

**STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR SAMBUNGAN
BALOK - KOLOM MENGGUNAKAN SISTEM BETON PRACETAK
(PRECAST) PADA GEDUNG PEMERINTAH KABUPATEN**

LAMONGAN

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Ditunjukkan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD RIZQI FARHANI

NIM. 175060107111016

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 PEMERINTAH KABUPATEN LAMONGAN

SKRIPSI
TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD RIZQI FARHANI
NIM. 175060107111016

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 03 Desember 2021

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Mohammad Taufik Hidayat, MT.

Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT.

NIP. 196112281988021001

NIP. 198502212019032003

Mengetahui

Ketua Program Studi



Dr. Eng. Ir. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac.)

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 PEMERINTAH KABUPATEN LAMONGAN

Nama Mahasiswa : Muhammad Rizqi Farhani

NIM : 175060107111016

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji 1 : Ir. M. Taufik Hidayat, MT.

Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT.

Dosen Penguji 3 : Dr. Eng. Ir. Ming Narto W, ST., MT., M.Sc.

Tanggal Ujian : 15 November 2021

SK Penguji : Nomor : 2249/UN10.F07/KP/2021

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



(Halaman sengaja dikosongkan)



LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa berdasarkan pengetahuan saya dan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan dikaji dalam naskah skripsi ini 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 plagiasi, saya bersedia skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 15 November 2021



Muhammad Rizqi Farhani
NIM. 175060107111016



(Halaman sengaja dikosongkan)



TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

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

Sertifikat ini diberikan kepada :

MUHAMMAD RIZQI FARHANI

Dengan Judul Skripsi :

**STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR SAMBUNGAN BALOK-KOLOM
MENGUNAKAN SISTEM BETON (PRECAST) PADA GEDUNG PEMERINTAH KABUPATEN LAMONGAN**

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



Jurusan Teknik Sipil

Alwafi Pujiwahario, ST, MT
NIP. 19700829 200012 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

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

(Halaman sengaja dikosongkan)



(Halaman sengaja dikosongkan)



LEMBAR PERUNTUKAN

Terimakasih untuk Ayah dan Mama dan keluarga di rumah atas limpahan dukungan, materi serta semangat yang telah diberikan.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



(Halaman sengaja dikosongkan)



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1. 1 Latar Belakang.....	1
1. 2. Identifikasi Masalah.....	2
1. 3. Rumusan Masalah.....	2
1. 4. Tujuan.....	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
1. 6. Manfaat.....	4
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Beton Pracetak (<i>Precast</i>).....	5
2. 2 Perbedaan Beton Pracetak (<i>Precast</i>) dengan Beton Konvensional.....	6
2. 3 Kelebihan Dan Kekurangan Penggunaan Beton Pracetak.....	6
2. 4 Analisis Terhadap Beton Pracetak (<i>Precast</i>).....	8
2. 5 Analisis Balok Pracetak Pada Saat Pengangkatan.....	12
2. 6 Sambungan Pada Beton Pracetak (<i>Precast</i>).....	16
2. 6. 1 Desain Sambungan Pada Beton Pracetak (<i>Precast</i>).....	18
2. 7 Pembebanan Struktur.....	20
2. 7. 1 Beban Mati.....	20
2. 7. 2 Beban Hidup.....	20
2. 7. 3 Beban Gempa.....	21
2. 8 Analisis Beban Gempa SNI 1726:2019.....	21
2.8. 1 Wilayah Gempa.....	21
2. 8. 2 Kategori Gedung.....	22
2. 8. 3 Konfigurasi Gedung.....	24
2. 8. 4 Respon Spektrum.....	24
2.8. 5 Parameter Spektrum Desain.....	26
2. 8. 6 Respon Spektrum Desain.....	26
2. 8. 7 Geser Dasar Seismik.....	27
2. 8. 8 Distribusi Gaya Gempa.....	29



2. 9 Sistem Struktur.....	30
BAB III	34
METODOLOGI PENELITIAN	34
3. 1 Pengumpulan Data.....	34
3. 2 Data – Data Desain.....	34
3. 2. 1 Data Umum.....	34
3. 2. 2 Data Teknis Gedung Awal.....	34
3. 3 Prosedur Perencanaan.....	35
3. 3. 1 Analisis Pembebanan.....	35
3. 3. 2 Analisis Struktur.....	36
3. 3. 3 Desain Penampang.....	36
3. 3. 4 Gambar Struktur.....	36
3. 4 Tahapan Perencanaan.....	36
3. 5 Hipotesis.....	37
BAB IV	39
HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Perencanaan Dimensi Struktur.....	39
4.1.1 Perencanaan Balok.....	39
4.1.2 Perencanaan Kolom.....	41
4.1.3 Perencanaan Pelat.....	41
4.2 Analisis Pembebanan.....	41
4.2.1 Beban Mati (D).....	41
4.2.2 Beban Mati Tambahan (<i>Super Dead Load</i>).....	42
4.2.3 Beban Hidup (L).....	42
4.2.4 Beban Gempa.....	42
4.2.5 Beban Kombinasi.....	47
4.3 Pemodelan Struktur Menggunakan SAP2000 v20.....	47
4.4 Perencanaan dan Analisis Kekuatan Balok Induk.....	52
4.4.1 Penulangan Balok 1 (Balok Melintang).....	52
4.4.2 Penulangan Geser Balok 1 (Balok Melintang).....	59
4.4.3 Penulangan Balok 2 (Balok Memanjang).....	60
4.4.4 Penulangan Geser Balok 2 (Balok Melintang).....	67
4.5 Perencanaan dan Analisis Kekuatan Kolom.....	68
4.5.1 Perencanaan Kolom K1 (60 x 60).....	68
4.5.2 Perencanaan Kolom K2 (50 x 50).....	73
4.6 Perhitungan Balok Pracetak.....	78
4.6.1 Balok Pracetak Sebelum Cor Penuh.....	78

4.6.2 Balok Pracetak Setelah Cor Penuh.....80

4.7 Analisa Balok Pracetak Saat Pengangkatan.....82

4.8 Perencanaan Sambungan Beton Pracetak (*precast*).....85

4.8.1 Panjang Penyaluran Tulangan.....85

4.9 Analisa Sambungan Balok-Kolom Pracetak.....87

4.9.1 Analisa Sambungan Untuk Balok-Kolom Tengah.....87

4.9.2 Analisa Sambungan Untuk Balok-Kolom Pinggir.....88

BAB V.....90

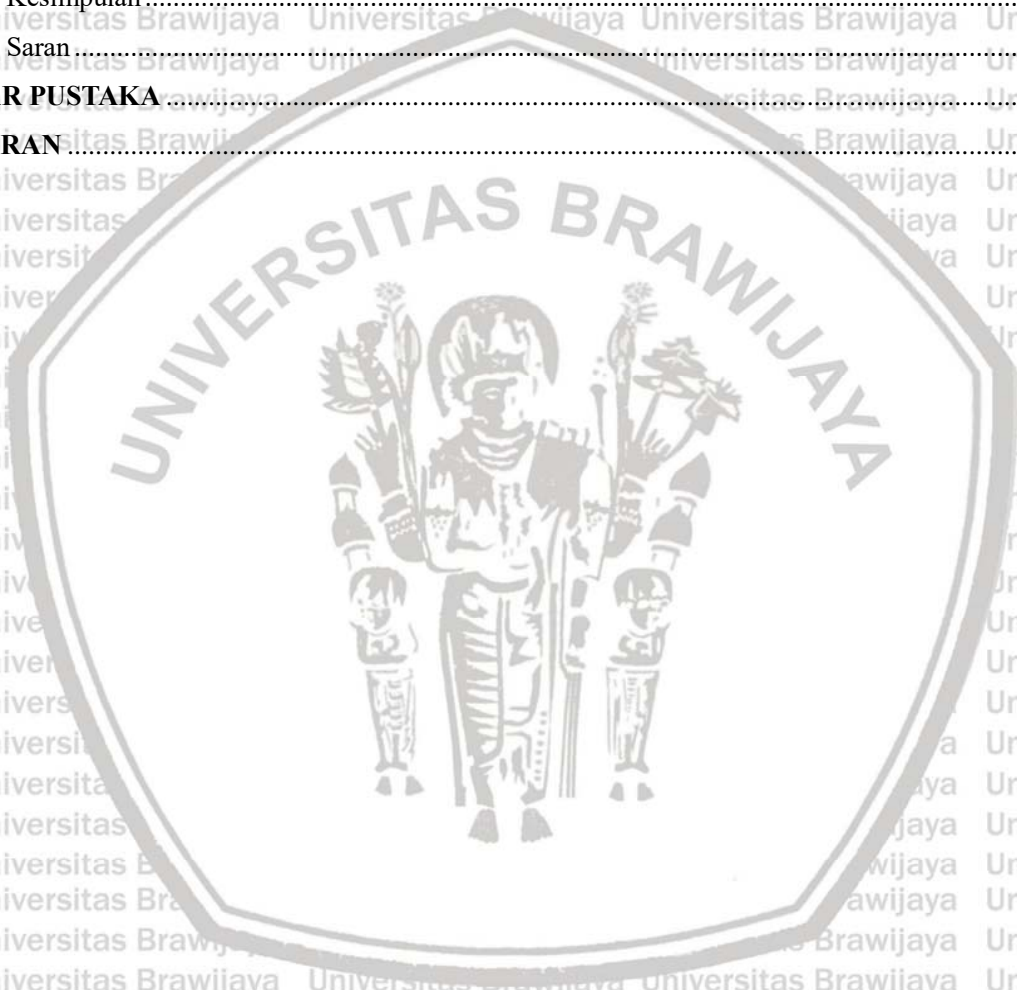
PENUTUP.....90

5.1 Kesimpulan.....90

5.2 Saran.....91

DAFTAR PUSTAKA.....92

LAMPIRAN.....94



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kategori Risiko Bangunan Gedung Untuk Beban Gempa 23

Tabel 2. 2 Faktor Keutamaan Gempa 24

Tabel 2. 3 Klasifikasi Situs 25

Tabel 2. 4 Koefisien Situs, Fa 26

Tabel 2. 5 Koefisien Situs, Fv 26

Tabel 2. 6 Koefisien Modifikasi Respon 29

Tabel 4.1 Tinggi minimum balok nonprategang 39

Tabel 4. 2 Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung 41

Tabel 4. 3 Beban hidup terdistribusi minimum untuk Gedung Perkantoran 42

Tabel 4. 4 Rekap penulangan balok gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan 68

Tabel 4. 5 Rekap penulangan kolom 77



DAFTAR GAMBAR

Gambar2. 1 Tegangan sebelum cor penuh..... 9

Gambar2. 2 Tegangan setelah cor penuh11

Gambar2. 3 Metode pengangkatan balok pracetak 12

Gambar2. 4 Model pembebanan balok pracetak (precast)saat pengangkatan 12

Gambar2. 5 Bidang momen balok pracetak (precast) saat pengangkatan..... 13

Gambar2. 6 Tegangan sebelum pengangkatan balok pracetak (precast)13

Gambar2. 7 Letak titik angkat balok pracetak (precast) 15

Gambar2. 8 Tegangan dengan tulangan tunggal..... 15

Gambar2. 9 Penyaluran tulangan momen negatif18

Gambar2. 10 Sambungan pada tumpuan 19

Gambar2. 11 Karakteristik momen dan rotasi..... 20

Gambar2. 12 Ss, Peta percepatan respons spektrum MCE_R periode 0,2 detik 21

Gambar2. 13 S1, peta percepatan respons spektrum MCE_R periode 1 detik..... 22

Gambar2. 14 Desain Respon Spektrum..... 27

Gambar 3. 1 Ilustrasi Gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan..... 34

Gambar 3. 2 Diagram alir tahapan perencanaan..... 37

Gambar 4.1 Denah balok Gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan 40

Gambar 4.2 Tabel 3 dan tabel 4 SNI 1726-2019..... 43

Gambar 4.3 SS Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCER) 43

Gambar 4.4 S1 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCER) 44

Gambar 4.5 Tabel 6 SNI 1726-2019 44

Gambar 4.6 Tabel 7 SNI 1726-2019 45

Gambar 4.7 Spektrum respons desain..... 45

Gambar 4.8 Peta transisi periode panjang (TL) 46

Gambar 4.9 Grid System..... 48

Gambar 4.10 Material 48

Gambar 4.11 Frame Section..... 49

Gambar 4.12 Respons Spektrum..... 50

Gambar 4. 13 Load Combination..... 50

Gambar 4. 14 Pemodelan Struktur Gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan 51

Gambar 4. 15 Balok pracetak sebelum cor penuh..... 78

Gambar 4.16 Model struktur balok pracetak (precast) pada saat pengangkatan 82

Gambar 4. 17 Jarak tumpuan saat pengangkatan balok 83





DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. 1 Gambar Struktur Gedung Eksisting 94



RINGKASAN

Muhammad Rizqi Farhani, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Oktober 2021, *Studi Alternatif Perencanaan Struktur Sambungan Balok-Kolom Menggunakan Sistem Beton Pracetak (Precast) pada Gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan*, Dosen Pembimbing: Ir. Mohammad Taufik Hidayat, MT., dan Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT.

Gedung kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan dibangun guna memberikan pelayanan publik kepada masyarakat Kabupaten Lamongan. Gedung kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan dibangun pada area kompleks alun-alun Kota Lamongan. Pemerintah Kabupaten Lamongan ingin mewujudkan suatu sarana dan prasarana gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan yang secara kualitas maupun kuantitas sanggup menciptakan atmosfer gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan yang aman, nyaman dan memadai. Oleh karena itu dalam merencanakan konstruksi gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan diperlukan perencanaan yang matang. Selain perencanaan yang matang, perencanaan konstruksi juga harus memerlukan inovasi dalam pengerjaannya dimana dapat mempercepat proses waktu pelaksanaannya dan meminimalisir biaya. Saat ini pembangunan struktur gedung bertingkat di Indonesia metode pengerjaannya masih di dominasi dengan metode beton bertulang konvensional biasa (*cast in situ*) dikarenakan metode konvensional biasa prosesnya mudah dikerjakan tetapi waktu pelaksanaannya yang relatif lama dan biaya yang dibutuhkan juga cukup banyak dikarenakan memerlukan banyaknya bekisting. Salah satu inovasi dimana dapat mempersingkat waktu pelaksanaannya dan mengurangi kebutuhan bekisting yaitu dengan menggunakan metode beton pracetak (*precast*).

Mengacu pada SNI 7833:2012 yang membahas tata cara perancangan beton pracetak dan beton prategang untuk bangunan gedung dan SNI 1726:2019 yang membahas tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, maka pembahasan ini menggunakan lokasi Gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan sebagai objek untuk dianalisa pada penyatuan elemen balok dan kolom menggunakan beton pracetak (*precast*). Sehingga skripsi ini bertujuan sebagai alternatif perencanaan struktur sambungan balok – kolom menggunakan metode pracetak (*precast*).

Sebelum dilakukan analisa perlu dilakukan pemodelan struktur bangunan gedung dan input pembebanan pada SAP2000 v20 agar mendapatkan gaya-gaya yang akan dianalisa. Kemudian dilakukan pengecekan pada momen dari struktur dimana harus memenuhi syarat $\Phi M_n \geq M_u$ dan pengecekan pada perhitungan tulangan geser atau sengkang. Jika tidak memenuhi maka akan dilakukan beberapa kali proses percobaan dimensi balok dan kolom agar dapat menahan struktur bangunan dengan berlandaskan pada *strong coloumn weak beam*. Proses pengangkatan balok menggunakan profil baja *Wide Flens* dengan jarak (x) tertentu. Penyambungan balok pracetak (*precast*) dengan kolom yang sudah terpasang menggunakan *scaffolding* guna menyangga balok tersebut supaya pada saat terhubung menghasilkan sambungan yang baik dan benar. Syarat dalam penyambungan balok harus sepertiga ($1/3$) dari lebar (b) kolom agar mendapatkan tumpuan berupa jepit. Tulangan balok telah terpasang pada kolom dan pelat maka setelah itu dilakukan proses pengecoran untuk menyatukan elemen-elemen tersebut.

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

(Halaman sengaja dikosongkan)



SUMMARY

Muhammad Rizqi Farhani, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, October 2021, Alternative Study of Planning for Beam-Column Connection Structures Using Precast Concrete (Precast) at the Lamongan Regency Government Building, Advisory Lecturer: Ir. Mohammad Taufik Hidayat, MT., and Dr. Eng, Lilya Susanti, ST., MT.

The Lamongan Regency Government office building was built to provide public services to the Lamongan Regency community. The Lamongan Regency Government office building was built in the Lamongan City square complex area. The Lamongan Regency Government wants to create a building facility and infrastructure for the Lamongan Regency Government which in terms of quality and quantity is able to create a safe, comfortable and adequate atmosphere for the Lamongan Regency Government building. Therefore, in planning the construction of the Lamongan Regency Government building, careful planning is needed. In addition to careful planning, construction planning must also require innovation in the process which can speed up the process of implementation time and minimize costs. Currently, the construction of high-rise building structures in Indonesia is still dominated by the conventional conventional reinforced concrete method (cast in situ) because the conventional method is usually easy to do, but the implementation time is relatively long and the cost required is also quite a lot because it requires a lot of formwork. One of the innovations which can shorten the implementation time and reduce the need for formwork is by using the precast concrete method.

Referring to SNI 7833:2012 which discusses the procedures for designing precast concrete and prestressed concrete for buildings and SNI 1726:2019 which discusses procedures for planning earthquake resistance for building and non-building structures, this discussion uses the location of the Lamongan Regency Government Building as an object. to be analyzed on the unification of beam and column elements using precast concrete. So that this thesis aims as an alternative for planning the beam-column connection structure using the precast method.

Prior to the analysis, it is necessary to model the building structure and input loading on SAP2000 v20 in order to obtain the forces to be analyzed. Then check the moment of the structure which must meet the requirements of M_n M_u and check the calculation of shear reinforcement or stirrups. If it does not meet, then the beam and column dimensions will be tested several times in order to be able to hold the building structure based on the strong column weak beam. The beam lifting process uses a Wide Flanged steel profile with a certain (x) distance. Splicing precast beams with columns that have already been installed uses scaffolding to support the beams so that when they are connected they produce a good and correct connection. The requirements for joining beams must be one-third (1/3) of the width (b) of the column in order to get the support in the form of clamps. The beam reinforcement has been installed on the column and plate, after that the casting process is carried out to unite the elements.

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

(Halaman sengaja dikosongkan)



BAB 1 PENDAHULUAN

1. 1 Latar Belakang

Gedung kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan dibangun untuk memberikan pelayanan kepada masyarakat Kabupaten Lamongan. Gedung kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan dibangun pada area kompleks alun-alun Kota Lamongan. Pemerintah Kabupaten Lamongan ingin mewujudkan suatu sarana dan prasarana gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan yang secara kualitas maupun kuantitas sanggup menciptakan atmosfer gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan yang aman, nyaman dan memadai. Oleh karena itu dalam merencanakan konstruksi gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan diperlukan perencanaan yang matang.

Selain perencanaan yang matang, perencanaan konstruksi juga harus memerlukan inovasi dalam pengerjaannya dimana dapat mempercepat proses waktu pelaksanaannya dan meminimalisir biaya. Saat ini, pembangunan gedung di Indonesia masih didominasi dengan metode beton bertulang konvensional (*cast in situ*), hal tersebut dikarenakan metode tersebut mudah untuk dilaksanakan. Gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan merupakan salah satu contoh gedung yang menggunakan metode beton bertulang konvensional. Namun, metode beton bertulang memiliki beberapa kekurangan terkait waktu pengerjaannya yang relatif lama dan tenaga kerja yang dibutuhkan cukup banyak dimana dapat menghabiskan biaya yang cukup besar.

Salah satu inovasi yang dapat mempersingkat waktu pelaksanaannya yaitu dengan memakai metode beton pracetak (*precast*) sebagai alternatif komponen struktural dalam pelaksanaannya. Metode beton pracetak (*precast*) adalah teknologi konstruksi struktur beton yang dicetak di beberapa lokasi pembuatan (baik dicetak di lingkungan proyek maupun di pabrik-pabrik) kemudian dipasang di lokasi proyek.

Beberapa kelebihan penggunaan metode beton pracetak (*precast*) adalah waktu pelaksanaan pekerjaan yang relatif lebih cepat karena beton pracetak dibuat keseluruhan di pabrik, sehingga proses pembangunan atau konstruksi akan jauh lebih cepat dibanding dengan menggunakan metode beton konvensional. Beton pracetak (*precast*) bisa langsung dipasang di beberapa bagian yang dibutuhkan, tidak seperti beton konvensional yang harus dibuat dari awal. Kemudian kelebihan lainnya yaitu mutu dan kualitas beton pracetak (*precast*) lebih terjamin dan dapat menghasilkan elemen bangunan dengan akurasi dimensi dan kualitas yang lebih baik. Selain itu beton pracetak tidak memerlukan bekisting dan

perancah sehingga dapat menghemat tempat penyimpanan material disekitar proyek.

Namun selain kelebihan tersebut beton pracetak (*precast*) juga memiliki kekurangan, dimana membutuhkan perhatian khusus pada bagian sambungannya. Sambungan merupakan elemen yang sangat penting dalam desain konstruksi tahan beban, khususnya untuk beban gempa. Keruntuhan bangunan tahan gempa yang menggunakan konstruksi metode beton pracetak (*precast*) ditentukan oleh kualitas sambungannya, terutama pada sambungan balok – kolom. Selain itu beton pracetak (*precast*) memiliki kekurangan dalam hal transportasi dan pemasangan, karena pembuatannya yang berbeda dengan lokasi konstruksi sehingga dibutuhkan pemindahan beton dari lokasi pembuatan ke lokasi proyek. Kemudian juga diperlukan peralatan serta tenaga kerja untuk memasang beton.

Dari permasalahan tersebut, maka penulis melakukan kajian terkait Studi Alternatif Perencanaan Struktur Sambungan Balok Kolom Menggunakan Sistem Beton Pracetak (*Precast*) pada Gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan yang mengacu pada SNI 7833 : 2012 tentang tata cara perencanaan beton pracetak dan prategang untuk bangunan gedung, SNI 2847 : 2019 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung, dan 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 diatas, maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut :

1. Perlu direncanakan sambungan Balok-Kolom dengan metode pracetak (*precast*) pada gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan.
2. Perlu dianalisis kekuatan sambungan Balok-Kolom dengan metode pracetak (*precast*) pada gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan ketika menerima beban gempa dan beban vertikal.
3. Perlu dianalisis pada saat pengangkatan elemen beton pracetak (*precast*) pada gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan.

1. 3. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana cara merencanakan sambungan balok – kolom dengan metode pracetak (*precast*) sebelum komposit pada bangunan gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan ?

2. Bagaimana kekuatan sambungan balok – kolom dengan metode pracetak (*precast*) setelah komposit pada bangunan gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan ?
3. Bagaimana cara pengangkatan elemen beton pracetak (*precast*) pada gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan ?

1. 4. Tujuan

Tujuan yang diharapkan dari kajian ini adalah :

1. Untuk mengetahui desain sambungan balok – kolom dengan metode pracetak (*precast*) sebelum terjadi komposit pada gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan.
2. Untuk mengetahui kekuatan sambungan balok – kolom dengan metode pracetak (*precast*) setelah komposit pada gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan.
3. Untuk mengetahui cara pengangkatan elemen beton pracetak (*precast*) pada gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan.

1. 5. Batasan Masalah

Adapun batasan – batasan masalahnya yaitu sebagai berikut :

1. Komponen yang akan dijadikan objek desain ulang dengan metode pracetak (*precast*) hanya merupakan elemen balok dan kolom pada gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan.
2. Tidak meninjau metode yang sudah digunakan dalam perencanaan pembangunan gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan sebelumnya.
3. Kaki-kaki pada portal atau tumpuan di pondasi diasumsikan jepit.
4. Bangunan dianggap beraturan.
5. Menggunakan sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB).
6. Menggunakan satu tipe sambungan basah pada perencanaan struktur bangunan gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan.
7. Analisis difokuskan pada *up structure*.
8. Tidak membahas analisis ekonomi (Tidak menghitung RAB bangunan).
9. Perencanaan tidak menghitung utilitas bangunan, mekanikal, instalasi listrik dan *finishing*.
10. Mutu beton yang digunakan adalah $f'c = 30$ Mpa.
11. Mutu baja yang digunakan adalah $f_y = 320$ Mpa.
12. Mutu tulangan ulir yang digunakan adalah $f_y = 320$ Mpa.
13. Mutu tulangan polos yang digunakan adalah $f_y = 240$ Mpa.
14. Analisis *lift*, tangga dan pondasi tidak diperhitungkan.

15. Dalam analisisnya dibantu dengan *software* SAP2000 V20.

1. 6. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah 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 (*precast*).



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2. 1 Beton Pracetak (*Precast*)

Beton pracetak (*precast*) adalah komponen beton dengan tulangan atau tanpa tulangan yang dicetak terlebih dahulu sebelum dipasang dan disusun menjadi struktur bangunan, atau sebagai komponen beton yang dicor ditempat yang bukan merupakan posisi akhir dalam sebuah struktur bangunan. Beton pracetak (*precast*) sendiri dibuat atau diproduksi secara masal dan berulang-ulang. Elemen beton pracetak (*precast*) yang dibuat di pabrik atau di lokasi lapangan yang kemudian disambung di lokasi bangunan hingga membentuk suatu struktur bangunan yang utuh.

Perencanaan struktur pracetak meliputi perencanaan kolom, pelat, dan balok, semua komponen struktur harus memenuhi aturan-aturan yang berlaku yang berasal dari hasil penelitian, sains, maupun standar yang berlaku dalam memenuhi nilai kekuatan, keamanan, dan kenyamanan bagi penggunaannya (*Nurjannah, 2011*).

Pengerjaan bangunan pada konstruksi beton pracetak (*precast*) memiliki keuntungan yaitu proyek konstruksi dapat mengurangi jam kerja dan biaya konstruksi, sehingga hasil pekerjaan proyek menjadi maksimal. Ketika mendimensi objek dengan metode beton pracetak (*precast*), bahan beton menjadi lebih mahal dalam beberapa kasus karena analisis karakteristik material, di mana analisis juga harus didasarkan pada aspek pemasangan, pengangkatan dan pengangkutan. Artinya pemilihan dimensi dan kekuatan yang dibutuhkan lebih besar dari pada pendimensian benda dengan menggunakan metode beton in-situ. Namun pemasangan elemen beton pracetak (*precast*) membutuhkan peralatan yang lebih banyak dibandingkan dengan pemasangan elemen-elemen beton pracetak (*precast*) di lapangan.

Sebagai landasan ilmiah untuk menganalisa desain sambungan beton pracetak (*precast*), beberapa persyaratan yang telah ditetapkan dalam SNI 2847:2019 harus dipenuhi, persyaratan ini menegaskan :

- a. Perencanaan komponen beton pracetak dan sambungannya harus memperhitungkan beban dan kondisi kekangan, mulai dari saat pabrikasi hingga kondisi akhir di dalam pembangunan, termasuk pada saat penyimpanan, pengangkutan, pembukaan cetakan, transportasi dan ereksi.
- b. Desain, pabrikasi dan konstruksi dari komponen pracetak dan sambungannya harus mempertimbangkan pengaruh yang ditimbulkan dari toleransi yang disediakan.
- c. Saat komponen pracetak digabungkan kedalam sistem struktur, gaya-gaya dan

deformasi yang ditimbulkan di sambungan dan pada bagian komponen struktur yang dekat dengan sambungan harus diperhitungkan didalam desain.

Menurut persyaratan bangunan yang menggunakan sistem pracetak (*precast*) harus memenuhi kriteria di atas agar bangunan memenuhi syarat sebagai aman. Desain sambungan dan tumpuan pada sistem pracetak (*precast*) harus bisa menahan tegangan lentur yang dihasilkan, baik longitudinal maupun transversal.

2. 2 Perbedaan Beton Pracetak (*Precast*) dengan Beton Konvensional

Definisi beton pracetak (*precast*) menurut SNI 2847:2019 Elemen beton struktur yang dicetak di tempat lain dari posisi akhirnya dalam struktur. Pengolahannya baik di lahan produksi ataupun di lapangan. Dibandingkan dengan metode cor ditempat, metode beton pracetak (*precast*) lebih ekonomis karena tidak memerlukan banyak bekisting, pekerja yang dibutuhkan lebih sedikit dan waktu pengerjaannya yang lebih singkat.

Sebagai landasan ilmiah untuk menganalisa desain sambungan beton pracetak (*precast*), beberapa persyaratan yang telah ditetapkan dalam SNI 2847:2019 harus dipenuhi, persyaratan ini menegaskan :

- a. Perencanaan komponen beton pracetak dan sambungannya harus memperhitungkan beban dan kondisi kekangan, mulai dari saat pabrikasi hingga kondisi akhir di dalam pembangunan, termasuk pada saat penyimpanan, pengangkutan, pembukaan cetakan, transportasi dan ereksi.
- b. Desain, pabrikasi dan konstruksi dari komponen pracetak dan sambungannya harus mempertimbangkan pengaruh yang ditimbulkan dari toleransi yang disediakan.
- c. Saat komponen pracetak digabungkan kedalam sistem struktur, gaya-gaya dan deformasi yang ditimbulkan di sambungan dan pada bagian komponen struktur yang dekat dengan sambungan harus diperhitungkan didalam desain.

Menurut persyaratan bangunan yang menggunakan sistem pracetak (*precast*) harus memenuhi kriteria di atas agar bangunan memenuhi syarat sebagai aman. Desain sambungan dan tumpuan pada sistem pracetak (*precast*) harus mampu menahan tegangan lentur yang dihasilkan, baik transversal maupun longitudinal.

2. 3 Kelebihan Dan Kekurangan Penggunaan Beton Pracetak.

Dibandingkan dengan struktur beton konvensional, struktur elemen beton pracetak (*precast*) memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah :

- a. Beton pracetak (*precast*) memiliki kualitas yang sangat baik karena proses produksi dilakukan dengan benar dan sesuai proses, dan juga perawatan beton yang

sangat hati-hati sesuai dengan pedoman yang tertera.

b. Beton pracetak (*precast*) sangat tahan terhadap perubahan iklim yang ekstrim.

Beton pracetak bisa sangat andal jika kondisi di lokasi proyek tidak menentu.

Selain itu, pemasangan beton pracetak tidak terpengaruh cuaca buruk.

c. Beton pracetak (*precast*) dapat secara signifikan mengurangi waktu pengerjaan

proyek. Memang, penggunaan beton memungkinkan untuk melakukan pekerjaan

proyek dalam keadaan tumpang tindih. Misalnya, ketika cangkang masih dalam

tahap pondasi, pelaksanaannya mungkin bertepatan dengan produksi beton pracetak

untuk kolom lantai. Dengan cara ini, ketika pekerjaan substruktur selesai, kolom

juga siap dipasang.

d. Beton pracetak (*precast*) juga bisa menghemat penggunaan bekisting jadi lebih

sedikit. Bayangkan, dalam produksi bekisting beton konvensional hanya digunakan

sampai 10 kali. Namun, dalam produksi beton pracetak, bekisting dapat digunakan

terus menerus hingga beberapa kali. Perawatan yang tepat dapat membantu

meningkatkan daya tahan bekisting.

e. Dengan pemakaian beton pracetak (*precast*) kita dapat menekan Rencana

Anggaran Biaya Proyek (RAB), terutama biaya untuk membeli tenaga kerja. Perlu

dicatat bahwa upah untuk pabrik prefabrikasi rata-rata lebih rendah daripada upah

pembangun. Sehingga penggunaan RAB juga bisa lebih efisien dan efektif.

f. Beton pracetak (*precast*) yang ramah lingkungan. Penggunaan beton jenis ini

sebagai alternatif beton konvensional akan semakin mengurangi jumlah limbah dan

kotoran di lokasi proyek yang tersisa dari bahan konstruksi beton dan bekisting.

Namun demikian, selain memiliki kelebihan, struktur elemen beton pracetak (*precast*) juga memiliki beberapa kekurangan, antara lain :

a. Beton pracetak (*precast*) membutuhkan biaya tambahan untuk mengangkut

beton ini dari lokasi produksi ke lokasi proyek. Hal ini karena beton pracetak

tidak diproduksi di lokasi konstruksi, tetapi di lokasi pabrik.

b. Beton pracetak (*precast*) juga membutuhkan alat berat yang lengkap untuk

merakit atau menuangkan beton

c. Beton pracetak (*precast*) perlu ditempatkan pada lokasi yang baik dan dirawat

dengan baik sampai saat pemasangan. Oleh karena itu, proyek harus memiliki

ruang yang cukup besar untuk menampung beton.

d. Beton pracetak (*precast*) juga sering menimbulkan banyak biaya yang tidak

terduga. Misalnya, saat memasang elemen beton pracetak, diperlukan biaya tambahan untuk keperluan penyambungan.

e. Hanya dapat dilakukan di area di mana peralatan penanganan dan perakitan tersedia.

f. Diperlukan perhatian khusus agar tidak terjadi penyimpangan dari satu elemen ke elemen lainnya, sehingga mudah dipasang di lapangan atau di lokasi proyek.

g. Di Indonesia sendiri, kondisi alam yang sangat sering terjadi gempa bumi dengan kekuatan besar, yang membuat struktur pracetak cukup berbahaya terutama di daerah sambungan, oleh karena itu masalah sambungan menjadi masalah utama yang harus dihadapi dalam perencanaan struktur beton pracetak

(*precast*).

2. 4 Analisis Terhadap Beton Pracetak (*Precast*)

Dalam menganalisis balok pracetak ini, analisis yang digunakan merupakan analisis dengan kuat rencana yang ditentukan dari tegangan ijin bahan, yaitu :

$f'c$ = Tegangan hancur pada beton atau (MPa)

f_y = Tegangan leleh pada tulangan (MPa)

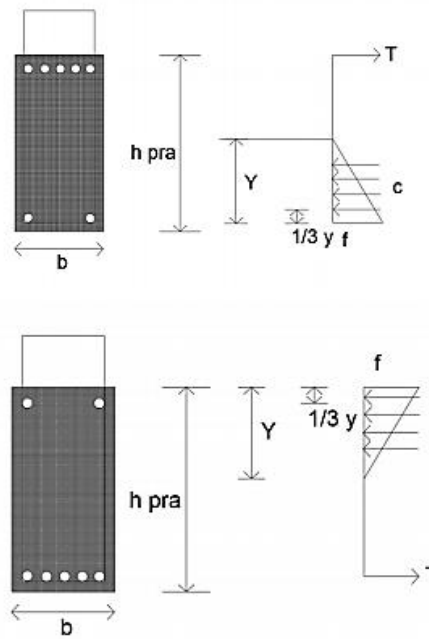
$f_{c\text{ijin}}$ = Tegangan izin beton (MPa)

$f_{s\text{ijin}}$ = Tegangan izin tulangan (MPa)

Selama proses desain perencanaan elemen balok pracetak (*precast*) ini mencakup analisis balok pracetak (*precast*) selama masa transportasi serta pemasangannya.

a. Penentuan dimensi balok pracetak (*precast*) sebelum di cor penuh

Ketebalan minimum balok pracetak (*precast*) didapatkan dari perhitungan kapasitas momen balok pracetak (*precast*) pada saat menghitung kapasitas momen dimensi balok pracetak dan luas tulangan yang diasumsikan.



Gambar2. 1 Tegangan sebelum cor penuh

$$C = f_c \cdot 0,5 \cdot b \cdot c$$

$$T = A_s \cdot f_s$$

Dimana :

f_c = Tegangan izin pada beton $0,33 f'_c$ (MPa).

f_y = Tegangan izin pada baja tulangan $0,53 f_y$ (MPa).

b = Lebar penampang balok (m).

A_s = Luas tulangan yang mengalami tarik.

Dari persamaan kesetimbangan penampang, maka kita dapat mencari nilai C :

$$C = T \text{ sehingga } f'_c \cdot 0,5 \cdot b \cdot c = A_s \cdot f_s \rightarrow C = \frac{2 \cdot A_s \cdot f_s}{f_c \cdot b}$$

Sehingga kapasitas momen penampang beton :

$$M_n = T \left(d - \frac{c}{3} \right) = A_s \cdot f_s \left(d - \frac{c}{3} \right)$$

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

$$M_u = A_s \cdot f_s \left(d - \frac{c}{3} \right)$$

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

Dimana :

M_n = Momen nominal penampang (Nmm).

M_u = Momen ultimate pemanpang (Nmm).

d_{min} = Tebal efektif minimum (mm).

Dimana asumsi balok $b \times h$ sudah ditentukan, maka ketebalan balok pracetak (*precast*) adalah :

- Tebal untuk balok anak :

$$h'_{ba} = h_{ba} = h_{pelat}$$

- Tebal untuk balok induk arah sumbu x :

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

- Tebal untuk balok induk arah sumbu y :

$$h'_{biy} = h_{biy} = h_{pelat}$$

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

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

Dimana :

p = Selimut beton (mm).

ϕ_s = Diameter tulangan geser atau sengkang (mm).

$\phi_{tulangan}$ = Diameter tulangan pokok (mm).

Dengan syarat, : $d \geq d_{min}$

Cek terhadap momen nominal penampang :

$$M_n = A_s \cdot f_s \cdot \left(d - \frac{c}{3} \right)$$

dengan syarat, : $M_n \geq M_u$

Cek lendutan ketika pelaksanaan :

$$\delta = p \cdot \frac{l^3}{48 EI} + \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 EI} \leq \delta$$

Dimana :

δ = Lendutan (mm).

p = Beban terpusat yang terjadi (N).

q = Beban merata yang terjadi (N/mm).

l = Bentang elemen balok pracetak (mm).

E = Modulus elastisitas (MPa).

I = Momen inersia (mm⁴).

Lendutan ijin :

- Balok induk

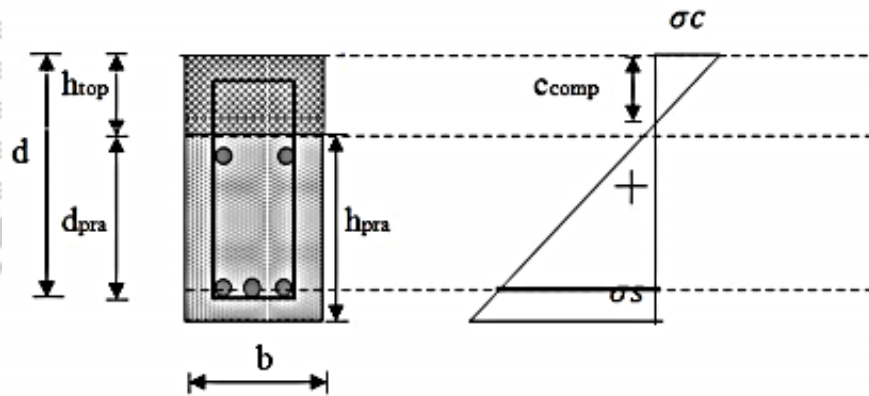
$$\delta = \frac{L}{480} \text{ (mm)}.$$

Balok anak

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

- Tegangan Yang Terjadi Setelah Cor Penuh

Tegangan balok pracetak (*precast*) akan terjadi selama komponen struktur pracetak (*precast*) diikat bersama menggunakan penampang yang diuji terhadap kondisi pembebanan.



Gambar2. 2 Tegangan sehabis dilakukan pengecoran

Untuk mencari nilai *C* diperlukan angka ekivalen bahan (*n*) :

$$n = \frac{E_s}{E_c} \rightarrow bc \cdot 0,5c \cdot -nA_s (d - c) = 0$$

Dimana :

E_s = Modulus elastisitas untuk baja tulangan (2×10^5) (MPa).

E_c = Modulus elastisitas untuk beton ($2,1 \times 10^5$) (MPa).

Sehingga, tegangan yang terjadi di penampang dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_c = - \frac{M_u \cdot c}{I_{pra}} \leq f_c \rightarrow \sigma_s = - \frac{M_u \cdot (d - c)}{I_{pra}} \leq f_s$$

dimana :

σ_c = Tegangan yang terjadi di serat beton yang tertekan (MPa).

σ_s = Tegangan yang terjadi di serat beton yang tertarik (MPa).

M_u = Momen eksternal yang terjadi pada penampang (MPa).

d = Tebal area yang tertekan (mm).

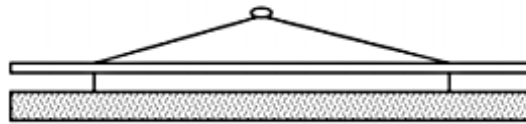
I_{pra} = Inersia pada bagian yang di cor penuh (mm^4).

f_c = Tegangan izin beton = $0,33 \cdot f_c$ (Mpa).

f_y = Tegangan izin tulangan = $0,58 \cdot f_y$ (Mpa).

2. 5 Analisis Balok Pracetak Pada Waktu Pengangkatan

Gelagar pracetak (*precast*) diangkut dengan alat berat berupa tower crane yang diangkut oleh dua titik angkat. Analisis dalam kondisi ini apakah beban permanen akibat beban dari balok itu dikalikan dengan faktor beban 1,2. Kondisi awal adalah saat mengangkat elemen balok pracetak (*precast*) yang dipasang di panci. Pada kondisi ini, beban kerja adalah berat sendiri balok pracetak (*precast*) yang ditopang oleh angkur dan apabila diangkat akibat beban tersebut dapat menimbulkan momen di tengah bentang atau di ujung bentang balok pracetak. Hal lain yang perlu dipertimbangkan kembali dalam kondisi ini adalah kekuatan jangkar pengangkat dan kekuatan lentur beton pracetak (*precast*). Pada gambar 2. 3 menjelaskan tentang metode pengangkutan balok pracetak.



Gambar2. 3 Metode pengangkutan balok pracetak

$$F = \frac{1}{2} \cdot q \cdot L$$

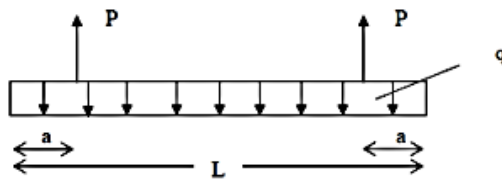
Dimana :

ϕ = 1,2 (Ton)

L = Bentang balok pracetak (m).

F = Gaya angkat balok anak (Ton).

qd = Berat sendiri balok yang terfaktor



Gambar2. 4 Model pengangkutan balok pracetak (*precast*)

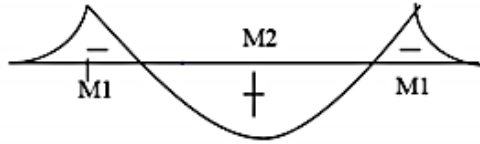
Momen maksimum yang terjadi :

$$M1 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2$$

$$M2 = \frac{1}{8} \cdot q \cdot (L - 2a)^2 - \frac{1}{2} \cdot q \cdot a^2$$

Di dapatkan, hasil dari bidang momen yang terjadi pada balok pracetak (*precast*) adalah:

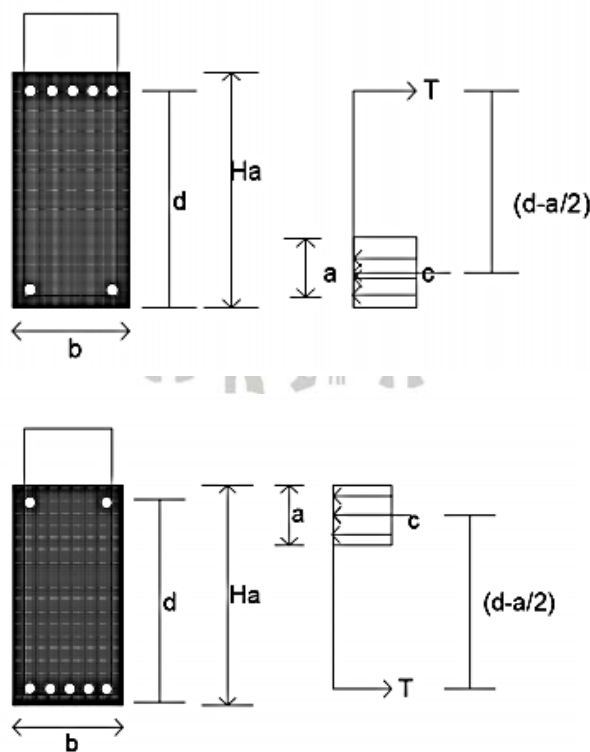




Gambar2. 5 Bidang momen yang terjadi pada balok pracetak (*precast*) pada waktu pengangkatan

Pada gambar 2. 5 untuk menentukan posisi titik angkat dimana penampang balok masih mampu menerima momen negatif, perlu ditentukan kapasitas momen negatif balok dengan asumsi tulangan tambahan telah ditentukan. Perhitungan momen negatif penampang saat pengangkatan dilakukan sesuai dengan prosedur berikut.

Pada saat balok pracetak (*precast*) diangkat, ada bagian penampang balok pracetak yang mengalami momen negatif. Dimana serat atasnya mengalami tarik, sehingga diperlukan tulangan tambahan pada saat pengangkatan. Asumsi tulangan 2 ϕ 6 yang akan memberikan nilai luasan tulangan tarik A_s . Pada gambar 2. 6 menjelaskan tentang tegangan sebelum pengangkatan balok pracetak.



Gambar2. 6 Tegangan sebelum pengangkatan balok pracetak (*precast*)

- Kapasitas Momen Negatif

14

$$T = A_s' \cdot f_y$$

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

dimana :

T = Gaya tarik pada serat yang mengalami tarik di tulangan (N).

C = Gaya tekan pada serat yang mengalami tekan di beton (N).

a = Luas penampang yang mengalami tekan (mm).

d = Luas efektif penampang pada beton (mm).

b = Lebar penampang pada balok beton (mm).

A_s' = Luasan tulangan yang mengalami tarik (mm²).

Jika $f_y = 320 \text{ Mpa}$, $f'_c = 30 \text{ Mpa}$, dan lebar dimensi penampang (b) balok diketahui, dan dalam kasus kesetimbangan $T = C$, diperoleh nilai a , yang digunakan untuk menghitung kapasitas momen (M_n) penampang yang mengalami tarik.

- Kapasitas Momen Negatif

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

Keseimbangan momen internal, $T = C$

$$a = \frac{A_s' \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}$$

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

Untuk memutuskan letak titik angkat (x) saat pengangkatan, momen yang terjadi pada titik pengangkatan harus sama atau lebih kecil dari kapasitas momen yang mengalami tarik yang telah terfaktor ($\phi = 0,8$) kapasitas momen negatif terfaktor ($\phi = 0,8$).

$$Mu = Mx$$

Mx = Momen yang terjadi pada titik angkat a

$$Mx = \frac{1}{2} \cdot qd \cdot x^2$$

Maka ketika Mu diketahui jarak titik angkat akan bisa diketahui

Jika $Mu = 2,85 \text{ Knm}$ dan $qd = 2,419 \text{ Knm L} = 5m$

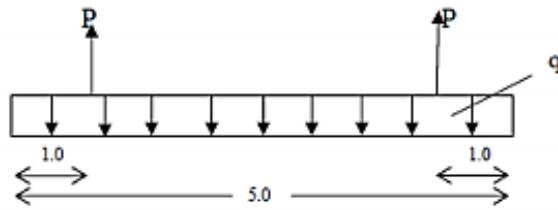
$$\text{Maka, } 2,85 = \frac{1}{2} \cdot 2,419 \cdot x^2$$

$$x = 1,54$$

Maka, letak titik angkat saat pengangkatan adalah $X < 0 < 1,54$ dan akan diambil sejauh

1 m.





Gambar 2.7 Letak titik angkat elemen balok pracetak (*precast*)

Apabila $Mx = \phi Mn$, maka nilai X_{max} :

$$X_{Max} = \sqrt{\frac{2 \cdot \phi Mn}{q \cdot d}}$$

Dimana :

Mn = Kapasitas momen nominal pada penampang (tm).

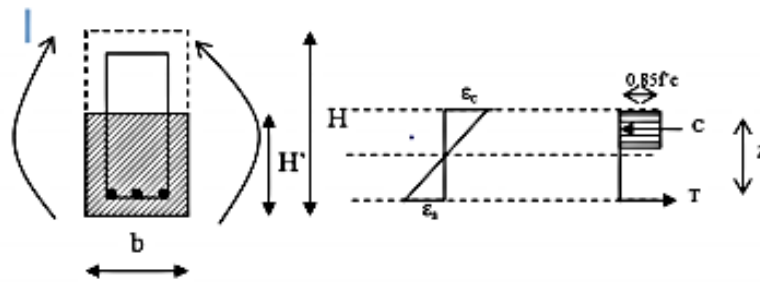
X_{max} = Jarak titik angkat maksimal dari bagian ujung bentang (m).

Nilai x memiliki batasan tertentu, di mana batasannya sebagai berikut :

$$0 < X < X_{max}$$

Nilai x tersebut adalah batas posisi dari letak titik angkat balok, dimana penampang dengan asums ada nya tulangan tambahan, dapat menahan momen negatif yang terjadi pada balok akibat gaya saat pengangkatan selama pengangkatan pada saat terjadinya ereksi.

Perhitungan kapasitas momen positif yang terjadi di hitung dengan menggunakan rumus kapasitas momen (Mn), dimana struktur elemen beton bertulang (*cast in situ*) dengan tulangan tunggal yang telah di terangkan sebelumnya yang secara singkat telah di jelaskan sebagai berikut :



Gambar 2. 8 Tegangan yang terjadi dengan menggunakan tulangan tunggal

$$\begin{aligned} Mn &= Ts \cdot (d - z) \\ &= Ts \cdot (d - 0,5a) \\ &= As \cdot fy \cdot (d - 0,5 \cdot \beta \cdot c) \\ &= As \cdot fy \cdot (d - 0,5 \cdot 0,85 \cdot c) \end{aligned}$$

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

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

2. 6 Sambungan Pada Beton Pracetak (*Precast*)

Perencanaan sambungan pada elemen beton pracetak (*precast*) selain sebagai penyambung antar elemen beton pracetak (*precast*) Ini juga bertindak sebagai penyaluran untuk gaya yang bekerja dari satu elemen struktur ke elemen struktur lainnya yang nantinya akan didistribusikan ke pondasi.

Terdapat dua jenis sambungan yang bisa digunakan untuk menyatukan antar komponen-komponen beton pracetak (*precast*) yaitu sebagai berikut :

1. Sambungan Kering (*Dry Connection*)

Sambungan kering merupakan salah satu metode yang dapat digunakan dalam proyek pembangunan konstruksi. Metode sambungan kering merupakan salah satu metode yang dilakukan dengan cara menyambungkan komponen beton pracetak (*precast*) dimana sambungan tersebut dapat dengan cepat berfungsi secara efektif. Beberapa material yang termasuk dalam metode ini adalah las dan baut.

2. Sambungan Basah (*Wet Connection*)

Sambungan basah merupakan salah satu metode yang dapat digunakan dalam proyek pembangunan konstruksi. Metode sambungan basah merupakan salah satu metode yang dilakukan dengan cara menyambungkan komponen beton pracetak (*precast*) dimana masa sambungan basah dapat berfungsi secara efektif setelah beberapa waktu atau tidak bisa dengan cepat. Material yang termasuk dalam metode ini adalah sambungan *in situ concrete joint*.

Desain sambungan yang digunakan dalam perencanaan ini adalah sambungan basah (*wet connection*), seperti sambungan *in situ* atau grouting, yang telah banyak digunakan atau digunakan untuk memecahkan masalah dalam desain struktur beton pracetak (*precast*).

Ketika merancang sambungan dengan metode pracetak (*precast*) tanpa batang penyangga, maka penyangga balok dianggap sebagai sambungan (momen pada sambungan balok-kolom dianggap tidak ada atau nol) ketika menopang balok itu sendiri. Ketika sambungan telah mengeras dan mengalami gaya eksternal, sambungan akan menjadi penjepit (pada sambungan balok – kolom memiliki momen).

Berdasarkan Surat Keputusan SNI T-15-1991-03 menjelaskan bahwa panjang penyaluran untuk tulangan D 36 dan lebih kecil dari D 36 adalah :

$$l_{ab} = 0,02 \cdot Ab \cdot \frac{fy}{\sqrt{f'c}}$$

Dengan ketentuan nilainya harus kurang dari $0,06 \cdot d_b \cdot fy$

Dimana :

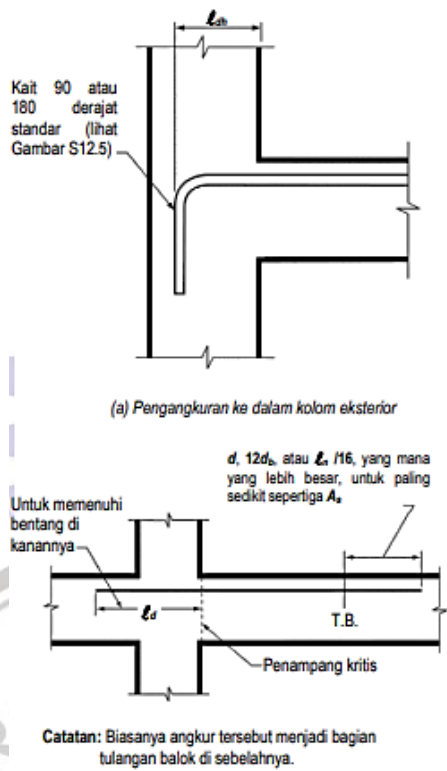
l_{ab} = Panjang penyaluran (mm)

Ab = Luas (mm²)

d_b = Diameter (mm)

Berdasarkan Surat Keputusan SNI 2847-2019 Pasal 12.12 tentang penyaluran tulangan momen negatif menjelaskan :

- a. Paling sedikit sepertiga tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada tumpuan harus mempunyai panjang penanaman melewati titik belok tidak kurang dari d_b atau $l_n/16$, yang mana yang lebih besar (Gambar 2.9 b).
- b. Pada tumpuan interior komponen struktur lentur tinggi, tulangan tarik momen negatif harus terus menerus dengan tulangan tarik dari bentang di sebelahnya
- c. Tulangan momen negatif pada komponen struktur yang menerus, terkekang atau kantilever, atau dalam setiap komponen struktur kaku harus diangkur ke atau melalui komponen struktur pendukung dengan kait tertanam atau angkur mekanis (Gambar 2.9).
- d. Tulangan momen negatif harus mempunyai panjang penanaman ke dalam bentang seperti diisyaratkan oleh pasal 12.1 dan 12.10.3.



Gambar 2. 9 Penyaluran tulangan momen negatif

Pada gambar 2. 9 distribusi tulangan momen negatif sekurang-kurangnya $\frac{1}{3}$ dari tulangan momen positif pada komponen struktur tunggal dan $\frac{1}{4}$ dari tulangan momen positif pada komponen struktur menerus dan wajib dilanjutkan untuk muka komponen struktur pendukung. Pada balok, tulangan harus menerus untuk menopang sekurang-kurangnya 150 mm. Pada daerah tumpuan tunggal dan titik putar, tulangan tarik pada waktu positif harus mempunyai diameter pembatas sedemikian rupa sehingga I_{db} untuk f_y tidak perlu dipadatkan untuk tulangan ujung setelah melewati pusat tumpuan tunggal, menggunakan pengait standar atau memakai jangkar mekanis, minimal setara dengan pengait standar.

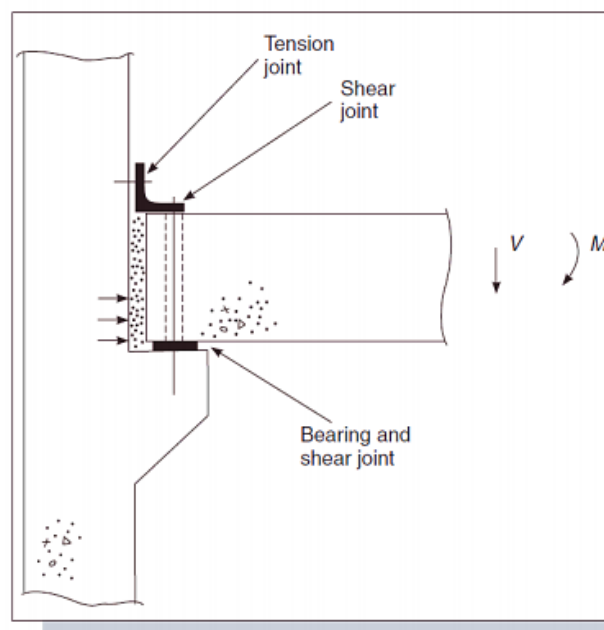
Panjang ekstensi rangka tulangan negatif wajib dijangkar di dalam ataupun selama komponen struktur pendukung, dengan memakai panjang penanaman, jangkar mekanis dan kait setidaknya sepertiga $\frac{1}{3}$ dari total tulangan tarik, dimaksudkan untuk momen negatif pada tumpuan yang harus ditanamkan di luar saat pemindahan setidaknya lebih besar dari ukuran efektif komponen struktur, $12d_b$ ataupun $\frac{1}{16}$ dari bentang bersih.

2. 6. 1 Desain Sambungan Pada Beton Pracetak (*Precast*)

Sambungan merupakan bagian yang sangat berarti yang dimana terletak pada desain beton pracetak (*precast*) serta dalam suatu konstruksi. Desain sambungan bisa ditetapkan

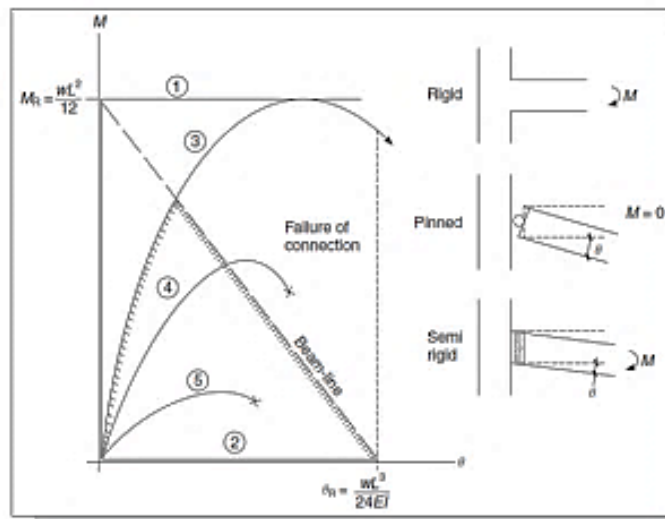
sendiri tipe kerangka pracetak (*precast*). Dikatakan bahwa bilik atau dinding kerangka membagikan kekakuan sambungan $\frac{1}{100}$ dari kekakuan bilik atau dinding panel = $200N/mm^2$ per mm dari panjang beton panel yang terpasang vs 2,7 ke $15 N/mm^2$. Struktur sambungan diperlukan guna menyalurkan (memindahkan) segala macam gaya, yaitu gaya tekan, gaya geser dan gaya tarik. Baja atau bahan lain dapat menjadi a jika beton dikompresi melebihi nilai yang diijinkan.

Dibandingkan dengan pengecoran di tempat kerja, ada beberapa gaya gabungan yang dikenal sebagai gaya gesekan karena ada gerakan relatif dari gaya sambungan *Shringkage*.



Gambar 2. 10 Sambungan pada tumpuan

Pada gambar 2. 10 gerakan frame dapat dikontrol dari desain sambungan yang sesuai. Ketika membuat sistem struktur yang berbeda, mungkin perlu untuk merancang dan membangun koneksi. Kekakuan padat pada sambungan hanya dapat dicapai saat bekisting sedang dibuat. Secara teoritis dijelaskan bahwa ketika suatu struktur tidak memiliki sambungan, maka harus diperlakukan sebagai kekakuan total yang bertindak sebagai penanggulangan dengan menggunakan analisis retak lentur. Menggunakan analisis *beam-line* dengan analisis balok dengan pendekatan *overhead* melalui rangka baja.



Gambar2. 11 Karakteristik dari momen serta rotasi

2. 7 Pembebanan Struktur

2. 7. 1 Beban Mati

Berat mati adalah beban yang terdiri dari berat semua bagian dari suatu bangunan yang bersifat tetap, termasuk segala bagian tambahan, material-material (misalkan kolom, balok maupun genteng) serta perlengkapan yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari bangunan itu sendiri.

Adapun beban mati yang digunakan adalah sebagai berikut :

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

2. 7. 2 Beban Hidup

Beban Hidup adalah beban atau berat tidak tetap yang bekerja pada struktur tapi sepertinya terjadi pada masa layan struktur, tidak termasuk beban lingkungan (SNI 2847:2019).

Adapun n beban hidup yang digunakan adalah sebagai berikut :

Lobi dan Koridor Lantai Pertama	=	4.79	kN/m ²
Kantor	=	2.4	kN/m ²
Koridor di atas Lantai Pertama	=	3.83	kN/m ²

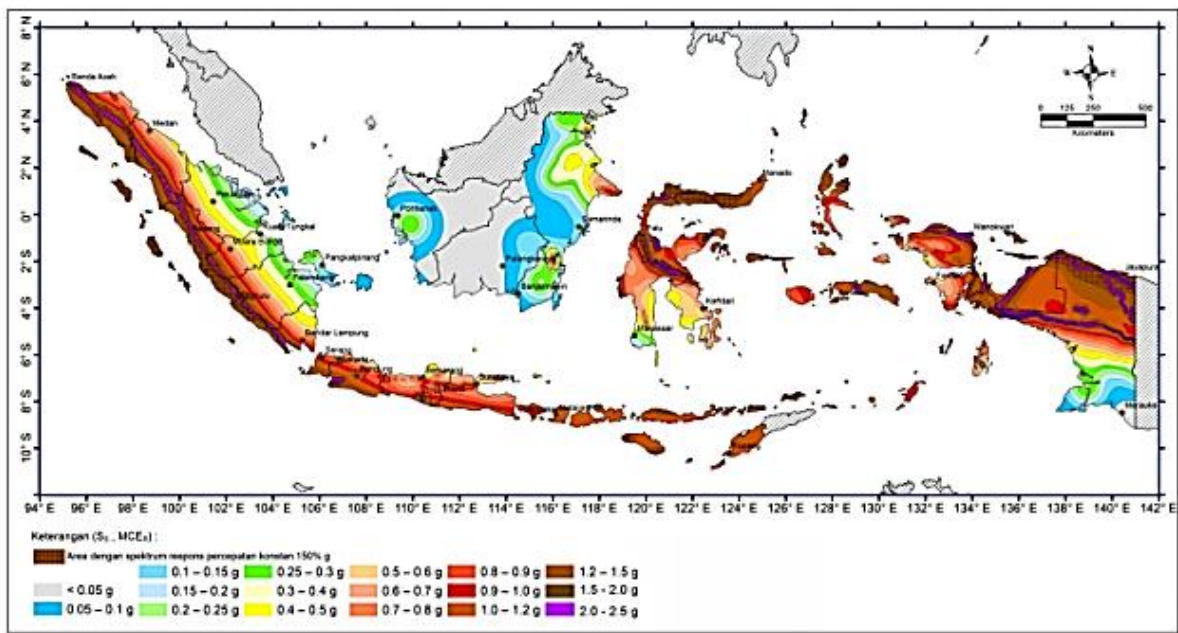
2. 7.3 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa bumi (baik gempa bumi tektonik ataupun gempa bumi vulkanik) dan mempengaruhi struktur tersebut.

2. 8 Analisis Beban Gempa SNI 1726:2019

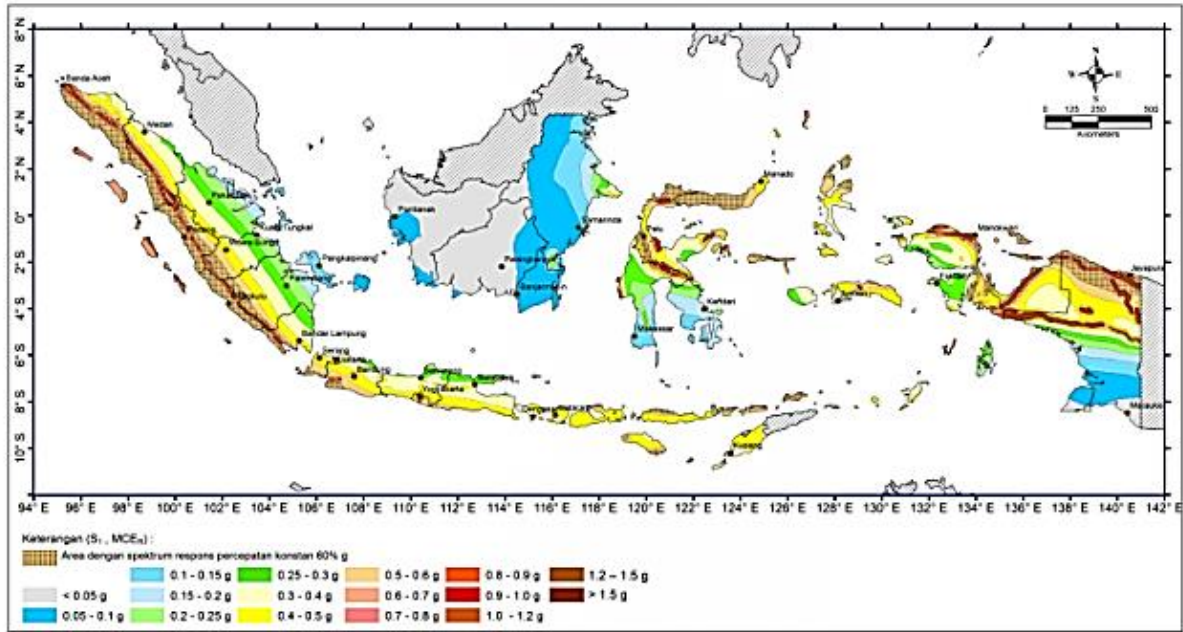
2. 8.1 Wilayah Gempa

Parameter percepatan dapat ditentukan berdasarkan gerak tanah dan gempa maksimum yang dipertimbangkan oleh risiko – tertarget (MCE_R) sesuai kelas situsnya. Pada gambar 2. 12 dan 2. 13 menjelaskan tentang peta percepatan *respons spektrum*.



Gambar2. 12 Ss, Peta percepatan respons spektrum MCE_R periode 0,2 detik.

Sumber : SNI 1726:2019



Gambar 2. 13 S_1 , peta percepatan respons spektrum MCE_R periode 1 detik.

Sumber : SNI 1726:2019

2. 8. 2 Kategori Gedung

Pada SNI 1726:2019, berdasarkan fungsi layannya gedung akan diklasifikasikan dengan kategori risiko bangunan gedung untuk beban gempa sebagai berikut :

Tabel 2.1

Kategori Risiko Gedung Untuk Beban Gempa

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 	III
<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>	



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.	

Sumber SNI 1726 : 2019

Tabel 2. 2

Faktor Keutamaan Gempa

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

2. 8. 3 Konfigurasi Gedung

Struktur gedung diklasifikasikan menjadi 2 konfigurasi, yaitu struktur gedung beraturan dan struktur gedung tidak beraturan. Pada SNI 1726 : 2019 Pasal 7.3.2 terdapat beberapa syarat dimana dapat dapat menentukan bahwa gedung itu tergolong tidak beraturan atau tergolong beraturan.

Struktur harus diklasifikasikan kedalam 2 konfigurasi yaitu beraturan dan tidak beraturan berdasarkan dalam kriteria pasal ini. Klasifikasi tersebut harus didasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari sebuah struktur.

2. 8. 4 Respon Spektrum

Faktor amplifikasi terdiri beberapa faktor yaitu 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 respon spektrum percepatan pada periode pendek (S_{M_s}) dan periode 1 detik (S_{M_1}) yang dicocokkan



dengan pengaruh dari klasifikasi situs tanah yang didapatkan dari perhitungan berikut :

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

Keterangan :

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

S_1 = Parameter respon spektrum percepatan gempa MCE_R terpetakan periode (1 detik)

Tabel 2. 3

Klasifikasi Situs

Klasifikasi Situs

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ek}	\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	15sampai 50	50 sampai100

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ek}	\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



Tabel 2. 4

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_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 0

Sumber SNI 1726 : 2019

Tabel 2. 5

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					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 \leq 0,2$	$S_1 \leq 0,3$	$S_1 \leq 0,4$	$S_1 \leq 0,5$	$S_1 \leq 0,6$
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

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 :

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

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

2. 8. 6 Respon Spektrum Desain

Pengaruh respon spektrum untuk tiap daerah zona gempa dan jenis tanah tanah adalah :

1. Untuk periode yang lebih besar atau sama dengan (T_o) dan lebih kecil atau sama



dengan (T_s) spektrum respon percepatan desain $S_A = S_{DS}$.

- Untuk periode yang lebih kecil dari (T_o) spektrum respon percepatan desain (S_a) harus diambil dari persamaan :

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

- Untuk periode yang lebih besar dari (T_s) spektrum respon percepatan desain (S_a) diambil dari persamaan :

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

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

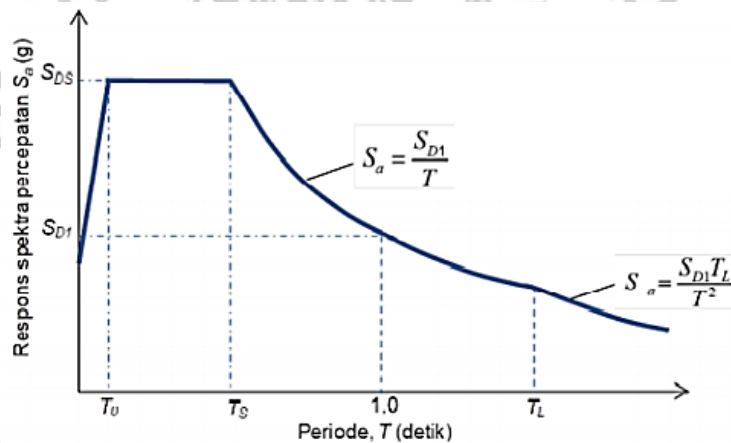
$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2-8)$$

Keterangan :

S_{DS} = Parameter respons spektrum percepatan desain untuk periode pendek.

S_{D1} = Parameter respons spektrum percepatan desain untuk periode 1 detik.

T = Periode getar fundamental struktur.



Gambar2. 14 Desain Respon Spektrum

Sumber SNI 1726 : 2019

2. 8. 7 Geser Dasar Seismik

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

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

Keterangan :

C_s = Koefisien respon seismik

W = Berat seismik efektif

Perhitungan koefisien respon seismik, (C_s) harus ditentukan sesuai dengan

persamaan sesuai SNI 1726 : 2019 Pasal 7.8.1.1 sebagai berikut :

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

Keterangan :

S_{DS} = Parameter percepatan respon spektrum desain dalam rentang periode pendek

R = Koefisien modifikasi respons

I_e = Faktor keutamaan gempa

Ketentuan :

- a. Nilai C_S , yang dihitung tidak perlu melebihi hasil persamaan berikut :

Untuk $T < T_L$, maka :

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

Untuk $T > T_L$, maka :

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

- b. Besarnya nilai C_S yang dihitung tidak kurang dari hasil persamaan :

$$C_{S(Min)} = 0,044 S_{DS} \cdot I_e > 0,01 \quad (2 - 13)$$

- c. Sebagai tambahan untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana S_1 sama dengan atau lebih besar dari $0,6 g$, maka C_S harus tidak boleh kurang dari :

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

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

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

Keterangan :

Dimana I_e dan R sebagaimana didefinisikan

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

T = Periode fundamental (detik)

S_1 = Parameter percepatan respon spektrum maksimum

Tabel 2. 6

Koefisien Modifikasi Respon

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_b^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	5%	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5%	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^g	TI ^g	TI ^g
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^g	TI ^g	TI ^g
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^h	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5%	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁱ	3½	3 ^e	3%	10	10	10	10	10

Sumber SNI 1726 : 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 harus ditentukan dari persamaan berikut :

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

$$C_{VX} = \frac{W_x \cdot \frac{h_k}{x}}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot \frac{h_k}{i}} \quad (2 - 17)$$

- b. Gempa horizontal (V_x), geser tingkat gempa di semua tingkat 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 = Tingkat dari dasar periode struktural i atau x (m)

K = Eksponen yang terkait dengan periode struktural sebagai berikut :

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

2. 9 Sistem Struktur

Hampir setiap struktur bangunan merupakan kombinasi dari elemen struktur yang berbeda dalam tiga dimensi. Fungsi utama dari sistem struktur adalah untuk secara aman dan efisien memikul beban yang bekerja pada bangunan dan mentransfer beban kerja ke tanah melalui pondasi. Sistem struktur eksisting terutama memiliki rangka penahan gaya berat secara keseluruhan, sedangkan beban lateral akibat gempa dipikul oleh rangka penahan momen melalui mekanisme lentur. Sistem ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu SRPMB (struktur rangka tahan momen normal), SRPMM (struktur rangka tahan momen menengah) dan SRPMK (struktur rangka tahan momen khusus).

a. SRPMB

SRPMB pada suatu struktur gedung diperkirakan akan mengalami deformasi inelastis terbatas dari elemen struktur yang terhubung akibat gaya gempa rencana. SRPMB diterapkan pada zona seismik 1 dan zona seismik 2.

b. SRPMM

Sistem struktur bangunan ini diharapkan dapat menahan resiko kegempaan sedang. SRPMM diterapkan pada wilayah gempa zona 3 dan zona 4.

c. SRPMK

SRPMK pada suatu struktur gedung diperkirakan akan mengalami deformasi yang signifikan jika dikenai beban gempa rencana. SRPMK diterapkan pada zona seismik 5 dan

6.

(Halaman sengaja dikosongkan)



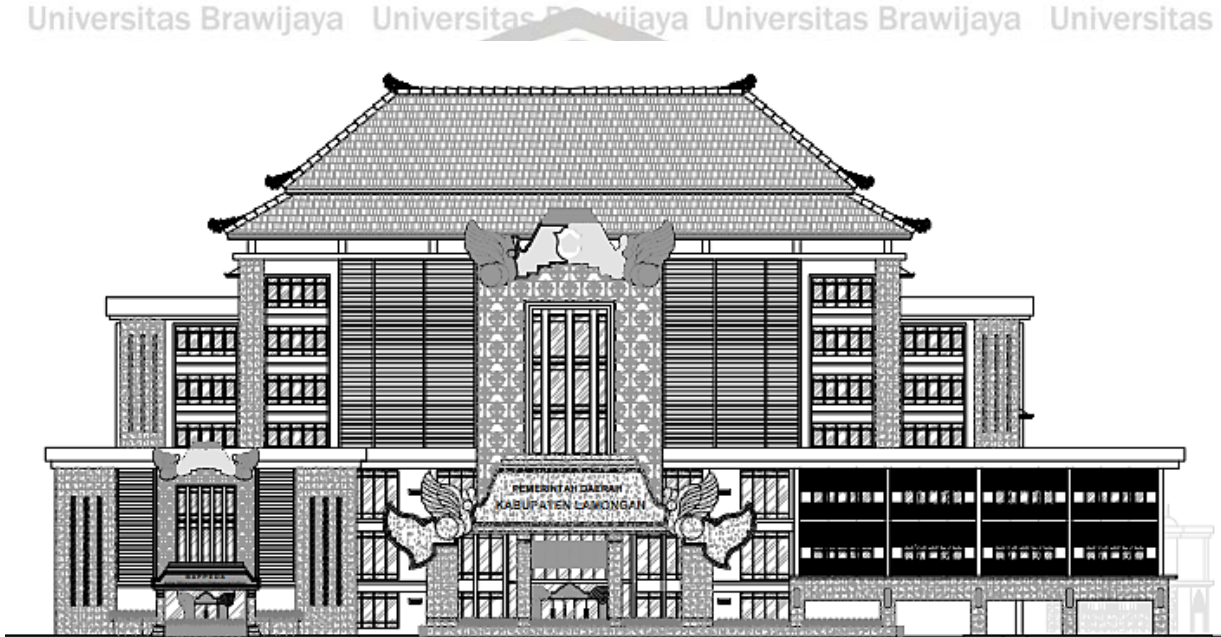
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3. 1 Pengumpulan Data

Data primer berupa gambar denah bangunan didapatkan dari bagian sarana dan prasarana Gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan 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 Pemerintah Kabupaten Lamongan

Nama Proyek : Gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan
 Alamat Proyek : Jl. K. H Ahmad Dahlan No. 1, Kecamatan Lamongan,
 Kabupaten Lamongan, Jawa Timur
 Fungsi : 8 Lantai untuk Gedung Pemerintah Kabupaten
 Waktu Pelaksanaan : 660 Hari

3. 2. 2 Data Teknis Gedung Awal

Struktur Gedung : Gedung menggunakan struktur beton bertulang
 Jumlah Lantai : 7 Lantai
 Tinggi Bangunan : ± 44 Meter
 Tinggi Tiap Lantai : Lantai 1 - 2 : 4 Meter

Lantai 2 - 4 : 5 Meter

Lantai 4 - 7 : 4 Meter

Atap : 6,5 Meter

3. 3 Prosedur Perencanaan

3. 3.1 Analisis Pembebanan

Pembebanan pada perencanaan Gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan secara keseluruhan sebagai berikut :

- Beban Mati
- Beban Hidup
- Beban Gempa
- Beban Angin

Dari pembebanan diatas, maka Gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan harus mampu memikul seluruh kombinasi pembabanan sebagai berikut :

- $U = 1,4 D$
- $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
- $U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 W + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
- $U = 0,9 D \pm 1,0 W$
- $U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E$
- $U = 0,9 D \pm 1,0 E$

Keterangan :

D = Beban Mati (*Dead Load*) yaitu semua beban yang menempel atau menetap pada bangunan atau struktur.

L = Beban Hidup (*Live Load*) yaitu semua beban bergerak sesuai fungsi kebutuhan ruangan dari bangunan tersebut.

Lr = Beban Atap (*Roof Live Load*) sama halnya seperti beban hidup, beban atap ini adalah beban yang akan berada pada atap.

R = Beban Hujan (*Rain Load*) merupakan beban yang akan bekerja pada atap.

W = Beban Angin (*Wind Load*). Beban ini sangat perlu diperhatikan secara khusus, apalagi pada daerah yang memiliki potensi angin yang sangat kuat.

E = Beban Gempa (*Earthquake Load*) merupakan beban yang potensinya sangat besar dan berpengaruh di negara kita Indonesia.

3. 3. 2 Analisis Struktur

Studi alternatif ini menggunakan software analisis struktur berupa SAP 2000 V.20 untuk mencari besarnya gaya aksial, geser dan momen yang terjadi setelah suatu beban diberikan pada suatu Gedung Pemerintahan Kabupaten Lamongan. Analisis spektrum respons digunakan dalam perhitungan analisis seismik dalam studi alternatif ini. Perangkat lunak SAP2000V.20 sangat membantu dalam menghitung gaya yang bekerja pada struktur oleh gaya gempa.

3. 3. 3 Desain Penampang

Prinsip dasar yang digunakan dalam perancangan penampang gedung pemerintah Kabupaten Lamongan ini memakai konsep beton bertulang dengan metode pracetak. Detail bagian yang digunakan pada balok yang berupa beton pracetak direkatkan pada pelat dan kolom dengan menggunakan tipe sambungan basah.

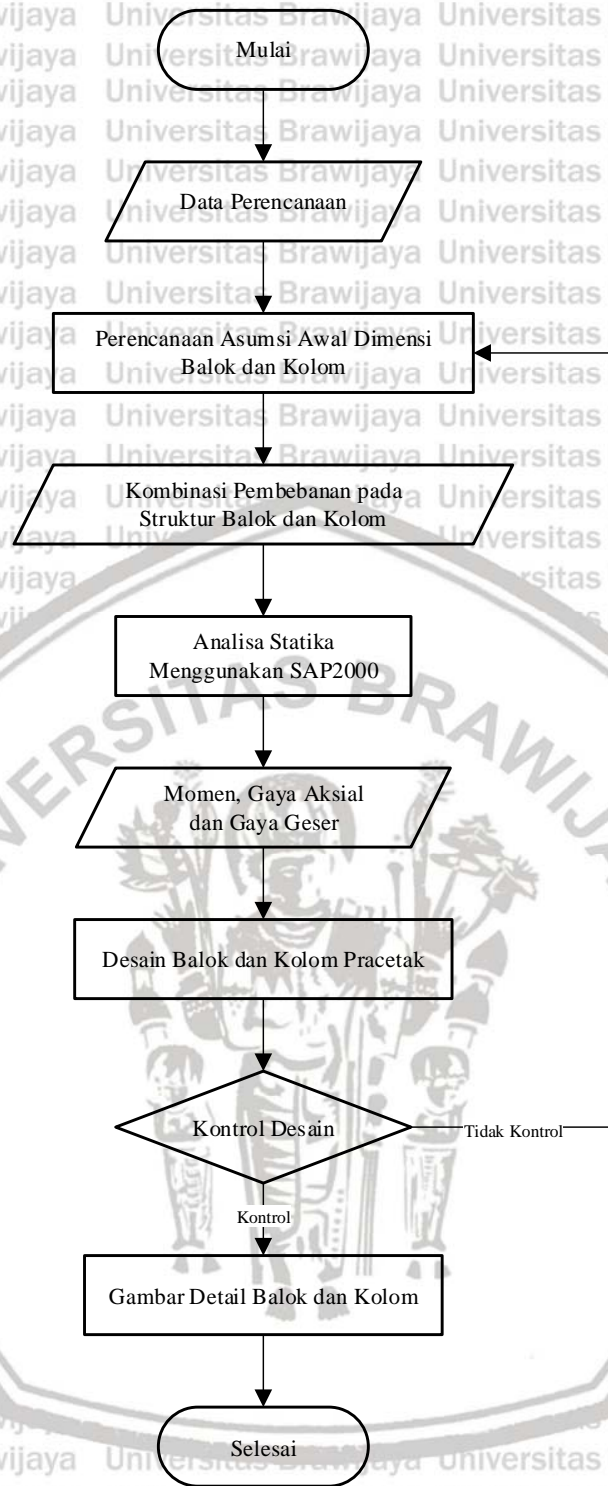
Setelah dilakukan perencanaan dimensi, pengujian dilakukan pada beberapa kondisi, yaitu kondisi pra-kombinasi dan kondisi pasca-penggabungan. Dalam keadaan pra-agregat, beban meliputi berat jenis, berat jenis, berat keramik, berat plafon, pemasangan, berat dinding, dan beban hidup (penggunaan). Kemudian balok dan kolom perlu diperiksa pada penampang.

3. 3. 4 Gambar Struktur

Penggambaran dalam perencanaan dan perhitungan gambar pada studi alternatif ini dibantu dengan menggunakan software AutoCAD 2016. Gambar denah Gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan terlampir.

3. 4 Tahapan Perencanaan

Studi alternatif ini akan membahas sambungan pada balok – kolom dengan sistem pracetak (*precast*), dalam melakukan perhitungan dan pengecekan bahwa semua komponen sudah aman atau belum harus sesuai dengan tahapan – tahapan perencanaan pada gambar 3. 2 sebagai berikut :



Gambar 3. 2 Diagram alir tahapan perencanaan

3. 5 Hipotesis

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

- Sambungan balok – kolom pada metode pracetak (*precast*) direncanakan dengan sifat kekakuan serta perilaku yang mendekati sama dengan struktur monolit.

- Analisis kekuatan sambungan balok – kolom dengan metode pracetak (*precast*) dilakukan sesuai dengan analisis beton konvensional. Dimana hubungan balok – kolom pracetak (*precast*) setelah komposit harus bisa menunjukkan momen kapasitas yang terjadi lebih besar dari momen ultimate yang ada.
- Dibutuhkan penambahan tulangan longitudinal pada saat dilaksanakannya pengangkatan beton pracetak (*precast*) untuk menghindari kerusakan beton yang dicetak akibat gaya tarik ketika pengangkatan.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Dimensi Struktur

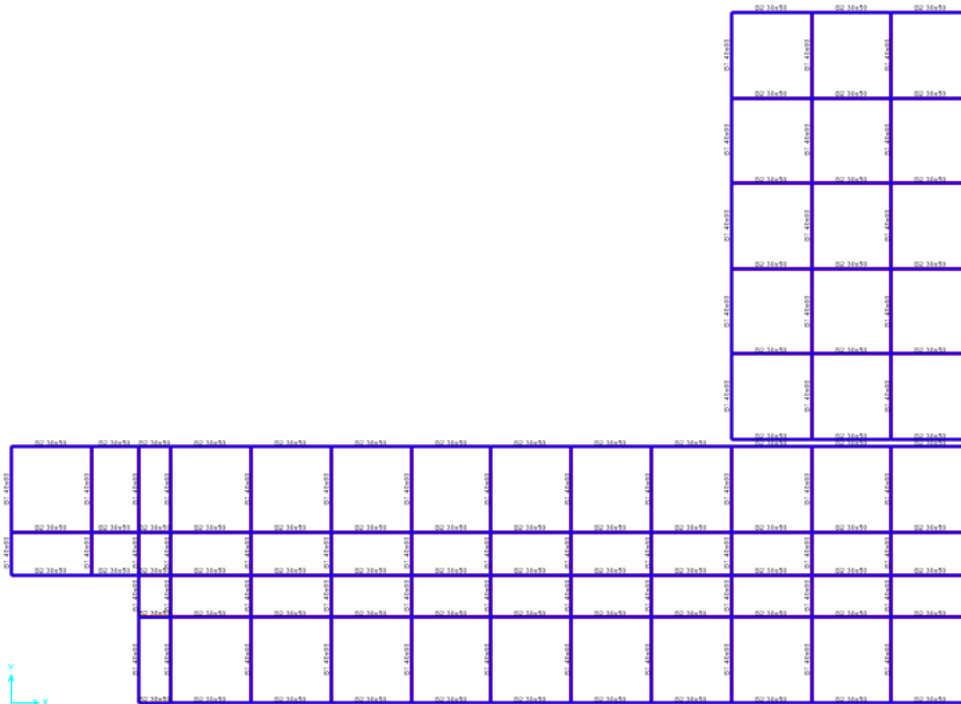
4.1.1 Perencanaan Balok

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

Tabel 4.1 *Tinggi minimum balok nonprategang*

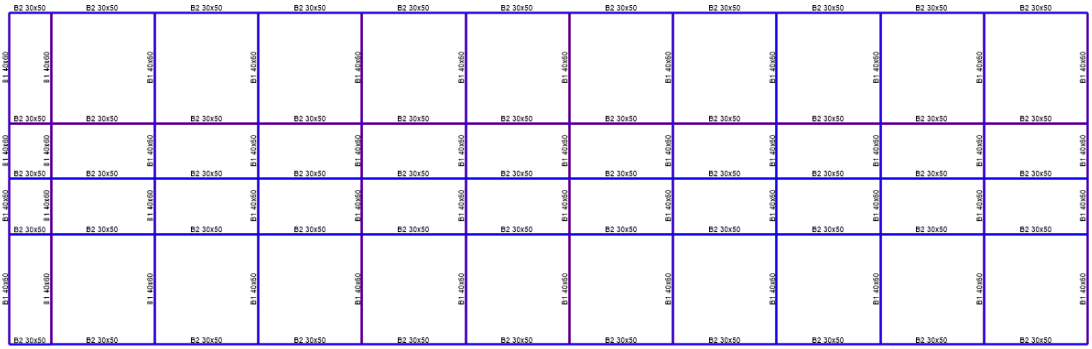
Konsidi perletakan	Minimum h
Pereletakan sederhana	L/16
Menerus satu sisi	L/18,5
Menerus dua sisi	L/21
Kantilever	L/8

Sumber: SNI 2847:2019

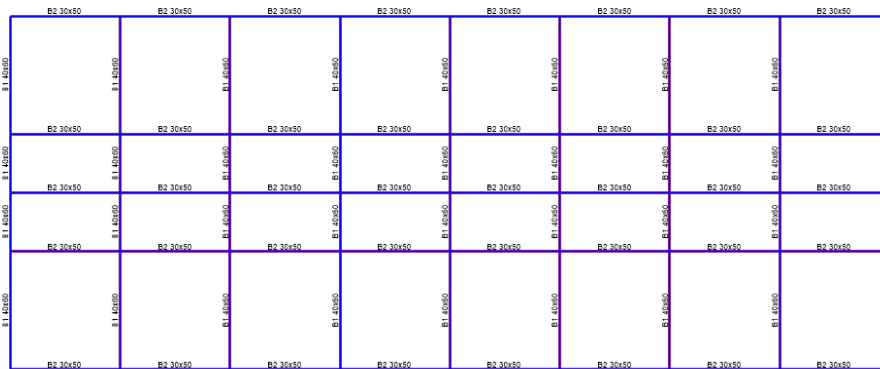


Balok Lantai 1-3





Balok Lantai 4-6



Balok Lantai 7

Gambar 4.1 Denah balok Gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan



4.1.2 Perencanaan Kolom

Perencanaan pada dimensi kolom wajib memenuhi peraturan sebagai berikut:

- Kolom dirancang untuk menahan beban aksial alam yang bekerja di tanah atau di atap dan momen maksimumnya dari beban bentang yang berdekatan .
- Saat menghitung momen akibat gravitasi yang bekerja pada kolom, ujung kolom dianggap terjepit.
- Momen yang bekerja pada setiap lantai atau atap harus di distribusikan pada kolom di atas dan di bawah lantai sesuai dengan kekakuan relatifnya.

Sehingga pada gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan akan memakai kolom berdimensi **80x80 cm (Kolom 1)** dan **50x50 cm (Kolom 2)**

4.1.3 Perencanaan Pelat

Perencanaan pelat pada pembangunan struktur Gedung Pemerinta Kabupaten Lamongan akan direncanakan menggunakan sistem diafragma dengan tebal pelat atap menggunakan dimensi 10 cm dan pada pelat lantai tebal menggunakan dimensi 12 cm sesuai dengan keadaan existing gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan.

4.2 Analisis Pembebanan

Pembebanan yang diperhitungkan dalam perencanaan struktur Gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan adalah sebagai berikut:

4.2.1 Beban Mati (D)

Perkiraan berat struktur harus relevan dan diperoleh berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 1727:2013)

Tabel 4. 2 Berat sendiri 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 1727:2013

4.2.2 Beban Mati Tambahan (*Super Dead Load*)

Beban Mati Pada 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 Pada 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 Pada Balok

Beban dinding pasangan ½ batu (250 kg/m ²)			
Lantai 1 - 2 dan 4 - 7 (4-0.8) x 250	=	800	kg/m ²
Lantai 3 - 4 (5-0.8) x 250	=	1050	kg/m ³

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 Gedung Perkantoran

Lobi dan Koridor Lantai Pertama	=	4.79	kN/m ²
Kantor	=	2.4	kN/m ²
Koridor di atas Lantai Pertama	=	3.83	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 bangunan gedung untuk beban gempa dan Faktor Keutamaan Gempa



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

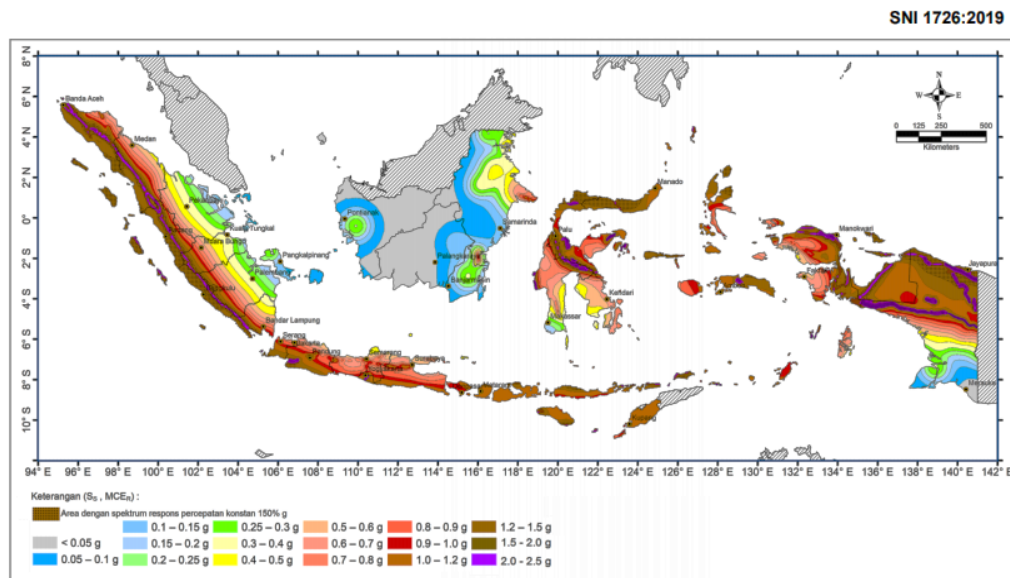
Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <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

Tabel 4 – Faktor keutamaan gempa

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

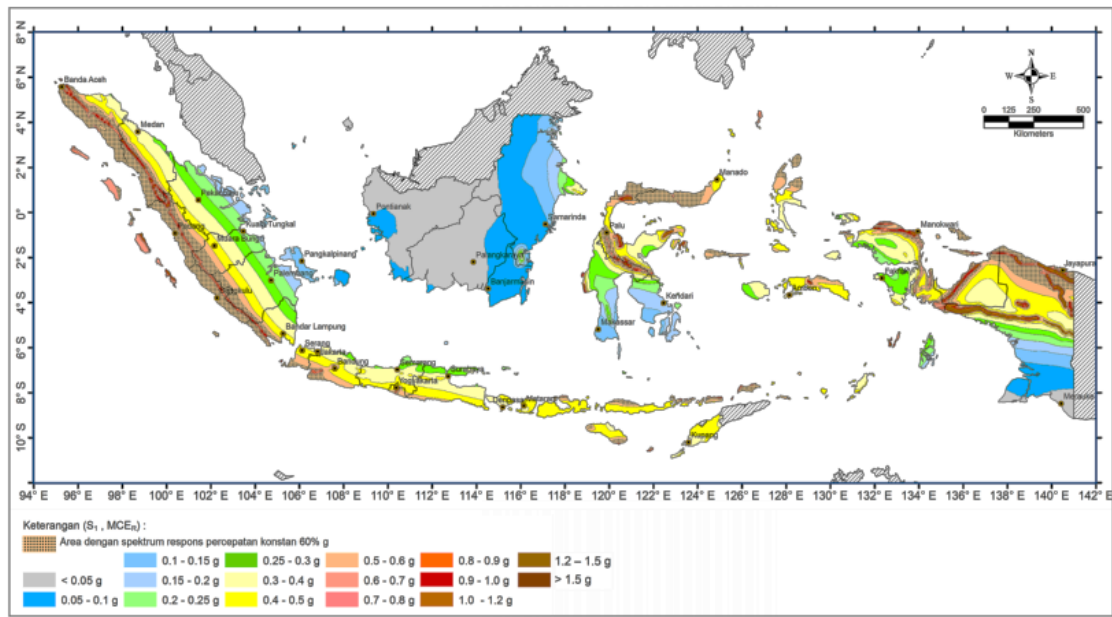
Gambar 4.2 Tabel 3 dan tabel 4 SNI 1726-2019

b. Parameter Respon Spektral MCE_R (S_s dan S_1)



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

SNI 1726:2019



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_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
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_I					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

SNI 1726:2019

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}

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s = 1,2 \times 0,7g = \mathbf{0,84}$$

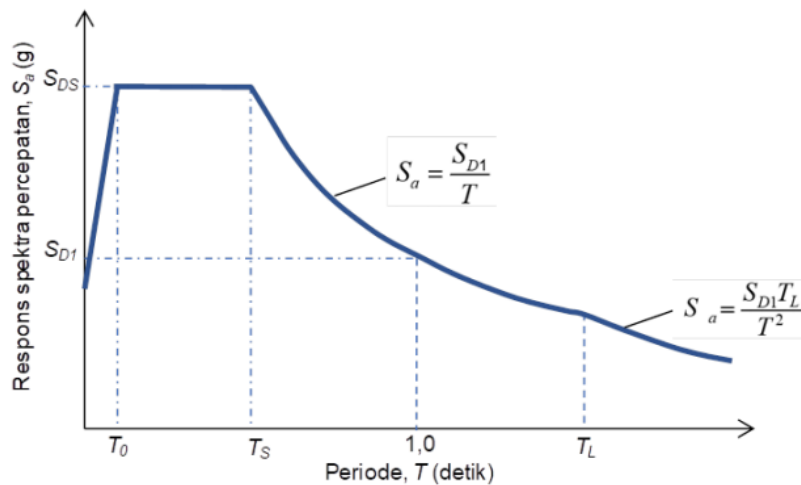
$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 = 2 \times 0,3g = \mathbf{0,6}$$

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

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,84 = \mathbf{0,56}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \cdot S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,6 = \mathbf{0,4}$$

f. Menentukan Nilai T_0 dan T_s

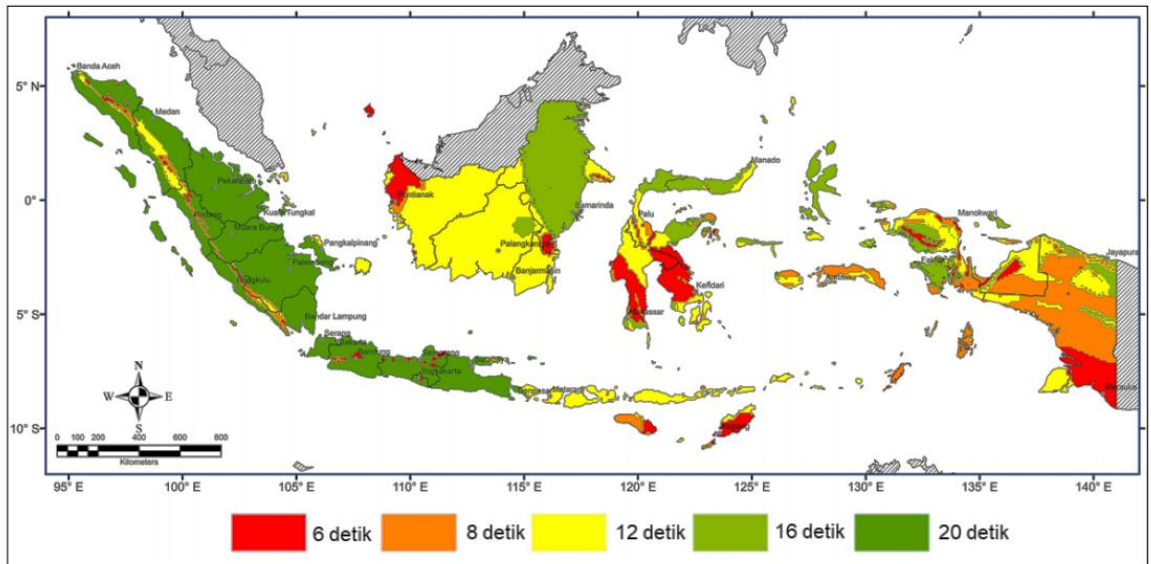


Gambar 4.7 Spektrum respons desain

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS} = 0,2 \frac{0,4}{0,56} = \mathbf{0,143}$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS} = \frac{0,4}{0,56} = \mathbf{0,714}$$

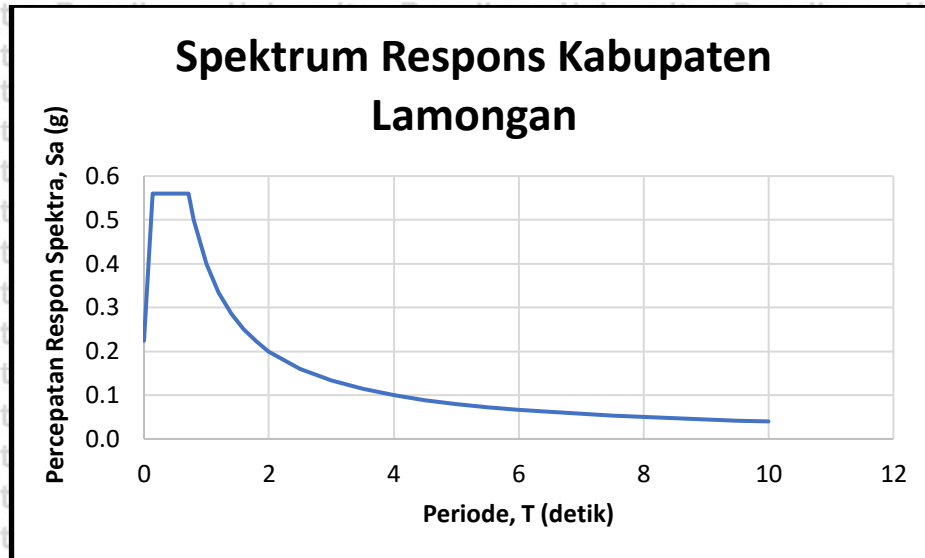
SNI 1726:2019



Gambar 4.8 Peta transisi periode panjang (TL)

T (detik)	Sa (g)
0	0.224
0.14	0.560
0.71	0.560
0.8	0.500
1	0.400
1.2	0.333
1.4	0.286
1.6	0.250
1.8	0.222
2	0.200
2.5	0.160
3	0.133
3.5	0.114

T (detik)	Sa (g)
4	0.100
4.5	0.089
5	0.080
5.5	0.073
6	0.067
6.5	0.062
7	0.057
7.5	0.053
8	0.050
8.5	0.047
9	0.044
9.5	0.042
10	0.040



4.2.5 Beban Kombinasi

Struktur, komponen dan pondasi yang direncanakan harus di desain sedemikian hingga kekuatan desainnya sama atau melebihi pengaruh dari beban terfaktor dengan kombinasi pembebanan sesuai SNI 1726:2019 :

- 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:

$$E_v = 0,2SD_s$$

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

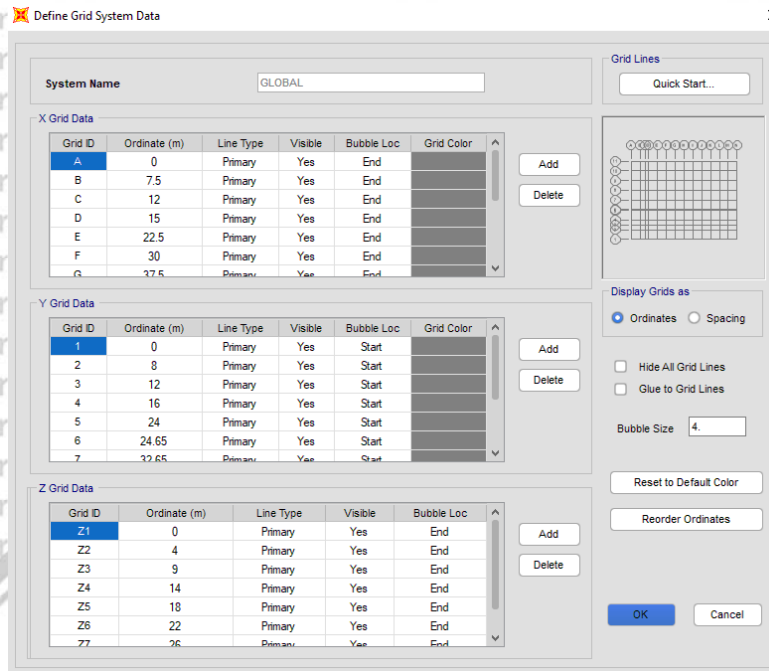
$$E_{hy} = \rho (E_y + 0,3E_x)$$

4.3 Pemodelan Struktur Menggunakan SAP2000 v20

Beberapa langkah telah dilakukan untuk mengimplementasikan pemodelan struktur dalam perencanaan struktur Gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan melalui *software* SAP2000 v20. Berikut adalah beberapa langkah yang disertakan dalam *software* SAP2000 v20:

a. Sistem Grid

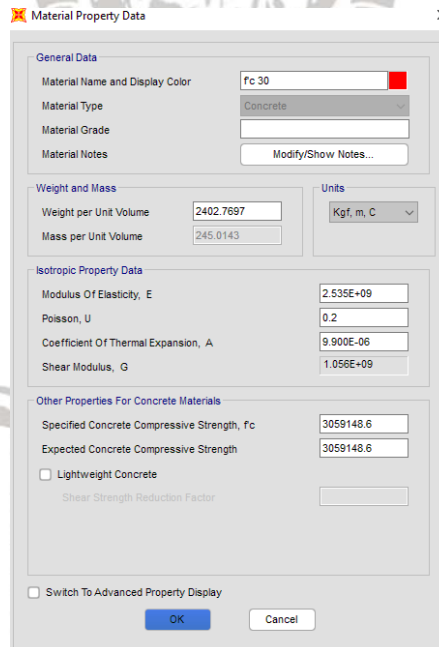
Sistem Grid untuk mencari koordinat pada struktur di sepanjang sumbu x, y dan z.



Gambar 4.9 Grid System

b. Define → Materials

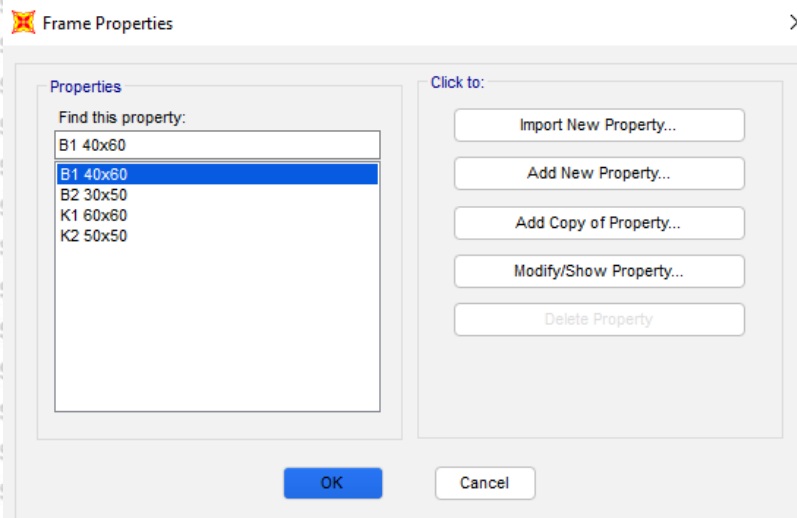
Mendefinisikan data-data bahan material dalam memodel struktur.



Gambar 4.10 Material

c. Define → Section Properties

Menginput data perencanaan dimensi pelat, balok dan kolom pembangunan struktur bangunan.



Gambar 4.11 Frame Section

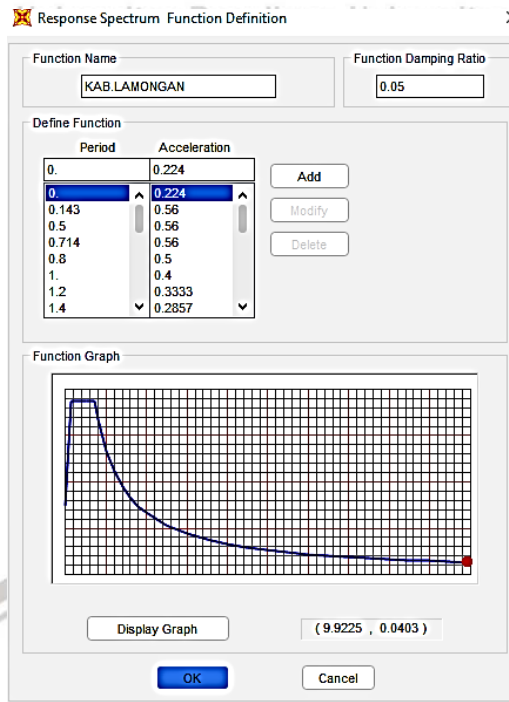
d. *Define* → *Load Patterns*

Memuat informasi tentang data pembebanan pada pemodelan struktur yang dianalisis. Adapun beban-beban yang bekerja antara lain:

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

e. *Other Function* → *Respons Spektrum*

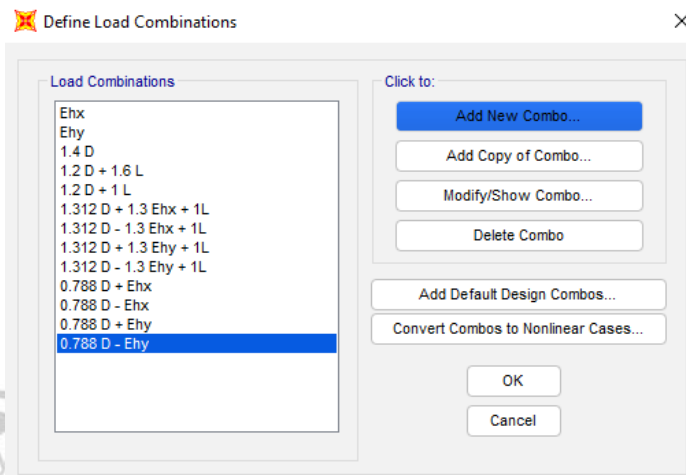
Memasukkan data *respons spektrum* beban gempa pada perencanaan pemodelan struktur bangunan gedung.



Gambar 4.12 Respons Spektrum

f. *Define* → *Load Combination*

Mendefinisikan rencana kombinasi pembebanan pada analisis struktur bangunan gedung.



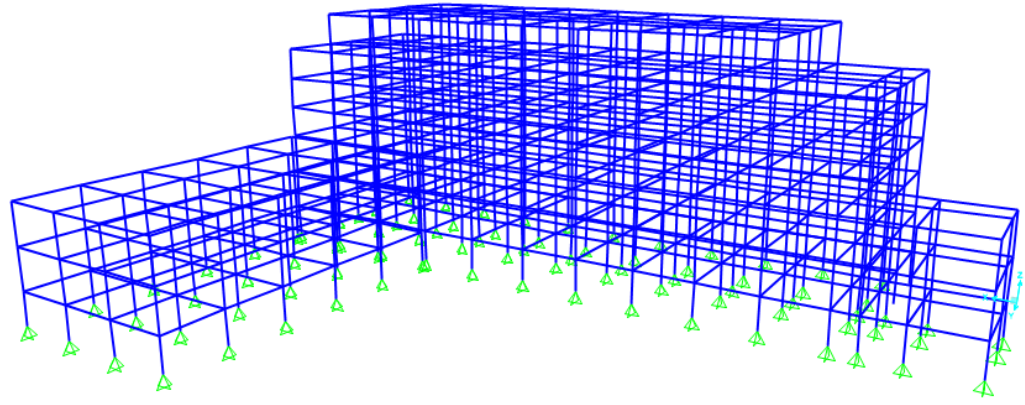
Gambar 4. 13 Load Combination

g. *Analyze* → *Run Analyze*

Langkah-langkah untuk memperoleh input data yang diimpor

h. *Display* → *Show Tables*

Memuat data yang di dapatkan, meliputi besarnya momen, lintang maupun normal pada struktur bangunan gedung sesudah analisis.



Gambar 4. 14 Pemodelan Struktur Gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan



4.4 Perencanaan dan Analisis Kekuatan Balok Induk

4.4.1 Penulangan Balok 1 (Balok Melintang)

Dari analisis struktur gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan menggunakan software SAP2000 v20 diperoleh momen maksimum pada tumpuan dan lapangan:

$$\text{MU Tump} = -57294,51 \text{ kgm}$$

$$\text{MU Lap} = 52395,65 \text{ kgm}$$

$$f'c = 30 \text{ Mpa.}$$

$$fy = 320 \text{ Mpa.}$$

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

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

$$\text{Dimensi balok} = 400 \times 600 \text{ mm}$$

Analisis Tulangan Tumpuan

Hasil dari Momen terbesar yang didapatkan yaitu momen negatif

$$\text{Mu} = 57294,51 \text{ kgm}$$

Tinggi balok

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

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

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

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

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

$$= 0,03313$$

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

$$= \frac{-57294,51 \times 10^4}{0,8 \times 400 \times 560^2} = 57,094 \text{ kg/cm}^2 = 5,709 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times f'c}$$

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

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

$$= \frac{1}{12,549} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,549 \times 5,709}{320}} \right]$$

$$= 0,02047$$

$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$, dipakai $\rho = 0,02047$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot e \cdot d = 0,02047 \times 400 \times 560 = 4585,5 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 0,5 \cdot A_s = 0,5 \times 4585,5 = 2292,7 \text{ mm}^2$$

Dari nilai A_s dan A_s' yang didapat, jumlah tulangan atas dan bawah yang diperlukan yang digunakan adalah :

- Tulangan tekan: 5 D25 (2454 mm²)
- Tulangan tarik : 10 D25 (4909 mm²)

Kapasitas Penampang Momen

Diketahui :

- Tulangan tarik = 10 D25 (4909 mm²)
- Tulangan tekan = 5 D25 (2454 mm²)
- f'_c = 30 MPa
- ϵ_s = 0,003
- E_s = 200000 Mpa
- Ukuran Balok = 40/60 cm
- d = 560 mm
- d' = 40 mm

Perhitungan:

Asumsi:

- Tulangan tekan (A_s') diasumsikan telah leleh $\Rightarrow f_s' = f_y$
- Tulangan tarik (A_s) diasumsikan telah leleh $\Rightarrow f_s = f_y$

$$T = A_s \cdot f_y = 4909 \times 320 = 1570880 \text{ N}$$

$$C_s = A_s' \cdot f_y = 2454 \times 320 = 785280 \text{ N}$$

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

$$= 0,85 \times 30 \times 400 \times a = 10200 a$$



Keseimbangan gaya:

$$C_c + C_s = T$$

$$10200 a + 785280 = 1570880$$

$$a = 77,02 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{0,85} = \frac{77,02}{0,85} = 90,61 \text{ mm}$$

Cek Kontrol Tegangan:

Tulangan Tarik

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{d-c}{c} \right) \times 200000$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{560-90,61}{90,61} \right) \times 200000$$

$$= 3108,1 \text{ MPa} > f_y = 340 \text{ MPa (sudah seperti asumsi)}$$

Tulangan Tekan

$$f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{c-d'}{c} \right) \times 200000$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{90,61-40}{90,61} \right) \times 200000$$

$$= 345,1 \text{ MPa} > f_y = 340 \text{ MPa (sama seperti asumsi)}$$

$$M_{nsi} = C_c (d - a/2) + C_s \cdot (d - d')$$

$$= 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a (d - a/2) + A_s' f_s' (-d')$$

$$= 0,85 \times 30 \times 400 \times 65,47 \times (560 - 77,02/2) + 2454 \times 335,1 (560 - 40)$$

$$= 819198519,2 \text{ Nmm}$$

$$= 81919,9 \times 0,8 \text{ kgm}$$

$$= 65535,9 \text{ kgm} > M_u = 57294,51 \text{ kgm} \quad \text{OK!!!}$$

Analisa Tulangan Lapangan

$MU_{Lapangan} = 52395,65 \text{ Kgm}$

Perhitungan lebar efektif (be):

Berdasarkan Surat Keputusan SNI 2847:2019 :

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

$bw + 1/12 \cdot \text{bentang balok} = 400 + (1/12 \times 8000) = 1066,67 \text{ mm}$

$bw + 6 \cdot hf = 400 + (6 \times 120) = 1120 \text{ mm}$

$bw + 1/2 \text{ jarak bersih antar balok} = 400 + (0,5 \times (8000-400)) = 4200 \text{ mm}$

Maka diambil lebar efektif (be) yang terkecil yaitu = 1066,67 mm

Tahanan Momen (MR) = $\phi \cdot 0,85 \cdot f_c' \cdot be \cdot hf \cdot (d - hf / 2)$
 = $0,8 \times 0,85 \times 30 \times 1066,67 \times 120 \times (560 - 120/2)$
 = 13055604080 Nmm
 = 130556,04 kgm > 52395,65 kgm

MR > Mulap → T-Persegi

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

$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b$
 = $0,75 \times \frac{(0,85 \times \beta_1 \times f_c')}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$
 = $0,75 \times \frac{(0,85 \times 0,85 \times 30)}{340} \times \frac{600}{600 + 320}$
 = 0,03313

$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b_e \times d^2}$
 = $\frac{52395,65 \times 10^4}{0,8 \times 400 \times 560^2} = 52,21 \text{ kg/cm}^2 = 5,221 \text{ Mpa}$

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

$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right]$
 = $\frac{1}{13,333} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,549 \times 5,221}{320}} \right]$
 = 0,01845

$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$, dipakai $\rho = 0,01845$



$$A_s = \rho \cdot b_e \cdot d = 0,01845 \times 400 \times 560 = 4133 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 0,5 \cdot A_s = 0,5 \times 4133 = 2066,7 \text{ mm}^2$$

Dari nilai A_s dan A_s' yang didapat, jumlah tulangan atas dan bawah yang diperlukan yang digunakan adalah :

- Tulangan tekan: 5 D25 (2454 mm²)

- Tulangan tarik: 9 D25 (4418 mm²)

Kontrol Momen Kapasitas Penampang

Diketahui :

- Tulangan tarik = 9 D25 (4418 mm²)

- Tulangan tekan = 5 D25 (2454 mm²)

- f'_c = 30 Mpa

- ϵ_s = 0,003

- E = 200000 MPa

- Ukuran Balok = 40/60 cm

- d = 560 mm

- d' = 40 mm

Perhitungan:

Asumsi:

- Tulangan tekan (A_s') diasumsikan telah leleh $\Rightarrow f_s' = f_y$

- Tulangan tarik (A_s) diasumsikan telah leleh $\Rightarrow f_s = f_y$

$$T = A_s \times f_y = 4418 \times 320 = 1413760 \text{ N}$$

$$C_s = A_s' \times f_y = 2454 \times 320 = 785280 \text{ N}$$

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

$$= 0,85 \times 30 \times 400 \times a = 10200 a$$

Kesetimbangan gaya:

$$C_c + C_s = T$$

$$10200 a + 785280 = 1413760$$

$$a = 61,61 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{61,61}{0,85} = 72,489 \text{ mm} > d'$$

Cek Kontrol Tegangan:

Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} f_s &= \epsilon_s \cdot E_s \\ &= 0,003 \times \left(\frac{d-c}{c}\right) \times 200000 \\ &= 0,003 \times \left(\frac{560-72,489}{72,489}\right) \times 200000 \\ &= 4035,18 \text{ MPa} > f_y = 340 \text{ MPa (sudah seperti asumsi)} \end{aligned}$$

Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} f_s' &= \epsilon_s' \cdot E_s \\ &= 0,003 \times \left(\frac{c-d'}{c}\right) \times 200000 \\ &= 0,003 \times \left(\frac{72,489-40}{72,489}\right) \times 200000 \\ &= 268,9 \text{ MPa} < f_y = 320 \text{ MPa (Tidak sesuai dengan asumsi)} \end{aligned}$$

Dikarenakan tulangan tekan belum leleh (tidak sesuai dengan asumsi), maka dilakukan perhitungan ulang dengan menggunakan asumsi baru sebagai berikut.

Asumsi ke-2:

- Tulangan tekan (As') diasumsikan belum leleh $\Rightarrow f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s$
- Tulangan tarik (As) diasumsikan sudah leleh $\Rightarrow f_s = f_y$

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

Kesetimbangan gaya:

$$\begin{aligned} C_c + C_s &= T \\ 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \epsilon_c \cdot a + A_s' \cdot f_s' &= A_s \cdot f_y \\ 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \epsilon_c \cdot a + A_s' \cdot \epsilon_c \cdot \frac{\frac{a}{0,85} - d'}{0,85} \cdot E_s &= A_s \cdot f_y \\ 0,85 \times 30 \times 400 \times a + 2454 \times 0,003 \times \frac{1,18a-40}{1,18} \times 200000 &= 4418 \times 320 \\ 10200 a + 1472400 - \frac{49911864,41}{a} &= 1413760 \\ 10200a^2 + 1472400a - 49911864,41 &= 1413760a \end{aligned}$$



$$10200a^2 + 58640a - 49911864,41 = 0$$

$$a_1 = 67,14 \text{ mm}$$

$$a_2 = -72,9 \text{ mm}$$

$$a = 67,14 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{0,85} = \frac{67,14}{0,85} = 78,9 \text{ mm}$$

Cek Kontrol Tegangan:

Tulangan Tarik

$$f_s = \epsilon_s \times E_s$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{d-c}{c}\right) \times 200000$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{560-78,9}{78,9}\right) \times 200000$$

$$= 3658,5 \text{ MPa} > f_y = 340 \text{ MPa (sudah seperti asumsi)}$$

Tulangan Tekan

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

$$= 0,003 \times \left(\frac{c-d'}{c}\right) \times 200000$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{78,9-40}{78,9}\right) \times 200000$$

$$= 295,8 \text{ MPa} < f_y = 320 \text{ MPa (sudah seperti asumsi)}$$

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

$$= 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a (d - a/2) + A_s' f_s' (d - d')$$

$$= 0,85 \times 30 \times 400 \times 67,14 \times (560 - 67,14/2) + 2454 \times 295,8 (560 - 40)$$

$$= 737978468 \text{ Nmm}$$

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

$$73797,85 \times 0,8 \geq 52395,65$$

$$59038,28 \geq 52395,65 \text{ kgm} \dots\dots\dots \text{OK!!}$$



4.4.2 Penulangan Geser Balok 1 (Balok Melintang)

Dari analisis struktur gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan menggunakan software SAP2000 v20 diperoleh gaya geser maksimum.

$$V_u \text{ maksimum} = 24275,58 \text{ kg}$$

Syarat kebutuhan tulangan geser yaitu, dimana $V_n > V_c$

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

$$= \frac{1}{6} x \sqrt{30} x 400 x 560$$

$$= 204483,1 \text{ N} = 20448,31 \text{ kg}$$

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

$$V_n = \frac{V_u}{\Phi} = \frac{24275,58}{0,75} = 32367,44 \text{ kg}$$

$$V_n = 32367,44 \text{ kg} > V_c = 20448,31 \text{ kg} \text{ (Diperlukan tulangan geser)}$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_s = V_n - V_c = 32367,44 - 20448,31 = 11919,13 \text{ kg}$$

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

$$11919,13 < \left(\frac{2x\sqrt{30}}{3}\right) x 400 x 560$$

$$11919,13 < 817932,3 \text{ OK!}$$

Dicoba menggunakan tulangan geser (sengkang) $\emptyset 8$ ($A_v = 100 \text{ mm}^2$)

Jarak sengkang maksimum:

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

$$11919,13 = (100 x 240 x 560) / s$$

$$s = 1127,6 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{3} \cdot b_w \cdot d \cdot \sqrt{f_c'} = \frac{1}{3} \cdot 400 \cdot 560 \cdot \sqrt{30}$$

$$= 408966,17 \text{ N}$$

$$= 40896,62 \text{ kg}$$

$$V_s = 11280 \text{ kg} < 40896,2 \text{ kg} \text{ (jarak maksimum } d/2 = 560/2 = 280 \text{ mm)}$$

Maka digunakan tulangan geser (sengkang) $\emptyset 8$ -200.

4.4.3 Penulangan Balok 2 (Balok Memanjang)

Dari analisis struktur gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan menggunakan software SAP2000 v20 diperoleh momen maksimum pada tumpuan dan lapangan:

$$\text{MU Tump} = -36403,95 \text{ kgm.}$$

$$\text{MU Lap} = 21696,68 \text{ kgm.}$$

$$f'c = 30 \text{ Mpa.}$$

$$fy = 320 \text{ Mpa.}$$

$$\text{Bentang balok} = 7500 \text{ mm.}$$

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

$$\text{Dimensi balok} = 300 \times 500 \text{ mm.}$$

Analisis Tulangan Tumpuan

Nilai Momen terbesar yang didapatkan yaitu dari momen negatif

$$\text{Mu} = -36403,95 \text{ kgm}$$

Tinggi balok

$$(d) = 500 - 40 = 460 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = 1,4/fy = 1,4/320 = 0,00412$$

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

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

$$= 0,75 \times \frac{(0,85 \times 0,85 \times 30)}{340} \times \frac{600}{600 + 320}$$

$$= 0,03313$$

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

$$= \frac{-36403,95 \times 10^4}{0,8 \times 300 \times 460^2} = 71,68 \text{ kg/cm}^2 = 7,168 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times f'c} = \frac{320}{0,85 \times 30} = 12,549$$

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

$$= \frac{1}{12,549} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,549 \times 4,272}{320}} \right] = 0,0147$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}, \text{ dipakai } \rho = 0,0147$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot e \cdot d = 0,0147 \times 300 \times 460 = 3720,9 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 0,5 \cdot A_s = 0,5 \times 3720,9 = 1860,4 \text{ mm}^2$$

Dari nilai A_s dan A_s' yang didapat, jumlah tulangan atas dan bawah yang diperlukan yang digunakan adalah :

- Tulangan tekan : 5 D22 (1901 mm²)

- Tulangan tarik: 10 D22 (3801 mm²)

Kapasitas Penampang Momen

Diketahui :

- Tulangan tarik. = 10 D22 (3801 mm²)

- Tulangan tekan = 5 D22 (1901 mm²)

- f'_c = 30 Mpa

- ϵ_s = 0,003

- E = 2×10^5 Mpa

- Ukuran Balok = 30/50 cm

- d = 460 mm

- d' = 40 mm

Perhitungan :

Asumsi:

- Tulangan tekan (A_s') diasumsikan telah leleh $\Rightarrow f_s' = f_y$

- Tulangan tarik (A_s) diasumsikan telah leleh $\Rightarrow f_s = f_y$

$$T = A_s \cdot f_y = 3801 \times 320 = 1216320 \text{ N}$$

$$C_s = A_s' \cdot f_y = 1901 \times 320 = 608320 \text{ N}$$

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

$$= 0,85 \times 30 \times 300 \times a = 7650 a$$



Kesetimbangan gaya:

$$C_c + C_s = T$$

$$7650 a + 608320 = 1216320$$

$$a = 79,48 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{0,85} = \frac{79,48}{0,85} = 93,5 \text{ mm}$$

Cek Kontrol Tegangan:

Tulangan Tarik

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{d-c}{c} \right) \times 200000$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{460-93,5}{93,5} \right) \times 200000$$

$$= 2351,79 \text{ MPa} > f_y = 320 \text{ MPa (sudah seperti asumsi)}$$

Tulangan Tekan

$$f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s$$

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

$$= 0,003 \times \left(\frac{93,5-40}{93,5} \right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 343,3 \text{ MPa} > f_y = 320 \text{ MPa (sudah seperti asumsi)}$$

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

$$= 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a (d - a/2) + A_s' f_s' (d - d')$$

$$= 0,85 \times 30 \times 300 \times 79,48 \times (460 - 79,48 / 2) + 1901 \times 343,3 (460 - 40)$$

$$= 511172392,2 \text{ Nmm}$$

$$= 51117,24 \times 0,8 \text{ kgm}$$

$$= 40893,79 > M_u = 36403,95 \text{ kgm} \quad \mathbf{OK!!!}$$

Analisa Tulangan Lapangan

$M_{U\text{Lapangan}} = 21696,68 \text{ Kgm}$

Perhitungan lebar efektif (be):

Berdasarkan Surat Keputusan SNI 2847:2019 :

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

$b_w + 1/12 \times \text{bentang balok} = 300 + (1/12 \times 7500) = 925 \text{ mm}$

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

$b_w + 1/2 \text{ jarak bersih antar balok} = 300 + (0,5 \times (7500-300)) = 3900 \text{ mm}$

Maka diambil lebar efektif (be) yang terkecil yaitu = 925 mm

$M_r \text{ (momen tahanan) } = \phi \times 0,85 \times f_c' \times b_e \times h_r \times (d - h_r/2)$
 $= 0,8 \times 0,85 \times 30 \times 925 \times 120 \times (460 - 120/2)$
 $= 905760000 \text{ Nmm}$
 $= 905760 \text{ kgm} > 21696,68 \text{ kgm}$

$M_R > M_{U\text{lap}} \rightarrow \text{T-Persegi}$

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

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

$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b_e \times d^2}$
 $= \frac{21696,68 \times 10^4}{0,8 \times 300 \times 460^2} = 42,72 \text{ kg/cm}^2 = 4,27 \text{ Mpa}$

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

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



$$= \frac{1}{12,5490} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,5490 \times 4,27}{320}} \right]$$

$$= 0,00438$$

$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$, dipakai $\rho = 0,00438$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,00438 \times 300 \times 460 = 2030 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 0,5 \times A_s = 0,5 \times 2030 = 1014,88 \text{ mm}^2$$

Dari nilai A_s dan A_s' yang didapat, jumlah tulangan atas dan bawah yang diperlukan yang digunakan adalah :

- Tulangan tekan: 3 D22 (1140 mm²)

- Tulangan tarik: 6 D22 (2281 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 = 200000 MPa
- Ukuran Balok = 30/50 cm
- d = 460 mm
- d' = 40 mm

Perhitungan :

Asumsi :

- Tulangan tekan (A_s') diasumsikan telah leleh $\Rightarrow f_s' = f_y$

- Tulangan tarik (A_s) diasumsikan telah leleh $\Rightarrow f_s = f_y$

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

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

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

$$= 0,85 \times 30 \times 300 \times a = 7650 a$$

Kesetimbangan gaya :

$$C_c + C_s = T$$

$$7650 a + 364800 = 729920$$

$$a = 47,73 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{0,85} = \frac{47,73}{0,85} = 56,15 \text{ mm}$$

Cek Kontrol Tegangan:

Tulangan Tarik

$$f_s = \epsilon_s \times E_s$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{d-c}{c}\right) \times 200000$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{460-56,15}{56,15}\right) \times 200000$$

$$= 4315,3 \text{ Mpa.} > f_y = 320 \text{ Mpa. (sesuai dengan asumsi)}$$

Tulangan Tekan

$$f_{s'} = \epsilon_{s'} \times E_s$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{c-d'}{c}\right) \times 200000$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{56,16-40}{56,16}\right) \times 200000$$

$$= 172,95 \text{ MPa} < f_y = 320 \text{ MPa (tidak sesuai dengan asumsi)}$$

Dikarenakan tulangan tekan belum leleh (tidak sesuai dengan asumsi) maka dilakukan perhitungan ulang dengan menggunakan asumsi baru sebagai berikut.

Asumsi ke-2:

- Tulangan tekan (As') diasumsikan belum leleh $\Rightarrow f_{s'} = \epsilon_{s'} \cdot E_s$

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

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

Kesetimbangan gaya :

$$C_c + C_s = T$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot e \cdot a + A_{s'} \cdot f_{s'} = A_s \cdot f_y$$

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

$$0,85x 30 x 300 x a + 1140 x 0,003 x \frac{1,18a-40}{1,18a} x 200000 = 2281 x 320$$

$$7650a + 684000 - \frac{27360000}{a} = 729920$$

$$7650 a^2 + 684000 a - 27360000 = 729920 a$$

$$7650 a^2 - 45920a - 27360000 = 0$$

$$a1 = 62,73 \text{ mm}$$

$$a2 = -56,73 \text{ mm}$$

$$a = 62,73 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{0,85} = \frac{62,73}{0,85} = 73,8 \text{ mm}$$

Cek Kontrol Tegangan :

Tulangan Tarik

$$fs = \epsilon s x Es$$

$$= 0,003 x \left(\frac{d-c}{c} \right) x 200000$$

$$= 0,003 x \left(\frac{460-73,8}{73,8} \right) x 200000$$

$$= 3139,8 \text{ MPa} > fy = 320 \text{ MPa (sudah seperti asumsi)}$$

Tulangan Tekan

$$f's' = \epsilon s' x Es$$

$$= 0,003 x \left(\frac{c-d'}{c} \right) x 200000$$

$$= 0,003 x \left(\frac{73,8-40}{73,8} \right) x 200000$$

$$= 274,8 \text{ MPa} < fy = 320 \text{ MPa (sudah seperti asumsi)}$$

$$Mn = Cc (d - a/2) + Cs \cdot (d - d')$$

$$= 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a (d - a/2) + As' f's' (d - d')$$

$$= 0,85 x 30 x 300 x 62,73 x (460 - 62,73 / 2) + 1140 x 274,8 (460 - 40)$$

$$= 337269532,7 \text{ Nmm}$$

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

$$33726,95 \text{ kgm.} \times 0,8 \geq 21696,68 \text{ kgm.}$$

$$26981,56 \text{ kgm.} \geq 21696,68 \text{ kgm.} \quad \text{OK!!}$$

4.4.4 Penulangan Geser Balok 2 (Balok Melintang)

Dari analisis struktur gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan menggunakan software SAP2000 v20 diperoleh gaya geser maksimum.

$$V_u \text{ maksimum} = 17363,04 \text{ kg.}$$

Syarat kebutuhan tulangan geser : $V_n > V_c$

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

$$= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 300 \times 460$$

$$= 125976,18 \text{ N} = 12597,6 \text{ kg}$$

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

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{17363,04}{0,75} = 23150,72 \text{ kg}$$

$V_n = 23150,72 \text{ kg} > V_c = 12597,6 \text{ kg}$ (Diperlukan Tulangan Geser)

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_s = V_n - V_c = 23150,72 - 12597,6 = 10553,12 \text{ kg}$$

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

$$10553,12 < \left(\frac{2x\sqrt{30}}{3}\right) \times 300 \times 460$$

$$10553,12 < 503904,75 \quad \text{OK!}$$

Dicoba menggunakan tulangan geser (sengkang) $\phi 8$ ($A_v = 100 \text{ mm}^2$)

Jarak sengkang maksimum:

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

$$10553,12 = (100 \times 240 \times 460) / s$$

$$s = 1046,14 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{3} \cdot b_w \cdot d \cdot \sqrt{f_c'} = \frac{1}{3} \cdot 300 \cdot 460 \cdot \sqrt{30}$$

$$= 251952,38 \text{ N}$$

$$= 25195,24 \text{ kg}$$

$V_s = 10553,12 \text{ kg} < 25195,24 \text{ kg}$ (jarak maksimum $d/2 = 460/2 = 230 \text{ mm}$)



Maka digunakan tulangan geser (sengkang) $\phi 8-200$.

Tabel 4. 4 Rekap penulangan balok gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan

Balok	Tumpuan					Lapangan					Sengkang
	Tarik		Tekan			Tarik		Tekan			
B1 (40/60)	10	D 25	5	D 25	9	D 25	5	D 25		$\phi 8-200$	
B2 (30/50)	10	D 22	5	D 22	6	D 22	3	D 22		$\phi 8-200$	

Sumber: Perhitungan

4.5 Perencanaan dan Analisis Kekuatan Kolom

4.5.1 Perencanaan Kolom K1 (60 x 60)

Dari analisis struktur gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan menggunakan software SAP2000 v20 didapatkan

momem maksimum + sebesar 44708,17 kgm

momen maksimum - sebesar 44257,68 kgm

▪ **Data Kolom:**

b = 600 mm

h = 600 mm

d' = 40 mm

d = 560 mm

L = 4000 mm = 4 m

Pu = 433756,86 kg = 4337568,6 N

MA = 44257,68 kgm

MB = 44708,17 kgm

▪ **Data Balok:**

b = 400 mm

h = 600 mm

d' = 40 mm

d = 560 mm

L1 = 8000 mm = 8 m

L2 = 7500 mm = 7,5 m

▪ **Data Material:**

$$f'c = 30 \text{ MPa.}$$

$$fy = 320 \text{ MPa.}$$

$$Ec = 4700 \sqrt{f'c} = 4700 \sqrt{30} = 25742,96 \text{ Mpa.}$$

▪ **Menghitung Kekakuan Kolom**

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

$$I_{g.kolom} = \frac{1}{12} x 600 x 600$$

$$I_{g.kolom} = 10800000000 \text{ mm}^4$$

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

$$\beta_D = \frac{44257,68}{44708,17}$$

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

$$EI_{kolom} = \frac{0,4 Ec Ig}{1 + \beta_D} = \frac{0,4 x 25742,96 x 10800000000}{1 + 0,989} = 5,588 x 10^{14} \text{ N/mm}^2$$

▪ **Menghitung Kekakuan Balok**

$$I_{g.balok} = \frac{1}{12} b x h^3$$

$$I_{g.balok} = \frac{1}{12} x 400 x 600^3$$

$$I_{g.balok} = 7200000000 \text{ mm}^4$$

$$EI_{balok} = Ec x I_{g.balok} = 25742,96 x 7200000000 = 1,853 x 10^{14} \text{ N/mm}^2$$

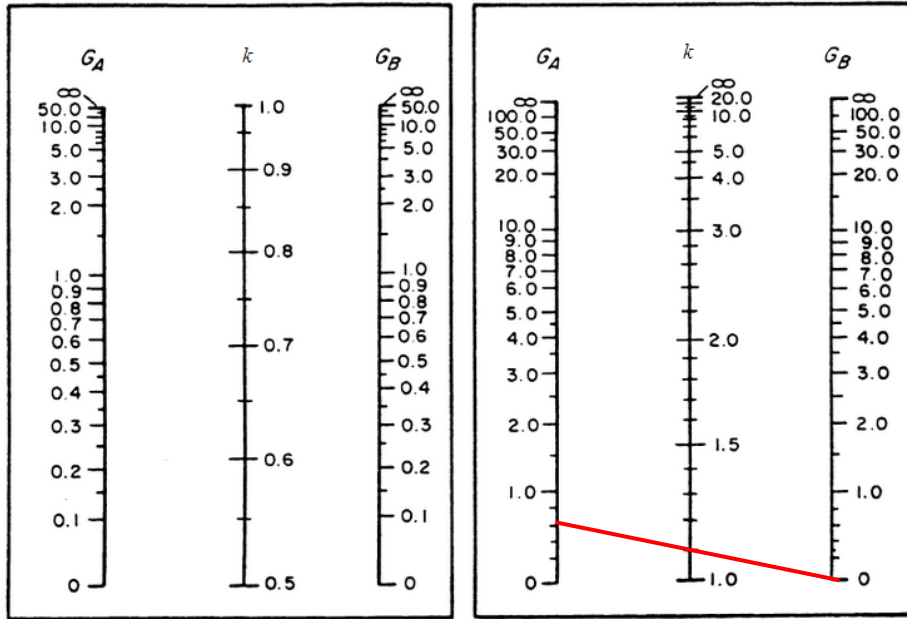
▪ **Perhitungan G**

$$G_{atas} = \frac{\sum \frac{EI}{Lk}}{\sum \frac{EI}{Lb}} = \frac{2 x \frac{5,588 x 10^{14}}{4000}}{\frac{1,853 x 10^{14}}{8000} + \frac{1,853 x 10^{14}}{7500}}$$

$$G_{atas} = 0,583$$

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





(a) portal tidak bergoyang.

(b) portal bergoyang.

Berdasarkan nomogram faktor panjang efektif, diperoleh nilai k sebesar $= 1,1$

▪ **Cek Kelangsingan Kolom**

$$\begin{aligned}
 kLu &= k \cdot Lk \\
 &= 1,1 \times 4000 \\
 &= 4400 \text{ mm} \\
 r &= 0,3 \times h \\
 &= 0,3 \times 600 \\
 &= 180 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\frac{kLu}{r} = \frac{4400}{180} = 21$$

Karena $\frac{kLu}{r} = 24,4 < 22 \rightarrow$ maka kolom termasuk dalam kolom langsing

▪ **Pembesaran Momen**

$$\begin{aligned}
 P_c &= \frac{\pi^2 \times EI k}{(kLu)^2} \\
 P_c &= \frac{\pi^2 \times 5,588 \times 10^{14}}{(4400)^2} \\
 P_c &= 28513446,96 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{P_u}{0,65 \times P_c}}$$



$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{4337568,6}{0,65 \times 28513446,96}}$$

$\delta_s = 1,31 \geq 1 \rightarrow$ Terjadi Pembesaran Momen

$$M_c = M_{1ns} + \delta_s \times M_u$$

$$M_c = 44257680 + 1,31 \times 44708170$$

$$M_c = 102626205,44 \text{ Nmm}$$

$$M_c = 102626,2 \text{ Kg}$$

▪ **Penulangan Kolom**

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

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

$$A_g = 600 \times 600 = 360000 \text{ mm}^2$$

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

$$= 0,01 \times 600 \times 560 = 3360 \text{ mm}^2$$

Dicoba:

Tulangan tarik = **9-D22** $\rightarrow A_s = 3421 \text{ mm}^2$

Tulangan tekan = **9-D22** $\rightarrow A_s' = 3421 \text{ mm}^2$

▪ **Cek Keadaan Imbang**

$$C_b = \frac{600 \times d}{600 + f_y} = \frac{600 \times 560}{600 + 320} = 365,22 \text{ mm}$$

$$f'_s = \frac{600(C_b - d')}{C_b} = \frac{600(365,22 - 40)}{365,22} = 534,28$$

$f_y (= 320) < f'_s (= 534,28)$ (tulangan tekan sudah leleh)

maka digunakan $f'_s = f_y$

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

$$= 0,85 \times 365,22 = 310,44 \text{ cm}$$

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

$$= (0,85 \times 30 \times 310,44 \times 600)$$

$$= 4749652,17 \text{ N}$$

$$\phi Pn_b = 0,65 \times 4749652,17 = 3087273,91 \text{ N} < Pu = 4337568,6 \text{ N}$$

\rightarrow Kolom mengalami runtuh tekan



▪ **Cek Penampang Kolom**

$\rho = \rho'$ maka,

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{102626205,44}{4337568,6} = 23,66 \text{ mm}$$

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

$$P_n = \frac{3421 x 320}{23,66 \overline{560 - 40} + 0,5} + \frac{600 x 600 x 30}{(560)^2} + 1,18$$

$$P_n = 10746072,38 \text{ N}$$

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

$$= 0,65 x 10746072,38 \text{ N}$$

$$= 6984947,04 > P_u = 4337568,6 \text{ N} \rightarrow \text{OK!}$$

▪ **Tulangan Geser**

$$V_u = 12311,49 \text{ kg} = 123114,9 \text{ N}$$

Pemeriksaan kebutuhan tulangan geser

Syarat kebutuhan tulangan geser : $V_n > V_c$

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

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 600 \times 560 \times \left[1 + \frac{123114,9}{14 \times 600 \times 600} \right]$$

$$= 314217,166 \text{ N} = 31421,716 \text{ kg}$$

$$V_n = \frac{12311,49}{0,6} = 20519,15 \text{ kg} < V_c = 31421,71 \text{ kg}$$

→ Menggunakan tulangan geser praktis

Digunakan tulangan geser (sengkang) $\phi 8-200$



4.5.2 Perencanaan Kolom K2 (50 x 50)

Dari analisis struktur gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan menggunakan software SAP2000 v20 didapatkan

momem maksimum + sebesar 21178,96 kgm

momen maksimum - sebesar 21636,87 kgm

- **Data Kolom:**

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

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

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

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

$$L = 4000 \text{ mm} = 4 \text{ m}$$

$$P_u = 275295,3 \text{ kg} = 2752953,3 \text{ N}$$

$$M_A = 21178,96 \text{ kgm}$$

$$M_B = 21636,87 \text{ kgm}$$

- **Data Balok:**

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

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

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

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

$$L_2 = 7500 \text{ mm} = 7,5 \text{ m}$$

- **Data Material:**

$$f'_c = 30 \text{ MPa.}$$

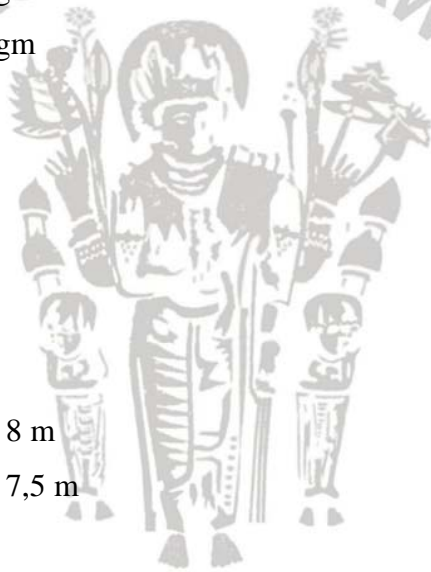
$$f_y = 320 \text{ MPa.}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{30} = 25742,96 \text{ MPa.}$$

- **Menghitung Kekakuan Kolom**

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

$$I_{g_{kolom}} = \frac{1}{12} x 500 x 500$$



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

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

$$\beta_D = \frac{21178,96}{21636,87}$$

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

$$EI_{kolom} = \frac{0,4 E_c I_g}{1 + \beta_D} = \frac{0,4 \times 25742,96 \times 5208333333}{1 + 0,98} = 2,7 \times 10^{13} \text{ N/mm}^2$$

▪ **Menghitung Kekakuan Balok**

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

$$I_{gbalok} = \frac{1}{12} x 400 x 600^3$$

$$I_{gbalok} = 72000000000 \text{ mm}^4$$

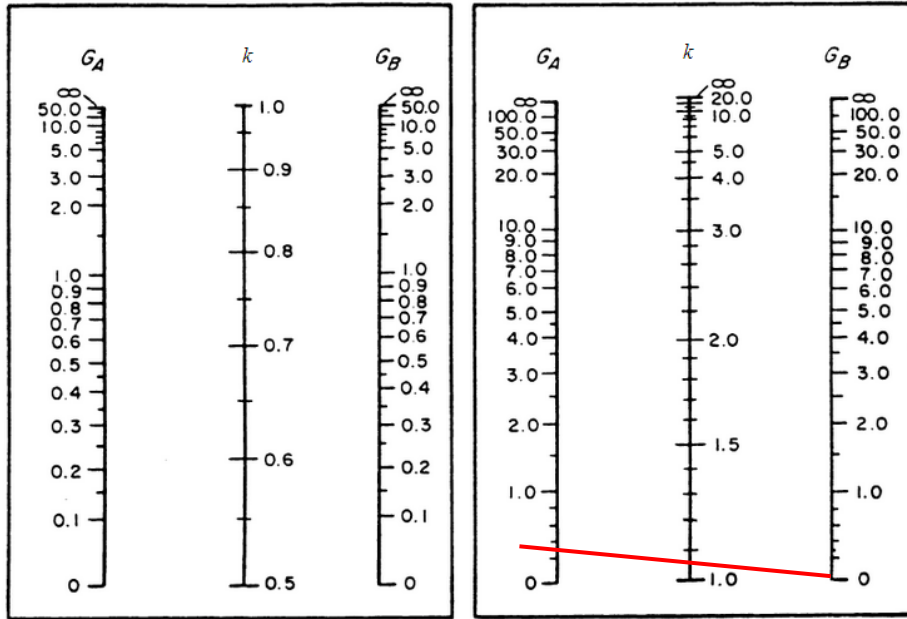
$$EI_{balok} = E_c x I_{gbalok} = 25742,96 \times 72000000000 = 1,85 \times 10^{14} \text{ N/mm}^2$$

▪ **Perhitungan G**

$$G_{atas} = \frac{\sum \frac{EI}{Lk}}{\sum \frac{EI}{Lb}} = \frac{2 \times \frac{2,7 \times 10^{13}}{4000}}{\frac{1,85 \times 10^{14}}{8000} + \frac{1,85 \times 10^{14}}{7500}}$$

$$G_{atas} = 0,28$$

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



(a) portal tidak bergoyang.

(b) portal bergoyang.

Berdasarkan nomogram, diperoleh $k = 1,04$

▪ **Cek Kelangsingan Kolom**

$$\begin{aligned}
 kLu &= k \cdot Lk \\
 &= 1,04 \times 4000 \\
 &= 4160 \text{ mm} \\
 r &= 0,3 \times h \\
 &= 0,3 \times 500 \\
 &= 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\frac{kLu}{r} = \frac{4200}{150} = 27$$

Karena $\frac{kLu}{r} = 28 > 22 \rightarrow$ maka, kolom termasuk kolom langsing

▪ **Pembesaran Momen**

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

$$P_c = \frac{\pi^2 \times 2,7 \times 10^{13}}{(4160)^2}$$

$$P_c = 15469274,17 \text{ N}$$

$$\delta_s M_s = \frac{M_s}{1 - \frac{P_u}{0,75 \times P_c}}$$



$$\delta sM_s = \frac{216368700}{2752953,3} \cdot \frac{1}{1 - 0,75 \times 15469274,17}$$

$$\delta sM_s = 283681703,7 \geq M_s = 211789600 \rightarrow \text{Terjadi pembesaran momen}$$

$$M_c = M_{1ns} + \delta sM_s$$

$$M_c = 211789600 + 283681703,7$$

$$M_c = 509731405,48 \text{ Nmm}$$

▪ **Penulangan Kolom**

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

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

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

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

Dicoba :

Tulangan tarik = **10-D22** $\rightarrow A_s = 3801 \text{ mm}^2$

Tulangan tekan = **10-D22** $\rightarrow A_s' = 3801 \text{ mm}^2$

▪ **Cek Keadaan Imbang**

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

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

$$f_y (= 320) < f_s' (= 520) \quad (\text{tulangan tekan sudah leleh})$$

maka digunakan $f_s = f_y$

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

$$= 0,85 \times 300$$

$$= 255 \text{ cm}$$

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

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

$$= 3251250 \text{ N}$$

$$\phi P_{n_b} = 0,65 \times 3251250 = 2113312,5 \text{ N} < P_u = 2752953,3$$

\rightarrow Kolom mengalami runtuh tekan



▪ **Cek Penampang Kolom**

$\rho = \rho'$ maka,

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{509731405,48}{2752953,3} = 185,16 \text{ mm}$$

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

$$P_n = \frac{2661 \times 320}{95,26 \times 460 - 40} + 0,5 \frac{500 \times 500 \times 30}{3 \times 400 \times 95,26} + 1,18$$

$$P_n = 5214094,94 \text{ N}$$

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

$$= 0,65 \times 5214094,94 \text{ N} = 2796118,08 > P_u = 2752953,3 \text{ N} \rightarrow \text{OK!}$$

▪ **Tulangan Geser**

$$V_u = 10558,86 \text{ kg} = 105588,6 \text{ N}$$

Memeriksa kebutuhan tulangan geser (sengkang)

Syarat kebutuhan tulangan geser (sengkang) :

$$V_n > V_c$$

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

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 500 \times 460 \times \left[1 + \frac{105588,6}{14 \times 500 \times 500} \right]$$

$$= 216294,43 \text{ N} = 21629,43 \text{ kg}$$

$$V_n = \frac{10558,86}{0,6} = 17598,1 \text{ kg} < V_c = 21629,43 \text{ kg}$$

→ Menggunakan tulangan geser praktis

Digunakan tulangan geser (sengkang) ø8-200

Tabel 4. 5 Rekap penulangan kolom

Kolom	Tulangan						Sengkang
	Tarik			Tekan			
K1 (60/60)	9	D	22	9	D	22	ø8-200
K2 (50/50)	10	D	22	10	D	22	ø8-200

Sumber: Perhitungan



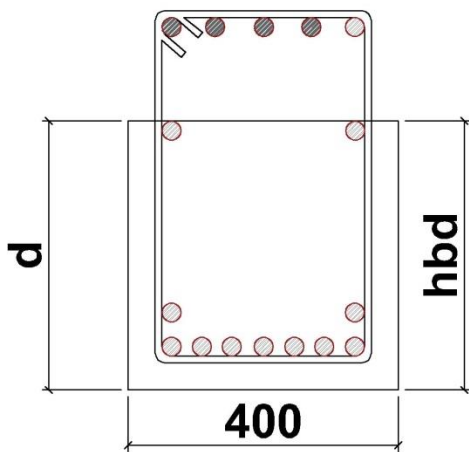
4.6 Perhitungan Balok Pracetak

Dalam pelaksanaan perhitungan balok pracetak (*precast*) akan di bagi menjadi 2 tahap, yaitu :

- Langkah perhitungan balok pracetak sebelum dicor penuh dengan ukuran balok pracetak 400 x 400 mm
- Langkah perhitungan balok pracetak setelah dicor penuh, dengan ukuran balok yaitu 400x600 mm.

4.6.1 Balok Pracetak Sebelum Cor Penuh

Ketika dipasang balok pracetak (*precast*) sebelum di cor penuh, seluruh balok akan menanggung beban balok itu sendiri.



Gambar 4. 15 Balok pracetak sebelum di cor

Beban yang bekerja pada balok induk atau balok utama

Berat balok (berat sendiri)

$$\begin{aligned}
 qd &= B_j \text{ beton} \times b \times h \\
 &= 2,4 \times 0,4 \times 0,4 \\
 &= 0,384 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

Momen maksimum yang terjadi pada gelagar utama dengan bentang

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

$$\begin{aligned}
 Mu &= 1/8 \times qd \times L^2 \\
 &= 1/8 \times 0,384 \times 8^2 \\
 &= 3,04 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

$$Mu = 3040000 \text{ Nmm.}$$

Tulangan lentur balok induk

9D – 25 maka menggunakan As total = 4418 mm²

$$T = Cc$$

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

$$4418 \times 320 = 30 \times 0,5 \times 400 \times y$$

$$y = 236 \text{ mm}$$

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

Guna memperoleh nilai d (tebal efektif minimal)

$$3040000 = 1413760 (d - 236/2)$$

lalu diperoleh nilai d min = 120 mm.

$$h_{ba}' = h_{ba} - h_{pelat} = 600 - 120 = 480 \text{ mm.}$$

Cek ketebal efektif gelagar utama:

$$d = 400 - 40 - 0,5 \times 25$$

$$= 347,5 \text{ mm} > 120 \text{ dmin} \dots \text{OK!}$$

Analisis dan desain penampang gelagar utama metode pracetak (*precast*) dengan dimensi 400 x 400 mm dengan Asumsi tulangan lentur gelagar utama.

9D – 25 dengan memakai As total = 4418 mm²

Kapasitas momen penampang (Mn)

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

$$= 1413760 (347,5 - 236/2)$$

$$= 324457920 \text{ Nmm} > M_u = 3040000 \text{ Nmm} \text{ OK!}$$

Cek lendutan (mm)

$$\delta = \frac{5xqdxLxLxLxL}{384 \times EI}$$

$$= \frac{5 \times 384 \times 8000^4}{384 \times 25742,96 \times 400 \times 400^3} = 30,7 \text{ mm}$$

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

$$= 8000 / 240$$

$$= 33,333 \text{ mm} > 30,7 \delta \dots \text{OK!}$$

Analisa Tegangan Penampang Nilai tegangan ijin:

$$f_c \text{ ijin} = 0,33 \times f_c = 0,33 \times 30 = 9,9 \text{ MPa}$$

$$f_s \text{ ijin} = 0,58 \times f_y = 0,58 \times 320 = 185,6 \text{ Mpa}$$

Balok induk sebelum cor penuh

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

$$\sigma_c = - \frac{3040000 \times \frac{236}{12} \times 400 \times 400^3}{12 \times 400 \times 400^3}$$

$$= -0,336 \text{ Mpa} < f_c \text{ ijin}$$

OK!

$$\sigma_s = \frac{3040000 \times \frac{400-236}{12} \times 400 \times 400^3}{12 \times 400 \times 400^3}$$

$$= 0,234 \text{ Mpa} < f_s \text{ ijin}$$

OK!

4.6.2 Balok Pracetak Setelah Cor Penuh

Menghitung tegangan pada tengah bentang

Momen pada tengah bentang balok

$$M_u = 52395,65 \text{ kgm} = 52395650 \text{ Nmm}$$

$$I_{\text{comp}} = \frac{1}{12} \times 400 \times 600^3 = 7200000000 \text{ mm}^4$$

Menghitung nilai y

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$A_s = 4418 \text{ mm}^2$$

$$d = 600 \text{ mm}$$

$$T = C_c$$

$$A_s \times f_y = 0,85 \times f_c \times 0,5 \times b \times y$$

$$4418 \times 320 = 0,85 \times 30 \times 0,5 \times 400 \times y$$

$$y = 277 \text{ mm}$$

Menghitung tegangan pada penampang balok setelah cor penuh

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

$$\sigma_c' = - 523956500 \frac{277}{7200000000} = -2,02 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_s' = 523956500 \frac{400-277}{7200000000} = 8,93 \text{ Mpa}$$

Resultan Tegangan

$$f_{atas} = -2,02 \text{ MPa} < 9,9 \text{ fc ijin} \dots \text{OK!}$$

$$f_A = \sigma_c$$

$$= -0,336 \text{ MPa} < 9,9 \text{ fc ijin} \dots \text{OK!}$$

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

$$= 0,234 + 8,9 = 9,134 \text{ MPa} < 185,6 \text{ fs ijin} \dots \text{OK!}$$

Menghitung tegangan yang terjadi pada ujung bentang

Momen pada ujung bentang balok

$$\text{Mu} = 57294,51 \text{ kgm} = 57294510 \text{ Nmm}$$

$$I_{comp} = \frac{1}{12} \times 400 \times 600^3 = 7200000000 \text{ mm}^4$$

Menghitung nilai y

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$A_s = 4418 \text{ mm}^2$$

$$D = 600 \text{ mm}$$

$$T = C_c$$

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

$$4418 \times 320 = 0,85 \times 30 \times 0,5 \times 400 \times y$$

$$y = 277 \text{ mm}$$

Menghitung tegangan pada penampang balok setelah cor penuh

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

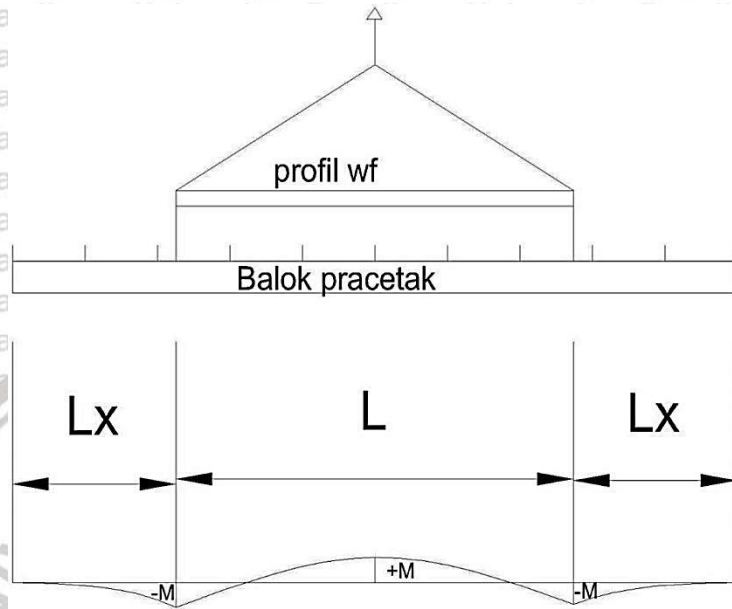
$$\sigma_c = - 572945100 \frac{277}{7200000000} = -22,05 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_s = 572945100 \frac{400-277}{7200000000} = 9,77 \text{ Mpa}$$



4.7 Analisa Balok Pracetak Saat Pengangkatan

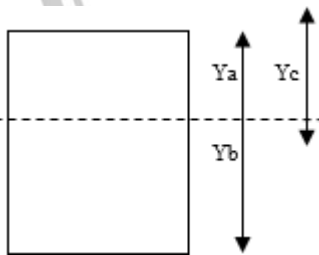
Balok pracetak (*precast*) diangkut dengan alat berat berupa tower crane yang diangkat oleh dua titik angkat. Analisis kondisi ini harus diperiksa ketika pengangkutan terjadi. Pada gambar 4. 16 menjelaskan tentang model struktur balok pracetak pada saat pengangkatan.



Gambar 4.16 Model struktur balok pracetak (*precast*) pada saat pengangkatan

Analisa balok pracetak (*precast*) pada saat pengangkatan

Dimensi balok pracetak (*precast*) (40 / 40) 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 (40 / 40)

$$L = 8$$

$$Y_t = y_b = \frac{40}{2} = 20 \text{ cm}$$

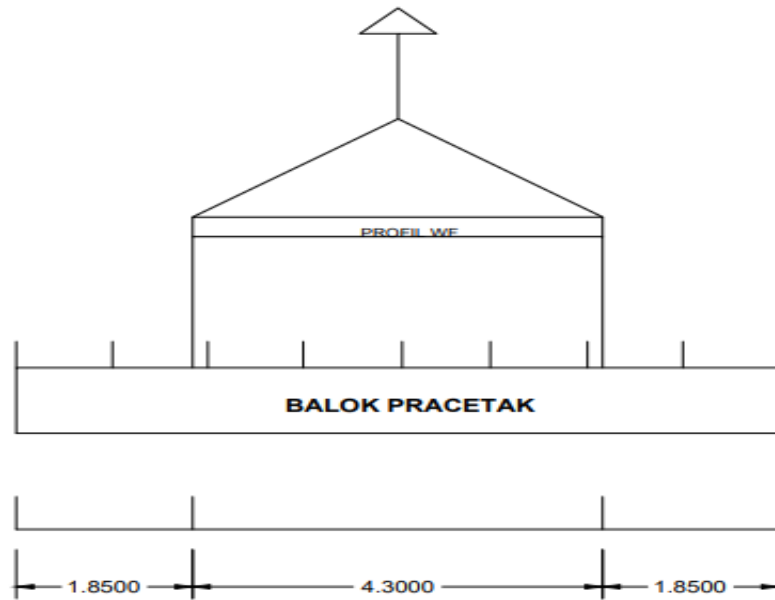
$$I = \frac{1}{12} \times 40 \times 40^3 = 213333,3 \text{ cm}^4$$

$$Y_c = 20 + 8 = 28 \text{ cm}$$

$$X = \frac{\left(1 + \frac{4 x Y_c}{L x t g 45}\right)}{\left(2 x \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_c}{Y_b} \left(1 + \frac{4 x Y_c}{L x t g 45}\right)}\right)\right)}$$

$$X = \frac{\left(1 + \frac{4 x 28}{800 x t g 45}\right)}{\left(2 x \left(1 + \sqrt{1 + \frac{20}{20} \left(1 + \frac{4 x 28}{800 x t g 45}\right)}\right)\right)} = 0,231 \text{ m}$$

$$X \times L = 0,231 \times 800 = 185,15 \text{ cm} = 1,85 \text{ m}$$



Gambar 4. 17 Jarak tumpuan saat pengangkatan balok

Pembebanan:

$$\text{Balok} = 0,35 \times 0,400 \times 8 \times 2400 = 3072 \text{ kg}$$

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

$$W = 3232 \text{ kg}$$

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

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

$$= \frac{1,2 \times 1,2 \times 3232}{2}$$

$$= 2327,04 \text{ kg}$$

$$T = \frac{2327,04}{\sin 45} = 3290,93 \text{ kg}$$

Tulangan angkat

$$P_u = 3290,93 \text{ kg}$$

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

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

$$213,33 \geq 2,215$$

Dipakai tulangan ϕ 16

Momen yang terjadi:

Pembebanannya:

$$\text{Balok} = 0,40 \times 0,40 \times 2400 = 384 \text{ kg/m}$$

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

$$W = 404 \text{ kg/m}$$

Untuk menangani beban kejut akibat pengangkatan balok, momen pengangkatan

dikali dengan faktor pengangkatan sebesar 1,2:

Momen lapangan yang terjadi:

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

$$= \frac{404 \times 8^2}{8} \left(1 - 4 \times 0,23 + \frac{4 \times 0,28}{8 \times tg45} \right) 1,2 = 830,955 \text{ kgm}$$

Tegangan yang terjadi:

$$F = \frac{M}{wt} = \frac{8309550}{\frac{1}{6} \times 40 \times 40^2} = 0,779 \text{ Mpa}$$

$$F_r = 0,7 \times \sqrt{f'c} = 0,7 \times \sqrt{30} = 3,834 \text{ Mpa}$$

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

Momen tumpuan yang terjadi:

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

$$= \frac{404 \times 0,23^2 \times 8^2}{2} \times 1,2$$

$$= 830,955 \text{ kgm}$$

Tegangan yang terjadi

$$F = \frac{M}{Wt} = \frac{8309550}{\frac{1}{6} \times 40 \times 40^2} = 0,779 \text{ Mpa}$$

$$Fr = 0,7 \times \sqrt{f'c} = 0,7 \times \sqrt{30} = 3,8344 \text{ Mpa}$$

$F < Fr$ **OK!**

4.8 Perencanaan Sambungan Beton Pracetak (*precast*)

Desain sambungan yang digunakan pada beton pracetak adalah sambungan basah dengan metode prefabrikasi tanpa tulangan penahan, sehingga penyangga balok dianggap sebagai sambungan (momen pada sambungan balok-kolom di anggap tidak ada atau 0), apabila memikul beban sendiri dari balok pracetak. Ketika sambungan telah mengeras dan mengalami gaya eksternal, sambungan akan menjadi penyangga penjepit (pada titik tertentu pada sambungan balok-kolom).

4.8.1 Panjang Penyaluran Tulangan

Berdasar Surat Keputusan SNI T-15-1991-03 menjelaskan bahwa panjang penyaluran tulangan untuk D 36 dan lebih kecil adalah:

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

Dengan persyaratan yaitu harus kurang dari : $0,06 \times d_b \times f_y$

Dimana:

l_{db} = Lebar penyaluran (mm)

A_b = Luas (mm^2)

d_b = Diameter (mm)

Data Perhitungan:

Menggunakan balok ukuran 400 x 400 mm dengan tulangan D-25

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

$$f'c = 30 \text{ MPa}$$

$$\alpha \text{ (variabel lokasi tulangan)} = 1$$

$$\beta \text{ (variabel pelapis)} = 1$$

$$\gamma \text{ (variabel batang tulangan)} = 0,8$$

$$\lambda \text{ (variabel berat beton)} = 1$$

$$d_b \text{ (diameter tulangan balok)} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{variabel selimut beton} = 0,7$$

variabel sengkang $= 0,8$

Menentukan Ld (tulangan keadaan tertarik)

$$Ld = \frac{12 \times fy \times \alpha \times \beta \times \lambda \times db}{25 \times \sqrt{f'c}} = \frac{12 \times 320 \times 1 \times 1 \times 1 \times 25}{25 \times \sqrt{30}} = 701,084 \text{ mm}$$

$Ld > 300 \text{ mm}$, maka digunakan Ld sebesar 701,084 mm

Menentukan Ldb (tulangan keadaan tertekan)

$$Ldb = \frac{db \times fy}{4 \times \sqrt{f'c}} = \frac{25 \times 320}{4 \times \sqrt{30}} = 365,148 \text{ mm}$$

$Ldb > 200 \text{ mm}$, maka digunakan Ldb sebesar 365,148 mm

Menentukan Ldh (tulangan berkait dalam keadaan tertarik)

$$Ldh = \frac{100 \times db}{\sqrt{f'c}} = \frac{100 \times 25}{\sqrt{30}} = 456,435 \text{ mm}$$

Ldh harus dikalikan dengan faktor sengkang dan juga faktor selimut beton.

$$Ldh = 0,7 \times 0,8 \times 456,435 = 255,604 \text{ mm}$$

$Ldh > 150 \text{ mm}$, maka digunakan Ldh sebesar 255,604 mm



4.9 Analisa Sambungan Balok-Kolom Pracetak

4.9.1 Analisa Sambungan Untuk Balok-Kolom Tengah

Jumlah tulangan yang sedang tertekan 5 – D 25 ($A_s = 2454 \text{ mm}^2$)

$$A_g = A_s = 2454 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_g \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'c \times b}$$

$$= \frac{2454 \times 1,25 \times 320}{0,85 \times 30 \times 400}$$

$$= 96,235 \text{ mm}$$

$$M_n^- = A_s \times f_y \times (d-a/2)$$

$$= 2454 \times 320 \times (560 - 96,235/2)$$

$$= 401970974,1 \text{ Nmm} = 401,97 \text{ kNm}$$

Jumlah tulangan yang sedang tertarik, 10 D 25 ($A_s = 4909 \text{ mm}^2$)

$$A_g = A_s = 4909 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_g \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'c \times b}$$

$$= \frac{4909 \times 1,25 \times 320}{0,85 \times 30 \times 400}$$

$$= 192,509 \text{ mm}$$

$$M_n^+ = A_s \times f_y \times (d-a/2)$$

$$= 4909 \times 320 \times (560 - 192,509/2)$$

$$= 728487899,6 \text{ Nmm} = 728,487 \text{ kNm}$$

$$M_u = \frac{M_n^- + M_n^+}{2}$$

$$= \frac{401,97 + 728,49}{2} = 565,229 \text{ kNm}$$

$$M_u = 565,229 \text{ kNm} < M_n \text{ max} = 728,487 \text{ kNm} \dots \text{OK!}$$

$$V_h = \frac{2 \times M_u}{L} = \frac{2 \times 565,229}{\frac{8}{2}} = 282,615 \text{ kN}$$

$$T1 (9-D22) = A_s \times 1,25 \times f_y$$

$$= 3421 \times 1,25 \times 320$$

$$= 1368400 \text{ N} = 1368,4 \text{ kN}$$

$$T2 (9-D22) = A_s \times 1,25 \times f_y$$

$$= 3421 \times 1,25 \times 320$$

$$= 1368400 \text{ N} = 1368,4 \text{ kN}$$

Gaya geser yang terjadi

$$V = T1 + T2 - V_h$$

$$= 1368,4 + 1368,4 - 267,8 = 2468,9 \text{ kN}$$

Kuat geser nominal

$$\phi V_c = 0,75 \times 1,7 \times A_j \times \sqrt{f'_c}$$

$$= 0,75 \times 1,7 \times (600 \times 600) \times \sqrt{30}$$

$$= 2514046,54 \text{ N}$$

$$= 2514,05 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 2514,05 \text{ kN} > V = 2468,9 \text{ kN} \text{ (Sambungan Aman)}$$

4.9.2 Analisa Sambungan Untuk Balok-Kolom Pinggir

Jumlah tulangan yang sedang tertarik 10 – D25 (As = 4909 mm²)

$$A_g = A_s = 4909 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_g \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{4909 \times 1,25 \times 320}{0,85 \times 30 \times 400} = 192,51 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - a/2)$$

$$= 4909 \times 320 \times (560 - 192,51/2)$$

$$= 728487899,6 \text{ Nmm} = 728,49 \text{ kNm}$$

$$M_u = \frac{M_n}{2}$$

$$= \frac{728,49}{2} = 364,24 \text{ kNm}$$

$$364,24 \text{ Mu} < 728,49 \text{ Mn} \dots \text{OK!}$$

$$V_h = \frac{2 \times M_u}{L}$$

$$= \frac{2 \times 364,24}{\frac{8}{2}}$$

$$= 182,12 \text{ kN}$$

$$T1 (10-D22) = A_s \times 1,25 \times f_y$$

$$= 3801 \times 1,25 \times 320$$

$$= 1520400 \text{ N} = 1520,4 \text{ kN}$$

Gaya geser yang terjadi

$$\begin{aligned}
 V &= T1 - V_h \\
 &= 1520,4 - 182,12 \\
 &= 1338,28 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kuat geser nominal

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,75 \times 1,7 \times A_j \times \sqrt{f_c} \\
 &= 0,75 \times 1,7 \times (500 \times 500) \times \sqrt{30} \\
 &= 1745865,65 \text{ N} = 1745,87 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 1745,87 \text{ kN} > V = 1338,28 \text{ kN} \quad (\text{Sambungan Aman})$$



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Analisis perencanaan sambungan balok – kolom menggunakan sistem balok pracetak (*Precast*) pada gedung Pemerintah Kabupaten Lamongan ini dilakukan secara manual dengan bantuan *software* SAP 2000 v20, maka didapat hasil dari analisis sebagai berikut:

- a. Hasil analisis perencanaan balok – kolom sistem pracetak sebelum cor penuh dengan beban yang dipikul oleh balok tersebut merupakan berat sendiri dari balok. Saat pengangkatan, balok menunjukkan bahwa jarak tumpuan saat pengangkatan sejauh 1,85 m dari tepi balok. balok induk pracetak yang berukuran 40/40 dengan tulangan lentur yang mengalami tarik yaitu 9-D25 dan tulangan yang mengalami tekan yaitu 5-D25 serta sengkang \emptyset 8-250 menghasilkan momen tumpuan yang besarnya sama dengan momen lapangan sebesar 830,955 kgm.
- b. Analisis hubungan balok – kolom pracetak baik yang ditengah maupun di pinggir struktur yang dilakukan pada kondisi setelah cor penuh dengan beban yang dipikul merupakan beban mati (D), beban hidup (L) dan beban gempa menunjukkan hasil yang aman terhadap lentur dan geser. Hal ini dapat dibuktikan dengan hasil analisis kapasitas momen di daerah tengah bentang menunjukkan momen nominal sebesar 728,488 kNm dimana lebih besar dari momen ultimate yang terjadi yaitu sebesar 565,229 kNm dan kuat geser nominal sebesar 2514,047 kN dimana lebih besar dari gaya geser yang terjadi yaitu sebesar 2454,185 kN, sedangkan hasil analisis sambungan di daerah pinggir bentang menunjukkan momen nominal sebesar 728,487 kNm dimana lebih besar dari momen ultimate yang terjadi yaitu sebesar 364,244 kNm dan kuat geser nominal sebesar 1745,866 kN dimana lebih besar dari gaya geser yang terjadi yaitu sebesar 1338,28 kN.
- c. Analisis pengangkatan elemen beton pracetak yaitu dimana saat pengangkatan beton pracetak, beban-beban yang bekerja pada beton pracetak merupakan berat sendiri dari elemen beton pracetak yang ditumpu oleh angkur sehingga menyebabkan terjadinya momen pada tengah bentang dan ujung bentang. Untuk momen yang terjadi antara momen positif dan negatif keduanya harus sama besar pada saat pengangkatan elemen beton pracetak.

5.2 Saran

- a. Seiring berkembangnya pembangunan gedung-gedung bertingkat yang semakin meningkat di Indonesia. Sudah saatnya pembangunan gedung-gedung bertingkat di Indonesia menggunakan sistem beton pracetak (*precast*) agar lebih aman dan efisien, baik dalam segi kebersihan lahan dan kecepatan waktu pengerjaan.
- b. Diperlukannya pengembangan Sumber Daya Manusia dan pengembangan teknologi untuk meningkatkan mutu dan kualitas dari beton pracetak di Indonesia.



DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. 2012.. SNI 7833 *Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung*. Jakarta : BSN
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. SNI 2487 *Persyaratan Beton Struktural 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
- Ervianto, Wulfram I. 2006: *Eksplorasi Teknologi dalam Pracetak Konstruksi: Beton Pracetak & Bekisting*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Dipohusodo, Istimawan. 1993. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Nawy, Edward G. 1990. *Beton Bertulang – Suatu Pendekatan Dasar*. Suryoatmono, Ir Bambang. Bandung. PT Eresco. Terjemahan dari: *Reinforced Concrete – A Fundamental Approach*.
- Setiawan, Agus. 2016. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*. Jakarta: Erlangga
- Nurlina, Siti. 2008. *Struktur Beton*. Malang: Bargie Media

(Halaman sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN

Lampiran 1.1 Gambar Struktur Gedung Eksisting



Lampiran Gambar Struktur Gedung

