:

$$\text{Balok} = 0,35 \times 0,467 \times 2400 = 392,28 \text{ kg/m}$$

$$\text{Balok profil} = 20 \text{ kg/m}$$

$$W = 412,28 \text{ kg/m}$$

Untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2:

Momen lapangan yang terjadi:

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Yc}{L \times \tan \theta}\right) 1,2$$

$$= \frac{412,28 \times 8^2}{8} \left(1 - 4 \times 0,00234 + \frac{4 \times 0,335}{8 \times \tan 45}\right) 1,2 = 1738,2 \text{ kgm}$$

Tegangan yang terjadi:

$$F = \frac{M}{Wt} = \frac{1738,2}{\frac{1}{6} \times 35 \times 46,7^2} = 0,14 \text{ Mpa}$$

$$F_r = 0,7 \times \sqrt{f'c} = 0,7 \times \sqrt{30} = 3,83 \text{ Mpa}$$

$$F < F_r \text{ OK!}$$

Momen tumpuan yang terjadi:

$$M = \frac{wX^2L^2}{2} \times 1,2$$

$$= \frac{412,28 \times 0,234^2 \times 8^2}{2} \times 1,2$$

$$= 1738,1 \text{ kgm}$$

Tegangan yang terjadi

$$F = \frac{M}{wt} = \frac{1738,1}{\frac{1}{6} \times 35 \times 46,7^2} = 0,14 \text{ Mpa}$$

$$Fr = 0,7 \times \sqrt{f'c} = 0,7 \times \sqrt{30} = 3,83 \text{ Mpa}$$

$F < Fr$ OK!

4.8 Perencanaan Sambungan Beton Pracetak

Desain sambungan yang dipakai adalah sambungan basah dengan menggunakan metode pracetak tanpa penahan, sehingga tumpuan balok dianggap sendi (momen pada sambungan balok-kolom dianggap 0) ketika menahan beban sendiri balok pracetak. Pada saat sambungan telah mengeras dan diberi gaya luar sambungan tersebut menjadi tumpuan jepit (memiliki momen pada sambungan balok-kolom).

4.8.1 Panjang Penyaluran Tulangan

Berdasar SK SNI T-15-1991-03 menyatakan bahwa panjang penyaluran tulangan untuk D-36 dan lebih kecil adalah:

$$l_{db} = 0,02 A_b \times f_y / \sqrt{f'c}$$

Dengan syarat harus kurang dari $0,06 \times d_b \times f_y$

Dimana:

$$l_{db} = \text{Panjang penyaluran tulangan (mm)}$$

$$A_b = \text{Luas tulangan (mm}^2\text{)}$$

$$d_b = \text{Diameter tulangan (mm)}$$

Data Perhitungan:

Menggunakan balok ukuran 350 x 467 mm dengan tulangan D-22

$$f_y \text{ (tegangan leleh baja)} = 320 \text{ MPa}$$

$$f'c \text{ (kuat tekan beton)} = 30 \text{ MPa}$$

$$\alpha \text{ (faktor lokasi penulangan)} = 1$$

$$\beta \text{ (faktor pelapis)} = 1$$

$$\gamma \text{ (faktor ukuran batang tulangan)} = 0,8$$

$$\lambda \text{ (faktor berat beton)} = 1$$

$$d_b \text{ (diameter tulangan balok)} = 22 \text{ mm}$$

$$\text{faktor selimut beton} = 0,7$$

$$\text{faktor sengkang} = 0,8$$

Menentukan Ld (tulangan kondisi tarik)

$$L_d = \frac{12 \times f_y \times \alpha \times \beta \times \lambda \times d_b}{25 \times \sqrt{f'c}} = \frac{12 \times 320 \times 1 \times 1 \times 1 \times 22}{25 \times \sqrt{30}} = 616,95 \text{ mm}$$

$L_d > 300 \text{ mm}$, maka menggunakan L_d sebesar 616,95 mm

Menentukan Ldb (tulangan kondisi tekan)

$$L_{db} = \frac{d_b \times f_y}{4 \times \sqrt{f'c}} = \frac{22 \times 430}{4 \times \sqrt{30}} = 321,33 \text{ mm}$$

$L_{db} > 200 \text{ mm}$, maka menggunakan L_{db} sebesar 321,33 mm

Menentukan Ldh (tulangan berkait dalam kondisi tarik)

$$L_{dh} = \frac{100 \times d_b}{\sqrt{f'c}} = \frac{100 \times 22}{\sqrt{30}} = 401,66 \text{ mm}$$

L_{dh} harus dikalikan dengan faktor selimut beton dan faktor sengkang

$$L_{dh} = 401,66 \times 0,7 \times 0,8 = 224,93 \text{ mm}$$

$L_{dh} > 150 \text{ mm}$, maka menggunakan L_{dh} sebesar 224,93 mm

4.9 Analisa Sambungan Balok-Kolom Pracetak

4.9.1 Analisa Sambungan Untuk Balok-Kolom Tengah

Jumlah tulangan yang mengalami tekan 4 – D 22 ($A_s = 1521 \text{ mm}^2$)

$$A_g = A_s = 1521 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_g \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{1521 \times 1,25 \times 320}{0,85 \times 30 \times 350}$$

$$= 68,2 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - a/2)$$

$$= 1521 \times 320 \times (660 - 68,2/2)$$

$$= 304645819,2 \text{ Nmm} = 304,646 \text{ kNm}$$

Jumlah tulangan yang mengalami tarik, 7 D 22 ($A_s = 2661 \text{ mm}^2$)

$$A_g = A_s = 2661 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_g \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{2661 \times 1,25 \times 320}{0,85 \times 30 \times 350}$$

$$= 119,3 \text{ mm}$$

$$M_n^+ = A_s \times f_y \times (d - a/2)$$

$$= 2661 \times 320 \times (660 - 119,3/2)$$

$$= 511226847,7 \text{ Nmm} = 511,23 \text{ kNm}$$

$$M_u = \frac{M_n^- + M_n^+}{2}$$

$$= \frac{304,646 + 511,23}{2} = 407,9 \text{ kNm}$$

$$M_u = 407,9 \text{ kNm} < M_n \text{ max} = 511,23 \text{ kNm} \dots \text{OK!}$$

$$V_h = \frac{2 \times M_u}{L} = \frac{2 \times 407,9}{8} = 203,97 \text{ kN}$$

$$T_1 (16\text{-D}22) = A_s \times 1,25 \times f_y$$

$$= 6082 \times 1,25 \times 320$$

$$= 2032800 \text{ N} = 2032,8 \text{ kN}$$

$$T_2 (16\text{-D}22) = A_s \times 1,25 \times f_y$$

$$= 6082 \times 1,25 \times 320$$

$$= 2032800 \text{ N} = 2032,8 \text{ kN}$$

Gaya geser yang terjadi

$$\begin{aligned} V &= T1 + T2 - V_h \\ &= 2032,8 + 2432,8 - 203,97 = 3861,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kuat geser nominal

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 1,7 \times A_j \times \sqrt{f'_c} \\ &= 0,75 \times 1,7 \times (800 \times 800) \times \sqrt{30} \\ &= 4469416,1 \text{ N} \\ &= 4469,42 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 4469,42 \text{ kN} > V = 3861,6 \text{ kN} \text{ (Sambungan Aman)}$$

4.9.2 Analisa Sambungan Untuk Balok-Kolom Pinggir

Jumlah tulangan yang mengalami Tarik 7 – D22 ($A_s = 2661 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} A_g &= A_s = 2661 \text{ mm}^2 \\ a &= \frac{A_g \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{2661 \times 1,25 \times 320}{0,85 \times 30 \times 350} = 119,3 \text{ mm} \\ M_n &= A_s \times f_y \times (d - a/2) \\ &= 2661 \times 320 \times (660 - 119,3/2) \\ &= 511226847,7 \text{ Nmm} = 511,23 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{M_n}{2} \\ &= \frac{511,23}{2} = 255,6 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$M_u < M_n \dots \text{OK!}$

$$\begin{aligned} V_h &= \frac{2 \times M_u}{L} \\ &= \frac{2 \times 255,6}{\frac{8}{2}} \\ &= 127,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T1 \text{ (12-D19)} &= A_s \times 1,25 \times f_y \\ &= 3402 \times 1,25 \times 320 \\ &= 1360800 \text{ N} = 1360,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya geser yang terjadi

$$V = T_1 - V_h$$

$$= 1360,8 - 127,8$$

$$= 1232,99 \text{ kN}$$

Kuat geser nominal

$$\phi V_c = 0,75 \times 1,7 \times A_j \times \sqrt{f'_c}$$

$$= 0,75 \times 1,7 \times (500 \times 500) \times \sqrt{30}$$

$$= 1745865,7 \text{ N} = 1745,87 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 1745,87 \text{ kN} > V = 1232,99 \text{ kN} \text{ (Sambungan Aman)}$$



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dalam analisis perencanaan sambungan balok – kolom menggunakan sistem balok pracetak (*Precast*) pada gedung RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan ini dilakukan secara manual dengan bantuan SAP 2000 v20 maka didapat hasil sebagai berikut:

- a. Hasil dari analisis balok – kolom pracetak sebelum cor penuh dengan beban yang dipikul oleh balok adalah beban sendiri balok disaat pengangkatan menunjukkan bahwa jarak tumpuan saat pengangkatan sejauh 1,87 m dari tepi, balok induk pracetak dengan tulangan lentur yang mengalami tarik yaitu 6-D22 dan tambahan tulangan tekan transversal yaitu 2-D22 serta sengkang $\varnothing 8-200$ menghasilkan momen tumpuan yang besarnya sama dengan momen lapangan sebesar 1738,2 kgm.
- b. Analisis sambungan balok – kolom pracetak baik yang ditengah maupun di pinggir yang dilakukan pada kondisi setelah cor penuh dengan beban yang dipikul oleh balok adalah beban mati, beban hidup dan beban gempa menunjukkan hasil yang aman terhadap lentur dan geser. Hal ini dapat dibuktikan dengan hasil analisis sambungan di tengah menunjukkan momen nominal sebesar 511,23 kNm lebih besar dari momen ultimate sebesar 407,9 kNm dan kuat geser nominal sebesar 4469,42 kN lebih besar dari gaya geser yang terjadi sebesar 3861,6 kN, sedangkan hasil analisis sambungan di pinggir menunjukkan menunjukkan momen nominal sebesar 511,23 kNm lebih besar dari momen ultimate sebesar 255,6 kNm dan kuat geser nominal sebesar 1745,87 kN lebih besar dari gaya geser yang terjadi sebesar 1232,99 kN.

5.2 Saran

- a. Perlunya pengembangan teknologi dan sumber daya manusia serta SNI yang lebih baru sebagai standarisasi untuk meningkatkan kualitas beton pracetak di Indonesia.
- b. Mengikuti perkembangan pembangunan yang semakin meningkat sudah seharusnya bangunan di Indonesia menggunakan sistem beton pracetak agar lebih efisien terutama dari segi waktu pengerjaan.



DAFTAR PUSTAKA

- Astroni, Ali. 2010. *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *SNI 2847 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. *SNI 7833 Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *SNI 1726 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: BSN
- Dipohusodo, Istimawan. 1993. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Ervianto, Wulfram I. 2006. *Eksplorasi Teknologi dalam Pracetak Konstruksi: Beton Pracetak & Bekisting*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Nawy, Edward G. 1990. *Beton Bertulang – Suatu Pendekatan Dasar*. Suryoatmono, Ir Bambang. Bandung. PT Eresco. Terjemahan dari: *Reinforced Concrete – A Fundamental Approach*.
- Nurlina, Siti. 2008. *Struktur Beton*. Malang: Bargie Media
- Setiawan, Agus. 2016. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*. Jakarta: Erlangga

(Halaman sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar struktur gedung eksisting

