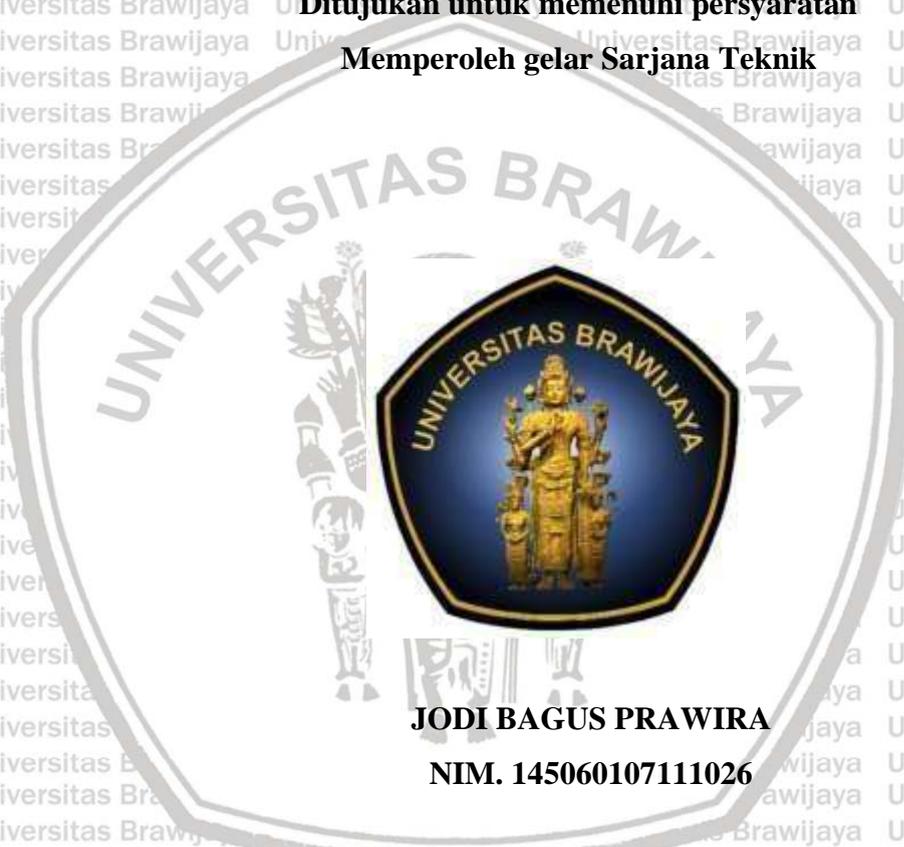


**STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR SAMBUNGAN
BALOK – KOLOM PADA GEDUNG SMP PETRA SURABAYA
MENGUNAKAN SISTEM BETON PRACETAK (PRECAST)**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**JODI BAGUS PRAWIRA
NIM. 145060107111026**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2021**





LEMBAR PENGESAHAN
STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR SAMBUNGAN
BALOK – KOLOM PADA GEDUNG SMP PETRA SURABAYA
MENGGUNAKAN SISTEM BETON PRACETAK (PRECAST)

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan

Memperoleh gelar Sarjana Teknik



JODI BAGUS PRAWIRA

NIM. 145060107111026

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing Pada
tanggal 08 Juli 2021

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. M. Taufik Hidayat, MT.

NIP. 19611228 198802 1 001

Dr. Eng. Ir. Ming Narto W., ST., MT., M.Sc

NIP. 201102 840705 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

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

NIP. 19810220 200604 1 002

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi : Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya
Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya

Studi Alternatif Perencanaan Struktur Sambungan Balok – Kolom Pada Gedung SMP Petra
Surabaya Menggunakan Sistem Beton Pracetak (*Precast*)
Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya
Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya

Nama Mahasiswa : Jodi Bagus Prawira
Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya

NIM : 145060107111026
Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya

Program Studi : Teknik Sipil
Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya

Minat : Struktur
Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya

Tim Dosen Penguji :
Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya

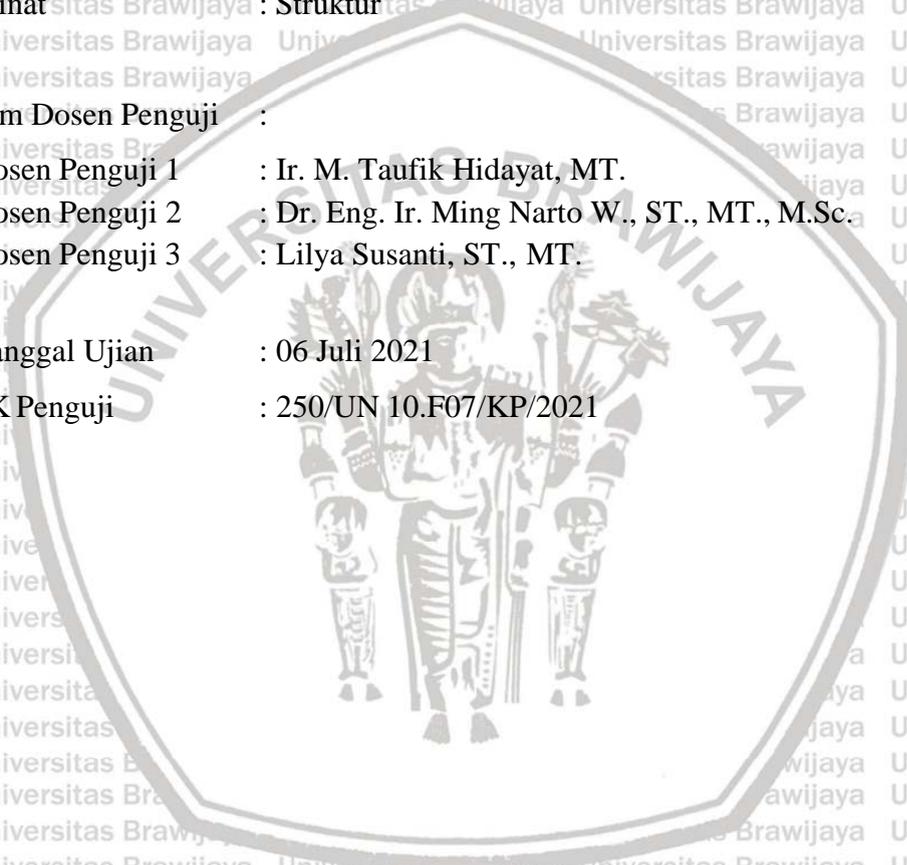
Dosen Penguji 1 : Ir. M. Taufik Hidayat, MT.
Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya

Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Ir. Ming Narto W., ST., MT., M.Sc.
Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya

Dosen Penguji 3 : Lilya Susanti, ST., MT.
Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya

Tanggal Ujian : 06 Juli 2021
Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya

SK Penguji : 250/UN 10.F07/KP/2021
Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya Universitas Brawijaya



LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran sebagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di 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, 28 Februari 2021



Jodi Bagus Prawira

NIM. 145060107111026



“Terbentur, terbentur, terbentur, terbentuk”

-Tan Malaka





9. **Keluarga Besar Mahasiswa Sipil Universitas Brawijaya**, khususnya seluruh teman-teman Teknik Sipil 2014, teman-teman seperjuangan saya yang selalu menemani, memberikan semangat dan dukungan sejak Mahasiswa Baru.

Saya menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, saya berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, Juni 2021

Jodi Bagus Prawira



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR..... v

DAFTAR ISI..... vii

DAFTAR TABEL..... x

DAFTAR GAMBAR..... xi

DAFTAR LAMPIRAN..... xiv

RINGKASAN..... xv

SUMMARY..... xvi

BAB I PENDAHULUAN..... 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Identifikasi Masalah 2

1.3 Rumusan Masalah 2

1.4 Batasan Masalah..... 2

1.5 Tujuan Penelitian 3

1.6 Manfaat Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... 4

2.1 Pengertian Beton Pracetak (*Precast*) 4

2.2 Dasar Ilmu Beton Pracetak (*Precast*)..... 5

2.3 Perbedaan Analisa Beton Pracetak (*Precast*) dengan Beton Konvensional..... 5

2.4 Kendala dan Permasalahan pada Beton Pracetak (*Precast*)..... 6

2.5 Keuntungan dan Kerugian Penggunaan Beton Pracetak (*Precast*)..... 8

2.6 Analisa Terhadap Balok Kolom..... 10

2.7 Analisa Terhadap Beton Pracetak (*Precast*) 11

2.8 Analisa Balok Pracetak (*Precast*) saat Pengangkatan..... 14

2.9 Analisa Balok Kolom Pracetak (*Precast*) saat Pengangkatan..... 17

2.10 Penampang Prismatis 18

2.11 Sambungan Beton Pracetak (*Precast*)..... 19

2.11.1 Desain Sambungan pada Beton Pracetak (*Precast*)..... 21

2.12 Penyaluran Tulangan Tarik Berkait..... 22

2.13 Pembebanan Struktur 23

2.13.1 Beban Mati..... 23

2.13.2 Beban Hidup..... 24

2.13.3 Beban Gempa..... 24

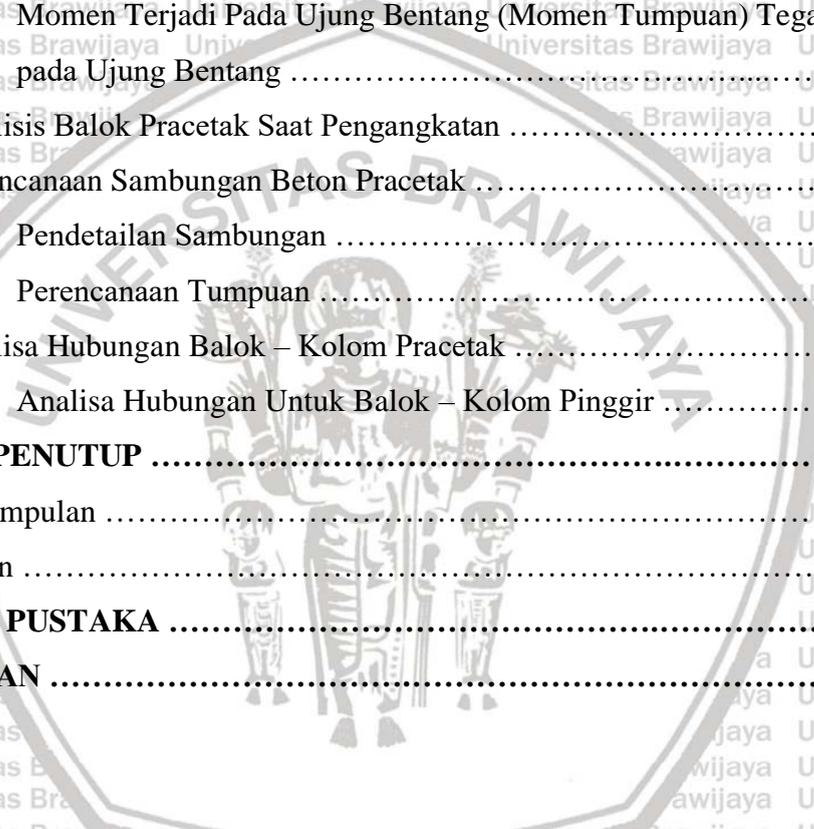
2.14 Analisis Beban Gempa 24

2.14.1 Wilayah Gempa 24



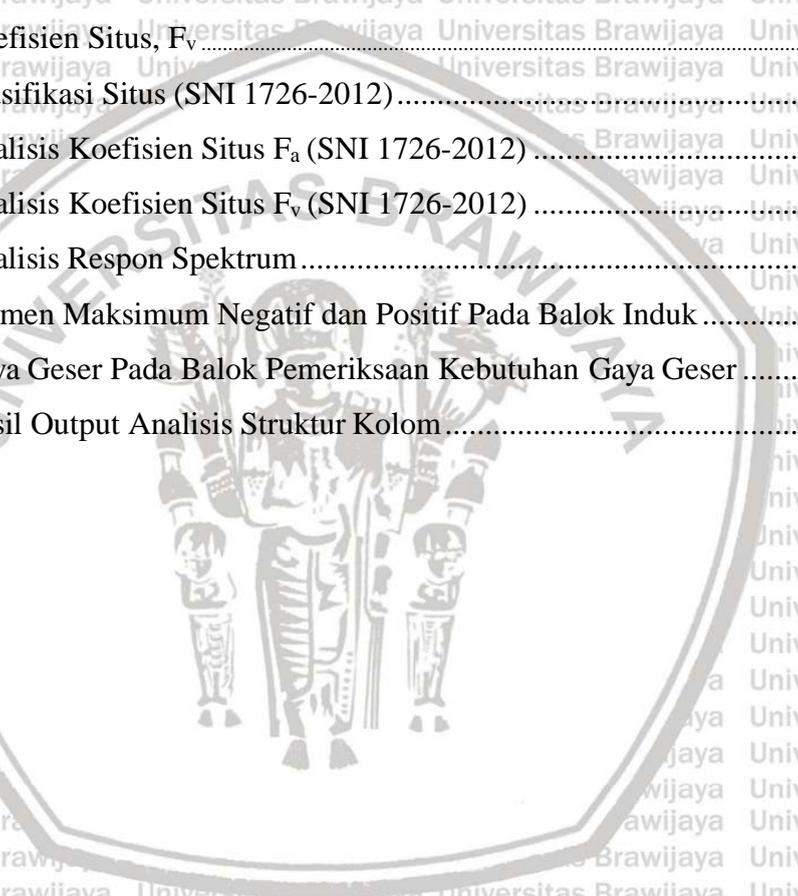
2.14.2	Konfigurasi Struktur Gedung.....	25
2.14.3	Kategori Gedung.....	27
2.14.4	Parameter Fundamental Pendekatan.....	28
2.14.5	Parameter Spektrum Respon.....	29
2.14.6	Parameter Percepatan Spektrum Desain.....	30
2.14.7	Spektrum Respon Desain.....	30
2.14.8	Geser Dasar Seismik.....	31
2.14.9	Distribusi Gaya Gempa.....	32
2.15	Konsep Perencanaan.....	32
2.16	Sistem Struktur.....	33
BAB III METODE PENELITIAN		34
3.1	Pengumpulan Data.....	34
3.2	Data – Data Desain.....	34
3.2.1	Data Umum Gedung	34
3.2.2	Data Teknis Gedung Awal.....	34
3.2.3	Denah Gedung.....	35
3.3	Prosedur Perencanaan.....	39
3.3.1	Analisis Pembebanan.....	39
3.3.2	Analisis Statika.....	40
3.3.3	Desain Penampang.....	40
3.3.4	Desain Perencanaan.....	40
3.4	Diagram Alir Perencanaan.....	41
BAB IV PEMBAHASAN.....		42
4.1	Perencanaan Dimensi Struktur.....	42
4.1.1	Perencanaan Dimensi Balok.....	42
4.1.2	Perencanaan Dimensi Kolom.....	42
4.1.3	Perencanaan Tebal Pelat.....	42
4.2	Analisis Pembebanan.....	42
4.2.1	Kombinasi Pembebanan.....	42
4.2.2	Analisis Pembebanan.....	43
4.2.2.1	Beban Mati.....	43
4.2.2.2	Beban Hidup.....	43
4.2.2.3	Beban Pelat.....	43
4.2.2.4	Beban Balok.....	44

4.2.2.5 Analisis Beban Gempa	44
4.3 Pemodelan Pada SAP 2000 v20	49
4.4 Perencanaan dan Analisis Kekuatan Balok Induk	50
4.4.1 Penulangan Utama Balok Induk	51
4.4.2 Penulangan Geser Balok Induk	56
4.5 Perencanaan dan Analisis Kekuatan Kolom	57
4.6 Pelaksanaan dan Perhitungan Balok Pracetak	62
4.6.1 Balok Pracetak Sebelum Cor Penuh	62
4.6.2 Balok Pracetak Setelah Cor Penuh	65
4.6.3 Momen Terjadi Pada Ujung Bentang (Momen Tumpuan) Tegangan Yang Terjadi pada Ujung Bentang	66
4.7 Analisis Balok Pracetak Saat Pengangkatan	68
4.8 Perencanaan Sambungan Beton Pracetak	71
4.8.1 Pendetailan Sambungan	71
4.8.2 Perencanaan Tumpuan	74
4.9 Analisa Hubungan Balok – Kolom Pracetak	74
4.9.1 Analisa Hubungan Untuk Balok – Kolom Pinggir	74
BAB V PENUTUP	76
5.1 Kesimpulan	76
5.2 Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN	78



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Faktor Pengali Panjang Penyaluran Dasar.....	23
Tabel 2. 2 Ketidakberaturan Horisontal pada Struktur.....	25
Tabel 2. 3 Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur.....	26
Tabel 2. 4 Jenis Pemanfaatan Gedung.....	27
Tabel 2. 5 Kategori Risiko Gempa.....	28
Tabel 2. 6 Klasifikasi Situs.....	29
Tabel 2. 7 Koefisien Situs.....	29
Tabel 2. 8 Koefisien Situs, F_a	30
Tabel 2. 9 Koefisien Situs, F_v	30
Tabel 4. 1 Klasifikasi Situs (SNI 1726-2012).....	45
Tabel 4. 2 Analisis Koefisien Situs F_a (SNI 1726-2012).....	45
Tabel 4. 3 Analisis Koefisien Situs F_v (SNI 1726-2012).....	46
Tabel 4. 4 Analisis Respon Spektrum.....	47
Tabel 4. 5 Momen Maksimum Negatif dan Positif Pada Balok Induk.....	50
Tabel 4. 6 Gaya Geser Pada Balok Pemeriksaan Kebutuhan Gaya Geser.....	56
Tabel 4. 7 Hasil Output Analisis Struktur Kolom.....	58



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Contoh Beton Pracetak.....	4
Gambar 2. 2 Contoh Sambungan Kering.....	8
Gambar 2. 3 Contoh Sambungan Basah.....	8
Gambar 2. 4 Struktur Portal Statis Tak Tentu.....	10
Gambar 2. 5 Tegangan Sebelum Cor Penuh.....	12
Gambar 2. 6 Tegangan Setelah Terjadi Cor Penuh.....	14
Gambar 2. 7 Pengangkatan Balok Pracetak.....	15
Gambar 2. 8 Model Pembebanan Balok Pracetak saat Pengangkatan.....	15
Gambar 2. 9 Bidang Momen Balok Pracetak saat Pengangkatan.....	15
Gambar 2. 10 Tegangan Sebelum Pengangkatan.....	15
Gambar 2. 11 Letak Titik Angkat Balok Pracetak.....	16
Gambar 2. 12 Tegangan dengan Tulangan Tunggal.....	17
Gambar 2. 13 Diagram Tegangan Regangan Balok T dengan Tulangan Tunggal.....	18
Gambar 2. 14 Diagram Tegangan Regangan Balok T dengan Tulangan Rangkap.....	18
Gambar 2. 15 Analisa Penampang Tulangan Tunggal.....	19
Gambar 2. 16 Analisa Penampang Tulangan Rangkap.....	19
Gambar 2. 17 Penyaluran Tulangan Momen Negatif Disadur.....	20
Gambar 2. 18 Sambungan pada Tumpuan <i>Corbel</i>	21
Gambar 2. 19 Karakteristik Momen dan Rotasi.....	22
Gambar 2. 20 Penyaluran Tulangan Tarik Berkait Disadur.....	22
Gambar 2. 21 CRS, koefisien resiko terpetakan, periode respons spektrum 0,2 detik.....	25
Gambar 2. 22 CR1, koefisien foresik 0 terpetakan, periode respons spektrum 1 detik.....	25
Gambar 2. 23 Desain Respon Spektrum.....	31
Gambar 3. 1 Denah Lantai Dasar.....	35
Gambar 3. 2 Denah Lantai Satu.....	35
Gambar 3. 3 Denah Lantai Dua.....	36
Gambar 3. 4 Denah Lantai Tiga.....	36
Gambar 3. 5 Denah Lantai Empat.....	37
Gambar 3. 6 Denah Lantai Lima.....	37
Gambar 3. 7 Denah Lantai Enam.....	38
Gambar 3. 8 Denah Lantai Tujuh.....	38

Gambar 3. 9 Denah Lantai Delapan.....	39
Gambar 3. 10 Bagan Alir Penelitian.....	41
Gambar 4. 1 Peta pada S _s Kota Surabaya.....	44
Gambar 4. 2 Peta pada S ₁ Kota Surabaya.....	44
Gambar 4. 3 Grafik Respon Spektrum Desain.....	49
Gambar 4. 4 Diagram Regangan – Tegangan Balok Tumpuan.....	53
Gambar 4. 5 Diagram Regangan – Tegangan Balok Lapangan.....	55
Gambar 4. 6 Nomogram Kekakuan.....	60
Gambar 4. 7 Balok Pracetak Sebelum Cor Penuh Beban Bekerja Pada Balok Induk.....	63
Gambar 4. 8 Tegangan Sebelum Cor Penuh.....	64
Gambar 4. 9 Diagram tegangan setelah cor penuh (tengah bentang).....	65
Gambar 4. 10 Diagram tegangan setelah cor penuh (ujung bentang).....	66
Gambar 4. 11 Model struktur balok pracetak pada saat pengangkatan dari PCI design handbook.....	68
Gambar 4. 12 Jarak Tulangan Angka.....	69
Gambar 4. 13 Momen saat pengangkatan.....	70
Gambar 4. 14 Penyaluran tulangan momen negatif.....	72
Gambar 4. 15 Penyaluran tulangan Tarik berkait sesuai dengan SNI 03–2847–2002.....	72
Gambar 4. 16 Gambar rumpuan balok – kolom sebelum cor penuh.....	74
Gambar 4. 17 Balok – kolom ujung.....	75



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 GAMBAR DENAH GEDUNG..... 78

LAMPIRAN 2 PEMODELAN STRUKTUR PADA SAP 2000..... 83



RINGKASAN

Jodi Bagus Prawira, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2021, *Studi Alternatif Perencanaan Struktur Sambungan Balok – Kolom Pada Gedung SMP Petra Surabaya Menggunakan Sistem Beton Pracetak (Precast)*, Dosen Pembimbing: Ir. M. Taufik Hidayat, MT dan Dr. Eng. Ir. Ming Narto W, ST., MT., M.Sc.

Gedung sekolah Lembaga Pendidikan kristen memerlukan sarana dan prasarana yang terbaik, tidak hanya sarana dan prasarana Lembaga juga menyediakan para dewan guru, tenaga kependidikan dan siswa siswi untuk memberikan pelayanan, bimbingan, mendidik, bertukar ilmu, mengajar peserta didik agar memiliki wawasan global, kepedulian terhadap sekitar, kualitas dan unggul.

Evaluasi kegunaan gedung sangat diperlukan agar menghasilkan bangunan gedung sekolah yang tepat dan efisien untuk memenuhi standar yang telah ditetapkan. Pada tugas akhir ini menggunakan saya menggunakan sistem beton pracetak karena memiliki kelebihan yaitu waktu pekerjaan menjadi lebih cepat, ekonomis dalam penggunaan bekisting, mengurangi polusi udara saat pengecoran. Kekurangan sistem beton pracetak yaitu membutuhkan lahan yang luas, membutuhkan biaya transportasi dan pemasangan bekisting serta perawatan beton.

Penggunaan metode pracetak di perencanaan ini memiliki fungsi secara mekanisasi dengan memberi waktu pengerasan sehingga mendapatkan beton kekuatan sebelum dipasang. Proses pengerjaan di pabrik ini dapat menyelesaikan mutu yang lebih bagus. Dengan metode pracetak, desain balok akan dikerjakan dengan dua tahapan yaitu sebelum dan sesudah pengecoran serta perhitungan dalam pengangkatan.

Dalam tugas akhir ini sebelum menganalisa beton maka dilakukannya pemodelan struktur dan pembebanan pada SAP 2000 V20 agar mendapatkan gaya yang akan dianalisa. Kemudian melakukan pengecekan pada momen yang harus memenuhi syarat yaitu $\Phi M_n \geq M_u$ dan pada perhitungan tulangan geser. Apabila tidak memenuhi syarat maka akan dilakukan beberapa kali proses percobaan dimensi balok dan kolom agar dapat menahan struktur bangunan dengan berpedoman pada *strong coloumn weak beam*. Proses pengangkatan balok menggunakan profil baja WF dengan jarak (x) tertentu. Penyambungan balok pracetak dengan kolom yang sudah terpasang menggunakan scaffolding untuk menyangga balok agar saat menyambung menghasilkan sambungan yang baik dan tepat. Syarat dalam penyambungan balok harus $1/3$ dari lebar (b) kolom agar mendapatkan tumpuan jepit. Tulangan balok telah terpasang pada kolom dan plat maka dilakukan proses pengecoran untuk menyatukan elemen tersebut.

Kata kunci: beton pracetak (*precast*), metode *precast*, pengangkatan balok

SUMMARY

Jodi Bagus Prawira, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, June 2021, Alternative Study of Structural Planning of Beam - Column Connection in Petra Junior High School Surabaya Building Using Precast Concrete System (Precast), Academic Supervisor: Muhammad Hamzah Hasyim, ST., M.Eng.Sc. dan Saifoe El Unas, ST. MT.

School buildings Christian Education Institutions require the best facilities and infrastructure, do not provide facilities and infrastructure The institution also provides teachers, education staff and students to provide services, guidance, educate, exchange knowledge, teach students to have global insight, concern for around, quality and superior. Evaluation of the use of the building is very necessary in order to produce appropriate and efficient school buildings to meet the standards that have been set. In this final project, I use a precast concrete system because it has the advantage of being faster, saving on formwork use, reducing air during application. Disadvantages of the precast concrete system are that it requires a large area of land, requires transportation costs and formwork installation and concrete maintenance.

The use of the precast method in this plan has a mechanization function by giving hardening time so that it gets the strength of the concrete before it is installed. The manufacturing process in this factory can complete a better quality. With the precast method, the design will be carried out in two stages, namely before and after therapy and the calculation of the beams.

In this final project before analyzing then determining the structural modeling and loading on SAP 2000 V20 in order to get the force to be analyzed. Then check the moments that must meet the requirements, namely Mn Mu and in the calculation of shear reinforcement. If they do not meet the requirements, the beam and column experiment process will be carried out several times in order to be able to withstand the building structure based on the strong column of the weak beam. beam process using WF steel profile with a certain distance (x). Splicing precast beams with columns that have already been installed uses scaffolding to connect the beams so that when connecting a good and proper connection. Conditions in the connection of beams must be $1/3$ of the width (b) of the column in order to get a clamping support. The beam reinforcement has been installed on the column and plate, so the shooting process for these elements is carried out.

Keywords: Precast concrete (precast), Precast method, Beam lifting

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kualitas sarana dan prasarana gedung sekolah sangat diperlukan sejalan dengan tempat beroperasinya lembaga pendidikan kristen yang menyediakan para dewan guru, tenaga kependidikan dan siswa siswi untuk memberikan pelayanan dan membimbing, mendidik dan mengajar peserta didik sehingga memiliki sifat kepedulian, berwawasan global, kualitas dan unggulan. Sehingga pembangunan prasarana gedung SMP Petra Surabaya ini sangat menentukan dalam menunjang tercapainya peningkatan kualitas sekolah dan lembaga. Peningkatan kualitas dan perenovasian gedung SMP Petra harus sesuai dengan perkembangan kebutuhan akan penambahan pelayanan sekolah.

Mengingat pentingnya peranan gedung sekolah bagi peserta didik sangat penting untuk kenyamanan ketika belajar sehingga harus ditinjau dari beberapa sisi, hal tersebut antara lain yaitu peninjauan kelayakan konstruksi gedung hubungannya dengan klasifikasi gedung sekolah sesuai dengan tingkat pelayanan dan kemampuan dalam menerima beban. Dalam kaitannya dengan keselamatan maka perlu diperhatikan juga tingkat keamanan dan kenyamanan dalam pemakaian gedung sekolah tersebut.

Perencanaan teknik gedung dan perenovasian gedung sekolah merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan fungsi dan peranan gedung sekolah tersebut. Sehingga evaluasi kegunaan gedung diperlukan sebagai langkah awal suatu perencanaan teknik yang cermat dan teliti, agar menghasilkan detail desain gedung sekolah yang tepat dan efisien untuk memenuhi standar yang ditetapkan.

Pembangunan gedung bertingkat memiliki banyak sekali metode, salah satunya adalah metode beton pracetak (*precast*). Beton pracetak (*precast*) ialah konstruksi yang memiliki komponen bangunan pembentukannya melalui cetak atau difabrikasi. Cara pengolahan bisa dilakukan di lahan produksi atau di lapangan sehingga dapat membentuk satu kesatuan suatu bangunan. Fungsi beton pracetak (*precast*) ialah untuk menggantikan beton cor didalam kerangka sehingga mempermudah proses pembangunan.

Sistem beton pracetak (*precast*) memiliki kelebihan dan kekurangan dalam pembangunan. Kelebihan menggunakan sistem beton pracetak (*precast*) yaitu waktu pekerjaan menjadi lebih cepat dan ekonomis dalam penggunaan bekisting, mengurangi terjadinya polusi udara maupun suara pengecoran. Sedangkan kekurangan sistem beton pracetak (*precast*) membutuhkan biaya transportasi dan pemasangan, membutuhkan tempat pembuatan yang luas, serta perawatan pada sambungan beton.

Sambungan beton pada sistem *precast* ini memiliki peran penting dalam desain konstruksi tahan gempa diantaranya penyebab runtuhnya suatu bangunan yang disebabkan oleh sambungan balok–kolom beton pracetak (*precast*). Beton pracetak (*precast*) juga memiliki kekurangan dalam proses pemindahan karena sangat berat sehingga membutuhkan alat berat atau *crane* untuk pemindahan. Apabila terjadi kesalahan dalam mengangkat beton pracetak (*precast*) akan menjadi fatal karena akan membutuhkan waktu lagi.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penulis mengkaji khusus tentang Studi Alternatif Perencanaan Struktur Sambungan Balok Kolom Pada Gedung SMP Petra Surabaya Menggunakan Sistem Beton Pracetak (*Precast*) mengacu pada (Badan Standardisasi Nasional, Standar Nasional Indonesia 7833:2012 Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung, 2012), tata cara perancangan beton pracetak dan beton prategang untuk bangunan gedung (Tavio, Purwono, Imran, & Raka, 2002) serta perencanaan ketahanan gempa untuk struktur Gedung dan non Gedung (Badan Standardisasi Nasional SNI 1726:2012 ; 2012) dari perencanaan struktur mendapatkan kesimpulan yang tahan gempa dan efisien.

1.2 Identifikasi Masalah

Permasalahan yang ditimbulkan dalam bangunan Gedung SMP Petra Surabaya ini ialah pembebanan beban gempa dan pembebanan vertikal yang diterima pada struktur bangunan tersebut. Sehingga dalam penelitian ini menggunakan metode kerja pracetak (*precast*) untuk menyelesaikan masalah yang akan terjadi.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

- a. Bagaimanakah cara menganalisis pengangkatan dan sambungan balok – kolom sebelum komposit dengan menggunakan metode sistem pracetak (*precast*) ?
- b. Bagaimanakah kekuatan sambungan balok kolom setelah komposit dengan menggunakan metode sistem pracetak (*precast*) ?

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

- a. Objek desain ulang hanya balok dan kolom dengan sistem pracetak (*precast*) pada Gedung SMP Petra Surabaya.
- b. Tidak meninjau metode ataupun sistem yang telah digunakan sebelumnya.
- c. Alas pada portal pondasi diasumsikan jepit.
- d. Analisis ditujukan pada *up structure*.

- e. Analisis lift, tangga, dan pondasi tidak diperhitungkan.
- f. Analisis titik beratkan pada sambungan balok – kolom.
- g. Balok, dan plat menggunakan beton pracetak (*precast*) pada sambungan yang akan dicor sedangkan kolom langsung dicor ditempat.
- h. Menggunakan satu tipe sambungan basah pada perencanaan struktur.
- i. Beton pracetak yang dianalisis adalah beton pracetak biasa (*non – prestressed*).
- j. Tidak melakukan analisa numerik sambungan *precast*.
- k. Dalam analisisnya dibantu dengan *software SAP2000 v20*.
- l. Tidak memperhitungkan unsur arsitektur pada bangunan.
- m. Tidak membahas analisis ekonomi.
- n. Menggunakan sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB).
- o. Dalam analisis menggunakan mutu beton $f'c$ Mpa dan f_y Mpa.
- p. Mutu beton yang digunakan pada kolom adalah $f'c = 35$ Mpa dan balok plat adalah $f'c = 30$ Mpa.
- q. Mutu baja yang digunakan adalah $f_y = 240$ Mpa; $f_y = 320$ Mpa; $f_y = 320$ Mpa.
- r. Perhitungan respon spectrum menggunakan (Badan Standarisasi Nasional SNI 1726:2012, 2012).

1.5 Tujuan Penelitian

Beberapa tujuan yang dapat diharapkan dalam penelitian ini adalah:

- a. Untuk mengetahui desain sambungan balok – kolom menggunakan metode sistem pracetak (*precast*) sebelum komposit beserta cara pengangkatannya pada Gedung SMP Petra Surabaya.
- b. Untuk mengetahui kekuatan sambungan balok – kolom setelah komposit dengan menggunakan metode sistem pracetak (*precast*) pada Gedung SMP Petra Surabaya.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

- a. Diharapkan mendapatkan hasil yang mampu menerapkan metode beton pracetak (*precast*).
- b. Bagi akademisi diharapkan menjadi peningkatan pemahaman atau referensi dalam perencanaan struktur beton pracetak (*precast*).
- c. Bagi teknisi maupun praktisi diharapkan penelitian ini dapat digunakan sebagai pembanding antara perencanaan yang sudah ada dengan yang akan dibahas pada penelitian ini

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Beton Pracetak (*Precast*)

Beton pracetak (*precast*) merupakan produk yang dihasilkan dari proses produksi secara khusus menggunakan bahan beton dan cetakan press beton sesuai dengan ukuran yang telah disesuaikan dengan kebutuhan melalui proses pembuatannya yang berbeda dengan lokasi proyek. Sedangkan, beton cor atau biasa disebut dengan *cast-in place* melakukan proses produksinya berlangsung di tempat proyek. (Ervianto, 2006)

Beton pracetak (*precast concrete*) merupakan suatu metode pembuatan percastan beton secara mekanisasi dalam pabrik dengan memberi waktu pengerasan yang akan mendapatkan kekuatan sebelum dipasang. Proses pengecoran membutuhkan tempat yang khusus sehingga mendapatkan mutu yang terjaga dengan baik. Apabila ingin mendapatkan keuntungan lebih, maka beton pracetak (*precast*) diproduksi dengan bentuk *typical*-nya mencapai angka minimum. Maksud dari bentuk *typical*-nya harus berbentuk perulangan dalam jumlah besar (Batubara, 2012). Beton pracetak memiliki struktur beton salah satunya ialah kemudahan teknologi dalam perkembangan konstruksi di Indonesia yang mendapatkan efisiensi waktu, pelestarian lingkungan dan energi. (Nurjannah, 2011)



Gambar 2.1 Contoh Beton Pracetak

Pelaksanaan bangunan menggunakan metode beton pracetak (*precast*) ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan menggunakan metode ini yaitu pelaksanaan dengan membutuhkan waktu lebih sedikit maka pekerjaan lebih cepat selesai dan ekonomis dalam penggunaan *bekisting*, mengurangi terjadinya polusi udara maupun suara pengecoran. Sedangkan kekurangan metode ini ialah membutuhkan biaya transportasi dan pemasangan, membutuhkan tempat pembuatan yang luas, serta perawatan pada sambungan beton. Sehingga kekuatan yang dimiliki beton ini menjadi lebih besar dari pada melakukan pengecoran langsung di tempat proyek.

2.2 Dasar Ilmu Beton Pracetak (*Precast*)

Dasar-dasar beton pracetak menurut (Badan Standardisasi Nasional, Standar Nasional Indonesia 7833:2012 Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung, 2012) sebagai berikut:

- a. Perencanaan dasar beton pracetak (*precast*) dan sambungan harus memperhitungkan pengaruh beban yang terjadi pada komponen struktur pracetak dan elemen penghubung harus ada dalam spesifikasi.
- b. Perencanaan dasar beton pracetak (*precast*) dan sambungan harus mempertimbangkan kondisi pembebanan dan kekangan beton sejak awal mulai dari penyimpanan, pemindahan dari tempat produksi ke tempat proyek, pemasangan, hingga pembongkaran struktur dari awal sampai akhir pelaksanaan struktur.
- c. Apabila komponen struktur pracetak dimasukkan ke dalam sistem structural maka gaya dan deformasi yang terjadi pada daerah sambungan harus diperhitungkan juga dalam perencanaan.

Persyaratan untuk pembangunan beton pracetak (*precast*) harus memenuhi point-point diatas sehingga bangunan tersebut bisa dibilang aman. Desain sambungan maupun tumpuan pracetak diharapkan mampu menahan tegangan lentur yang terjadi baik transversal maupun longitudinal.

2.3 Perbedaan Analisa Beton Pracetak (*Precast*) dengan Beton Konvensional

Dasar awal dari desain beton pracetak (*precast*) maupun beton konvensional adalah sama, sama-sama memperhitungkan beban, faktor koefisien. Akan tetapi ada beberapa yang membedakannya, diantaranya: (Wahyudi & Hanggoro, 2010)

- a. Desain beton pracetak (*precast*) memperhitungkan kondisi saat pengangkatan beton ketika umur beton belum mencapai 24 jam, memperhitungkan kondisi beton apabila di angkat mengalami keretakan (*crack*) atau tidak. Sehingga perlu adanya Analisa desain tersendiri, sedangkan beton konvensional tidak perlu adanya menganalisa perhitungan beton.
- b. Desain beton pracetak (*precast*) memperhitungkan metode pengangkatan, penyimpanan beton pracetak di *stock yard*, pengiriman beton pracetak dan pemasangan beton pracetak di proyek. Proses pembuatan beton pracetak (*precast*) ini hampir keseluruhan dibuat di pabrik.
- c. Desain beton pracetak (*precast*) menambahkan desain sambungan. Desain sambungan di sini, didesain lebih kuat dari yang disambung.

2.4 Kendala dan Permasalahan pada Beton Pracetak (*Precast*)

Menurut (Simanjuntak, 2001) bahwa ada tiga permasalahan utama di dalam pengembangan sistem pracetak :

- a. Keandalan sambungan antar komponen,
- b. Belum tersosialisasikan pedoman perencanaan khusus untuk sistem struktur pracetak,
- c. Kerjasama dengan perencana di bidang lain yang terkait, terutama dengan pihak arsitektur dan mekanikal atau elektrik,plumbing (M & E).

Permasalahan yang pertama mengenai bahan beton ialah dihasilkannya sesuatu yang “monolit” karena beton adalah bahan yang dapat dibentuk di lapangan sesuai dengan cetaknya, lalu mengeras dan tidak ada sambungan (Simanjuntak, 2001). Sedangkan beton pracetak (*precast*) ialah suatu metode konstruksi beton yang pada prinsipnya serupa dengan bahan baja dan kayu, yaitu komponen gedung dibuat terlebih dahulu lalu disambung di tempat proyek yang sedang berlangsung. Menurut (Badan Standardisasi Nasional, Standar Nasional Indonesia 03-2847-2002, 2009) elemen atau komponen beton tanpa atau dengan tulangan yang dicetak terlebih dahulu sebelum dirakit. Halyang paling disorot adalah beton pracetak dianggap “bukan monolit” karena ada sambungan antar komponen.

Permasalahan yang kedua dikarenakan belum adanya pedoman perencanaan yang khusus untuk sistem pracetak. Meskipun ada beberapa penelitian menjelaskan tentang beton pracetak dan prategang tetapi masih kurang dalam tahap sosialisasi kepada para perencana. TCPSB 91 secara prinsip mencantumkan *escape clause* yang menyatakan harus dilakukan pengujian untuk membuktikan ketegaran suatu sistem sebanding dengan sistem monolit (Simanjuntak, 2001)

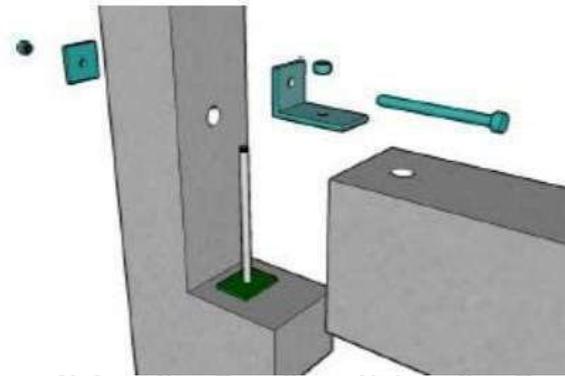
Permasalahan yang ketiga disebabkan oleh konotasi bahwa sistem pracetak “kurang fleksibel”. Dimensi komponen memang modular dan standar sehingga dianggap membatasi perencanaan. Zaman sekarang telah mengalami banyak kemajuan dalam kompromi antar perencana sehingga dapat diperoleh berbagai perencanaan terintegrasi yang memuaskan. Sistem pracetak ini baik digunakan di Indonesia karena memiliki kualitas yang baik untuk masa depan. Tujuan utama dalam perencanaan komponen beton pracetak seperti pelat lantai, balok, kolom dan dinding adalah sambungan. Sambungan memiliki fungsi untuk menyalurkan beban-beban yang bekerja, menyatukan setiap komponen beton pracetak agar menjadi satu kesatuan yang monolit sehingga dapat mengupayakan stabilitas struktur bangunan. Berikut yang harus diperhatikan ketika pemilihan jenis sambungan antara komponen beton pracetak diantaranya meliputi:

1. Kekuatan (*strength*) yaitu sambungan harus memiliki kekuatan untuk dapat menyalurkan gaya-gaya yang terjadi ke elemen struktur lainnya selama waktu layan (*serviceability*) termasuk adanya pengaruh dari rangkai dan susut beton.
2. Daktilitas (*ductility*) yaitu kemampuan dari sambungan untuk dapat mengalami perubahan bentuk tanpa mengalami keruntuhan. Pada daerah sambungan untuk mendapatkan daktilitas yang baik dengan merencanakan besi tulangan yang meleleh terlebih dahulu dibandingkan dengan keruntuhan dari material betonnya.
3. Perubahan volume (*volume change accommodation*) yaitu sambungan yang dapat mengantisipasi adanya retak, susut dan perubahan temperature yang dapat menyebabkan adanya tambahan tegangan yang cukup besar.
4. Ketahanan (*durability*) yaitu kondisi sambungan yang dipengaruhi oleh cuaca langsung atau korosi diperlukan adanya penambahan bahan-bahan pencegah seperti *stainless steel epoxy* atau *galvanized*.
5. Tahan kebakaran (*fire resistance*) yaitu perencanaan sambungan harus mengantisipasi kemungkinan adanya kenaikan temperatur pada sistem sambungan pada saat kebakaran, sehingga kekuatan dari baja maupun beton dari sambungan tersebut tidak akan mengalami pengurangan.
6. Mudah dilaksanakan dengan mempertimbangkan bagian-bagian berikut ini pada saat merencanakan sambungan:
 - a. Standarisasi produksi jenis sambungan dan kemudahan tersedianya material lapangan.
 - b. Hindari keruwetan penempatan tulangan pada daerah sambungan.
 - c. Hindari sedapat mungkin pelubangan pada cetakan.
 - d. Perlu diperhatikan batasan panjang dari komponen pracetak dan toleransinya.
 - e. Hindari batasan yang non-standar pada produksi dan pemasangan.
 - f. Gunakan standar hardware seminimal mungkin jenisnya.
 - g. Rencanakan sistem pengangkatan komponen beton pracetak semudah mungkin baik di pabrik maupun dilapangan.
 - h. Penggunaan sistem sambungan yang tidak mudah rusak pada saat pengangkatan.
 - i. Diantisipasi kemungkinan adanya penyesuaian di lapangan.

Jenis sambungan antara komponen beton pracetak yang biasa dipergunakan dapat dikategorikan menjadi 2 kelompok sebagai berikut:

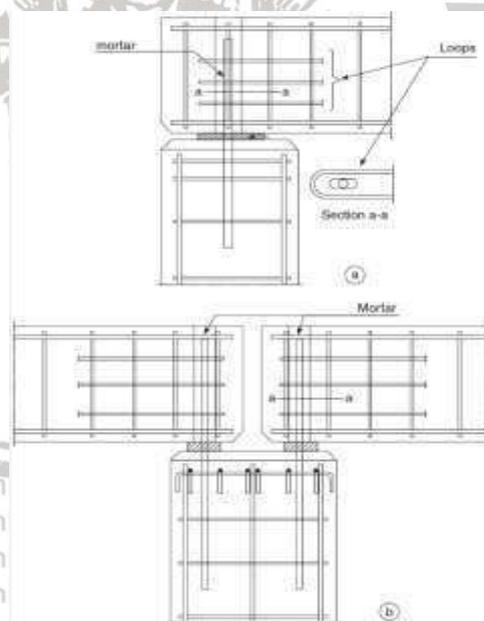
1. Sambungan kering (*dry connection*) menggunakan bantuan pelat besi sebagai penghubung antar komponen beton pracetak dan hubungan antara pelat besi dilakukan dengan baut atau dilas. Penggunaan metode sambungan ini perlu perhatian khusus dalam analisa dan pemodelan komputer karena antar elemen struktur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

berperilaku tidak monolit.



Gambar 2.2 Contoh Sambungan Kering.

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



Gambar 2.3 Contoh Sambungan Basah.

2.5 Keuntungan dan Kerugian Penggunaan Beton Pracetak (*Precast*)

Struktur elemen pracetak memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan struktur konvensional, antara lain:

- a. Penyederhanaan pelaksanaan konstruksi.
- b. Waktu pelaksanaan yang cepat.

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

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

Salah satu alasan mengapa struktur elemen pracetak sangat ekonomis dibandingkan dengan struktur yang dilaksanakan di tempat (cast in-situ) adalah penggunaan cetakan beton yang tidak banyak variasi dan biasa digunakan berulang-ulang, mutu material yang dihasilkan pada umumnya sangat baik karena dilaksanakan dengan standar-standar yang baku, pengawasan dengan sistem komputer yang teliti dan ketat.

d. Penyelesaian finishing mudah.

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

e. Tidak dibutuhkan lahan proyek yang luas, mengurangi kebisingan, lebih bersih dan ramah lingkungan. Dengan sistem elemen pracetak, selain cepat dalam segi pelaksanaan, juga tidak membutuhkan lahan proyek yang terlalu luas serta lahan proyek lebih bersih karena pelaksanaan elemen pracetaknya dapat dilakukan dipabrik.

f. Perencanaan berikut pengujian di pabrik.

Elemen pracetak yang dihasilkan selalu melalui pengujian laboratorium di pabrik untuk mendapatkan struktur yang memenuhi persyaratan, baik dari segi kekuatan maupun dari segi efisiensi.

g. Sertifikasi untuk mendapatkan pengakuan Internasional.

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

h. Secara garis besar mengurangi biaya karena pengurangan pemakaian alat alat penunjang, seperti: scaffolding dan lain-lain.

i. Kebutuhan jumlah tenaga kerja dapat disesuaikan dengan kebutuhan produksi.

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

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

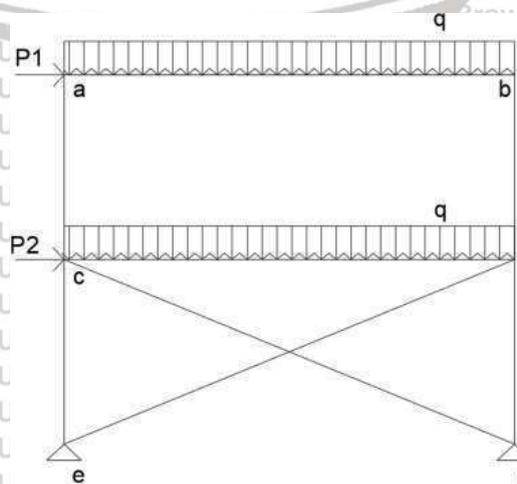
b. Perlu ketelitian yang tinggi agar tidak terjadi deviasi yang besar antara elemen yang satu dengan elemen yang lain, sehingga tidak menyulitkan dalam pemasangan dilapangan.

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

- d. Jarak maksimum transportasi yang ekonomis dengan menggunakan truk adalah antara 150 sampai 350 km, tetapi ini juga tergantung dari tipe produknya. Sedangkan untuk angkutan laut, jarak maksimum transportasi dapat sampai di atas 1000 km.
- e. Hanya dapat dilaksanakan didaerah yang sudah tersedia peralatan untuk handling dan erection.
- f. Di Indonesia yang kondisi alamnya sering timbul gempa dengan kekuatan besar, konstruksi beton pracetak cukup berbahaya terutama pada daerah sambungannya, sehingga masalah sambungan merupakan persoalan yang utama yang dihadapi pada perencanaan beton pracetak.
- g. Diperlukan ruang yang cukup untuk pekerja dalam mengerjakan sambungan pada beton pracetak.
- h. Memerlukan lahan yang besar untuk pabrikasi dan penimbunan (stock yard)

2.6 Analisa Terhadap Balok Kolom

Bagian struktur dari suatu bangunan banyak yang menerima beban kombinasi momen dan beban normal. Yang paling mudah dikenali yaitu kolom dari suatu portal. Kolom tersebut disamping menerima gaya normal tekan, juga menerima momen lentur akibat sambungan kaku pada balok kolom. Oleh sebab itu kombinasi dari gaya aksial dan momen lentur harus dipertimbangkan dalam proses desain komponen struktur tersebut. Komponen struktur tersebut sering disebut sebagai elemen balok-kolom (beam-columns) (Agus Setiawan 2008). Bila lentur digabungkan dengan tarikan aksial, kemungkinan ketidakstabilannya menjadi berkurang dan kelelahan biasanya membatasi perencanaan. Untuk gabungan lentur dengan tekanan aksial, kemungkinan ketidakstabilannya menjadi meningkat (Salmon dan Johnson 1994). Pada struktur-struktur statis tak tentu umumnya sering dijumpai elemen balok kolom ini. Berikut gambar portal statis tak tentu pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Struktur Portal Statis Tak Tentu

Akibat kondisi pembebanan yang bekerja, maka batang AB tidak hanya memikul beban merata saja, namun juga harus memikul beban lateral P1. Dalam efek ini efek lentur dan efek gaya tekan P1 yang bekerja pada batang AB harus dipertimbangkan dalam proses desain penampang batang AB, atau dengan kata lain batang AB harus didesain sebagai suatu elemen balok-kolom. Berbeda dengan batang CD yang hanya didominasi oleh efek lentur saja, gaya lateral P2 sudah dipikul oleh pengakupengaku (bracing) bentuk X, sehingga batang CD dapat didesain sebagai suatu elemen balok tanpa pengaruh gaya aksial. Batang CF dan DE hanya akan memikul gaya aksial tarik maupun tekan saja, melihat kondisi pembebanan pada Gambar 2.4. maka batang DE akan memikul gaya aksial tarik, sedangkan batang CF akan sedikit kendur. (Segui, 1994)

Selain batang AB yang didesain sebagai elemen balok-kolom, batang – batang AC, BD, CE, DF juga harus didesain sebagai suatu elemen balok-kolom, karena selain memikul gaya aksial akibat reaksi dari balok-balok AB dan CD, batang-batang ini juga harus menerima transfer momen yang diberikan oleh batang AB dan BC, sehingga efek lentur dan efek gaya aksial yang bekerja tidak boleh diabaikan salah satunya. Kombinasi momen dengan gaya tarik tidak terlalu menimbulkan masalah, karena gaya tarik akan mengurangi besarnya lendutan akibat beban momen. Sedangkan pada kombinasi gaya tekan dengan momen, gaya tekan akan menambah besarnya lendutan yang akan menambah besarnya momen. Ini akan menambah besarnya lendutan dan seterusnya.

Diharapkan batang cukup kaku sehingga tidak terjadi defleksi yang berlebihan. Kegagalan suatu beam column terjadi pada saat tekuk lentur, tekuk lokal terjadi pada bentang pendek dan tekuk torsi terjadi pada bentang menengah dan panjang (Hassam dan Rasmussen 2002). Beberapa prosedur desain yang dapat digunakan untuk suatu elemen balok-kolom antara lain (1) pembatasan tegangan kombinasi, (2) pemakaian rumus interaksi semi empiris berdasarkan tegangan kerja (metode ASD), serta (3) pemakaian rumus interaksi semi empiris berdasarkan kekuatan penampang (Load and Resistance Factor Design (LRFD)). (Chen, 1991)

2.7 Analisa Terhadap Beton Pracetak (*Precast*)

Perencana diharapkan dapat mendesain agar setiap elemen struktur pracetak menjadi satu kesatuan yang utuh dan mampu menerima semua beban yang bisa diterima oleh beton langsung dibuat atau dicor tempat (bukan pabrikasi). Dalam menganalisa balok pracetak ini menggunakan analisa elastis dengan kuat rencana yang ditentukan dari tegangan ijin bahan, yaitu:

$$F_{c_{ijin}} = 0.33 f'_c \text{ dan } f_{s_{ijin}} = 0.58 f_y$$

Dimana :

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

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

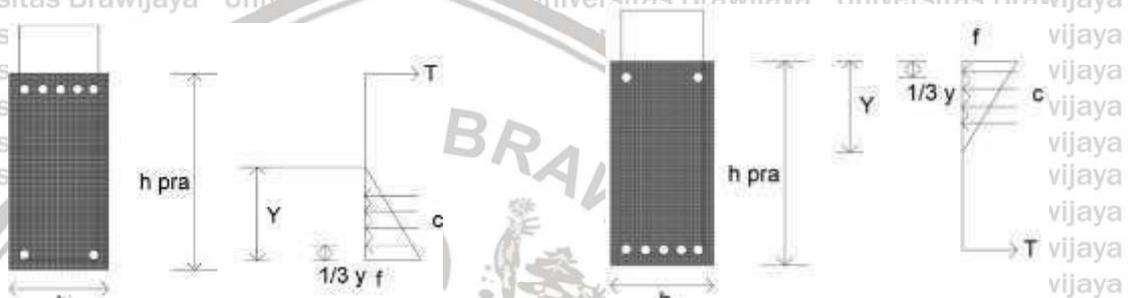
$f'c$ = tegangan hancur atau kuat tekan beton (Mpa)

f_y = tegangan leleh tulangan (Mpa)

Dalam proses perhitungan perencanaan elemen balok pracetak ini meliputi analisa balok pracetak saat pengangkutan dan pemasangan, yaitu :

a. Penentuan dimensi balok pracetak sebelum cor penuh.

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



Gambar 2.5 Tegangan Sebelum Cor Penuh.

$$C = f_c \cdot 0.5 \cdot b \cdot c. \quad T = A_s \cdot f_s.$$

Dimana:

f_c = Tegangan ijin beton ($0.33 f'c$) (Mpa).

f_y = Tegangan ijin tulangan baja ($0.53 f_y$)

(Mpa). b = Lebar penampang balok (m).

A_s = Luas tulangan tarik.

Dengan persamaan keseimbangan penampang, dapat dicari nilai c:

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

Sehingga kapasitas momen penampang beton:

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

tebal minimum (d_{min}) diperoleh jika $M_n = M_u$ $M_u = A_s \cdot f_s (d - c/3)$

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

Dimana:

M_n = momen kapasitas penampang (Nmm).

M_u = momen terhadap load factor penampang (Nmm).

d_{min} = tebal efektif minimal (mm).

Dimensi balok (b x h) telah diasumsikan sebelumnya, sehingga tebal balok pracetak

adalah sebagai berikut:

a. Untuk balok anak : $h'_{ba} = h_{ba} - h_{plat}$

b. Untuk balok induk arah x : $h'_{bix} = h_{bix} - h_{ba}$

c. Untuk balok induk arah y : $h'_{biy} = h_{biy} - h_{plat}$

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

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

Dimana :

p = Selimut beton (mm).

ϕ_s = Diameter tulangan sengkang (mm).

ϕ_{tul} = Diameter tulangan pokok (mm).

Syarat: $d \geq d_{min}$

Cek terhadap momen nominal penampang:

$$M_n = A_s * f_s (d - c/3) \text{ dengan syarat: } M_n \geq M_u$$

Cek terhadap kelendutan saat pelaksanaan:

$$\delta = \frac{P * l^3}{384EI} + \frac{5 * q * l^4}{384EI} \leq \delta$$

Dimana :

δ = lendutan yang terjadi (mm).

P = beban terpusat yang bekerja pada penampang (N).

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

L = bentang elemen pracetak (mm).

E = modulus elastisitas bahan beton pracetak (Mpa).

I = momen inersia penampang balok pracetak (mm⁴).

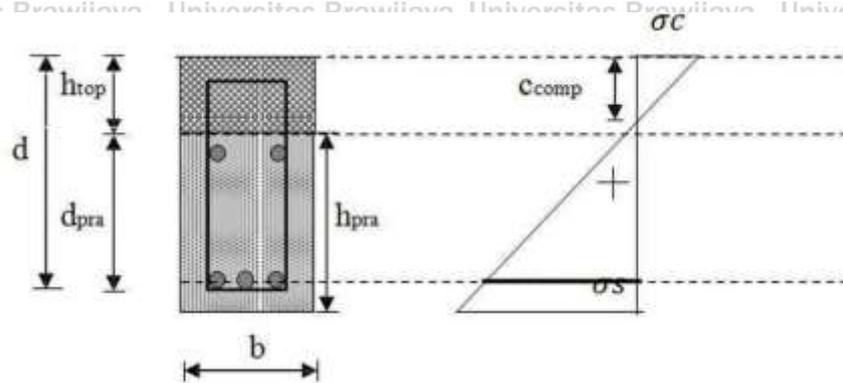
Lendutan ijin :

a. Untuk balok anak : $\delta = L/240$ (mm)

b. Untuk balok induk : $\delta = L/480$ (mm)

b. Tegangan setelah terjadi cor penuh.

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



Gambar 2.6 Tegangan Setelah Terjadi Cor Penuh.

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

$$n = EsEc \rightarrow bc*0.5c - nAs(d-c) = 0$$

Dimana :

Es = modulus elastisitas baja tulangan ($2*10^5$)(Mpa)

Ec = modulus elastisitas beton ($2.1*10^5$)(Mpa)

Sehingga tegangan di penampang dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma_c = -Mu*clpra \leq fc \rightarrow \sigma_s = -Mu*(d-c)lpra \leq fs$$

Dimana:

σ_c = Tegangan pada serat beton mengalami tekan (Mpa).

σ_s = Tegangan pada serat beton mengalami tarik (Mpa).

Mu = Momen eksternal yang terjadi pada penampang (Mpa).

d = Tebal efektif balok (mm).

y = Tebal area penampang tertekan (mm).

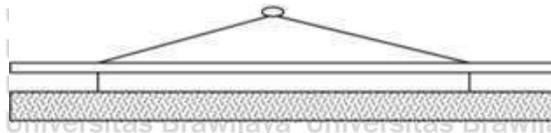
$Ipra$ = Momen inersia penampang cor penuh (mm^4).

fc = Tegangan ijin beton = $0.33*fc$ (Mpa).

fs = Tegangan ijin tulangan = $0.58*fy$ (Mpa).

2.8 Analisa Balok Pracetak (Precast) saat Pengangkatan

Balok pracetak diangkat menggunakan crane yang diangkat dengan dua titik angkat. apabila pada kondisi ini beban mati akibat beban sendiri dikalikan dengan faktor beban 1,2. Pada kondisi pertama adalah saat pengangkatan balok pracetak untuk dipasang pada tumpuannya. Pada kondisi ini beban yang bekerja adalah berat sendiri balok pracetak yang ditumpu oleh angkur pengangkatan yang akan menyebabkan terjadinya momen pada tengah bentang dan tumpuan. Ada dua hal yang harus ditinjau dalam kondisi ini, yaitu kekuatan angkur pengangkatan (lifting anchor) dan kekuatan lentur penampang beton pracetak.



Gambar 2.7 Pengangkatan Balok Pracetak.

Dimana:

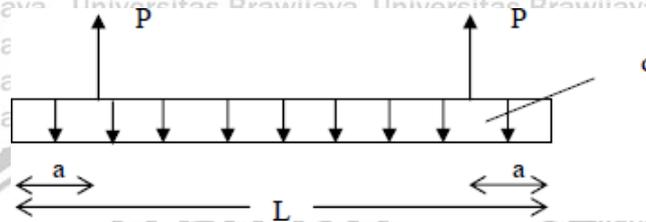
$$F = 1/2 \cdot q \cdot L$$

Keterangan:

F = Gaya angkat balok anak (ton).

qd = Berat sendiri balok pracetak terfaktor, dengan faktor beban $\phi=1.2$ (ton.)

L = Bentang balok pracetak (m).



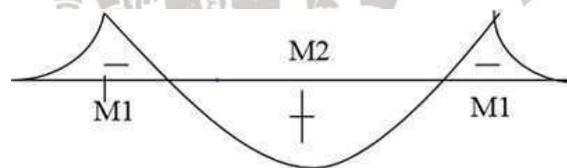
Gambar 2.8 Model Pembebanan Balok Pracetak saat Pengangkatan.

Momen maksimum yang terjadi:

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

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

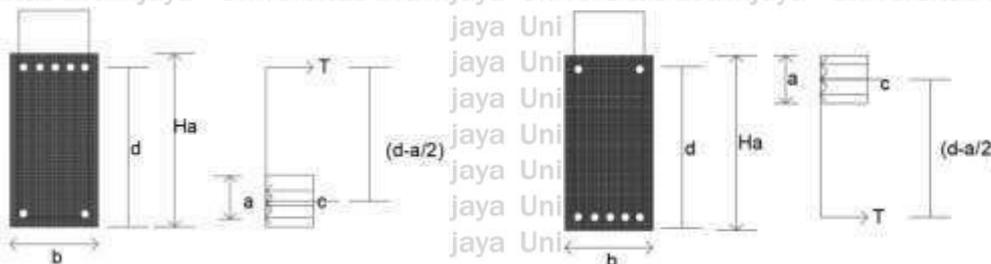
Sehingga, bidang momen yang terjadi pada balok adalah sebagai berikut:



Gambar 2.9 Bidang Momen Balok Pracetak saat Pengangkatan.

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

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



Gambar 2.10 Tegangan Sebelum Pengangkatan.

a. Kapasitas Momen Negatif.

$$T = A_s' \cdot f_y$$

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

Dimana:

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

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

a = kedalaman penampang tertekan (mm).

d = kedalaman efektif penampang beton (mm).

b = lebar penampang balok beton (mm).

As' = luasan tulangan tarik (mm²).

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

b. Kapasitas Momen Negatif Penampang Pada Titik Angkat Akibat Gaya Angkat.

Keseimbangan momen internal, $T = C$

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

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

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

$$Mu = Mx$$

Dimana Mx = momen yang terjadi pada titik angkat a

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

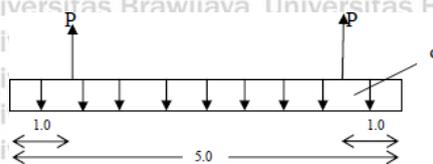
Maka ketika Mu di ketahui jarak titik angkat aka bisa di ketahui

Jika $Mu = 2,85$ kNm dan $qd = 2.419$ Knm L = 5m.

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

$$X = 1.54$$

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



Gambar 2.11 Letak Titik Angkat Balok Pracetak.

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

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

Keterangan:

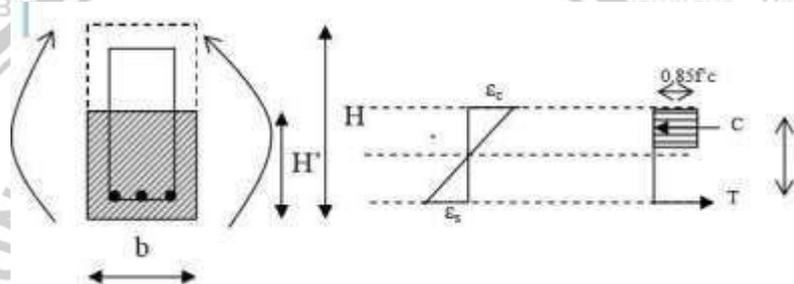
M_n = kapasitas momen nominal penampang (tonm)

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

Nilai x memiliki batasan sebagai berikut : $0 < x \leq x_{maks}$

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

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



Gambar 2.12 Tegangan dengan Tulangan Tunggal.

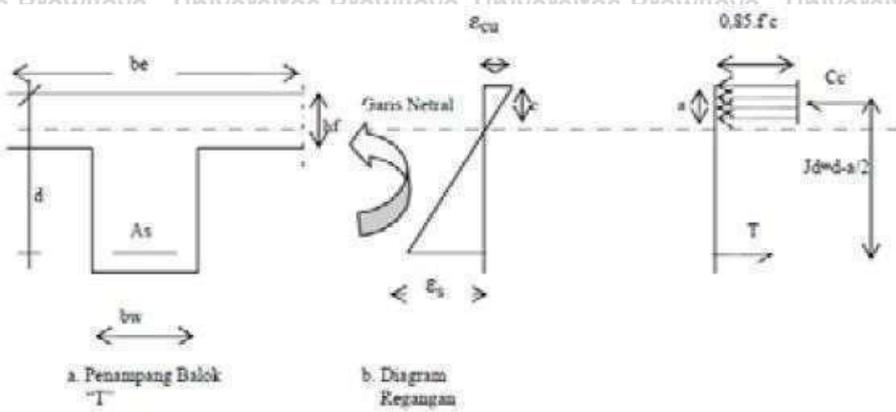
$$\begin{aligned} M_n &= T_s \cdot (d - z) \\ &= T_s \cdot (d - 0,5a) \\ &= A_s \cdot f_y \cdot (d - 0,5 \cdot \beta \cdot c) \\ &= A_s \cdot f_y \cdot (d - 0,5 \cdot 0,85 \cdot c) \\ &= A_s \cdot f_y \cdot (d - 0,425 \cdot c) \end{aligned}$$

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

2.9 Analisa Balok Kolom Pracetak (*Precast*) saat Pengangkatan

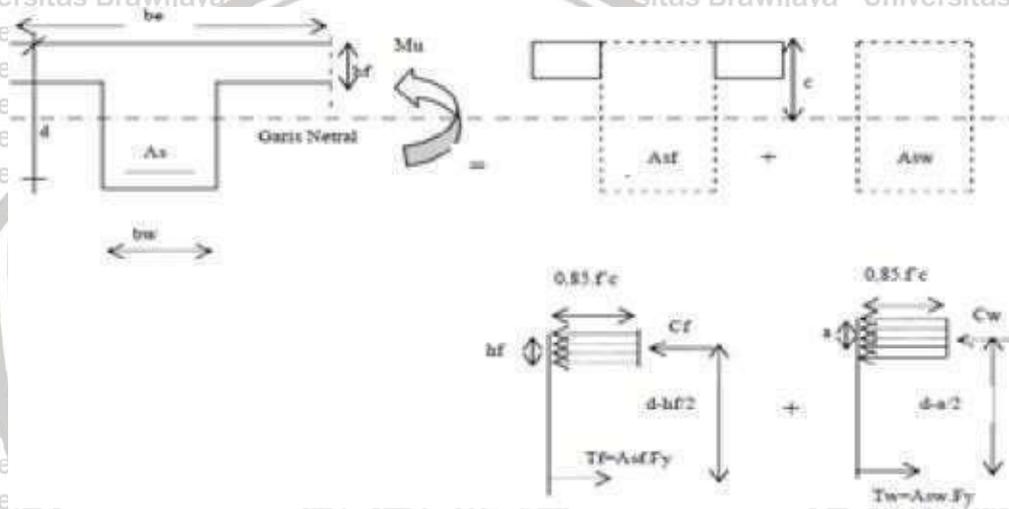
Balok T merupakan kombinasi balok yang berada di bawah dan plat yang berada pada bagian atas yang digabung menjadi satu kesatuan yang monolit yang berperilaku menahan momen positif dan akan berperilaku menjadi balok persegi biasa apabila menahan momen negatif.

a. Kondisi bila garis netral terletak dalam flens $c < hf$, maka analisa penampang dapat dilakukan sama dengan balok persegi dengan lebar balok = lebar efektif (b_e).



Gambar 2.13 Diagram Tegangan Regangan Balok T dengan Tulangan Tunggal.

b. Kondisi ketika garis netral memotong badan, $c > hf$, maka balok diperlakukan i balok T murni



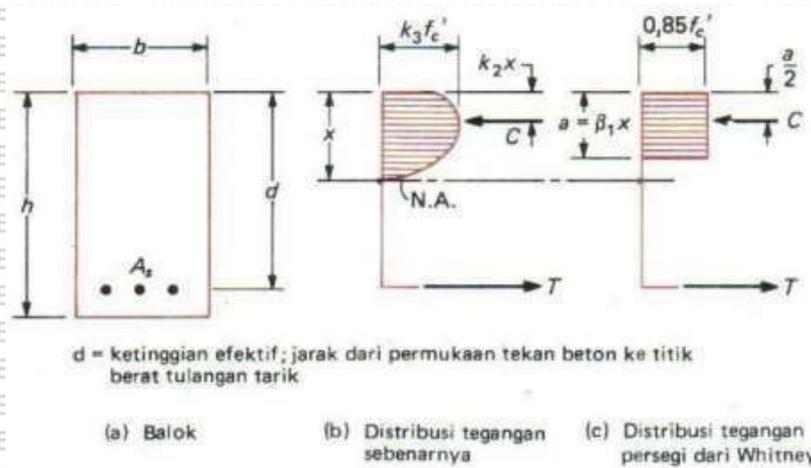
Gambar 2.14 Diagram Tegangan Regangan Balok T dengan Tulangan Rangkap.

2.10 Penampang Prismatis

Dalam menganalisis struktur pracetak (balok) harus dilakukan agar asumsi-asumsi awal dalam pelaksanaan tidak terjadi kesalahan dalam perencanaan.

a. Analisis balok persegi tulangan tunggal.

Analisis penampang adalah menghitung kapasitas/kekuatan penampang berdasarkan data-data penampang seperti : mutu beton (f_c), mutu baja (f_y), dimensi, dan luas tulangan. Untuk menganalisisnya kita dapat menggunakan dasar konsep seperti balok beton konvensional



Gambar 2.15 Analisa Penampang Tulangan Tunggal.

Pada gambar diatas, gaya tekan beton (C) adalah $C = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$

Dan gaya tarik pada baja (T) adalah: $T = A_s \cdot f_y$

Keseimbangan gaya horizontal:

$$T = C \rightarrow A_s \cdot f_y = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

Maka momen nominal penampang adalah:

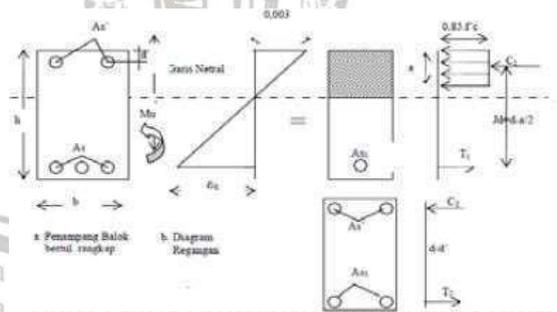
$$M_n = T \cdot j \cdot d = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2) \text{ Atau}$$

$$M_n = C \cdot j \cdot d$$

$$= 0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \cdot (d - a/2)$$

Kontrol regangan baja tarik (ϵ_s) = $\epsilon_c d - c$. Tegangan baja tarik (f_s) = $\epsilon_s \cdot E_s$. Bila $f_s \geq f_y$ (tulangan tarik sudah leleh). Bila $f_s < f_y$ (tulangan tarik belum leleh).

b. Analisis balok persegi tulangan rangkap



Gambar 2.16 Analisa Penampang Tulangan Rangkap.

2.11 Sambungan Beton Pracetak (Precast)

Sambungan dalam perencanaan elemen pracetak selain sebagai penghubung antar elemen pracetak juga berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya yang bekerja dari elemen struktur satu dengan lain yang nantinya akan diteruskan ke pondasi. Desain sambungan yang dipakai dalam perancangan ini adalah sambungan basah, seperti cor di tempat maupun dengan cara grouting sudah banyak diterapkan atau dipergunakan sebagai salah satu pemecahan masalah dalam mendesain konstruksi pracetak.

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

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

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

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

Dimana:

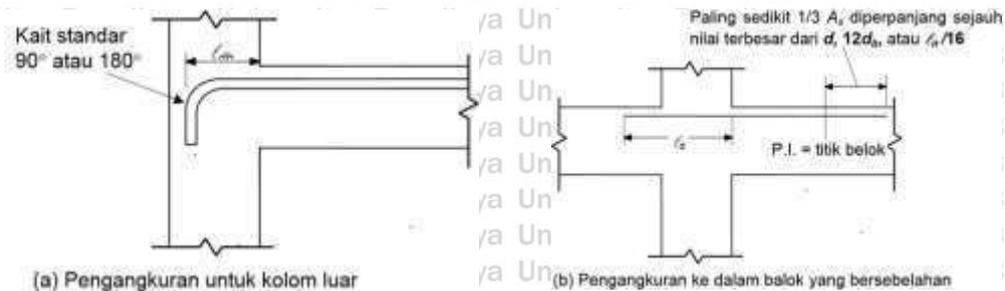
l_{db} = Panjang penyaluran tulangan

(mm) A_b = Luas tulangan(mm²)

d_b = Diameter tulangan (mm)

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

- Tulangan momen negatif pada suatu komponen struktur menerus, komponen struktur yang terkekang deformasinya, atau komponen struktur kantilever, atau pada sebarang komponen struktur dari suatu rangka kaku, harus diangkur di dalam atau sepanjang komponen struktur pendukung, dengan menggunakan panjang penanaman, kait, atau angkur mekanis (Gambar 2.17 a).
- Tulangan momen negatif harus mempunyai suatu panjang penanaman ke dalam bentang seperti diisyaratkan 14.1 dan 14.10(3).
- Paling sedikit sepertiga dari jumlah tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada suatu tumpuan harus ditanamkan hingga melewati titik belok sejauh tidak kurang dari nilai terbesar antara tinggi efektif komponen struktur, $12d_b$, atau seperenambelas bentang bersih (Gambar 2.17 b).
- Pada tumpuan dalam dari komponen struktur lentur tinggi, tulangan tarik momen negatif harus menerus dengan tulangan tarik pada bentang disebelahnya.



Gambar 2.17 Penyaluran Tulangan Momen Negatif Disadur.

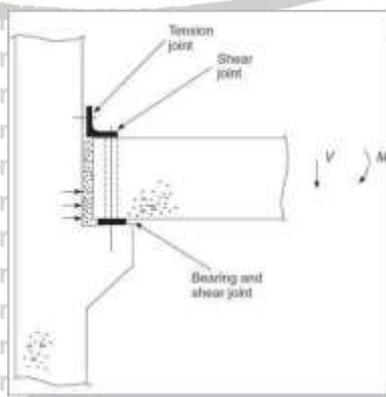
Penyaluran tulangan momen positif paling sedikit $1/3$ dari tulangan momen positif pada komponen struktur sederhana dan $1/4$ dari tulangan momen positif komponen struktur menerus harus diteruskan sepanjang muka yang sama dari komponen struktur hingga ke dalam tumpuan. Pada balok, tulangan tersebut harus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

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

2.11.1 Desain Sambungan pada Beton Pracetak (*Precast*)

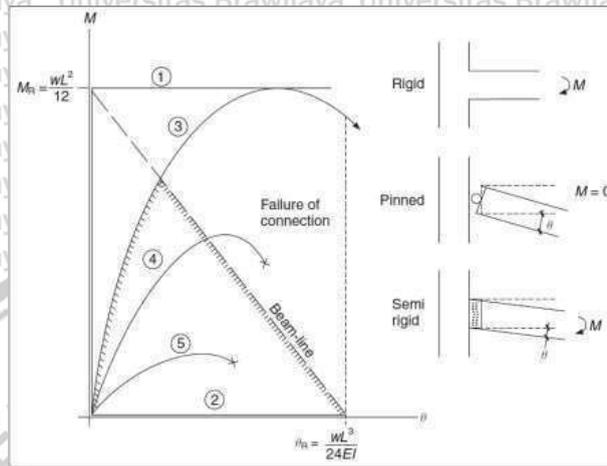
Sambungan adalah bagian penting yang berada pada desain beton pracetak dan sebuah konstruksi. Desain sambungan dapat di tentukan sendiri jenis kerangka pracetak. Di katakan bahwa dinding kerangka memberikakan kekauan sambungan $1/100$ dari kekauan dinding panel – 200 N/mm^2 per mm dari panjang beton panel yang terpasang vs 2.7 ke 15 N/mm^2 . Struktur sambungan yang di dibutuhkan untuk menstransfer semua tipe gaya yang umum tekan, geser, dan juga tarik.

Baja atau material lainnya mungkin menjadi satu jika beton tertekan dari lebih besar nilai yang diizinkan. Dibandingkan dengan pengecoran di tempat kosntruksi ada sejumlah gaya dari sambungan yang dinamakan gaya gesek karena adanya gerakan gaya relatif dari *shrinkage*.



Gambar 2.18 Sambungan pada Tumpuan *Corbel*.

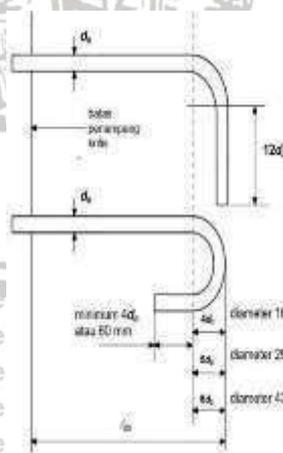
Pergerakan dari frame dapat dikontrol dari desain sambungan yang sesuai. Dalam mencapai berbagai sistem struktur mungkin di butuhkan design dan konstruksi sambungan. Kekakuan monolithic pada sambungan hanya bisa dibuat pada waktu membuat bekisting. Di teori bahwa ketika tidak ada sambungan maka akan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



Gambar 2.19 Karakteristik Momen dan Rotasi.

2.12 Penyaluran Tulangan Tarik Berkait

Penyaluran baja tulangan juga dapat dilakukan dengan memberikan kait, cara ini biasa dilakukan jika ruang yang tersedia tidak mencukupi untuk diterapkan penyaluran lurus. Penyaluran jenis ini hanya boleh diberikan untuk tulangan tarik dengan ketentuan:



Gambar 2.20 Penyaluran Tulangan Tarik Berkait Disadur.

- a. Panjang penyaluran l_{dh} , dalam mm, untuk batang ulir tertarik yang berakhir pada suatu kait standar (Butir 7.1 dalam SNI 03-2847-2002) harus dihitung dengan mengalikan panjang penyaluran dasar l_{hb} pada Butir (2) dengan faktor atau faktor-faktor modifikasi yang berlaku yang sesuai dengan Butir (3) berikut ini, tetapi l_{dh} tidak boleh kurang dari $8d_b$ ataupun 150 mm (Gambar 2.20).

- a. Panjang penyaluran dasar lhb untuk suatu batang kait dengan y_f sama dengan 400 MPa harus diambil sebesar $100d / f_y$.
- b. Panjang penyaluran dasar lhb harus dikalikan dengan faktor atau faktor faktor yang berlaku untuk:

Tabel 2.1 Faktor Pengali Panjang Penyaluran Dasar.

Kuat leleh batang Batang dengan $f_y = 400$ MPa	$f_y/400$
Selimit beton Untuk batang D-36 dan yang lebih kecil, dengan tebal selimit samping (normal) terhadap bidang kait) tidak kurang dari 60 mm, dan untuk kait 90 derajat dengan selimit pada kaitan tidak kurang dari 30 mm	0,7
Senggang atau sengkang ikat Untuk batang D-36 dan yang lebih kecil dengan kait yang secara vertikal atau horizontal tercakup di dalam sengkang atau sengkang ikat yang dipasang sepanjang panjang penyaluran l_{dh} dengan spasi tidak melebihi $3d_b$ di mana d_b adalah diameter batang kait	0,8
Tulangan lebih Bila pengankuran atau penyaluran untuk f_y tidak secara khusus diperlukan, maka tulangan dalam komponen struktur lentur yang dipasang lebih dari keperluan berdasarkan analisis	$\frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{tersedia}}}$
Beton agregat ringan	1,3
Tulangan berlapis epoksi	1,2

- c. Untuk batang yang disalurkan dengan kait standar pada ujung yang tidak menerus dari komponen struktur dengan kedua selimit samping dan selimit atas (atau bawah) terhadap kait kurang dari 60 mm, batang kait harus dilindungi dengan sengkang atau sengkang pengikat sepanjang panjang-penyaluran l_{dh} dengan spasi tidak lebih dari $3d_b$, di mana d_b adalah diameter batang kait. Untuk kondisi ini faktor pada Butir (3) bagian ketiga (sengkang atau sengkang ikat) tidak boleh digunakan.
- d. Kait tidak boleh dianggap efektif dalam menyalurkan batang tekan.

2.13 Pembebanan Struktur

2.13.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut (SNI 2847: 2013).

Adapun beban mati yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. Berat jenis beton = 2400 Kg/m^3 .
- b. Berat jenis baja = 7850 Kg/m^3 .
- c. Spesi lantai keramik $t = 2 \text{ cm} = 42 \text{ Kg/m}^3$.
- d. Penutup lantai keramik = 24 Kg/m^3 .
- e. Plafond + penggantung = 18 Kg/m^3 .
- f. M & E = 20 Kg/m^3 .

2.13.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah dan termasuk beban akibat air hujan pada atap (SNI 2847: 2013). Adapun beban mati yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. Beban hidup lantai = 500 Kg/m^3 .
- b. Beban hidup atap = 100 Kg/m^3 .

2.13.3 Beban Gempa

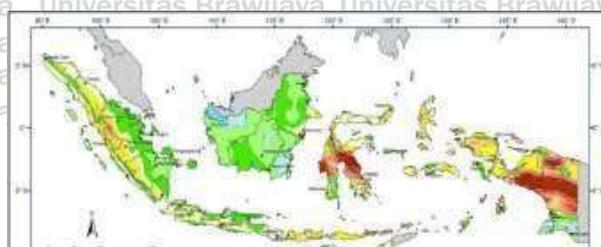
Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa tersebut. Beban gempa dilakukan dengan menggunakan peraturan terbaru perencanaan ketahanan gempa untuk gedung, yaitu RSNI 03-1726-2012. Analisis beban gempa dilakukan dengan 2 metode, metode pertama adalah analisis statik ekuivalen dengan mengambil parameter-parameter beban gempa dari program Spektra Indonesia dan metode kedua adalah analisis time history dengan mengambil 4 rekaman catatan gempa yang telah disesuaikan dengan respons spektra desain kota Padang dengan program seismomatch. Rekaman catatan gempa yang diambil adalah gempa parkfield, gempa imperialvalley, gempa lomacoralito, gempa imp parachute.

2.14 Analisis Beban Gempa

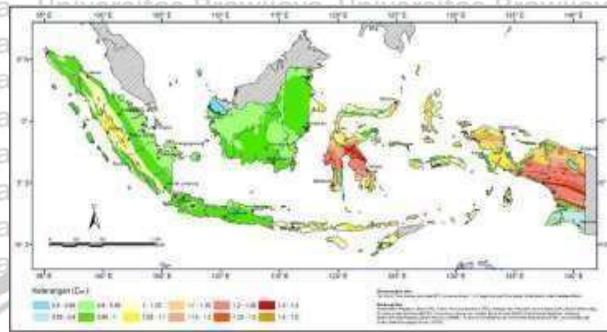
2.14.1 Wilayah Gempa

Parameters percepatan gempa dapat ditentukan berdasarkan 2 hal yaitu, parameter percepatan terpetakan dari kelas 1 situs. Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar-pada perio dan 1 detik) harus ditetapkan masing-masing respons spectral percepatan sebesar 0,2 detik dan 1 detik dalam petal gerak tanah seismik spadan pasal 14 dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCER, 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Bila $S_1 \leq 0,04g$ dan $S_s \leq 0,15g$, maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A. (SNI 1726-2012 Pasal 6.1.1).

Sedangkan kelas situs mengatur klasifikasi berdasarkan sifat tanah pada situs, maka situs diklasifikasi terlebih dahulu sebagai kelas situs SA, SB, SC, SD, SE, atau SF. Bila sifat-sifat tanah tidak klasifikasi secara jelas sehingga tidak bias ditentukan kelas situsnya, maka kelas situs SE dapat digunakan kecuali jika pemerintah atau dinas terkait yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas dari situs SF.



Gambar 2.21 CR1, koefisien resiko terpetakan, periode respons spektrum 0,2 detik.



Gambar 2.22 CR1, koefisien foresik 0 terpetakan, periode respons spektrum 1 detik.

2142 Konfigurasi Struktur Gedung

Struktur Gedung dibedakan menjadi 2 golongan, yaitu beraturan dan tidak beraturan.

Pada SNI 1726-2012 Pasal 7.3.2 syarat-syarat yang kemudian dapat menentukan suatu gedung beraturan atau tidak.

Analisis gedung beraturan dapat dilakukan berdasarkan analisis statik ekuivalen.

Sedangkan gedung tidak beraturan, pengaruh gempa rencana harus ditinjau sebagai pengaruh pembebanan dinamik yang analisisnya harus dilakukan berdasarkan analisis respon dinamis.

Tabel 2.2 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur.

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel13 12.2.2	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel13 12.2.2	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan.	7.3.3.4 Tabel13	D, E, dan F D, E, dan F

3.	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 persen daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 persen dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	7.3.3.4 Tabel13	D, E, dan F D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel13 12.2.2	B, C, D,E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya gempa.	7.5.3 7.7.3 Tabel13 12.2.2	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

Tabel 2.3 Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur.

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel13	D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 60 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	7.3.3.1 Tabel13	E dan F D, E, dan F
2.	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150 persen massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel13	D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130 persen dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya.	Tabel13	D, E, dan F
4.	Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal didefinisikan ada jika pegeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya.	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 13	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a.	Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.	7.3.3.1 Tabel13	E dan F D, E, dan F
5b.	Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat yang Berlebihan didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat tingkat adalah kuat total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.	7.3.3.1 7.3.3.2 Tabel13	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

Untuk Gedung SMP Petra Surabaya termasuk kategori beraturan. Sehingga, analisis gedung beraturan dapat dilakukan berdasarkan analisis statik ekuivalen.

2143 Kategori Gedung

Pada SNI 1726-2012i Pasal 4.1.2, berdasarkan fungsinya gedungnakan di klasifikasikan sebagai berikut:

Tabel 2. 4 Jenis Pemanfaatan Gedung.

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan non gedung 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 industry- Fasilitas manufaktur- Pabrik	
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <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	
Gedung dan non gedung, 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: <ul style="list-style-type: none">- Pusat pembangkit listrik biasa- Fasilitas penanganan air- Fasilitas penanganan limbah- Pusat telekomunikasi	

<p>Gedung dan non gedung 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>	
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah 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, 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

Tabel 2.5 Kategori Risiko Gempa.

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

2144 Parameter Fundamental Pendekatan

Sebagai perencanaan alternatif, diijinkan untuk menentukan periode fundamental pendekatan (T_a) dalam detik, dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat dimana sistem penahang gaya gempa pada Sistem Rangka Pemikul Momeng secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m:

$$T_a = 0,1N_s (2 - 10)$$

Keterangan:

N = Jumlah tingkat

2145 Parameter Spectrum Respons

Penentuan respons spectrum percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan faktor amplifikasi seismic periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter spectrum respons percepatan pada periode pendek (SMS) dan periode 1 detik (SM1) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut:

$$\text{SMS} = cF_a \times S_s \quad (2 - 8a)$$

$$\text{SM1} = cF_v \times S_1 \quad (2 - 8b)$$

Keterangan :

- S_s = Parameter respons spektrum percepatan gempa MCER terpetakan periode pendek.
- S_1 = Parameter respons spektrum percepatan gempa MCER terpetakan periode 1,0 detik.

Tabel 2.6 Klasifikasi Situs.

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{th}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

Tabel 2.7 Koefisien Situs

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{th}	\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 :		
	<ol style="list-style-type: none"> Indeks plastisitas, $PI > 20$, Kadar air, $w \geq 40\%$, 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: <ul style="list-style-type: none"> - 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

Tabel 2. 8 Koefisien Situs, F_a .

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

CATATAN:

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Tabel 2.9 Koefisien Situs, F_v .

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode pendek, $T=1,0$ detik, S_1				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	1	1	1	1	1
SC	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
SD	2.4	2	1.8	1.6	1.5
SE	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
SF	SS ^b				

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

2146 Parameter Percepatan Spektrum Desain

Parameter percepatan spektrum desain pada periode pendek, SDS dan untuk periode 1 detik, SD1, harus ditentukan melalui perumusan sebagai berikut:

$$SDS = 2/3 S_{MS} \quad (2.4.a)$$

$$SD1 = 2/3 S_{M1} \quad (2.4.b)$$

(SNI 1726-2012 Pasal 6.3)

2147 Spektrum Respon Desain

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

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

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}) \quad (2-11a)$$

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

diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2 - 11b)$$

Keterangan:

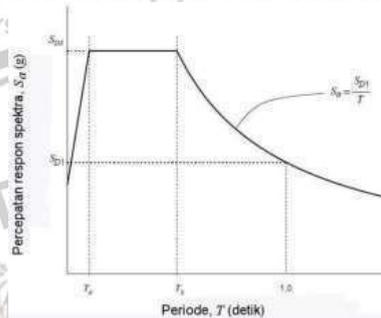
S_{DS} = parameter respons spectral percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} = parameter respons spectral percepatan desain pada periode 1 detik

T = periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = S_{D1} / S_{DS}$$



Gambar 2.23 Desain Respon Spektrum.

2148 Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan dengan persamaan berikut. (SNI 1726-2012 Pasal 7.8.1)

$$V = C_s \cdot W_{tot} \quad (2 - 12a)$$

Keterangan:

C_s = koeisien respon seismik.

W_{tot} = berat seismik efektif gedung.

Perhitungan koefisien respons seismik, C_s , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut (SNI 1726-2012 Pasal 7.8.1.1)

$$C_s = \frac{R}{R_0} \cdot \frac{S_{DS}}{R}$$

Keterangan:

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

R = faktor modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

Ketentuan:

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

$$C_s(\text{maks}) = \frac{S_{DS}}{T_p}$$

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

$$C_s(\text{min}) = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (2 - 12d)$$

2.149 Distribusi Gaya Gempa

Gaya gempa yang akan direncanakan pada elemen struktur dibagi menjadi:

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

$$F_i = i C_{vx} V = a \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} V \quad (2 - 13a)$$

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

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \quad (2 - 13b)$$

Keterangan:

F_i = bagian dari geser dasar seismik (V) yang timbul di tingkat i (kg)

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

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

w_i = bagian berat seismik efektif total struktur

(W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i

h_i = tinggi dari dasar sampai tingkat i (m)

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur sebagai berikut:

a. Untuk struktur yang memiliki nilai, periode sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$

b. Untuk struktur, yang memiliki nilai 1 periode sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$

c. Untuk struktur yang mempunyai periode antara 0,5 dan 2,5 detik.

2.15 Konsep Perencanaan

Sampai saat ini paling tidak ada dua metode perencanaan struktur beton, yaitu metode beban kerja (*working stress method*) dan metode beban batas (*limit states method*). Metode beban kerja dilakukan dengan menghitung tegangan yang terjadi dan membandingkan dengan tegangan ijin yang bersangkutan. Apabila tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan yang diijinkan maka dinyatakan aman. Dalam menghitung tegangan, semua beban tidak dikalikan dengan faktor beban. Tegangan ijin dikalikan dengan suatu faktor kelebihan tegangan (*overstress faktor*). Untuk struktur beton, metode ini diterapkan pada peraturan Beton

Indonesia. (PBI 1971)

Metode beban batas didasarkan pada batas-batas tertentu yang bisa dilampaui oleh suatu sistem struktur. Batas-batas tersebut yang bisa dilampaui oleh suatu sistem struktur. Batas-batas tersebut, terutama adalah kekuatan, kemampuan layan, keawetan, ketahanan terhadap api, ketahanan terhadap beban kelelahan dan persyaratan khusus yang berhubungan dengan penggunaan sistem struktur tersebut. Setiap batas dinyatakan aman apabila aksi rencana lebih kecil dari kapasitas komponen struktur. Aksi rancangan dihitung dengan menggunakan faktor beban, sedangkan kapasitas bahan dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan. Peraturan beton saat ini menggunakan pendekatan ini, termasuk di Indonesia.

2.16 Sistem Struktur

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

a. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB).

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

b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Sistem Struktur bangunan ini diharapkan dapat menahan resiko kegempaan sedang yaitu, wilayah gempa 3 dan 4. Dan sistem SRPMM ini akan digunakan pada Skripsi ini.

c. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

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

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Pengumpulan Data

Data ini didapatkan dari tim teknis Konsultan Perencana PT. Sinar Waringin Adikarya sebagai acuan untuk perencanaan dan menganalisis perencanaan gedung SMP Petra Surabaya dalam penelitian ini.

3.2 Data – Data Desain

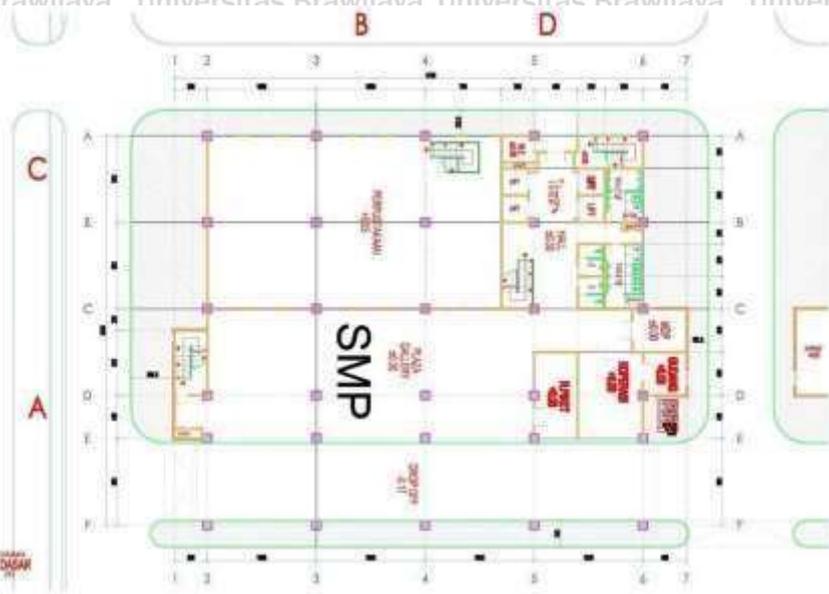
3.2.1 Data Umum Gedung

Nama Proyek : Gedung SMP Petra Surabaya.
Alamat Proyek : Jl. Mayjen HR. Muhammad No. Kav. 808.
Fungsi : 8 lantai untuk gedung pembelajaran.
Waktu Pelaksanaan : 550 hari (September 2019 – Maret 2020).
Biaya : Rp 47.266.000.000,-.

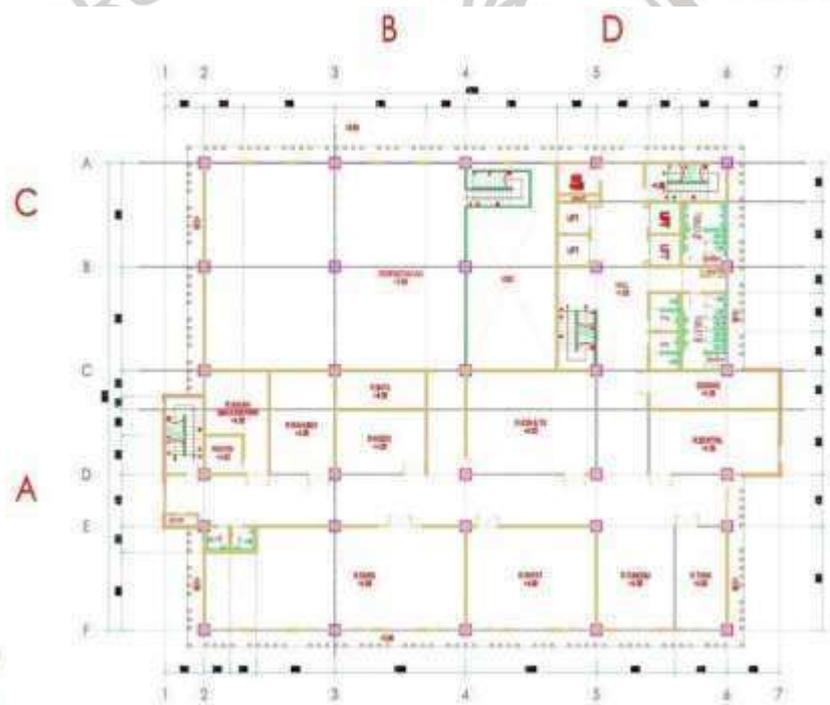
3.2.2 Data Teknis Gedung Awal

Struktur Gedung : Gedung menggunakan struktur beton.
Jumlah lantai : 8 lantai.
Tinggi Bangunan : ± 34m. Tinggi Tiap Lantai
Lantai Dasar : 5 m.
Lantai 1-5 : 4 m.
Lantai Atap : 3,8 m. Zona
Gempa : 4.

3.2.3 Denah Gedung

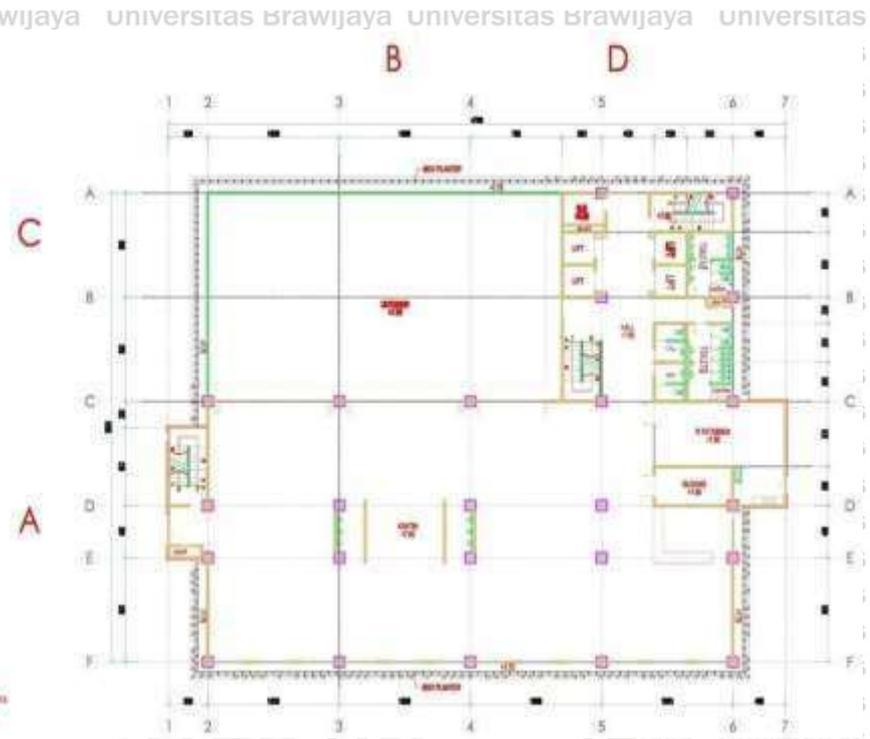


Gambar 3.1 Denah Lantai Dasar.

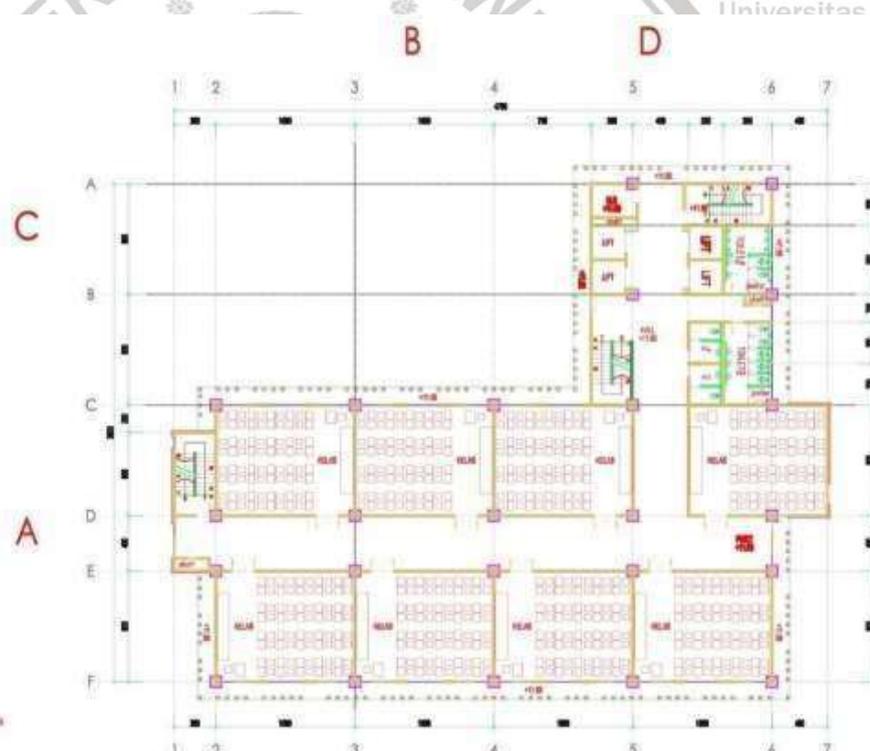


Gambar 3.2 Denah Lantai Satu.





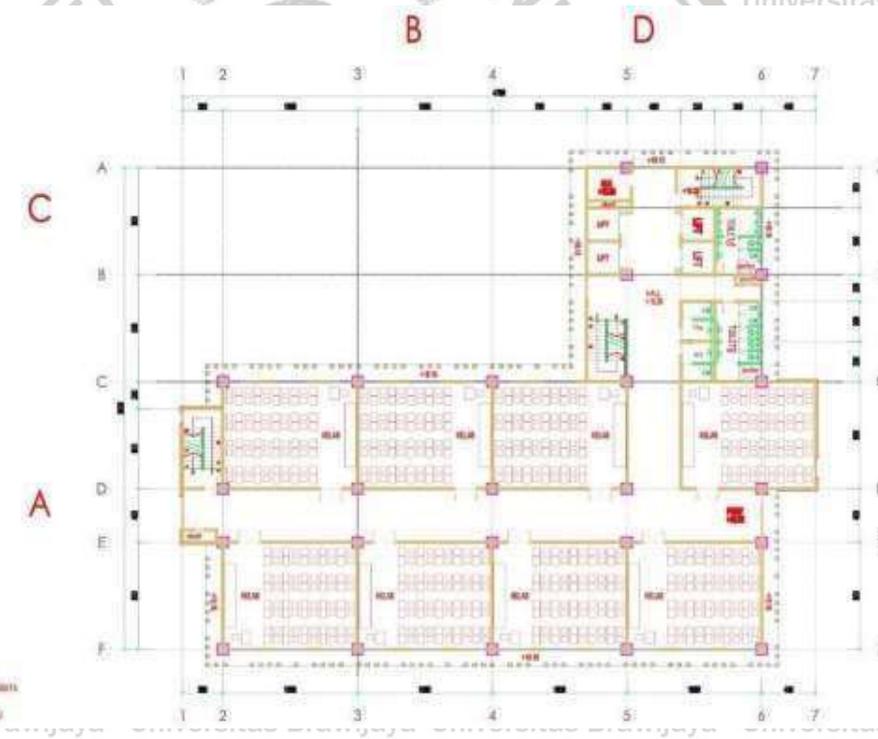
Gambar 3.3 Denah Lantai Dua.



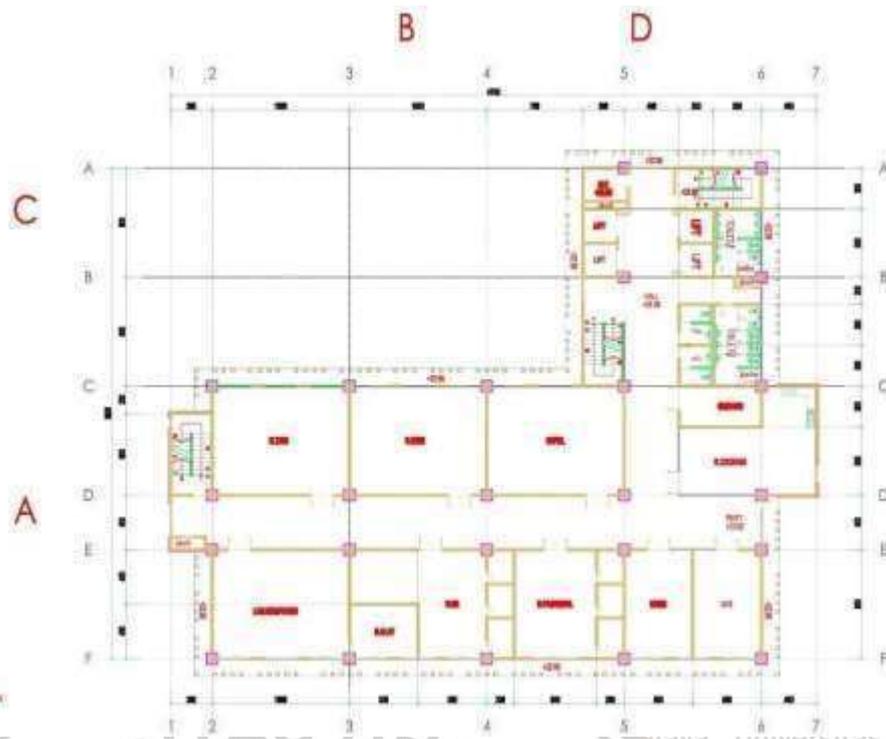
Gambar 3.4 Denah Lantai Tiga.



Gambar 3.5 Denah Lantai Empat.



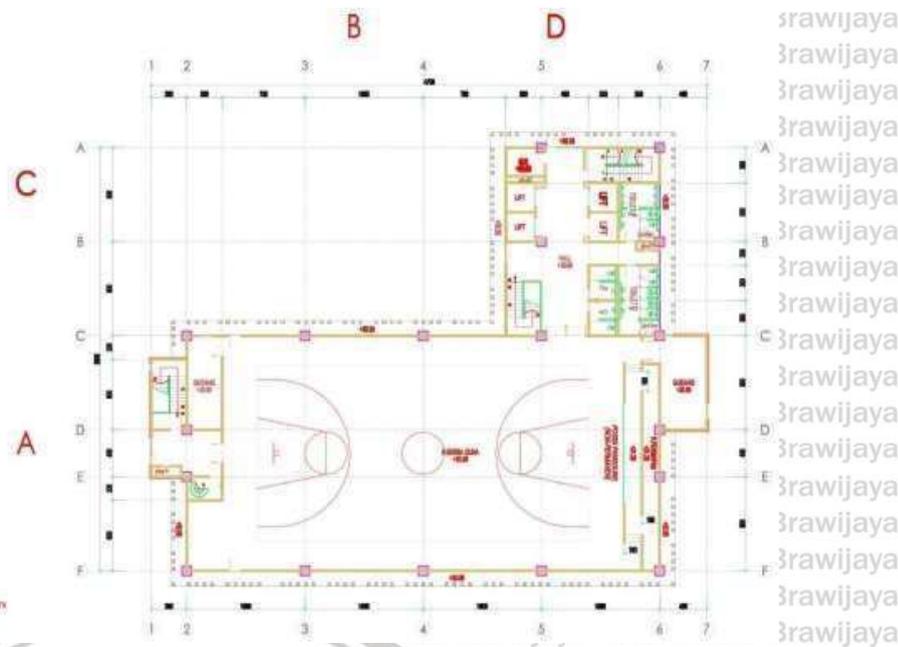
Gambar 3.6 Denah Lantai Lima.



Gambar 3. 7 Denah Lantai Enam.



Gambar 3.8 Denah Lantai Tujuh.



Gambar 3.9 Denah Lantai Delapan.

3.3 Prosedur Perencanaan

3.3.1 Analisis Pembebanan

Pembebanan pada perencanaan Gedung SMP Petra Surabaya secara keseluruhan sebagai berikut:

- Beban Mati.
- Beban Hidup.
- Beban Gempa.

Dari pembebanan diatas, maka beton bertulang Gedung SMP Petra Surabaya harus mampu memikul seluruh kombinasi pembebanan berikut ini:

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

Keterangan:

D : beban yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen

L : beban yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung

A : beban atap

R : beban hidup

W : beban angin

E : beban gempa

3.3.2 Analisis Statika

Studi alternatif ini digunakan aplikasi analisis struktur SAP 2000 V20 untuk membantu dalam menghitung besarnya momen, gaya aksial, serta gaya geser yang terjadi setelah diberikan beban pada gedung SMP Petra Surabaya. Perhitungan analisis gempa dalam penelitian ini menggunakan analisis respon spektrum dimana dengan digunakannya aplikasi ini akan membantu untuk menghitung gaya yang bekerja pada struktur akibat gaya gempa tersebut.

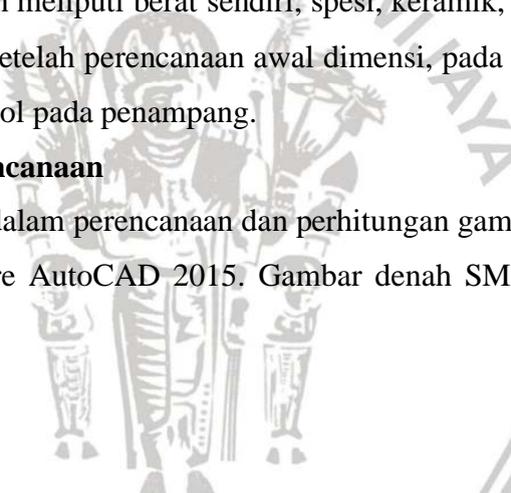
3.3.3 Desain Penampang

Prinsip dasar yang digunakan dalam pendesainan penampang pada Gedung SMP Petra Surabaya yakni dengan menggunakan konsep beton bertulang dengan menggunakan metode *precast*. Detail penampang yang akan digunakan pada balok berupa beton pracetak yang akan di sambungkan dengan kolom dan plat dengan menggunakan sambungan basah.

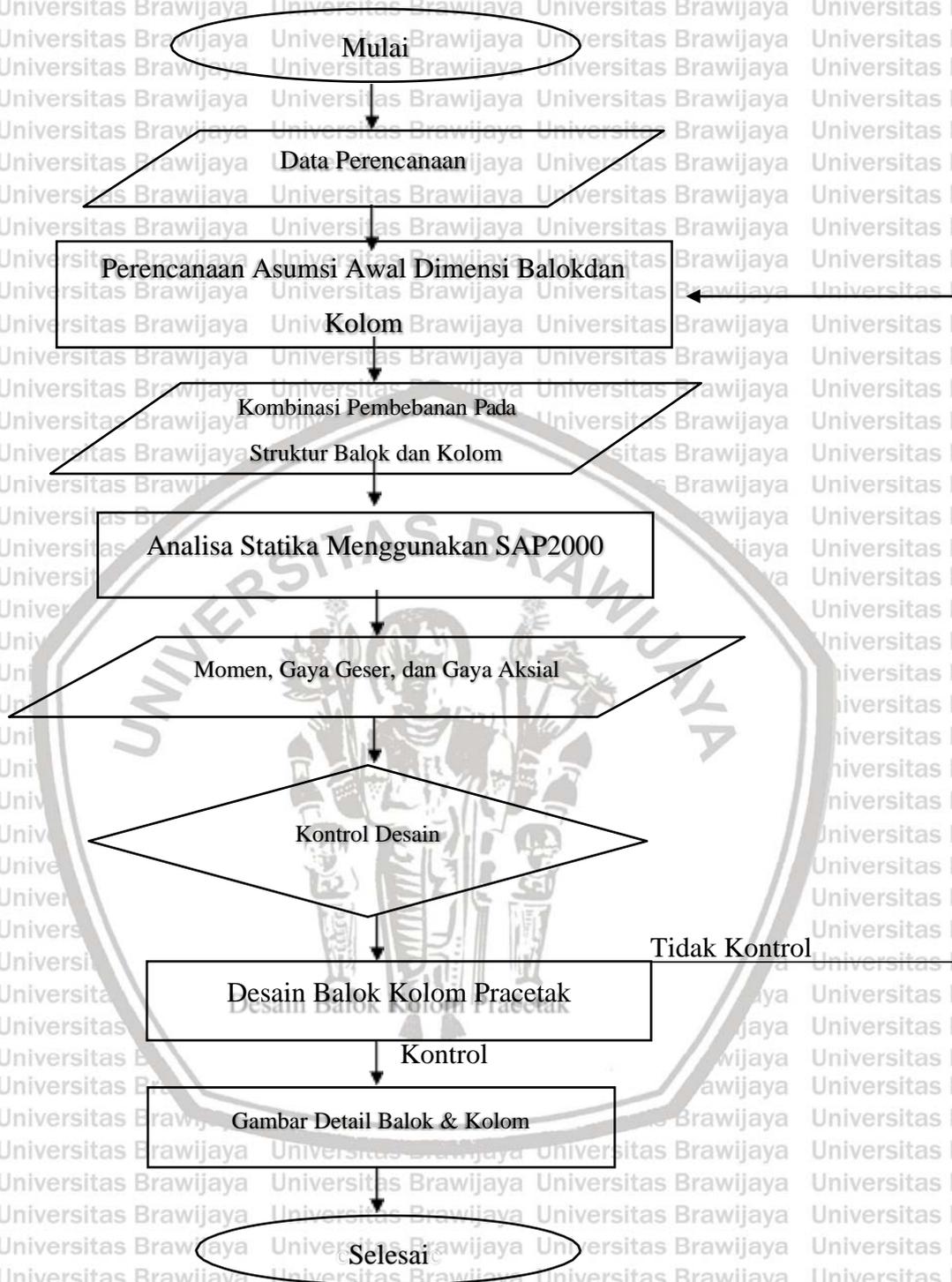
Setelah melakukan perencanaan awal dimensi, dilakukan kontrol dalam beberapa kondisi, yaitu kondisi sebelum komposit dan kondisi setelah komposit. Pada kondisi sebelum komposit, pembebanan meliputi berat sendiri, spesi, keramik, plafon, instalasi, dinding dan beban guna (hidup). Setelah perencanaan awal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

3.3.4 Desain Perencanaan

Penggambaran dalam perencanaan dan perhitungan gambar teknik ini dibantu dengan menggunakan software AutoCAD 2015. Gambar denah SMP Petra Surabaya diletakkan pada lampiran 1.



3.4 Diagram Alir Perencanaan



Gambar 3.10 Bagan Alir Penelitian.

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Dimensi Struktur

4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok

Pada analisis ini dimensi balok digunakan 1/8 hingga 1/12 bentang untuk tinggi dan lebar digunakan 1/2 dari tinggi. Dimensi balok yang direncanakan 40x20 cm

4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom

Perencanaan dimensi kolom, kolom harus memenuhi ketentuan yang pertama kolom direncanakan memikul beban aksial terfaktor yang berkerja pada lantai atau atap dan momen maksimum yang berasal dari beban terfaktor pada suatu bentang terdekat. Yang kedua pada perhitungan momen akibat beban gravitasi yang bekerja pada kolom, ujung kolom di anggap terjepit. Dan yang ketiga momen yang bekerja pada tiap level atau atap harus didistribusikan pada kolom di atas dan di bawah lantai tersebut berdasarkan kekakuan relatif. Sehingga akan memakai kolom berdimensi 30 x 30 cm.

4.1.3 Perencanaan Tebal Pelat

Tebal pelat menggunakan 12 cm sesuai dengan keadaan *existing* gedung tersebut. Sistem lantai yang digunakan adalah sistem diafragma (kaku).

4.2 Analisis Pembebanan

4.2.1 Kombinasi Pembebanan

Pembebanan yang akan di perhitungkan dalam perencanaan Gedung SMP Petra Surabaya adalah:

- Beban Mati.
- Beban Hidup.
- Beban Gempa.

Berdasarkan beban tersebut, maka beton bertulang yang akan di gunakan pada Gedung SMP Petra Surabaya harus mampu memikul kombinasi beban maksimum. Berikut adalah kombinasi beban maksimum:

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

Keterangan:

D = Beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen.

L = Beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung.

A = Beban atap.

R = Beban hidup.

W = Beban angin.

E = Beban gempa.

4.2.2 Analisis Pembebanan

4.2.2.1 Beban Mati

Sesuai dengan peraturan pembebanan Beton Bertulang Indonesia untuk beban

mati diatur sebagai berikut:

Berat sendiri baja = 7850 kg/m^3 .

Berat isi beton = 2400 kg/m^3 .

Berat spesi per cm tebal = 22 Kn/m^2 .

Berat keramik = 22 Kn/m^2 .

Berat pasangan bara merah $\frac{1}{2}$ batu 15 cm = $2,5 \text{ Kn/m}^3$.

Berat eternity + penggantung langit-langit = $0,2 \text{ Kn/m}^2$.

4.2.2.2 Beban Hidup

Sesuai dengan peraturan beban minimum untuk perancangan bangunan gedung

dan struktur (SNI 1721:2013), beban mati diatur sebagai berikut:

Gimnasium = $4,79 \text{ Kn/m}^2$.

Ruang penyimpanan = $7,18 \text{ Kn/m}^2$.

Ruang publik dan koridor yang melayani = $4,79 \text{ Kn/m}^2$.

Loteng yang dapat didiami = $1,44 \text{ Kn/m}^2$.

Ruang pribadi dan koridor yang melayani = $1,92 \text{ Kn/m}^2$.

4.2.2.3 Beban Pelat

Beban mati pada pelat lantai (SUPER DEAD), direncanakan:

Berat pasir setebal 1 cm = $0,01 \times 16 = 0,16 \text{ Kn/m}^2$.

Berat spesi setebal 3 cm = $0,03 \times 22 = 0,66 \text{ Kn/m}^2$.

Berat keramik setebal 1 cm = $0,01 \times 22 = 0,22 \text{ Kn/m}^2$.

Berat plafond dan penggantung = $0,2 \text{ Kn/m}^2$.

Berat instalasi ME = $0,25 \text{ Kn/m}^2$.

Total beban mati pada pelat lantai = $1,49 \text{ Kn/m}^2$.

4.2.2.4 Beban Balok

Beban mati pada balok (SUPER DEAD), direncanakan: Beban mati yang bekerja pada balok meliputi Beban dinding pasangan ½ batu = $(4 - 0,7) \times 2,5 = 8,25$ Kn/m².

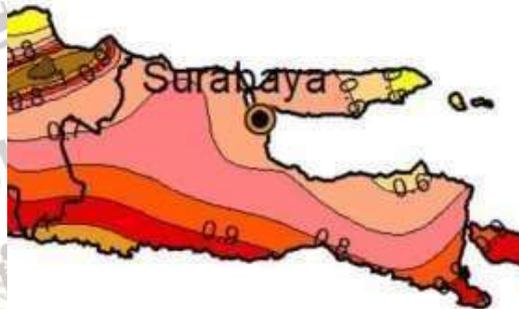
4.2.2.5 Analisis Beban Gempa

Pada perhitungan beban gempa pada Gedung SMP Petra Surabaya, perhitungan respons spektrum. Data Perencanaan:

1. Wilayah = Kota Surabaya. S_s :

$$0,6 - 0,7 \text{ g} = 0,7 \text{ g}$$

$$S_1 : 0,25 - 0,3 \text{ g} = 0,25 \text{ g}$$



Gambar 4.1 Peta pada S_s Kota Surabaya

Sumber : SNI 1726-2012



Gambar 4.2 Peta pada S_1 Kota Surabaya

Sumber : SNI 1726-2012

2. Menentukan Klasifikasi Situs Berdasarkan Jenis Tanah

Tabel 4.1 Klasifikasi Situs (SNI 1726-2012)

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{60}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{60}	\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

Untuk Kota Surabaya memiliki Jenis Tanah Sedang sehingga masuk kelas situs SD.

3. Kemudian menentukan F_a (Faktor Amplifikasi Terkait Percepatan Yang Mewakili Getaran Periode Pendek 0,2 Detik) dan F_v (Faktor Amplifikasi Terkait Percepatan Yang Mewakili Getaran Periode Panjang Detik), sebagai berikut:

Tabel 4.2 Analisis Koefisien Situs F_a (SNI 1726-2012)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

CATATAN:

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
 (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Kota Surabaya termasuk kategori SD (tanah sedang) $S_s = 0,7$ sehingga hasilnya $F_a = 1,24$ (interpolasi).

Tabel 4.3 Analisis Koefisien Situs F_v (SNI 1726-2012)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF			SS ^b		

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

Kota Surabaya termasuk kategori SD (tanah sedang) $S_1 = 0,25$ sehingga hasilnya $F_v = 1,9$ (interpolasi).

4. Kemudian menentukan S_{MS} (Parameter Spektrum Respons Percepatan Pada Periode Pendek 0,2 Detik) dan S_{M1} (Parameter Spektrum Respons Percepatan Pada Periode Panjang 1 Detik), sebagai berikut:

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

$$S_{MS} = 1,24 \times 0,7 = 0,868$$

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

$$S_{M1} = 1,9 \times 0,25 = 0,475$$

Sehingga didapat nilai $S_{MS} = 0,868$ g dan $S_{M1} = 0,475$ g

5. Kemudian menentukan S_{DS} (Parameter Percepatan Spektral Desain Untuk Periode Pendek 0,2 Detik) dan S_{D1} (Parameter Percepatan Spektral Desain Untuk Periode Panjang 1 Detik), sebagai berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot S_{MS}$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot 0,868 = 0,5787$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \cdot S_{M1}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times 0,475 = 0,3167$$

Sehingga didapat nilai $S_{DS} = 0,5787$ g dan $S_{D1} = 0,3167$ g

6. Kemudian menentukan T_0 (Periode Getar Fundamental Struktur Periode Pendek 0,2 Detik) dan T_s (Periode Getar Fundamental Struktur Periode Panjang 1 Detik).

$$T_0 = 0,2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \cdot \frac{0,3167}{0,5787} = 0,1095$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,3167}{0,5787} = 0,5473$$

Sehingga didapat nilai $T_o = 0,1095$ g dan $T_s = 0,5473$ g



7. Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respon percepatan desain S_a harus di ambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS}(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0})$$

8. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respon percepatan desain sama dengan S_{DS} .

9. Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain S_a diambil berdasarkan persamaan:

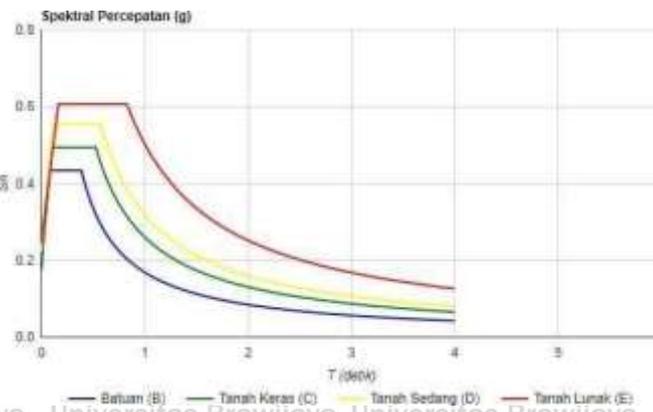
$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

Tabel 4.4 Analisis Respon Spektrum

Data	
S_1	0,25
S_s	0,7
F_a	1,24
F_v	1,9
SMS	0,868
SM1	0,475
SDS	0,5787
SD1	0,3167
T_0	0,1095
T_s	0,5473

SD (Tanah Sedang)	
Periode T (Detik)	Percepatan Respon Spektra S_a (g)
0	0,25
0,1095	0,5787
0,5473	0,5787
1	0,513
1,1	0,452
1,2	0,405
1,3	0,367
1,4	0,337
1,5	0,296
1,6	0,275
1,7	0,250
1,8	0,236
1,9	0,218
2	0,204
2,1	0,196
2,2	0,184
2,3	0,172
2,4	0,166
2,5	0,153
2,6	0,149
2,7	0,140
2,8	0,134
2,9	0,129
3	0,124
3,1	0,119
3,2	0,115
3,3	0,111
3,4	0,107
3,5	0,104
3,6	1,101
3,7	0,098
3,8	0,095
3,9	0,092
4	0,092

Hasil analisis didapatkan seperti tabel diatas.



Gambar 4.3 Grafik Respon Spektrum Desain

4.3 Pemodelan Pada SAP2000 v20

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

a. *Grid System*

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

b. *Define → Materials*

Memuat informasi tentang data material atau mutu bahan yang akan digunakan dalam pemodelan struktur.

c. *Define → Section Properties*

Memuat informasi tentang data dimensi balok, kolom dan pelat. Juga data-data dari elemen struktur batang tiga dimensi pada struktur yang dianalisis melalui *property*, dan momen inersia dari setiap elemen.

d. *Function → Respon Spectrum*

Memuat tentang data respons spektrum yang akan bekerja sebagai beban gempa pada pemodelan struktur.

e. *Define → Load Patterns*

Memuat informasi tentang data-data dari elemen batang tiga dimensi pada struktur yang dianalisis meliputi beban yang bekerja pada elemen. Beban yang bekerja dari analisis struktur yang dilakukan antara lain sebagai berikut:

- i. *Dead load.*
- ii. *Live load (assign – area loads – uniform to frame (shell)).*
- iii. *Quake (define – functions – response spectrum).*
- iv. *Other.*

f. *Define* → *Load Combination*

Memuat informasi mengenai kombinasi pembebanan yang digunakan pada analisis struktur utama.

g. *Analyze* → *Run Analyze*

Memuat informasi untuk mendapatkan hasil dari data input yang telah dimasukkan.

h. *Display* → *Show Tables*

Memuat Tabel lengkap dari besaran momen, gaya lintang maupun gaya normal pada elemen setelah dianalisis.

4.4 Perencanaan dan Analisis Kekuatan Balok Induk

Dari analisis menggunakan software SAP2000 v20 pada Gedung SMP Petra Surabaya di dapatkan gaya – gaya dalam. Dari tabel tersebut, maka di dapatkan momen maksimum yang terjadi pada balok sebesar -80543,2 kgm dan 62776,21 kgm.

Tabel 4. 5 Momen Maksimum Negatif dan Positif Pada Balok Induk

TABLE: Element Forces - Frames					
V2	V3	T	M2	M3	ElemStation
Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m	m
-54244,2	0,17	267,24	1,18	-53781,9	0
-47945,9	0,17	267,24	1,09	-28234,4	0,5
-41647,6	0,17	267,24	1,01	-5836,03	1
-35349,3	0,17	267,24	0,93	13413,17	1,5
-29051	0,17	267,24	0,84	29513,22	2
-22752,6	0,17	267,24	0,76	42464,12	2,5
-16454,3	0,17	267,24	0,68	52265,86	3
-10156	0,17	267,24	0,6	58918,46	3,5
-3857,73	0,17	267,24	0,51	62421,91	4
2440,57	0,17	267,24	0,43	62776,21	4,5
8738,87	0,17	267,24	0,35	59981,39	5
15037,17	0,17	267,24	0,27	56224,77	5,5
21335,48	0,17	267,24	0,19	53624,85	6
27633,78	0,17	267,24	0,11	47875,86	6,5
33932,08	0,17	267,24	0,03129	38977,73	7
40230,39	0,17	267,24	-0,04629	26930,45	7,5
46528,69	0,17	267,24	-0,12	11734,02	8
52826,99	0,17	267,24	-0,2	-6611,56	8,5
59125,29	0,17	267,24	-0,27	-28106,3	9
65423,6	0,17	267,24	-0,34	-52750,2	9,5
71721,9	0,17	267,24	-0,41	-80543,2	10

4.4.1 Penulangan Utama Balok Induk

Momen – momen maksimum pada tumpuan dan lapangan:

Momen – momen maksimum didapatkan dari kombinasi beban

$$\text{Mu Tump} = - 80543,2 \text{ kgm}$$

$$\text{Mu Lap} = 62776,21 \text{ kgm}$$

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

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

$$\text{Dimensi Balok} = 200 \times 400 \text{ mm}$$

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

$$\text{Bentang Balok} = 8.000 \text{ mm}$$

1. Analisis Tulangan Tumpuan

Nilai momen terbesar dari momen negatif

$$\text{Mu Tump} = - 80543,2 \text{ kgm} \text{ Tinggi balok} = 400 - 40 = 360 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = 1,4 \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{320} = 0,004375$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times \frac{(0,85 \times \beta_1 \times f'c)}{fy} \times \frac{600}{600 + fy} \\ &= 0,75 \times \frac{(0,85 \times 0,85 \times 30)}{320} \times \frac{600}{600 + 320} \\ &= 0,033131 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\ &= \frac{80543200}{0,8 \times 200 \times 360^2} = 3,884 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{fy}{(0,85 \times f'c)} \\ &= \frac{320}{(0,85 \times 30)} = 12,549 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{fy}} \right] \\ &= \frac{1}{12,549} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,549 \times 3,884}{320}} \right] \\ &= 0,01323 \end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, dipakai $\rho = 0,01323$

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,01323 \times 200 \times 360 = 9,5256 \text{ cm}^2$$

$$A_s' = 0,2 \times A_s = 0,2 \times 9,5256 = 1,9051 \text{ cm}^2$$



Dari nilai A_s dan A_s' yang diperoleh maka dapat ditentukan jumlah tulangan atas dan tulangan bawah yang diperoleh dari tabel tulangan:

Tulangan tarik : 4 D19 (11,46 cm²)

Tulangan tekan : 2 D13 (2,530 cm²)

Kontrol Momen Kapasitas Penampang (momen tumpuan), diketahui:

Tulangan tarik = 4 D19 (11,46 cm²)

Tulangan tekan = 2 D13 (2,530 cm²)

f'_c = 30 MPa

f_y = 320 MPa

ϵ_s = 0,003

E_s = 2×10^5

Ukuran Balok = 20/40 cm

d = 360 mm

d' = 40 mm

Perhitungan :

a. Asumsi : (Tulangan Lemah)

Tulangan tarik (A_s) sudah leleh $\rightarrow f_s \geq f_y$ Tulangan tekan (A_s') sudah leleh $\rightarrow f_s' \geq f_y$

b. $T = A_s \times f_y$

$$= 1146 \times 320$$

$$= 366720 \text{ N}$$

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

$$= 0,85 \times 30 \times 200 \times a$$

$$= 5100 a$$

d. $C_s = A_s' \times f_y$

$$= 253 \times 320 = 80960 \text{ N}$$

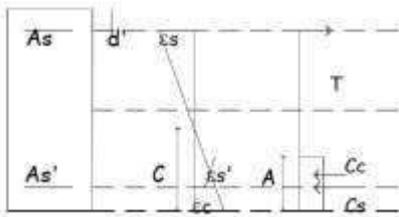
e. Keseimbangan gaya :

$$C_c + C_s = T$$

$$5100 a + 80960 = 366720$$

$$a = 56,031$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{56,031}{0,85} = 65,92 \text{ mm} > d'$$



Gambar 4.4 Diagram Regangan – Tegangan Balok Tumpuan

f. Kontrol Tegangan :

Tulangan Tarik $f_s = \epsilon_s \times E_s$

$$= 0,003 \times \frac{(d-c)}{65,92} \times 2 \times 10^5$$

$$= 0,003 \times \frac{(360-65,92)}{65,92} \times 2 \times 10^5$$

$$= 2676,70 \text{ MPa} > f_y = 320 \text{ MPa (sesuai asumsi)}$$

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

$$= 0,003 \times \frac{(c-d')}{65,92} \times 2 \times 10^5$$

$$= 0,003 \times \frac{(65,92-40)}{65,92} \times 2 \times 10^5$$

$$= 559,223 \text{ MPa} > f_y = 320 \text{ MPa (sesuai asumsi)}$$

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

$$= 0,85 \times f'_c \times b \times a (d - a) + A_s' f'_s (d - d')$$

$$= 0,85 \times 30 \times 200 \times 56,031 \times (360 - \frac{56,031}{2}) + 143 \times 320 (360 - 40)$$

$$= 109510459,9 \text{ Nmm}$$

$$= 10951,04599 \times 0,8 \text{ Kgm}$$

$$= 8760,837 \text{ Kgm} > M_u = 6398,5 \text{ Kgm} \dots \dots \dots \text{OK!!!}$$

2. Analisa Tulangan Lapangan $M_u \text{ Lap} = 62776,21 \text{ kgm}$ Perhitungan Lebar Efektif (be) Berdasarkan SK SNI 03-2847-2002 pasal 10.10. Lebar efektif balok T tidak lebih besar dan diambil nilai terkecil dari:

$$b_w + \frac{1}{12} \times \text{bentang balok} = 200 + \frac{1}{12} \times 8000 = 866,67 \text{ mm}$$

$$b_w + 6 \times h_f = 200 + 6 \times 120 = 920 \text{ mm}$$

$$b_w + \frac{1}{2} \times \text{jarak bersih antar balok} = 200 + \frac{1}{2} \times (8000 - 200) = 4100 \text{ mm}$$

Maka diambil lebar efektif (be) yang terkecil yaitu = 866,67 mm

$$M_R \text{ (momen tahanan)} = \Phi \times 0,85 \times f'_c \times b_e \times h_f \times (d - h_f)$$

$$= 0,8 \times 0,85 \times 30 \times 866,67 \times 120 \times (360 - 120)$$

$$= 636482448 \text{ Nmm}$$

$$= 63648,2448 \text{ Kgm} > 62776,21 \text{ Kgm}$$

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

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,004375$$

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

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

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

$$= 0,033131$$

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

$$= \frac{627762100}{0,8 \times 200 \times 360^2} = 3,027 \text{ MPa}$$

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

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

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

$$= \frac{1}{12,549}$$

$$= 0,01$$

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, dipakai $\rho = 0,01$

$$\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,549 \times 3,027}{320}} \right]$$

$$A_s = \rho \times b_e \times d = 0,01 \times 200 \times 360 = 7,20 \text{ cm}^2$$

$$A_s' = 0,2 \times A_s = 0,2 \times 7,20 = 1,44 \text{ cm}^2$$

Dari nilai A_s dan A_s' yang diperoleh maka dapat ditentukan jumlah tulangan atas dan tulangan bawah yang diperoleh dari tabel tulangan:

Tulangan tarik : 4 D16 (7,940 cm²)

Tulangan tekan : 2 D13 (2,530 cm²)

Kontrol Momen Kapasitas Penampang (momen tumpuan), diketahui:

Tulangan tarik = 4 D16 (7,940 cm²)

Tulangan tekan = 2 D13 (2,530 cm²)

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

$f_y = 320 \text{ MPa}$

$\epsilon_s = 0,003$

$E_s = 2 \times 10^5$

Ukuran Balok = 20/40 cm

$d = 360 \text{ mm}$





d' = 40 mm



Perhitungan :

a. Asumsi : (Tulangan Lemah)

Tulangan tarik (A_s) sudah leleh $\rightarrow f_s \geq f_y$ Tulangan tekan (A_s') sudah leleh $\rightarrow f_s' \geq f_y$

$$\begin{aligned} \text{b. } T &= A_s \times f_y \\ &= 794,0 \times 320 = 254080 \text{ N} \end{aligned}$$

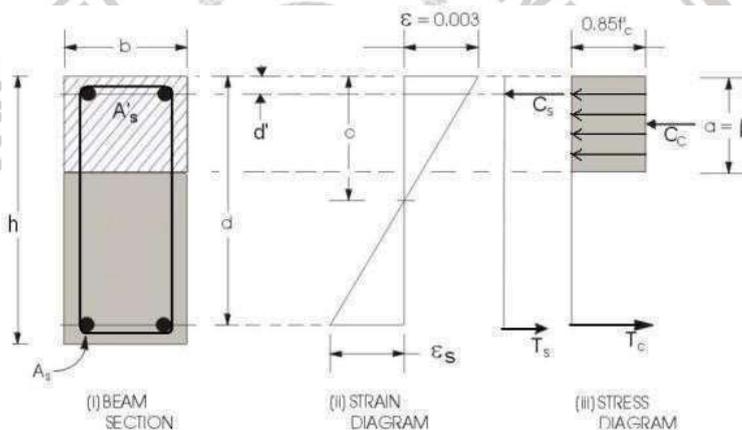
$$\begin{aligned} \text{c. } C_c &= 0,85 \times f'_c \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \times 200 \times a = 5100 a \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d. } C_s &= A_s' \times f_y \\ &= 253 \times 320 = 80960 \text{ N} \end{aligned}$$

e. Keseimbangan gaya :

$$\begin{aligned} C_c + C_s &= T \\ 5100 a + 80960 &= 254080 \\ a &= 45,558 \end{aligned}$$

$$\frac{c}{\beta_1} = \frac{a}{0,85} = \frac{45,558}{0,85} = 53,597 \text{ mm} > d'$$



Design of Rectangular Beam Section

Gambar 4.5 Diagram Regangan – Tegangan Balok Lapangan

f. Kontrol Tegangan:

$$\begin{aligned} \text{Tulangan Tarik } f_s &= \epsilon_s \times E_s \\ &= 0,003 \times \left(\frac{d-c}{c} \right) \times 2 \times 10^5 \\ &= 0,003 \times \left(\frac{360-53,597}{53,597} \right) \times 2 \times 10^5 \\ &= 3430,076 \text{ MPa} > f_y = 320 \text{ MPa (sesuai asumsi)} \end{aligned}$$

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

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

$$= 0,003 \times \left(\frac{53,597 - 40}{53,597}\right) \times 2 \times 10^5$$

$$= 1522,137 \text{ MPa} > f_y = 320 \text{ MPa (sesuai asumsi)}$$

$$M_n = C_c \left(d - \frac{a}{2}\right) + C_s \cdot (d - d')$$

$$= 0,85 \times f'_c \times b \times a \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s \cdot f'_s \cdot (d - d')$$

$$= 0,85 \times 30 \times 200 \times 45,558 \times \left(360 - \frac{45,558}{2}\right) + 253 \times 320 \cdot (360 - 40)$$

$$= 1042590830 \text{ Nmm}$$

$$= 104259,083 \times 0,8 \text{ Kgm}$$

$$= 83407,27 \text{ Kgm} > \mu_u = 62776,21 \text{ Kgm} \dots \dots \dots \text{OK!!!}$$

4.4.2 Penulangan Geser Balok Induk

Dari analisis menggunakan software SAP2000 v20 pada Gedung SMP Petra Surabaya di dapatkan gaya-gaya dalam. Dari tabel gaya geser maksimum terletak pada nomor 637 (kolom V2) dengan - 5971,85 Kg.

Tabel 4.6 Gaya Geser Pada Balok Pemeriksaan Kebutuhan Gaya Geser

TABLE: Element Forces - Frames							
Frame	P	V2	V3	T	M2	M3	ElemStation
Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m	m
115	3,86	-38112	0,13	-59,41	0,15	-49799,7	0
115	84,06	-36436,6	0,92	69,86	3,06	-45113,2	0
115	-85,59	-38323,4	-0,68	-203,1	-2,8	-52786	0
116	492,25	-59741,4	0,29	87,93	1,49	-86479,8	0
116	-3115,46	-64603,7	-0,6	-149,75	-2,09	-114018	0
116	-1004,61	-47523,6	-0,12	-29,5	-0,25	-76430,7	0
116	820,15	-44198,3	0,33	95,66	1,56	-61417,6	0
116	-2787,56	-49060,6	-0,56	-142,02	-2,01	-88955,5	0
117	-148,69	-61306,9	0,42	54,72	2,14	-98628,5	0
117	-2487,77	-64277,5	-0,75	-45,2	-3,15	-113277	0
117	-1004,57	-48073,8	-0,13	4,36	-0,38	-81220,9	0
117	180,87	-45608,8	0,46	53,53	2,27	-72140,3	0
117	-2158,21	-48579,5	-0,71	-46,39	-3,02	-86788,7	0
118	-2115,75	-77178,3	-0,22	109,11	0,32	-131826	0
118	-1827,96	-66653,9	-0,19	97,83	0,28	-113830	0
118	-1874,26	-68257,3	-0,2	111,62	0,29	-116507	0
118	-1856,9	-67656	-0,2	106,45	0,29	-115503	0
118	-1232,43	-63880,2	0,16	213,21	1,72	-102875	0

$$V_u \text{ maksimum} = 77178,3 \text{ kg}$$

$$\text{Syarat kebutuhan tulangan geser: } V_n > V_c \quad V_c = 1 \times \sqrt{f'c} \times b \times w \times d$$

$$= 1 \times \sqrt{30} \times 200 \times 360$$

$$= 6572,671 \text{ Kg}$$

$$\Phi = 0,75 \text{ (Faktor reduksi untuk geser)} \quad V_n = \frac{V_u}{\Phi} = \frac{77178,3}{0,75} = 102904,4 \text{ Kg}$$

$$\overline{V_n} = 102904,4 \text{ kg} > V_c = 6572,671 \text{ kg} \gg \text{Dibutuhkan tulangan geser}$$

$$V_s = V_n - V_c = 102904,4 - 6572,671 = 96331,729 \text{ Kg}$$

$$\overline{V_s} < \frac{(2 \times \sqrt{f'c})}{3} \times b \times w \times d$$

$$\frac{96331,729}{3} < \frac{(2 \times \sqrt{30})}{3} \times 200 \times 360$$

$$96331,729 < 262906,8276 \text{ Kg}$$

Dicoba menggunakan $\phi 8 = 0,50 \text{ cm}^2$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

$$\frac{96331,729}{100 \times 240 \times 360} =$$

$s = 89,6900$ maka akan digunakan jarak sebesar 75 mm

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

$$= \frac{100 \times 240 \times 360}{75}$$

$$= 115200 > 96331,729 \text{ Kg}$$

4.5 Perencanaan dan Analisis Kekuatan Kolom

Dari analisis menggunakan software SAP2000 v20 pada Gedung SMP Petra Surabaya di dapatkan gaya – gaya dalam. Dari tabel tersebut, maka di dapatkan momen maksimum yang terjadi pada kolom nomor 747 (lihat kolom M3) dengan momen tumpuan terjadi sebesar 89366,54 kg m dan momen lapangan sebesar -141623 kgm.

Tabel 4.7 Hasil Output Analisis Struktur Kolom

TABLE: Element Forces - Frames						
Frame	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
74	627,49	27341,98	-0,15	-249,91	-0,06319	-1438,95
74	627,49	33640,28	-0,15	-249,91	0,00473	-23177,4
74	627,49	39938,59	-0,15	-249,91	0,07222	-48065
74	627,49	46236,89	-0,15	-249,91	0,14	-76101,8
74	627,49	52535,19	-0,15	-249,91	0,21	-107288
74	627,49	58833,5	-0,15	-249,91	0,27	-141623
74	1003,45	-46421,2	-0,09517	56,67	-0,6	-67325,2
74	1003,45	-41601,4	-0,09517	56,67	-0,56	-45319,6
74	1003,45	-36781,5	-0,09517	56,67	-0,51	-25723,8
74	1003,45	-31961,7	-0,09517	56,67	-0,46	-8538,02
747	-877557	-9641,38	5827,08	-0,55	3812,24	-6143,17
747	-878337	-9641,38	5827,08	-0,55	-7259,21	12175,44
747	-738402	1115,34	12540,46	468,04	24247,87	-9431,98
747	-738772	1115,34	12540,46	468,04	7005,14	-482,64
747	-739142	1115,34	12540,46	468,04	9219,94	37506,46
747	-866405	-19996,1	-1165,96	-469,1	4788,96	-38481,5
747	-866774	-19996,1	-1165,96	-469,1	420,13	-11557,4
747	-867144	-19996,1	-1165,96	-469,1	-23406,2	-13673
748	-134898	40299,47	23631,81	-27,83	50236,14	89366,54
748	-135473	40299,47	23631,81	-27,83	5335,69	12797,56
748	-136048	40299,47	23631,81	-27,83	-39564,8	-63771,4
748	-118935	34794,97	20561,37	-24,52	43694,63	77160,89
748	-119633	34794,97	20561,37	-24,52	4628,01	11050,44
748	-120332	34794,97	20561,37	-24,52	-34438,6	-55060
748	-129520	35603,21	21539,08	-26,64	45726,88	78956,07

Dari analisis pembebanan diatas, gaya maksimum akan di pikul oleh kolom dalam perencanaan:

Kolom 30/30 Data Kolom:

$b = 30 \text{ cm}$

$h = 30 \text{ cm}$

$d' = 4 \text{ cm}$

$d = 26 \text{ cm}$

$L = 380 \text{ cm}$

$P_U = 878337 \text{ kg}$

$M_A = 133889 \text{ kgm}$

$M_B = 115625 \text{ kgm}$

$M_u = 141623 \text{ kgm}$

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

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c}$$

$$= 4700\sqrt{35}$$

$$= 27805,57498 \text{ MPa}$$

Data Balok:

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm}$$

$$d = 36 \text{ cm}$$

$$L = 800 \text{ cm}$$

$$M_D = 80543,2 \text{ kgm}$$

$$M_L = 62776,21 \text{ kgm}$$

$$V_u = 71721,9 \text{ kg}$$

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

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c}$$

$$= 4700\sqrt{30}$$

$$= 2743 \text{ MPa}$$

1. Menghitung kekakuan kolom

$$I_{g \text{ kolom}} = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$= \frac{1}{12} \times 30 \times 30^3$$

$$= 67500 \text{ cm}^4$$

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

$$= \frac{133889}{141623}$$

$$= 0,9454$$

$$\frac{E_c \times I_g}{27805,57498 \times 67500}$$

$$EI_{\text{kolom}} = \frac{2,5}{1+\beta_D} = \frac{2,5}{1+0,9454} = 385910621,1 \text{ kg/cm}^2$$

2. Menghitung kekakuan balok

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

$$= \frac{1}{12} \times 20 \times 40^3$$

$$= 106666,67 \text{ cm}^4$$

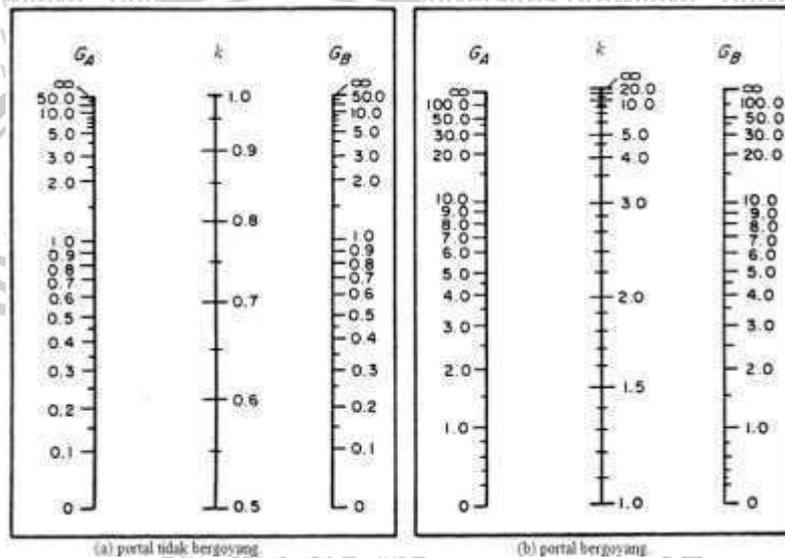
$$\beta_D = \frac{\text{Momen beban mati rencana}}{\text{Momen total rencana}} = \frac{52750,2}{53781,9} = 0,981$$

$$EI_{\text{balok}} = \frac{E_c \times I_g}{1 + \beta_D} = \frac{2743 \times 106666,67}{1 + 0,981} = 59078581,69 \text{ kg/cm}^2$$

3. Perhitungan G

$$G_{\text{atas}} = \frac{\sum EI}{\sum L_b} = \frac{385930621,1 + 385930621,1}{800} = 27,504$$

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



Gambar 4.6 Nomogram Kekakuan

Berdasarkan nomogram faktor panjang efektif, diperoleh $k = 1,83$

1. Cek kelangsingan kolom kL_u

$$r = k \times L_k = 1,83 \times 380 = 695,4 \text{ cm}$$

$$r = 0,3 \times h = 0,3 \times 30 = 9 \text{ cm}$$

$$\frac{kL_u}{r} = \frac{695,4}{9} = 77,267 > 22 \rightarrow \text{kolom langsing}$$

2. Pembedaran momen

$$P_c = \frac{\pi^2 \times E \times I}{(kL_u)^2}$$

$$= \frac{\pi^2 \times 385910621,1}{(695,4)^2}$$

$$= 7876,21 \text{ kg}$$

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

$$= \frac{1}{1 - \frac{878337}{0,65 \times 7876,21}}$$

= - 0,00586 < 1 → Tidak terjadi pembedaran

$$M_c = 133889 \text{ kgm}$$

3. Penulangan kolom

Rasio Tulangan :

$$A_{st} = 1\% \rightarrow 4 \text{ sisi } A_s = A_s' = 1\%$$

$$A_s = A_s' = 0,01 \times 30 \times 26 = 7,8 \text{ cm}^2$$

Dicoba :

$$\text{Tulangan tarik} = 4\text{-D16} \rightarrow A_s = 7,940 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tulangan tekan} = 4\text{-D16} \rightarrow A_s = 7,940 \text{ cm}^2$$

4. Cek keadaanimbang

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E} = \frac{2900}{2 \times 10^6} = 0,00145$$

$$c_b = \frac{\epsilon_c \times d}{\epsilon_c + \epsilon_y} = \frac{0,003 \times 260}{0,003 + 0,00145} = 40,28 \text{ cm}$$

$$\epsilon'_s = \frac{\epsilon_c (c_b - d')}{c_b} = \frac{0,003 (40,28 - 4)}{40,28} = 0,002702$$

$\epsilon_y < \epsilon'_s$ → tulangan tekan sudah meleleh

$$f_s' = f_y = 2900 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$= 0,85 \times 40,28$$

$$= 34,238 \text{ cm}$$

$$P_{nb} = 0,85 \times f'_c \times a_b \times b$$

$$= 0,85 \times 350 \times 34,238 \times 30$$

$$= 1370741,50 \text{ kg}$$

$$\Phi P_{nb} = 0,65 \times 1370741,50 = 890981,975 \text{ kg} > P_u = 878337 \text{ kg} \dots \text{OK!!!}$$



5. Cek penampang kolom

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{133889}{878337} = 0,1524$$

$$e' = e + (d - \frac{h}{2}) = 0,1524 + (26 - \frac{30}{2}) = 11,1524 \text{ cm}$$

$$1 - \frac{d'}{d} = 1 - \frac{4}{26} = 0,846$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{2900}{0,85 \times 350} = 9,7479$$

$$\rho = \rho' = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{7,940}{30 \times 26} = 0,102$$

$$P_n = 0,85 \times f'_c \times b \times d \left[\frac{e'}{(1 - \frac{d'}{d})} + \sqrt{\left(\frac{e'}{(1 - \frac{d'}{d})}\right)^2 + 2 \times m \times \rho \left(1 - \frac{d'}{d}\right)} \right]$$

$$= 0,85 \times 350 \times 30 \times 26 \left[(0,571) + \sqrt{(0,571)^2 + 2 \times 9,7479 \times 0,102 (0,1538)} \right]$$

$$= 1512482,8489 \text{ kg}$$

$$\Phi P_{nb} = 0,65 \times 1512482,8489 = 983113,8518 \text{ kg} > P_u = 878337 \text{ kg} \dots \text{OK!!!}$$

6. Tulangan geser

$$V_u = 46421,2 \text{ kg}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b \times d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \times 300 \times 260 = 59160,7978 \text{ N} = 5916,07978 \text{ kg}$$

$$V_n = \frac{5916,07978}{0,75}$$

$$= 7888,1064 \text{ kg} < 46421,2 \text{ kg} \rightarrow \text{tulangan geser praktis}$$

Digunakan sengkang lateral $\phi 8-200$.

4.6 Pelaksanaan dan Perhitungan Balok Pracetak

Perencanaan awal balok dan kolom, maka balok induk akan di rencanakan memiliki dimensi 350 x 700 mm. Dalam pelaksanaan akan di bagi menjadi 2 tahap, yaitu:

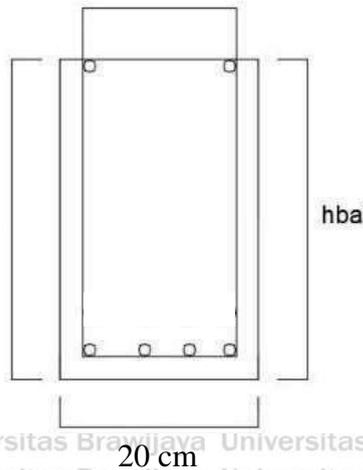
- a. Tahap sebelum cor penuh dengan dimensi pracetak 300 x 129 mm
- b. Tahap setelah cor penuh, dengan dimensi balok sesuai dengan perencanaan balok yaitu 300 x 300 mm

4.6.1 Balok Pracetak Sebelum Cor Penuh

Saat pemasangan pada balok pracetak balok sebelum cor penuh akan mengalami beban sebagai berikut:

- a. Berat sendiri pracetak

Balok akan menumpu pada kedua ujung kolom



Gambar 4.7 Balok Pracetak Sebelum Cor Penuh Beban Bekerja Pada Balok Induk

b. Berat balok sendiri

$$q_{bi} = B_j \text{ beton} \times b \times h$$

$$= 2,4 \times 0,2 \times 0,4$$

$$= 0,192 \text{ T/m}$$

Momen maksimal yang terjadi pada balok induk saat terjadinya dengan bentang

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

$$M_{\max} = \frac{1}{8} \times q_d \times L^2$$

$$= \frac{1}{8} \times 0,192 \times 8^2$$

$$= 1,536 \text{ Tm}$$

$$M_u = 1536000 \text{ Nmm}$$

Tuangan lentur balok induk.

4 D19 maka menggunakan Astot = 1146 mm²

$$T = C$$

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

$$4 \times 320 \times 320 = 30 \times 0,5 \times 200 \times y$$

$$\text{Jadi nilai } y = 122,24 \text{ mm}$$

$$M_n = T \times (d - \frac{y}{2}), \text{ untuk mendapatkan nilai } d \text{ (tebal efektif minimum)}$$

$$1536000 = 366720 \times (d - \frac{122,24}{2})$$

$$\text{Maka didapatkan nilai } d_{\min} = 65,3085$$

$$h_{ba}' = h_{ba} - h_{pelat} = 400 - 120 = 280 \text{ mm cek tebal efektif balok induk:}$$

$$d = 280 - 40 - 0,5 \times 22 = 229 \text{ mm} > d_{\min} \dots\dots \text{ OK!!!}$$

Analisa dan desain penampang balok induk pracetak dengan dimensi 200 x 229 mm.

Asumsi tulangan lentur balok induk, 4 D19 maka menggunakan Astot – 1146 mm².

Kapasitas momen penampang (Mn):

$$\begin{aligned} M_n &= T \times (d - \frac{x}{2}) \\ &= 366720 \times (229 - \frac{122,24}{2}) \\ &= 61564953,6 \text{ Nmm} > 1536000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Mn > Mu.OK!!!

Cek lendutan (mm)

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{5 \times q \times L^4}{384 \times EI} \\ &= \frac{5 \times 1,92 \times 800^4}{384 \times 25743 \times 12} \\ &= 1,987 \text{ mm} \end{aligned}$$

δ_{ijin}

$$\begin{aligned} &= \frac{L}{240} \\ &= \frac{800}{240} \end{aligned}$$

= 3,33 mm > δOK!!!

Analisa tegangan penampang. Nilai tegangan ijin:

$$\begin{aligned} f_{c,ijin} &= 0,33 \times f'_c \\ &= 0,33 \times 30 \\ &= 9,9 \end{aligned}$$

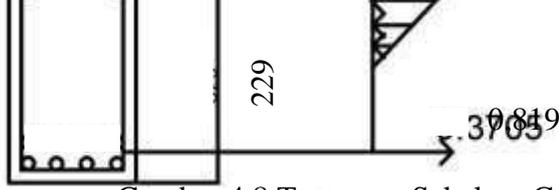
$$\begin{aligned} \text{MPa } f_{s,ijin} &= 0,58 \times f_y \\ &= 0,58 \times 320 \\ &= 185,6 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Balok induk sebelum cor penuh.

$$\begin{aligned} \sigma_c &= + \frac{M_u \times y}{I_{pracetak}} \\ &= \frac{1536000 \times 122,24}{\frac{1}{12} \times 200 \times 229^3} \end{aligned}$$

= -0,938 MPa < $f_{c,ijin}$OK!!!

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \frac{1536000 \times (229 - 122,24)}{\frac{1}{12} \times 200 \times 229^3} \\ &= 0,819 \text{ MPa} < f_{c,ijin}.....OK!!! \end{aligned}$$



Gambar 4.8 Tegangan Sebelum Cor Penuh



4.6.2 Balok Pracetak Setelah Cor Penuh

1. Menghitung tegangan pada tengah bentang.

Momen yang terjadi pada tengah bentang (momen lapangan)

$$M_u = 62776,21 \text{ kgm} = 627762100 \text{ Nmm}$$

$$I_{\text{comp}} = \frac{1}{12} \times 200 \times 400^3 = 1066666667 \text{ mm}^4$$

2. Menghitung nilai y dengan nilai $b = 200$, $A_s = 1146 \text{ mm}^2$, $d = 229 \text{ mm}$

$$\tau = C_c$$

$$A_s \times f_y = 0,85 \times f'_c \times 0,5 \times b \times y \times 1146 \times$$

$$320 = 0,85 \times 30 \times 0,5 \times 200 \times y$$

$$\text{Jadi nilai } y = 143,812 \text{ mm}$$

3. Menghitung tegangan pada penampang setelah cor penuh (tengah bentang)

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

$$\sigma_s = - \frac{1536000 \times (229 - 143,812)}{\frac{1}{12} \times 200 \times 229^3} = 2,65 \text{ MPa}$$

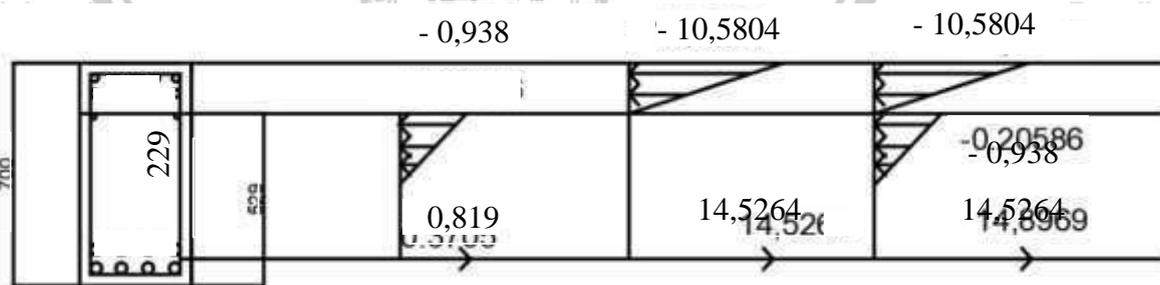
$$\sigma_c = \frac{1536000 \times (229 - 143,812)}{\frac{1}{12} \times 200 \times 229^3} = 2,65 \text{ MPa}$$

4. Resultan tegangan

$$f_{\text{top}} = -25,369 \text{ MPa} < f_{c\text{ijin}} \dots\dots\dots \text{OK!!!}$$

$$f_A = \sigma_c = -25,369 \text{ MPa} < f_{c\text{ijin}} \dots\dots\dots \text{OK!!!}$$

$$F_s = \sigma_s + \sigma_s' = 2,65 + 0,819 = 3,469 \text{ MPa} < f_{s\text{ijin}} \dots\dots\dots \text{OK!!!}$$



Gambar 4. 9 Diagram tegangan setelah cor penuh (tengah bentang)

4.6.3 Momen Terjadi Pada Ujung Bentang (Momen Tumpuan) Tegangan Terjadi Pada Ujung Bentang

$$M_u = -80543,2 \text{ kgm} = -805432000 \text{ Nmm}$$

$$I_{\text{comp}} = \frac{1}{12} \times 200 \times 400^3 = 1066666667 \text{ mm}^4$$

1. Menghitung nilai y dengan nilai $b = 200 \text{ mm}$,

$$A_s = 1146 \text{ mm}^2,$$

$$d = 229 \text{ mm}$$

$$T = C_c$$

$$A_s \times f_y = 0,85 \times f'_c \times 0,5 \times b \times y \times 1146 \times$$

$$320 = 0,85 \times 30 \times 0,5 \times 200 \times y$$

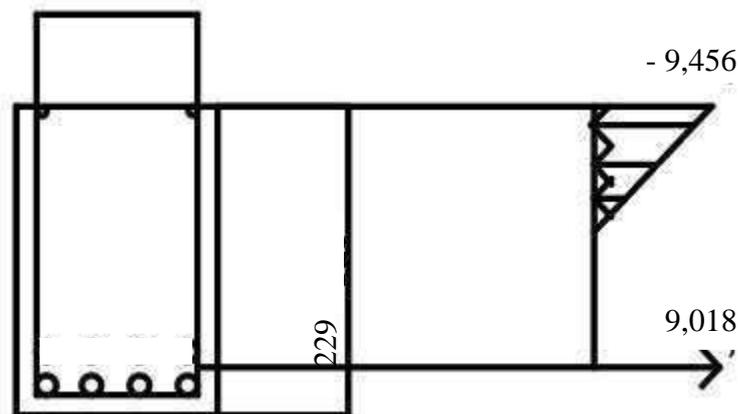
$$\text{Jadi nilai } y = 143,812$$

2. Menghitung tegangan pada penampang setelah cor penuh (tengah bentang)

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

$$\sigma_c = \frac{805432000 \times 143,812}{\frac{1}{12} \times 200 \times 229^3} = -57,87 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = \frac{805432000 \times (229 - 143,812)}{\frac{1}{12} \times 200 \times 229^3} = 3,428 \text{ MPa}$$



Gambar 4.10 Diagram tegangan setelah cor penuh (ujung bentang)

3. Perhitungan tulangan tumpuan

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

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

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$\text{Selimut beton (cv)} = 4 \text{ cm}$$

Diameter SK = 8 mm $f'c \leq 300 \text{ kg/cm}^2$, maka $\beta = 0,85$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{320} = 0,005833$$

$$\rho_{\max} = \frac{0,85 \times (0,85 \times 30)}{320 \times 600} = 0,0645$$

a. Tulangan atas

Tulangan terpasang = 4 D16 (1146 mm²)

Diameter tulangan (a) = 16 mm

Jumlah baris (b) = 1

Jarak antar tulangan (d) = 6,75

$$d = h - cv - \frac{DSK}{2} = 40 - 4 - 0,8 - \frac{(2,9 \times 1 + 2,5 \times (1-1))}{2} = 33,75$$

b. Tulangan bawah

Tulangan terpasang = 2 D13 (253 mm²)

Diameter tulangan (a) = 13 mm

Jumlah baris (b) = 1

Jarak antar tulangan (d) = 6,75

$$d' = cv + \frac{DSK}{2} = 4 + 0,8 - \frac{(2,9 \times 1 + 2,5 \times (1-1))}{2} = 3,35$$

$$\text{Ratio} \frac{As'}{As} = \frac{253}{1146} = 0,22$$

$$\rho = \frac{As}{b \times d} = \frac{1146}{20 \times 37,8} = 0,0152$$

$$\rho' = \frac{As'}{b \times d} = \frac{253}{20 \times 37,8} = 0,003347$$

$\rho > \rho_{\min}$, sehingga $\rho - \rho' = 0,0118$

$$\rho - \rho' < \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'c \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 + f_y} = 0,021$$

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$, maka menggunakan ρ

$$F = \frac{\rho \times f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{0,0152 \times 320}{0,85 \times 30} = 0,19$$

$$K = F \times (1 - F) = 0,19 \times (1 - 0,19) = 0,172$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= 0,85 \times K \times f'_c \times b \times d^2 \\
 &= 0,85 \times 0,172 \times 300 \times 20 \times 37,8^2 \\
 &= 1253378,48 \text{ kgcm} \\
 M_k &= 0,8 \times M_n \\
 &= 0,8 \times 1253378,48 \\
 &= 1002702,758 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

$M_k \text{ penampang (100270,2758 kgm)} > M_u \text{ analisis (80543,2 kgm)} \dots \text{OK!!!}$

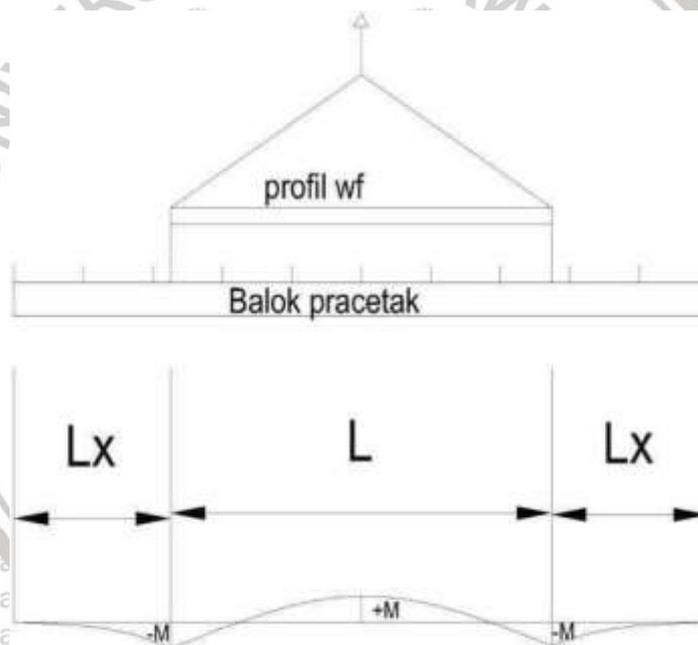
Didapatkan,

Dimensi balok pracetak = 200 x 229 mm

Dimensi balok total = 200 x 400 mm

4.7 Analisa Balok Pracetak Saat Pengangkatan

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



Gambar 4.11 Model struktur balok pracetak pada saat pengangkatan dari PCI design handbook

Analisa Balok Pracetak Saat Pengangkatan Balok Induk Dimensi (20/22,9) L= 8 m, dimana :

$$+M = \frac{W \times L^2}{b \times d} \times \left(1 - 4x + \frac{4y_c}{L \times \text{tg}\theta}\right)$$

$$-M = \frac{W \times L^2}{2}$$

$$X = \frac{\left(1 + \frac{4y_c}{L \times \text{tg}\theta}\right)}{\left(2x \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2x}{y_b} \left(1 + \frac{4y_c}{L \times \text{tg}\theta}\right)}\right)\right)}$$

Balok induk (20/22,9) L = 8 m

$$y_t = y_b = \frac{22,9}{2} = 11,45$$

$$I = \frac{1}{12} \times 20 \times 22,9^3 = 200014,98 \text{ cm}^4$$

$$y_c = 11,45 + 8 = 19,45 \text{ cm}$$

$$X = \frac{\left(1 + \frac{4 \times 19,45}{800 \times \text{tg}45}\right)}{\left(2x \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2x}{11,45} \left(1 + \frac{4 \times 19,45}{800 \times \text{tg}45}\right)}\right)\right)} = 0,224$$

$$X \times L = 0,224 \times 8 = 1,792 \text{ cm}$$



Gambar 4. 12 Jarak Tulangan Angka

Panjang tekuk = 214,4 cm

Mutu profil BJ 37 fy 2400 kg/m

Profil WF 100 x 100 x 6 x 8

A = 21,9 cm²

Ix = 4,18 cm

Iy = 2,47 cm

W = 17,2 kg/m

Pembahasan:

1. Balok = 0,2 x 0,22 x 8 x 2400 = 844,8 kg
2. Balok profil = 20 x 8 = 160 kg + Wt = 1004,8 kg

K adalah faktor kejut = 1,2

$$T \sin \theta = P = \frac{1,2 \times k \times Wt}{2} = \frac{1,2 \times 1,2 \times 1004,8}{2} = 723,456 \text{ kg}$$

$$T = \frac{723,456}{\sin 45} = 1023,121 \text{ kg}$$

Tulangan angkat balok melintang

$$P_u = 1023,121 \text{ kg}$$

$$\sigma \text{ tarik ijin} = \frac{f_y}{1,5} = \frac{320}{1,5} = 213,33 \text{ kg/m}^2$$

$$\phi \text{ tulangan angkat} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\delta_{ijin} \times \pi}}$$

$$\phi \text{ tulangan angkat} \geq 0,1236$$

Digunakan tulangan ϕ 13 Momen yang terjadi Pembebanan:

1. Balok = $0,2 \times 0,229 \times 2400 = 109,92 \text{ kg}$

2. Balok profil = $20 \text{ W} = 20 \text{ kg} +$

= $129,92 \text{ kg}$

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

a. Momen lapangan yang terjadi

$$+M = \frac{w \times L^2}{8} \times \left(1 - 4x + \frac{4yc}{L \times \text{tg} \phi}\right) \times 1,2$$

$$= \frac{129,92 \times 8^2}{8} \times \left(1 - 4 \times 0,1792 + \frac{4 \times 0,1945}{8 \times \text{tg} 45}\right) = 3954,245 \text{ kgm}$$

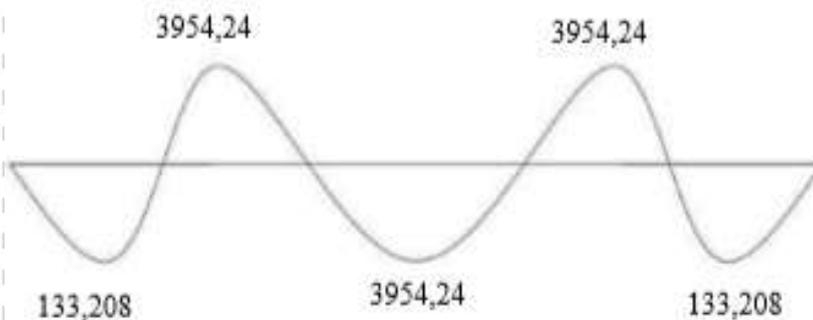
b. Momen tumpuan yang terjadi

$$-M = \frac{w \times x^2 \times l^2}{2} \times 1,2 = \frac{129,92 \times 0,1792^2 \times 8^2}{2} \times 1,2 = 133,2085 \text{ kgm}$$

Tegangan yang terjadi

$$F = \frac{M}{Wt} = \frac{133,2085}{\frac{1}{6} \times 20 \times 22,9^2} = 0,0762 \text{ MPa}$$

$$F_r = 0,7 \times \sqrt{f'_c} = 3,83405 \text{ MPa}, F < F_r \dots \dots \dots \text{OK!!!}$$



Gambar 4.13 Momen saat pengangkatan

4.8 Perencanaan Sambungan Beton Pracetak

4.8.1 Pendetailan Sambungan

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

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

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

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

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

Dimana:

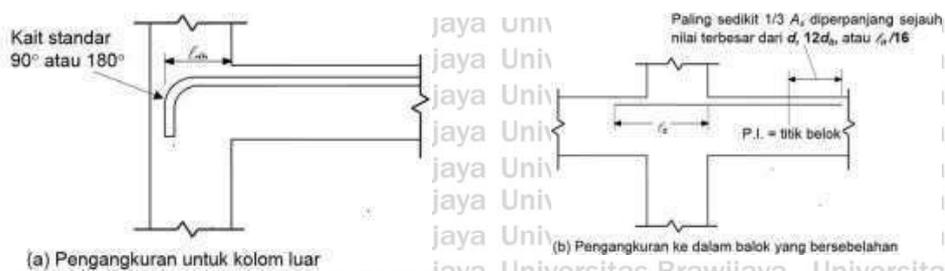
l_{db} = Panjang penyaluran tulangan (mm)

A_b = Luas tulangan (mm²)

d_b = Diameter tulangan (mm)

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

- a. Tulangan momen negatif pada suatu komponen struktur menerus, komponen struktur yang terkekang deformasinya, atau komponen struktur kantilever, atau pada sebarang komponen struktur dari suatu rangka kaku, harus diangkur di dalam atau sepanjang komponen struktur pendukung, dengan menggunakan panjang penanaman, kait, atau angkur mekanis (Gambar 15).
- b. Tulangan momen negatif harus mempunyai suatu panjang penanaman ke dalam bentang seperti diisyaratkan 14.1 dan 14.10(3).
- c. Paling sedikit sepertiga dari jumlah tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada suatu tumpuan harus ditanamkan hingga melewati titik belok sejauh tidak kurang dari nilai terbesar antara tinggi efektif komponen struktur, $12d_b$, atau seperenambelas bentang bersih.
- d. Pada tumpuan dalam dari komponen struktur lentur tinggi, tulangan tarik momen negatif harus menerus dengan tulangan tarik pada bentang disebelahnya.

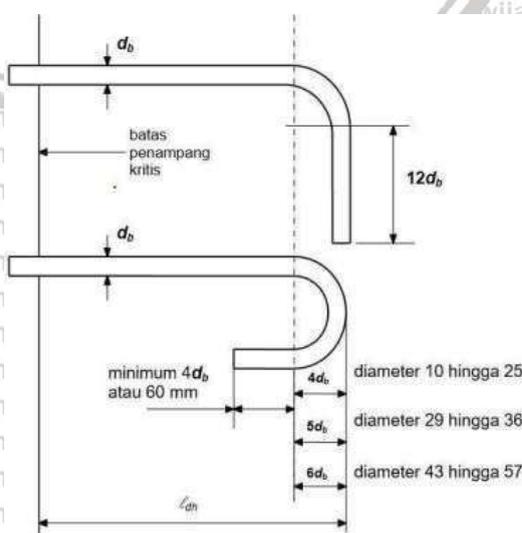


Gambar 4.14 Penyaluran tulangan momen negatif

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

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

Penyaluran baja tulangan juga dapat dilakukan dengan memberikan kait, cara ini biasa dilakukan jika ruang yang tersedia tidak mencukupi untuk diterapkan penyaluran lurus. Penyaluran jenis ini hanya boleh diberikan untuk tulangan tarik dengan ketentuan:



Gambar 4.15 Penyaluran tulangan Tarik berkait sesuai dengan SNI 03-2847-2002

1. Tulangan pelat yang menerus pada balok harus disambung dengan sambungan lewatan 1,0 Ld.
2. Tulangan dalam kondisi tekan (bawah) yang menerus pada tumpuan, disambung diatas tumpuan balok.
3. Tulangan dalam kondisi tarik (atas) yang menerus pada tumpuan, disambung pada tengah bentang pelat.
4. Tulangan dalam kondisi Tarik (atas) yang berhenti pada balok tepi harus memakai kait standar dengan panjang Ldh.

Data perhitungan:

Menggunakan balok ukuran 200x229 mm dengan tulang D16

$$f_y \text{ (tegangan leleh baja)} = 320 \text{ MPa}$$

$$f'_c \text{ (kuat tekan beton)} = 30 \text{ MPa}$$

$$\alpha \text{ (faktor lokasi pennulangan)} = 1$$

$$\beta \text{ (faktor pelapis)} = 1 \quad \gamma$$

$$\text{(faktor ukuran batang tulangan)} = 0,8\lambda$$

$$\text{(faktor berat beton)} = 1$$

$$db \text{ (diameter tulangan balok)} = 16 \text{ mm}$$

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

$$\text{faktor sengkang} = 0,8 \text{ Menentukan Ld (tulangan kondisi Tarik)}$$

$$L_d = \frac{12 \times f_y \times \alpha \times \beta \times \pi \times db}{25 \times \sqrt{f'_c}} = \frac{12 \times 320 \times 1 \times 1 \times 1 \times 16}{25 \times \sqrt{30}} = 448,694 \text{ mm}$$

$L_d > 300 \text{ mm}$, maka menggunakan L_d sebesar 448,694 mm. Menentukan L_{db} (tulangan kondisi tekan).

$$L_{db} = \frac{f_y \times db}{4 \times \sqrt{f'_c}} = \frac{320 \times 16}{4 \times \sqrt{30}} = 189,877 \text{ mm}$$

$L_{db} > 200 \text{ mm}$, maka menggunakan L_{db} sebesar 321,330 mm. Menentukan L_{dh} (tulangan berkait dalam kondisi tarik).

$$L_{dh} = \frac{100 \times db}{\sqrt{f'_c}} = \frac{100 \times 22}{\sqrt{30}} = 401,663 \text{ mm}$$

L_{dh} harus dikalikan dengan faktor selimut beton dan faktor sengkang $L_{dh} = 401,663 \times 0,7 \times 0,8 = 224,93 \text{ mm}$

$L_{dh} > 150 \text{ mm}$, maka menggunakan L_{dh} sebesar 224,93 mm

4.8.2 Perencanaan Tumpuan

Tumpuan pada sambungan balok-kolom sebelum cor penuh terjadi seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.16 Gambar rumpuan balok – kolom sebelum cor penuh

Sehingga tidak terjadi tegangan geser ketika sambungan balok-kolom sebelum komposisi dan balok akan ditahan oleh penyangga.

4.9 Analisa Hubungan Balok – Kolom Pracetak

4.9.1 Analisa Hubungan Untuk Balok – Kolom Pinggir

Jumlah tulangan yang mengalami tekan (-), 4 D19 (1146 mm²)

$$A_g = A_s = 1146 \text{ mm}^2$$
$$a = \frac{A_g \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'_{cx} \times b} = \frac{1146 \times 1,25 \times 320}{0,85 \times 30 \times 200} = 89,88 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times \left(\frac{d-a}{2} \right)$$
$$= 1146 \times 320 \times \left(\frac{310-89,88}{2} \right)$$

$$= 40361203,2 \text{ Nmm}$$

$$= 40,3612032 \text{ KNm}$$

$$M_u = \frac{M_n}{2}$$
$$= \frac{40,3612}{2}$$
$$= 20,1806 \text{ KNm } M_u < M_n. \text{ OK!!!}$$

$$V_h = \frac{2 \times Mu}{L} = \frac{2 \times 20,1806}{\frac{8}{2}} = 10,0903 \text{ kN}$$

$$T1 (4-D19) = A_s \times 1,25 \times f_y = 1146 \times 1,25 \times 320 = 458400 \text{ N} = 458,4 \text{ KN}$$

Gaya geser yang terjadi V

$$= T1 - V_h$$

$$= 458,4 - 10,0903 = 448,3097 \text{ KN}$$

Kuat geser nominal

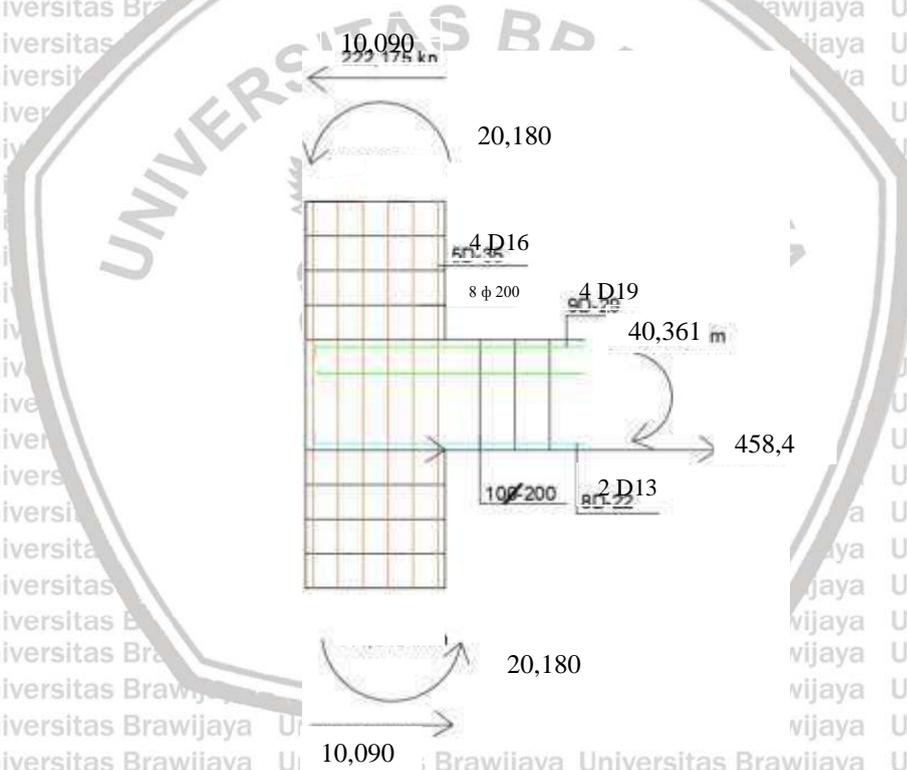
$$\phi V_c = 0,75 \times 1,7 \times A_j \times \sqrt{f'_c}$$

$$= 0,75 \times 1,7 \times (300 \times 300) \times \sqrt{35}$$

$$= 678870,155 \text{ N}$$

$$= 678,870155 \text{ KN}$$

$\phi V_c > V \dots$ OK! (Sambungan Aman)



Gambar 4. 17 Balok – kolom ujung

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pada analisis bangunan Gedung SMP Petra Surabaya yang menggunakan metode pracetak dilakukan bantuan menggunakan software SAP v20 untuk mendapatkan gaya-gaya seperti *Momen Ultimate* (Mu), Gaya Lintang (Vu), dan Gaya Aksial (Pu). Analisis menggunakan satu jenis balok yaitu balok induk, serta menggunakan satu jenis kolom. Sehingga didapatkan hasil seperti berikut:

1. Balok Induk

Dari pemodelan SAP 2000 v20 dengan menggunakan dimensi balok 20/40 cm dan panjang balok 8 m didapatkan hasil momen maksimum padatumpuan sebesar -80543,2 kgm dan pada momen lapangan sebesar 62776,21 kgm serta pada gaya geser maksimum sebesar -37243,8 kg. Kemudian setelah mendapatkan nilainya dilakukan analisis dan diperoleh tulangan pada tumpuan untuk tulangan tarik sebesar 4 D16 dan tulangan tekan sebesar 2 D13. Pada tulangan lapangan untuk tulangan tarik sebesar 2 D13 dan tulangan tekan sebesar 4 D19. Serta pada tulangan geser diperoleh tulangan $\emptyset 8$ dan jarak 250 mm. Selanjutnya saat sebelum cor penuh menggunakan dimensi sebesar 20/22,9 cm dan pada saat cor penuh akan sesuai dengan dimensi seperti semula sebesar 20/40 cm.

2. Kolom

Dari pemodelan SAP 2000 v20 dengan menggunakan dimensi kolom 30/30 cm dan panjang kolom 3,8 m didapatkan hasil gaya tekan sebesar 878337 kg dengan menggunakan mutu $f'c$ 35 Mpa. Pada tulangan kolom diperoleh tulangan sebesar 4 D16 dan menggunakan sengkang lateral $\emptyset 8$ -200 mm.

5.2 Saran

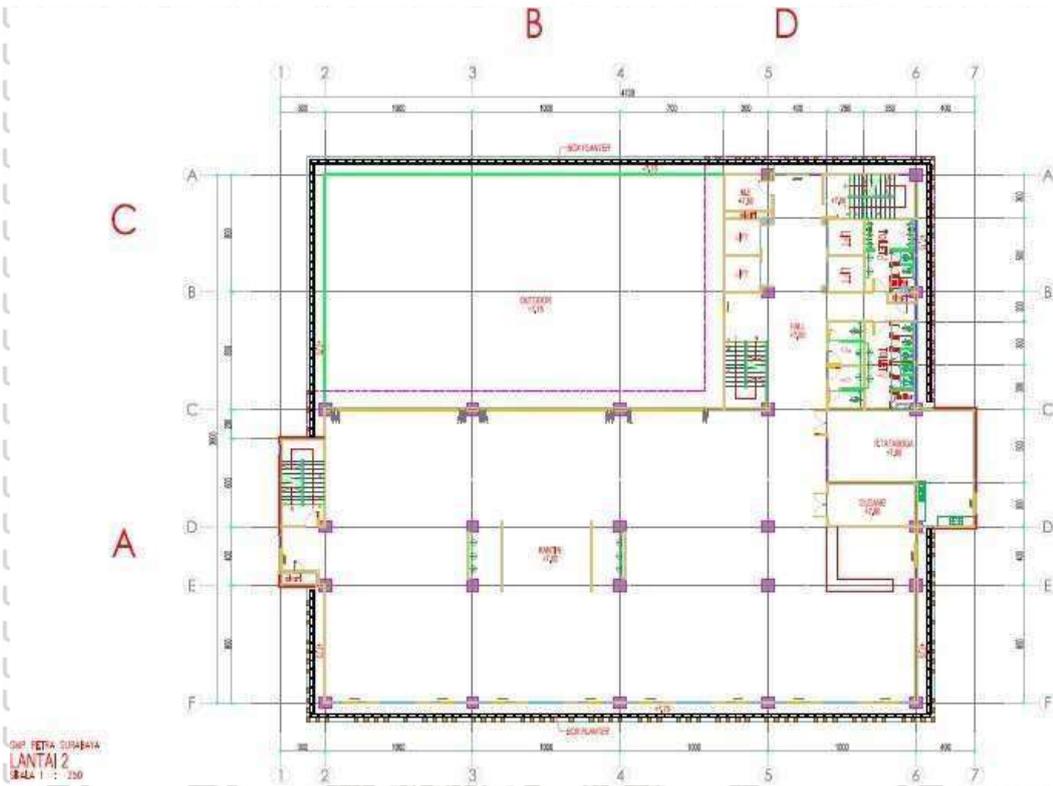
Pada metode pracetak ini dapat dijadikan sebagai solusi bagi seluruh negara termasuk Indonesia guna memajukan dalam bidang konstruksi pada khususnya serta tidak luput dari pembangunan konstruksi dalam era sekarang dituntut untuk hemat waktu, efisien, dan kademutu yang berkualitas.

DAFTAR PUSTAKA

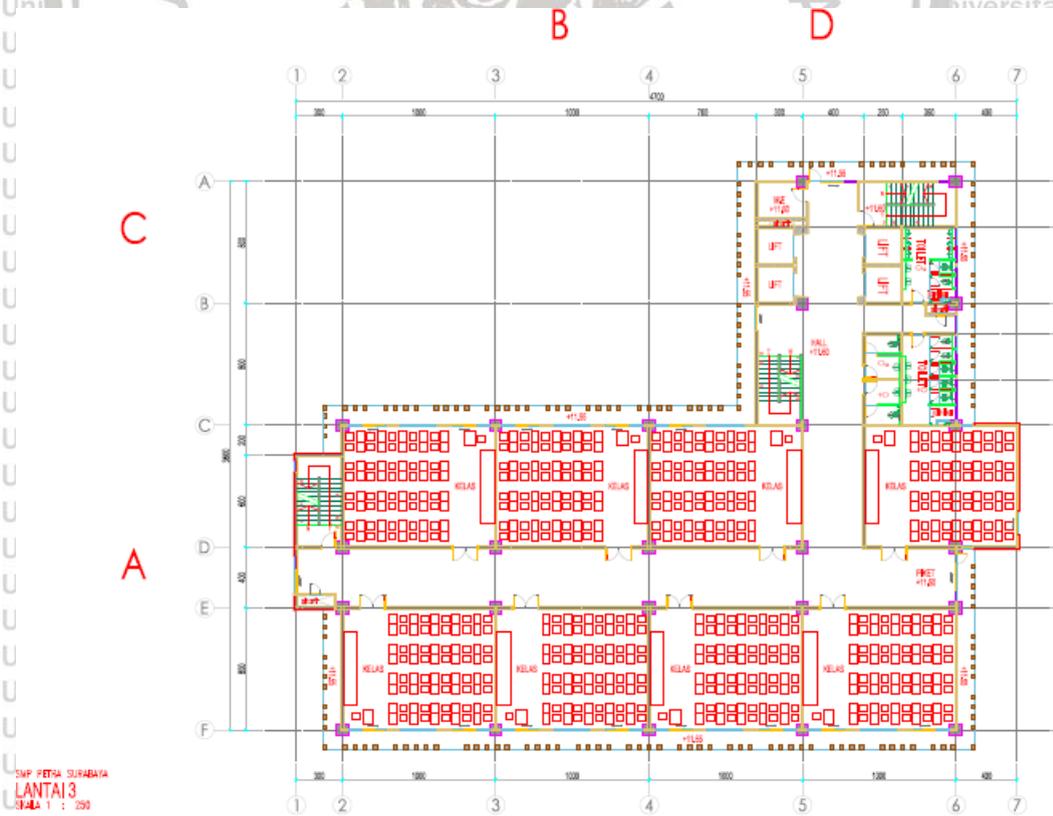
- Badan Standardisasi Nasional. (2009). Standar Nasional Indonesia 03-2847-2002. In *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (Beta Version)*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Standar Nasional Indonesia 7833:2012 Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional SNI 1726:2012 . (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Batubara, I. (2012). *Teknologi Bahan (Beton Precast)*. Medan: Departemen Teknik Sipil.
- Ervianto, I. W. (2006). *Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi*. Yogyakarta: Andi.
- Nurjannah, S. A. (2011). *Perkembangan Sistem Struktur Beton Pracetak sebagai Alternatif pada Teknologi Konstruksi Indonesia yang Mendukung Efisiensi Energi serta Ramah Lingkungan*. Palembang: Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- Simanjuntak, J. d. (2001). *Sistem Pracetak Beton di Indonesia*. Trend Teknik Sipil Menuju Era Milenial Baru.
- Tavio, Purwono, R., Imran, I., & Raka, I. G. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Surabaya: itspress.
- Wahyudi, H., & Hanggoro, H. D. (2010). *PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG BPS PROVINSI JAWA TENGAH MENGGUNAKAN BETON PRACETAK (Design of Structure of BPS Building Central Java Province using Precast Concrete)*. Jawa Tengah: FAKULTAS TEKNIK UNDIP.



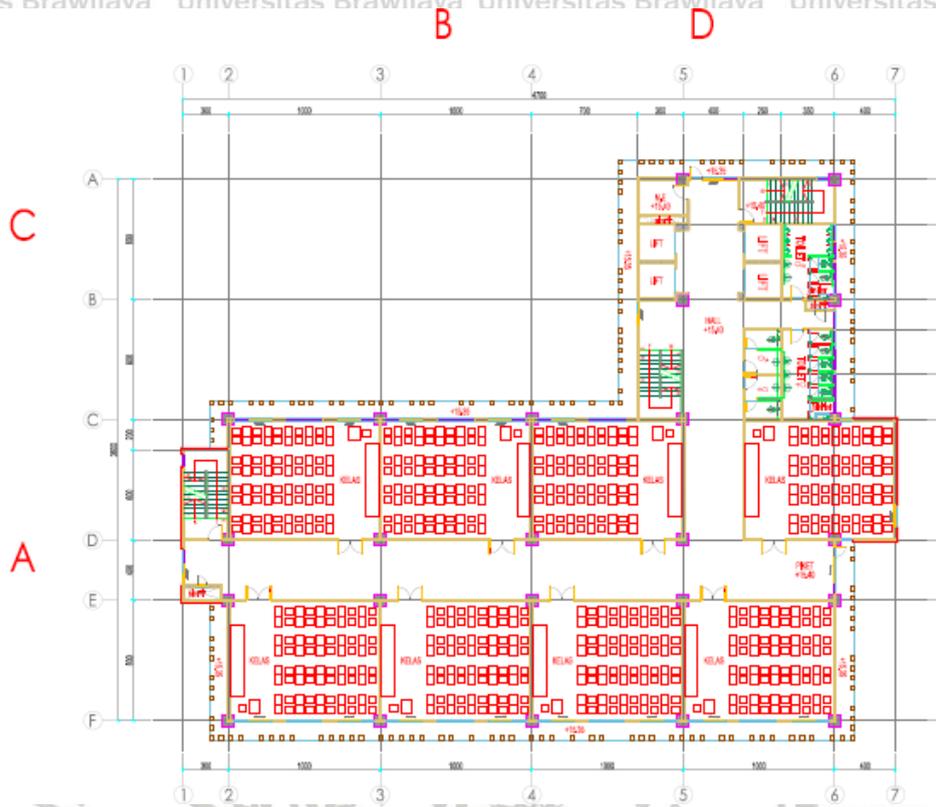
3. Gambar Denah Lantai Dua



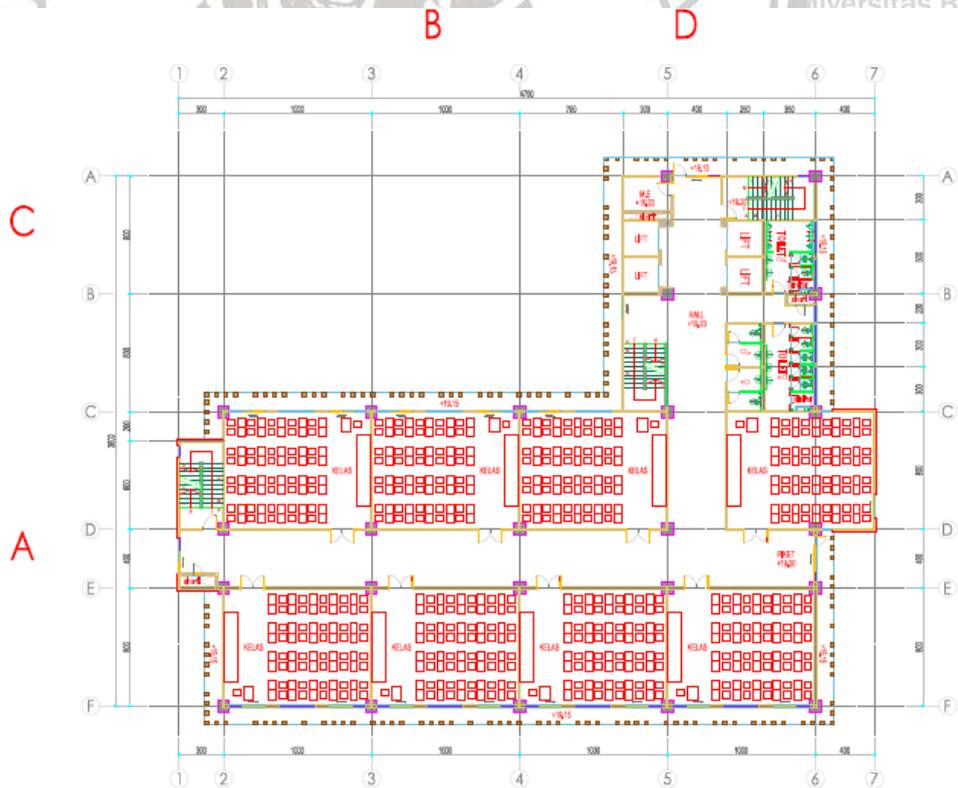
4. Gambar Denah Lantai Tiga



5. Gambar Denah Lantai Empat



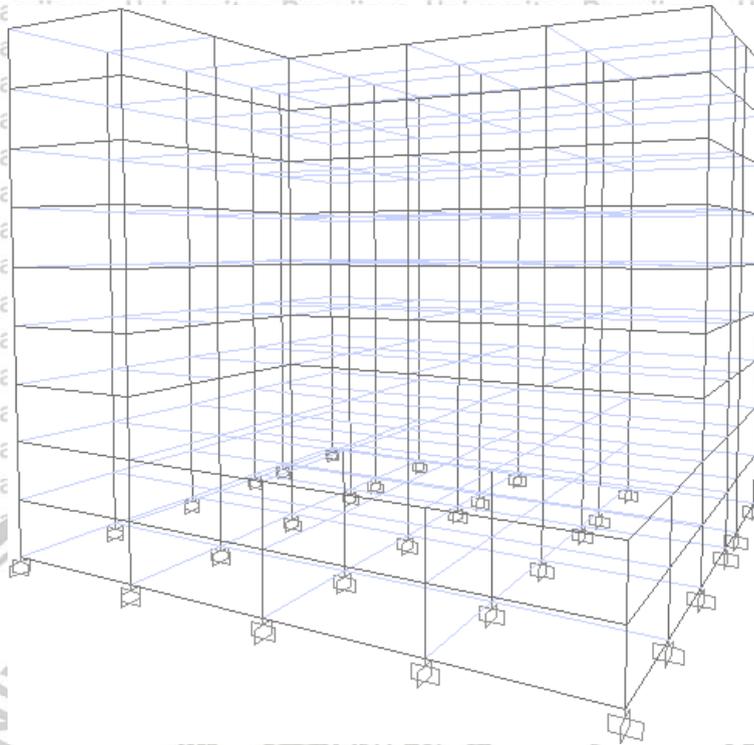
6. Gambar Denah Lantai Lima



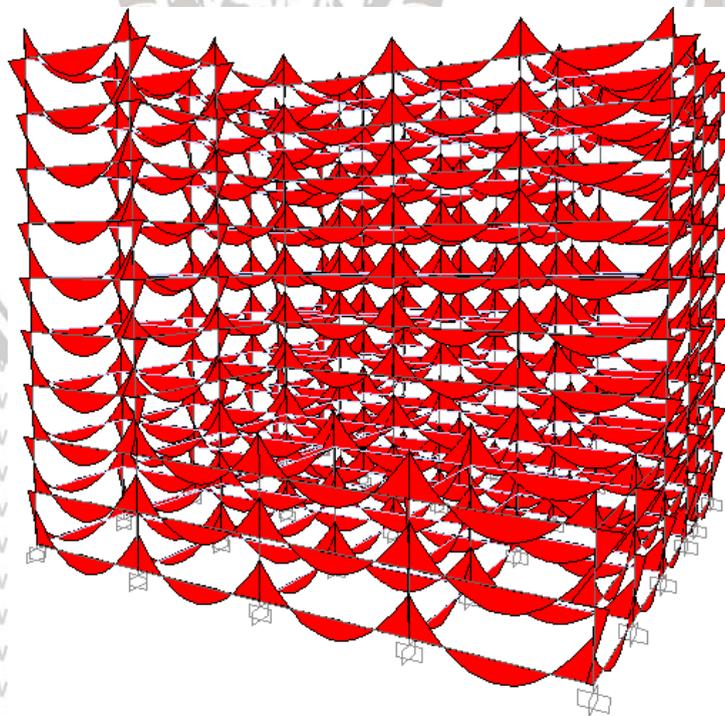
LAMPIRAN 2

PEMODELAN STRUKTUR PADA SAP 2000

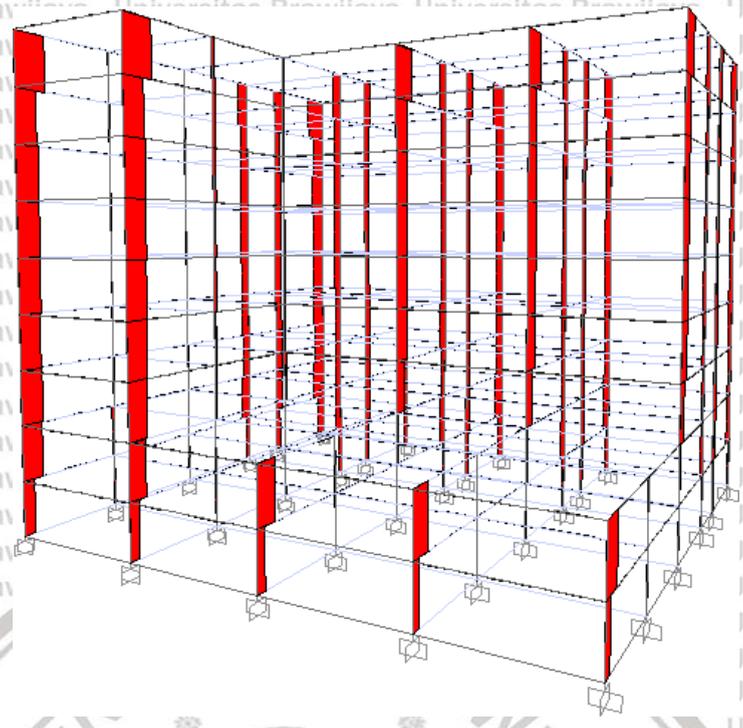
1. Gambar Pemodelan Gedung



2. Gambar Bidang Momen



3. Gambar Bidang Geser



4. Gambar Bidang N

