



TUGAS AKHIR RC-09 1501

**MODIFIKASI GEDUNG PERKANTORAN MNC
TOWER MNC TOWER SURABAYA DENGAN
METODE PRACETAK (PRECAST)**

**CITRA PUTRI KALINGGA
NRP 3111 100 078**

**Dosen Pembimbing :
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.
Ir. Kurdian Suprpto, MS**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT RC-09 1501

**MODIFICATION BUILDING OFFICE OF MNC
TOWER SURABAYA USING PRECAST**

**CITRA PUTRI KALINGGA
NRP 3111 100 078**

**Academic Supervisor :
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.
Ir. Kurdian Suprpto, MS.**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty Of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2015**

**MODIFIKASI GEDUNG PERKANTORAN
MNC TOWER SURABAYA DENGAN
MENGUNAKAN METODE PRACETAK
(PRECAST)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi Struktur
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

CITRA PUTRI KALINGGA
NRP. 3111 100 078

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. **Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.**
NIP. 195004031976031003
2. **Ir. Kurdian Suprpto, MS**
NIP. 194908071976031002



Surabaya, Januari 2015

MODIFIKASI GEDUNG PERKANTORAN MNC TOWER SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN METODE PRACETAK (*PRECAST*)

Nama Mahasiswa : Citra Putri Kalingga
NRP : 3111100078
Jurusan : Teknik Sipil
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.
Ir. Kurdian Suprpto, MS.

ABSTRAK

Beton Pracetak adalah suatu proses produksi elemen struktur bangunan pada suatu lokasi yang berbeda dengan tempat dimana elemen struktur tersebut akan digunakan menjadi suatu kesatuan dalam sebuah bangunan. Metode pracetak (precast) juga digunakan pada pekerjaan struktur dalam bidang teknik sipil di Indonesia, seperti pada rumah susun, mall maupun apartemen.

Teknologi pracetak ini dapat diterapkan pada berbagai jenis material, salah satunya adalah material beton. Metode pracetak (precast) memiliki beberapa kelebihan dibandingkan metode cor setempat (cast in site). Kelebihan tersebut antara lain adalah pada metode pracetak (precast) waktu pengerjaan yang relatif singkat, proses produksinya tidak tergantung cuaca, tidak memerlukan tempat penyimpanan material yang luas, hemat akan bekisting dan penopang bekisting, kontrol kualitas beton lebih terjamin, tidak memerlukan treatment atau perlakuan khusus, serta praktis dan cepat dalam pelaksanaannya sehingga dapat mereduksi durasi proyek dan secara otomatis biaya yang dikeluarkan menjadi kecil.

Struktur gedung perkantoran MNC Tower Surabaya pada kondisi sebenarnya memakai metode cor setempat dan memiliki tinggi 12 lantai serta basement 3 lantai akan

dimodifikasi menjadi 12 lantai serta 1½ lantai basement. Gedung perkantoran MNC Tower Surabaya ini akan dirancang menggunakan metode pracetak pada elemen balok dan pelat. Sedangkan pada elemen kolom, tangga dan pondasi direncanakan menggunakan metode cor ditempat (cast in situ). Jumlah jenis tipe dari elemen struktur yang berbeda sedapat mungkin dibuat seminimal mungkin. Hal ini karena elemen pracetak akan sangat ekonomis bila digunakan pada bangunan yang memiliki tipe tipikal. Pondasi gedung ini akan dirancang menggunakan pondasi tiang pancang. Gedung ini juga akan dirancang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dengan dinding geser. Dengan demikian, beban gravitasi dan lateral 25% dipikul oleh rangka serta 75% dipikul oleh dinding geser.

Hasil dari modifikasi gedung perkantoran MNC Tower ini meliputi ukuran balok induk 80/60, ukuran balok anak 35/50 dan 3 macam ukuran kolom yaitu lantai 1-4 100x100 cm, lantai 5-8 90x90 cm, lantai 9-12 80x80 cm. Modifikasi gedung ini juga menggunakan shear wall yang difungsikan juga sebagai dinding lift. Sambungan antar elemen pracetak digunakan sambungan basah dan konsol pendek

Kata Kunci : Pracetak; Precast; SRPMK; Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus; Shear wall; tipikal

MODIFICATION BUILDING OFFICE OF MNC TOWER SURABAYA USING PRECAST

Name : Citra Putri Kalingga
NRP : 3111100078
Department : Teknik Sipil
Academic Supervisor : 1. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.
2. Ir. Kurdian Suprpto, MS.

ABSTRACT

Precast concrete is a process for the production of structural elements of the building at a different location to where the structural elements will be used as a unit in a building. Precast method (precast) is also used to work in the field of civil engineering structures in Indonesia, such as flats, malls and apartments.

Precast technology can be applied to various types of materials, one of which is a concrete material. Precast method (precast) has several advantages over methods of local cast (cast in site). These advantages include the precast method (precast) processing time is relatively short, the production process does not depend on the weather, it does not require extensive material storage areas, will saving formwork and cantilever formwork, concrete quality control is more secure, do not require treatment or special treatment , as well as practical and quick in its implementation so as to reduce the duration of the project and the costs incurred automatically be small.

Structure MNC Tower office building in Surabaya on the actual conditions using the method of local cast and has 12 floors high and 3 basement floors modification be a 12 floors and 1½ basement floors. Surabaya MNC Tower office building will be designed using the precast beam and plate elements. While the elements of columns, stairs and

planned foundation using cast in place (cast in situ). The number of types of different structural elements wherever possible be minimized. This is because the precast elements will be very economical when used in buildings that have typical type. The foundation of this building will be designed using pile foundation. This building will also be designed using Special Moment Frame System bearer also with shear wall. Then, gravity and lateral loads will be accepted 25% by frame also 75% accepted 75% by shear wall.

Results of modification MNC Tower office building includes beam size 80/60, 35/50 joist sizes and 3 different sizes ie columns 1-4 floor 100x100 cm, 90x90 cm 5-8 floors, floors 9-12 80x80 cm. Modification of this building also uses shear wall which also functioned as the elevator wall. Joints between precast elements used wet connections and short consoles

Keywords : Precast; SRPMK; Special Moment Frame System bearers; Shear wall; typical

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Allah SWT karena atas berkat, rahmat, dan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir berjudul “Modifikasi Gedung Perkantoran MNC Tower Surabaya dengan Menggunakan Metode Pracetak (*Precast*)” dengan baik.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua yang telah membantu penulis dalam pembuatan tugas akhir ini, mulai dari rencana, proses, hingga tahap penyusunan. Terutama untuk:

1. Bapak Alm. Ir. I Wayan Lingga Indaya, MT yang ada di surga dan Mami Endang Esti Setyo Rini atas segala dukungan, doa, perhatian, dan kesabaran yang diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan studi hingga sarjana dan menggapai cita-cita.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka dan bapak Ir. Kurdian Suprpto, MS selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Mbak Putu Swasti Kalingga dan adikku Komang Gotra Kalingga yang tidak henti-hentinya memberikan semangat, nasehat dan kerjasama dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Sahabat-sahabatku, Carrisa yang telah memberikan semangat dan memperjuangkan TOEFL, Ninditya yang telah mengizinkan penulis untuk menyelesaikan TA di kamar kosan dan kerjasamanya dalam tubes Jembatan, Sisy partner TA ku yang paling jos, Galih Cakson yang selalu memberikan kebahagiaan dimanapun berada, Himatul Farichah yang super banyak tanya tapi banyak belajar dari dia dan Nathanael Parasian terima kasih tan.
5. Teman-teman dan keluarga S54 yang banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini, Adit dan Heri raja autoCAD, seperjuangan TA Pak Raka Ellsa, Candra, Dewa Angga, Satria, serta teman bermain penuh canda dan tawa Revita , Ica, Deddy,

Warung, Alfin, Dudun, Diana, Epi, Widya dan *ex* Cemara's Fam, banyak kenangan bersama kalian. bangga menjadi bagian dari keluarga S54

6. Teman SD ku Afif yang bersedia membuat video animasi.
7. Senior-seniorku, mbak Nindi, mbak El, Mas Tommy, dll yang telah membantu SAP dan AutoCAD TA.
8. Bapak President SBY yang telah memberikan beasiswa selama 3,5 th di ITS. Terima kasih atas program beasiswanya.
9. Dosen Pengajar di Teknik Sipil ITS
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang selalu memberi dukungan untuk penulis selama perkuliahan dan pengerjaan tugas akhir ini, semoga jasa anda dibalas kebaikan oleh-Nya.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih mempunyai banyak kekurangan sehingga masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak dalam perbaikan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini bermanfaat dan dapat menambah pengetahuan bagi para pembaca.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|----------|
| Halaman Judul | |
| Lembar Pengesahan | |
| Abstrak..... | i |
| Abstract | iii |
| Kata Pengantar..... | v |
| Daftar Isi | vii |
| Daftar Tabel | xii |
| Daftar Gambar | xv |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 4 |
| 1.3 Tujuan..... | 5 |
| 1.4 Batasan Masalah | 6 |
| 1.5 Manfaat | 6 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 7 |
| 2.1 Umum | 7 |
| 2.2 Tinjauan Elemen Pracetak | 7 |
| 2.2.1 Pelat | 7 |
| 2.2.2 Balok | 9 |
| 2.2.3 Kolom | 10 |
| 2.3 Perencanaan Sambungan | 10 |
| 2.3.1 Sambungan dengan Cor Setempat | 11 |
| 2.3.2 Sambungan Las | 12 |
| 2.3.3 Sambungan Baut..... | 13 |
| 2.4 Titik-titik Angkat dan Sokongan | 13 |
| 2.4.1 Pengangkatan Pelat Pracetak | 13 |
| 2.4.2 Pengangkatan Balok Pracetak | 15 |
| 2.4.3 Geser Horizontal | 17 |
| 2.4.4 Detail Penulangan | 17 |
| 2.5 Struktur Basement | 19 |
| 2.5.1 Metode Konstruksi Basement | 20 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.6 | Tinjauan Elemen Pracetak | 20 |
| 2.6.1 | Fase-Fase Penanganan Produk Pracetak | 20 |

BAB III METODOLOGI **23**

| | | |
|--------|--|----|
| 3.1 | Pengumpulan Data | 25 |
| 3.2 | Pencarian Literatur | 26 |
| 3.3 | Pemilihan Kriteria Desain | 27 |
| 3.4 | Preliminary Desain Bangunan Atas | 27 |
| 3.4.1 | Pengaturan Denah | 27 |
| 3.4.2 | Penentuan Dimensi Elemen Struktur | 27 |
| 3.5 | Permodelan Struktur | 30 |
| 3.6 | Pembebanan Struktur Atas | 30 |
| 3.6.1 | Kombinasi Pembebanan | 33 |
| 3.7 | Analisa Struktur | 34 |
| 3.7.1 | Perhitungan Gaya Dalam | 34 |
| 3.8 | Perencanaan Struktur Sekunder | 34 |
| 3.8.1 | Perencanaan Tulangan Tangga | 34 |
| 3.8.2 | Perencanaan Tulangan Balok Anak | 34 |
| 3.8.3 | Perencanaan Struktur Atap | 35 |
| 3.8.4 | Perencanaan Lift | 35 |
| 3.9 | Perencanaan Struktur Utama | 35 |
| 3.9.1 | Pelat | 35 |
| 3.9.2 | Perencanaan Tulangan Balok | 38 |
| 3.9.3 | Perencanaan Tulangan Kolom | 39 |
| 3.9.4 | Perencanaan Struktur Dinding Geser | 40 |
| 3.10 | Perencanaan Sambungan | 40 |
| 3.10.1 | Perencanaan Sambungan pada Balok dan Kolom | 41 |
| 3.10.2 | Perencanaan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak | 43 |
| 3.10.3 | Perencanaan Sambungan Balok dengan Pelat .. | 44 |
| 3.11 | Design Bangunan Bawah | 45 |
| 3.11.1 | Perencanaan Basement | 45 |
| 3.11.2 | Perencanaan Pondasi | 45 |
| 3.12 | Gambar Rencana | 47 |

| | |
|---------------------------------|----|
| 3.13 Kesimpulan dan Saran | 47 |
|---------------------------------|----|

BAB IV PRELIMINARY DESAIN..... 49

| | |
|--|----|
| 4.1 Umum | 49 |
| 4.2 Data Perencanaan..... | 49 |
| 4.2.1 Pembebanan | 49 |
| 4.3 Perencanaan Dimensi Balok | 50 |
| 4.3.1 Dimensi Balok Induk | 51 |
| 4.3.2 Dimensi Balok Anak | 52 |
| 4.4 Perencanaan Tebal Pelat | 53 |
| 4.4.1 Peraturan Perencanaan Pelat | 53 |
| 4.4.2 Data Perencanaan Tebal Pelat Lantai dan Atap | 53 |
| 4.5 Perencanaan Dimensi Kolom..... | 57 |
| 4.6 Perencanaan Tebal Dinding Geser..... | 59 |

BAB V PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER ... 61

| | |
|--|----|
| 5.1 Pemodelan dan Analisa Struktur Pelat..... | 61 |
| 5.1.1 Data Perencanaan | 61 |
| 5.1.2 Pembebanan Pelat Lantai | 62 |
| 5.1.3 Pembebanan Pelat Atap | 63 |
| 5.1.4 Perhitungan Tulangan Pelat | 64 |
| 5.1.5 Penulangan Stud Pelat Lantai | 74 |
| 5.1.6 Kontrol Lendutan | 76 |
| 5.1.7 Panjang Penyaluran Tulangan Pelat | 76 |
| 5.1.8 Perhitungan Tulangan Angkat | 76 |
| 5.2 Perencanaan Balok Anak Pracetak | 81 |
| 5.2.1 Data Perencanaan Balok Anak Pracetak | 81 |
| 5.2.2 Pembebanan Balok Anak Pracetak | 81 |
| 5.2.3 Perhitungan Pembebanan Balok Anak | 84 |
| 5.2.4 Perhitungan Momen dan Geser | 85 |
| 5.2.5 Perhitungan Tulangan Lentur Balok Anak | 87 |
| 5.2.6 Perhitungan Tulangan Geser | 92 |
| 5.2.7 Pengangkatan Balok Anak | 94 |
| 5.2.8 Kontrol Lendutan | 97 |

| | | |
|---|---|------------|
| 5.3 | Perencanaan Tangga | 98 |
| 5.3.1 | Data Perencanaan | 98 |
| 5.3.2 | Perhitungan Pembebanan dan Analisa Struktur | 100 |
| 5.3.3 | Analisa Gaya-Gaya Dalam | 101 |
| 5.3.4 | Perhitungan Tulangan Pelat Tangga dan Bordes | 106 |
| 5.4 | Perencanaan Balok Lift..... | 113 |
| 5.4.1 | Data Perencanaan | 113 |
| 5.4.2 | Pembebanan Lift | 115 |
| 5.4.3 | Balok Penggantung Lift 30/40 | 116 |
| 5.4.5 | Balok Penumpu Depan dan Belakang Lift 60/80 | 121 |
| 5.5 | Kontrol Kapasitas Crane | 126 |
| BAB VI PEMODELAN STRUKTUR..... | | 127 |
| 6.1 | Perhitungan Berat Struktur | 128 |
| 6.1.1 | Berat Total Bangunan | 129 |
| 6.1.2 | Kombinasi Pembebanan | 129 |
| 6.2 | Gempa Rencana | 130 |
| 6.3 | Pembebanan Gempa Dinamis..... | 131 |
| 6.3.1 | Arah Pembebanan | 132 |
| 6.3.2 | Parameter Respons Spektrum Rencana | 132 |
| 6.3.3 | Faktor Reduksi Gempa | 133 |
| 6.3.4 | Faktor Keutamaan (I) | 133 |
| 6.4 | Kontrol Desain..... | 133 |
| 6.4.1 | Kontrol Partisipasi Massa | 134 |
| 6.4.2 | Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental | 136 |
| 6.4.3 | Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum | 137 |
| 6.4.4 | Kontrol Batas Simpangan Antar Lantai (<i>drift</i>) | 140 |
| 6.4.5 | Kontrol Sistem Ganda | 148 |
| BAB VII PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA | | 149 |
| 7.1 | Umum | 149 |

| | | |
|--|--|------------|
| 7.2 | Perencanaan Balok Induk | 149 |
| 7.2.1 | Data Perencanaan | 149 |
| 7.2.2 | Penulangan Lentur Balok Induk Melintang Sebelum Komposit | 149 |
| 7.2.3 | Penulangan Lentur Balok Induk Melintang Interior Setelah Komposit | 155 |
| 7.2.4 | Penulangan Lentur Balok Induk Melintang Interior Setelah Komposit | 176 |
| 7.2.5 | Pengangkatan Elemen Balok Induk | 196 |
| 7.3 | Perencanaan Kolom | 201 |
| 7.4 | Perencanaan <i>Basement</i> | 208 |
| 7.4.1 | Perencanaan Balok Induk <i>Basement</i> | 208 |
| 7.4.2 | Penulangan Dinding <i>Basement</i> | 212 |
| 7.4.3 | Penulangan Lantai Parkir <i>Basement</i> | 214 |
| 7.5 | Perencanaan Dinding Struktural | 217 |
| 7.5.1 | Penulangan Geser Dinding Struktural | 218 |
| BAB VIII PERENCANAAN SAMBUNGAN..... | | 221 |
| 8.1 | Umum | 221 |
| 8.2 | Konsep Desain Sambungan | 222 |
| 8.2.1 | Mekanisme Pemindahan Beban | 222 |
| 8.2.2 | Klasifikasi Sistem dan Sambungan | 224 |
| 8.2.3 | Pola-pola Kehancuran | 224 |
| 8.3 | Penggunaan Topping Beton..... | 226 |
| 8.4 | Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom..... | 227 |
| 8.4.1 | Perencanaan Konsol pada Kolom | 227 |
| 8.4.2 | Perhitungan Sambungan Balok Kolom | 232 |
| 8.5 | Perencanaan Sambungan Balok Induk dan Balok- Anak | 234 |
| 8.5.1 | Perhitungan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak | 235 |
| 8.6 | Perencanaan Sambungan Pelat dan Balok | 237 |
| BAB IX PERENCANAAN PONDASI | | 241 |
| 9.1 | Umum | 241 |

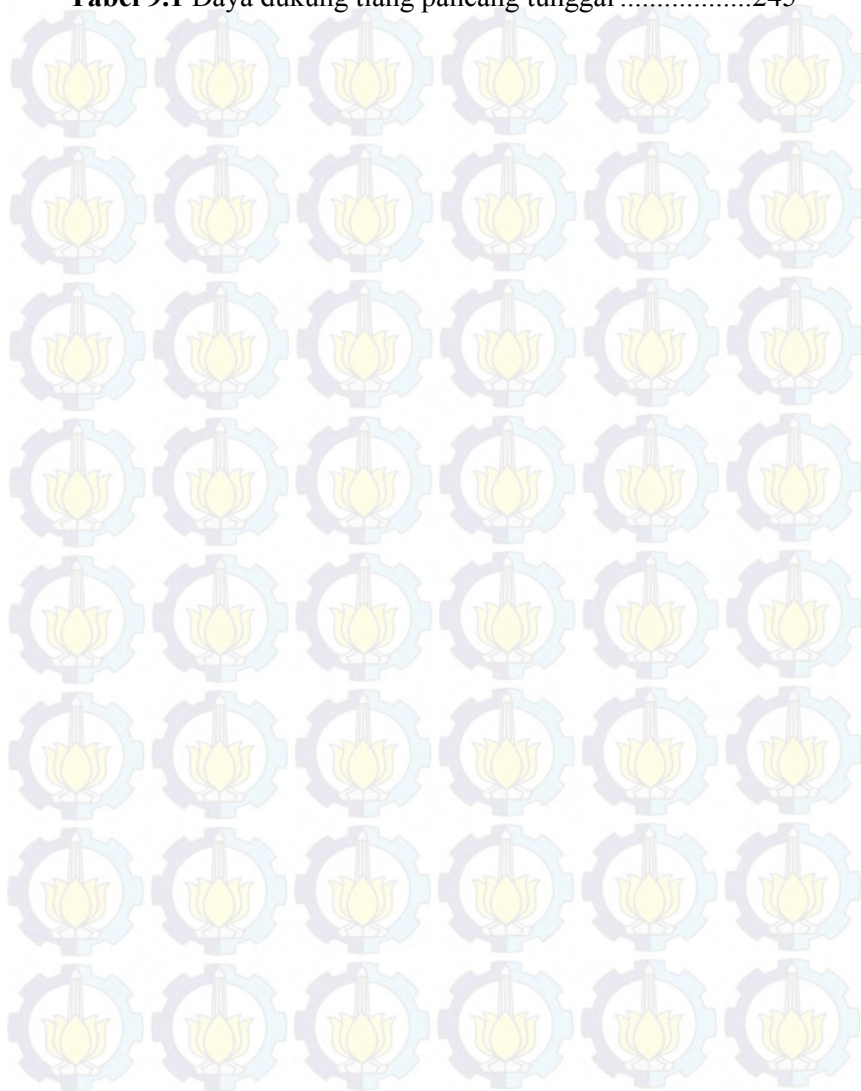
| | | |
|--------|---|------------|
| 9.2 | Data Tanah..... | 241 |
| 9.3 | Kriteria Desain..... | 241 |
| 9.3.1 | Spesifikasi Tiang Pancang | 241 |
| 9.4 | Daya Dukung..... | 242 |
| 9.4.1 | Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal | 242 |
| 9.4.2 | Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok | 243 |
| 9.4.3 | Repartisi Beban di Atas Tiang Berkelompok | 244 |
| 9.5 | Perhitungan Tiang Pancang | 244 |
| 9.5.1 | Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal | 245 |
| 9.5.2 | Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok..... | 246 |
| 9.5.3 | Kontrol Beban Maksimum 1Tiang (P_{max}) | 248 |
| 9.5.4 | Kontrol Kekuatan Tiang | 249 |
| 9.5.5 | Perencanaan Poer | 250 |
| 9.5.6 | Kontrol Balok Tinggi | 256 |
| 9.6 | Perencanaan Sloof | 258 |
| | BAB X PERENCANAAN PONDASI..... | 259 |
| 10.1 | Umum | 259 |
| 10.1.1 | Pengangkatan dan Penempatan Crane | 259 |
| 10.1.2 | Pekerjaan Elemen Kolom | 260 |
| 10.1.3 | Pemasangan Elemen Balok Induk | 260 |
| 10.1.4 | Pemasangan Elemen Balok Anak | 261 |
| 10.1.5 | Pemasangan Elemen Pelat..... | 262 |
| 10.1.6 | Transportasi Elemen Beton Pracetak | 263 |
| 10.2 | Metode Pelaksanaan Basement | 263 |
| 10.2.1 | Pekerjaan Dewatering | 265 |
| | BAB XI PENUTUP..... | 269 |
| 11.1 | Kesimpulan | 269 |
| 11.2 | Saran | 270 |
| | Daftar Pustaka | xix |
| | Lampiran | |
| | Gambar Output | |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|-----|
| Tabel 2.1 Perbedaan metode penyambungan | 11 |
| Tabel 2.2 Faktor Pengali Penyaluran Tulangan Tarik..... | 17 |
| Tabel 2.3 Faktor Pengali Penyaluran Tulangan Berkait dalam tarik | 19 |
| Tabel 3.1 Beban Mati Pada Struktur | 31 |
| Tabel 3.2 Beban Hidup Pada Struktur..... | 31 |
| Tabel 4.1 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk | 52 |
| Tabel 4.2 Rekapitulasi Dimensi Balok Anak | 53 |
| Tabel 4.3 Rekapitulasi Dimensi Pelat | 57 |
| Tabel 5.1 Tulangan Terpasang pada Pelat..... | 74 |
| Tabel 6.1 Data Tinggi, Luas dan Jumlah Kolom Struktur . | 129 |
| Tabel 6.2 Rasio partisipasi massa perkantoran MNC | 135 |
| Tabel 6.3 Periode dan Frekuensi Struktur | 137 |
| Tabel 6.4 Reaksi Dasar Struktur | 138 |
| Tabel 6.5 Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa | 139 |
| Tabel 6.6 Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa Setelah –Dikalikan dengan Faktor Skala | 140 |
| Tabel 6.7 Simpangan Antar Lantai yang Terjadi Akibat Beban Gempa | 143 |
| Tabel 6.8 Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah X..... | 144 |
| Tabel 6.9 Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah Y | 145 |
| Tabel 6.10 Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah X | 146 |
| Tabel 6.12 Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah Y | 157 |
| Tabel 6.12 Persentase Gaya Geser yang Mampu Dipikul Sistem Struktur..... | 171 |
| Tabel 7.1 Nilai Mpr Balok Induk Interior | 175 |
| Tabel 7.2 Nilai Mpr Balok Induk Eksterior | 191 |
| Tabel 7.3 Momen Maximum Kolom Interior..... | 202 |
| Tabel 7.4 Nilai Mpr Balok Induk | 211 |

Tabel 7.5 Beban yang Dipikul Shearwall Lt 1218

Tabel 9.1 Daya dukung tiang pancang tunggal245



DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------------|--|----|
| Gambar 1.1 | Denah lantai 2 sampai 11 sebelum modifikasi..... | 2 |
| Gambar 1.2 | Denah lantai 2 sampai 11 yang akan di modifikasi..... | 3 |
| Gambar 1.3 | (a) Potongan memanjang sebelum modifikasi dan (b) potongan memanjang setelah modifikasi..... | 4 |
| Gambar 2.1 | Pelat pracetak berlubang (<i>Hollow Core Slab</i>) | 8 |
| Gambar 2.2 | Pelat pracetak tanpa lubang (<i>Solid Slab</i>) | 8 |
| Gambar 2.3 | Pelat pracetak <i>Double Tees</i> dan <i>Single Tee</i> | 8 |
| Gambar 2.4 | Balok berpenampang persegi (<i>Rectangular Beam</i>) | 9 |
| Gambar 2.5 | Balok berpenampang L (<i>L-Shape Beam</i>)..... | 9 |
| Gambar 2.6 | Balok T terbalik (<i>Inverted Tee Beam</i>) | 9 |
| Gambar 2.7 | Sambungan dengan cor setempat | 12 |
| Gambar 2.8 | Sambungan dengan las | 12 |
| Gambar 2.9 | Sambungan dengan menggunakan baut..... | 13 |
| Gambar 2.10 | Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat) | 14 |
| Gambar 2.11 | Posisi titik angkat pelat (8 buah titik angkat) | 15 |
| Gambar 2.12 | Pengangkatan balok pracetak | 15 |
| Gambar 2.13 | Model pembebanan balok pracetak saat pengangkatan..... | 16 |
| Gambar 2.14 | Titik-titik angkat dan sokongan sementara untuk produk pracetak balok | 16 |
| Gambar 2.15 | Detail kaitan untuk penyaluran kait standar . | 18 |
| Gambar 2.16 | Tekanan tanah yang terjadi di basement..... | 19 |
| Gambar 2.17 | Metode Top Down..... | 20 |
| Gambar 3.1 | Diagram alir perencanaan | 23 |
| Gambar 3.2 | Diagram alir perhitungan penulangan komponen lentur | 36 |

| | | |
|--------------------|--|-----|
| Gambar 3.3 | Sambungan balok dengan kolom..... | 42 |
| Gambar 3.4 | Parameter geometri konsol pendek..... | 43 |
| Gambar 3.5 | Sambungan balok induk dengan balok anak . | 44 |
| Gambar 3.6 | Sambungan balok induk dengan pelat | 45 |
| Gambar 4.1 | Denah pembalokan | 51 |
| Gambar 4.2 | Tipe pelat A | 54 |
| Gambar 5.1 | Tipe pelat A 260×390 cm | 65 |
| Gambar 5.2 | Potongan Pelat | 65 |
| Gambar 5.3 | Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat) . | 69 |
| Gambar 5.4 | Diagram gaya geser horizontal penampang komposit..... | 75 |
| Gambar 5.5 | Jarak Tulangan Angkat Menurut Buku (<i>PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete, Fourth Edition, 1992</i>)..... | 77 |
| Gambar 5.6 | Momen pengangkatan pelat arah i | 78 |
| Gambar 5.7 | Momen pengangkatan pelat arah j | 78 |
| Gambar 5.8 | (a) Dimensi balok anak sebelum komposit, (b) Dimensi balok anak saat pengecoran dan balok anak saat komposit | 82 |
| Gambar 5.9 | Denah pembebanan balok anak | 82 |
| Gambar 5.10 | Momen saat pengangkatan balok anak..... | 94 |
| Gambar 5.11 | Letak titik pengangkatan | 95 |
| Gambar 5.12 | Perencanaan Tangga | 99 |
| Gambar 5.13 | Sketsa beban pada tangga | 101 |
| Gambar 5.14 | Free body diagram gaya-gaya pada tangga | 104 |
| Gambar 5.15 | Bidang lintang (D) pada tangga..... | 104 |
| Gambar 5.16 | Bidang normal (N) pada tangga..... | 105 |
| Gambar 5.17 | Bidang momen (M) pada tangga | 105 |
| Gambar 5.18 | Denah Lift | 114 |
| Gambar 6.1 | Denah struktur perkantoran MNC Tower..... | 127 |
| Gambar 6.2 | Dimensi struktur Perkantoran MNC Tower .. | 128 |
| Gambar 6.3 | Peta untuk Menentukan Harga Ss..... | 130 |
| Gambar 6.4 | Peta untuk Menentukan S_1 | 131 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 6.5 Hasil analisis struktur menggunakan program bantu SAP2000 | 139 |
| Gambar 7.1 Detail pembalokan A | 150 |
| Gambar 7.2 Pembebanan balok induk sebelum komposit. | 152 |
| Gambar 7.3 Pembebanan balok induk sebelum komposit. | 154 |
| Gambar 7.4 Denah pembalokan | 156 |
| Gambar 7.5 Potongan Balok T | 167 |
| Gambar 7.6 Penulangan balok bentang 7,8 meter | 170 |
| Gambar 7.7 Penentuan jarak x diluar sendi plastis..... | 173 |
| Gambar 7.8 Denah pembalokan | 177 |
| Gambar 7.9 Dimensi balok induk sebagai balok T | 190 |
| Gambar 7.10 Penentuan jarak x diluar sendi plastis..... | 194 |
| Gambar 7.11 Momen saat pengangkatan balok induk | 197 |
| Gambar 7.12 Letak titik pengangkatan | 198 |
| Gambar 7.13 Potongan rangka | 201 |
| Gambar 7.14 Grafik momen envelope lantai 3 eksterior... .. | 202 |
| Gambar 7.15 Diagram interaksi aksial vs momen kolom eksterior lantai 1 | 203 |
| Gambar 7.16 Diagram tegangan yang terjadi pada dinding basement..... | 212 |
| Gambar 7.17 Denah penempatan shearwall | 217 |
| Gambar 8.1 Panjang Tumpuan pada Tumpuan | 222 |
| Gambar 8.2 Mekanisme Pemindahan Beban..... | 223 |
| Gambar 8.3 Model keruntuhan..... | 225 |
| Gambar 8.4 Model sambungan balok pada konsol kolom | 225 |
| Gambar 8.5 Geometrik konsol pendek..... | 227 |
| Gambar 8.6 Panjang Penyaluran Balok Induk | 234 |
| Gambar 8.7 Sambungan Balok Induk dan Balok Anak..... | 234 |
| Gambar 8.8 Panjang Penyaluran Balok Anak | 237 |
| Gambar 8.9 Panjang Penyaluran Pelat | 237 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 9.1 Konfigurasi rencana tiang pancang | 248 |
| Gambar 10.1 Pemasangan Bekisting untuk Pembuatan Kolom..... | 260 |
| Gambar 10.2 Pemasangan Balok Induk Pracetak..... | 261 |
| Gambar 10.3 Pemasangan Balok Anak Pracetak | 261 |
| Gambar 10.4 Pemasangan Tulangan Atas..... | 262 |
| Gambar 10.5 Pengecoran Topping..... | 262 |
| Gambar 10.6 Pelaksanaan Basement dengan Metode Konvensional..... | 264 |
| Gambar 10.7 Potongan Metode Cut Off..... | 267 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

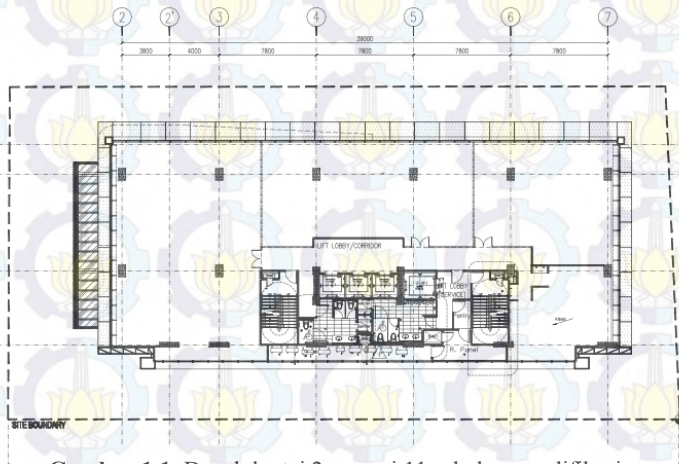
Dewasa ini makin marak perkembangan teknologi konstruksi yang menawarkan beberapa keuntungan, baik dari segi kemudahan pelaksanaan maupun segi ekonomi. Salah satu diantaranya adalah sistem pracetak (*precast*). Pracetak adalah suatu proses produksi elemen struktur bangunan pada suatu lokasi yang berbeda dengan tempat dimana elemen struktur tersebut akan digunakan menjadi suatu kesatuan dalam sebuah bangunan. Di negara-negara maju, pembangunan gedung umumnya yang menggunakan metode pracetak.

Metode pracetak (*precast*) juga digunakan pada pekerjaan struktur dalam bidang teknik sipil di Indonesia, seperti pada rumah susun, mall maupun apartemen. Teknologi pracetak ini dapat diterapkan pada berbagai jenis material, salah satunya adalah material beton. Metode pracetak (*precast*) memiliki beberapa kelebihan dibandingkan metode cor setempat (*cast in site*). Kelebihan tersebut antara lain adalah pada metode pracetak (*precast*) waktu pengerjaan yang relatif singkat, proses produksinya tidak tergantung cuaca, tidak memerlukan tempat penyimpanan material yang luas, hemat akan bekisting dan penopang bekisting, kontrol kualitas beton lebih terjamin, tidak memerlukan treatment atau perlakuan khusus, serta praktis dan cepat dalam pelaksanaannya sehingga dapat mereduksi durasi proyek dan secara otomatis biaya yang dikeluarkan menjadi kecil.

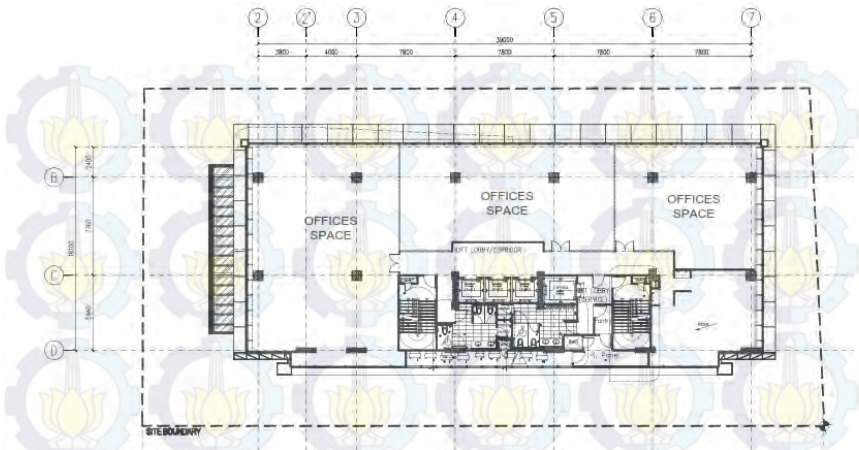
Aplikasi metode pracetak (*precast*) lebih tepat dan efisien apabila diterapkan pada beberapa hal. Diantaranya adalah pengaplikasian pada gedung yang berada pada daerah dengan zona gempa relatif rendah serta pada gedung yang bertipe tipikal. Zona gempa relatif rendah memiliki frekuensi gempa yang tidak terlalu sering dengan intensitas yang tidak terlalu besar. Maka dari itu metode pracetak sangat sesuai, karena pada metode pracetak (*precast*) ikatan yang terjadi tidak terlalu kaku. Sedangkan

pengaplikasian metode pracetak pada gedung dengan tipe tipikal lebih efisien karena pada gedung tipe ini mempunyai elemen tipikal sehingga lebih mudah dalam pengerjaan dan pelaksanaannya.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan modifikasi Gedung perkantoran MNC Tower Surabaya setinggi 12 lantai dan 3 lantai basement yang semula menggunakan metode konstruksi sistem cor ditempat (*in site*) menjadi metode pracetak (*precast*) dengan 12 lantai upper structure dan 1½ lantai basement dalam pelaksanaannya. Gedung ini merupakan proyek pertama di Surabaya yang memiliki basement terdalam. Surabaya termasuk dalam gempa relatif besar sehingga perencanaan gedung ini menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan dinding geser. Dengan demikian, beban gravitasi dan lateral 25% dipikul oleh rangka serta 75% dipikul oleh dinding geser.

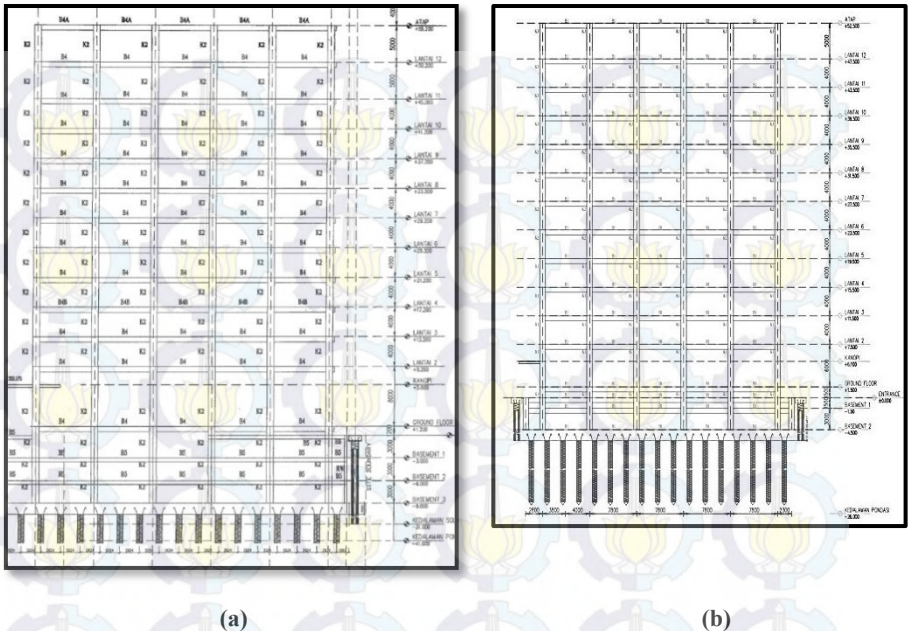


Gambar 1.1 Denah lantai 2 sampai 11 sebelum modifikasi



Gambar 1.2 Denah lantai 2 sampai 11 yang akan di modifikasi

Gedung ini bersifat tipikal (tampak pada gambar 1.3) sehingga metode pracetak lebih tepat digunakan. Pemilihan modifikasi gedung perkantoran MNC Tower Surabaya menggunakan metode pracetak karena lebih banyak menguntungkan, efisiensi tinggi, dan merupakan salah satu metode pembangunan yang memenuhi kaidah konstruksi hijau (green building) dibandingkan dengan metode sebelumnya yang digunakan.



Gambar 1.3 (a) Potongan memanjang sebelum modifikasi dan (b) potongan memanjang setelah modifikasi

1.2 Rumusan Masalah

Dalam perancangan struktur gedung MNC Tower Surabaya menggunakan metode pracetak (precast) terdapat beberapa permasalahan yang timbul yaitu :

Permasalahan utama :

Bagaimana merencanakan struktur gedung perkantoran MNC Tower Surabaya menggunakan metode pracetak ?

Detail permasalahan :

1. Bagaimana merancang dimensi dari pelat dan balok beton pracetak sehingga mampu mendapatkan dimensi yang efisien ?
2. Bagaimana merancang struktur bangunan pracetak yang monolit dan mampu menahan beban lateral dan gravitasi ?

3. Bagaimana merancang detailing sambungan pada komponen pracetak sesuai peraturan yang berlaku ?
4. Bagaimana memodelkan dan menganalisa struktur dengan menggunakan program bantu SAP2000.14 ?
5. Bagaimana merencanakan basement 1½ lantai sesuai dengan keadaan tanahnya?
6. Bagaimana merencanakan pondasi dan retaining wall dari basement yang sesuai dengan besarnya beban yang dipikul ?
7. Bagaimana menuangkan hasil perhitungan dan perancangan ke dalam gambar teknik dengan menggunakan program bantu AutoCAD2012 ?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari modifikasi perencanaan struktur Gedung perkantoran MNC Tower Surabaya menggunakan metode pracetak yaitu :

Tujuan utama :

Merencanakan struktur gedung perkantoran MNC Tower Surabaya menggunakan metode pracetak.

Detail tujuan :

1. Dapat merancang dimensi elemen beton pracetak yang efisien.
2. Dapat merancang struktur bangunan yang monolit dan mampu menahan beban lateral dan gravitasi sesuai peraturan yang berlaku.
3. Dapat merancang struktur bangunan yang monolit dan mampu menahan beban lateral dan gravitasi sesuai peraturan yang berlaku.
4. Memodelkan dan menganalisa struktur dengan menggunakan program bantu SAP2000.14.
5. Merencanakan basement 1 ½ lantai sesuai dengan keadaan tanahnya.

6. Dapat merencanakan pondasi dan retaining wall pada basement yang sesuai dengan besarnya beban yang dipikul dengan kondisi tanah dilapangan.
7. Dapat menuangkan hasil perhitungan dan perancangan ke dalam gambar teknik dengan menggunakan program bantu AutoCAD2012.

1.4 Batasan Masalah

Dalam perancangan ini diambil batasan :

1. Dalam perancangan struktur Gedung MNC Tower Surabaya ini direncanakan penggunaan teknologi pracetak hanya pada : balok dan pelat. Sedangkan untuk kolom menggunakan sistem cor setempat (*cast in site*).
2. Tidak memperhitungkan sistem cor setempat (*cast in site*)
3. Perhitungan pondasi hanya pada kolom dengan beban terbesar
4. Tidak memperhitungkan analisa biaya
5. Perancangan tidak meliputi utilitas bangunan, sanitasim plumbing, mechanical, instalasi listrik, dan finishing.
6. Progam bantu yang dipakai meliputi SAP2000.14, AutoCAD 2012 dan pccol

1.5 Manfaat

Manfaat dari modifikasi ini adalah :

1. Memahami perancangan pada struktur gedung bertingkat menggunakan metode beton pracetak.
2. Dapat menjadi refrensi perencanaan struktur gedung yang menggunakan metode pracetak (*precast*) dikemudian hari.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Sistem pabrikasi dalam pembuatan struktur beton bertulang dikenal dengan sistem pracetak. Definisi beton pracetak menurut SNI-2847-2013 adalah elemen struktur yang dicetak di tempat lain dari posisi akhirnya dalam struktur. Pada dasarnya beton pracetak tidaklah berbeda dengan beton biasa. Yang membedakan hanyalah pada metode fabrikasinya.

Sebagian besar dari elemen struktur pracetak diproduksi ditempat tertentu (fabrikasi) dilanjutkan dengan proses pengangkutan beton pracetak ke lokasi (transportasi). Komponen-komponen tersebut dipasang sesuai keberadaannya sebagai komponen struktur sebagai bagian dari sistem struktur beton (ereksi).

2.2 Tinjauan Elemen Pracetak

Seperti yang telah dibahas pada sub-bab sebelumnya, pembuatan beton pracetak dilakukan di lokasi proyek ataupun diluar lokasi proyek seperti pabrik. Untuk itu, agar elemen pracetak yang dibuat sesuai dengan yang direncanakan dan tidak mengalami kesulitan dalam proses fabrikasi, hendaknya perencana mengetahui macam-macam elemen struktur pracetak yang umum digunakan dan diproduksi saat ini.

2.2.1 Pelat

Pelat merupakan struktur tipis yang dibuat dari beton dengan bidang yang arahnya horizontal dan beban yang bekerja tegak lurus pada bidang struktur tersebut. Pada pelat beton pracetak, waktu pengangkutan atau sebelum komposit beban yang bekerja adalah berat sendiri pelat, sedangkan beban total yang diterima oleh pelat terjadi pada saat pelat sudah komposit.

Dalam *PCI Design Handbook 5th Edition Precast and Prestressed Concrete*, ada tiga macam pelat pracetak (*precast*

slab) yang umum diproduksi dan digunakan sebagai elemen pracetak, antara lain :

1) Pelat Pracetak Berlubang (*Hollow Core Slab*)

Pelat ini merupakan pelat pracetak dimana ukuran tebal lebih besar dibanding dengan pelat pracetak tanpa lubang. Biasanya pelat tipe ini menggunakan kabel pratekan. Keuntungan dari pelat jenis ini adalah lebih ringan, tingkat durabilitas yang tinggi dan ketahanan terhadap api sangat tinggi. Pelat jenis ini memiliki lebar rata-rata 2 hingga 8 feet dan tebal rata-rata 4 inchi hingga 15 inchi.



Gambar 2.1 Pelat pracetak berlubang (*Hollow Core Slab*)

2) Pelat Pracetak tanpa Lubang (*Solid Slabs*)

Adalah pelat pracetak dimana tebal pelat lebih tipis dibandingkan dengan pelat lebih tipis dibandingkan dengan pelat pracetak dengan lubang. Keuntungan dari penggunaan pelat ini adalah mudah dalam penumpukan karena tidak memakan banyak tempat. Pelat ini bisa berupa pelat pratekan atau beton bertulang biasa dengan ketebalan dan lebar yang bervariasi. Umumnya bentang dari pelat ini antara 5 hingga 35 feet. Pada perencanaan ini pelat yang digunakan adalah pelat pracetak tanpa lubang.



Gambar 2.2 Pelat pracetak tanpa lubang (*Solid Slab*)

3) Pelat Pracetak *Double Tees* dan *Single Tees*

Pelat ini berbeda dengan pelat yang sudah dijelaskan sebelumnya. Pada pelat ini ada bagian berupa dua buah kaki sehingga tampak seperti dua T yang terhubung.



Gambar 2.3 Pelat pracetak *Double Tees* dan *Single Tee*

2.2.2 Balok

Untuk balok pracetak (*Precast Beam*), ada tiga jenis balok yang sering atau umum digunakan :

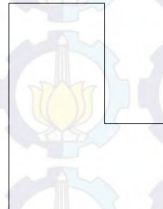
1) Balok berpenampang persegi (*Rectangular Beam*) :

Keuntungan dari balok jenis ini adalah sewaktu fabrikasi lebih mudah dengan bekisting yang lebih ekonomis dan tidak perlu memperhitungkan tulangan akibat cor sewaktu pelaksanaan.



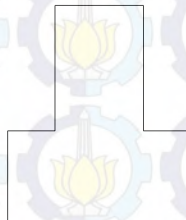
Gambar 2.4 Balok berpenampang persegi (*Rectangular Beam*)

2) Balok berpenampang L (*L-Shaped Beam*)



Gambar 2.5 Balok berpenampang L (*L-Shape Beam*)

3) Balok berpenampang T terbalik (*Inverted Tee Beam*)



Gambar 2.6 Balok T terbalik (*Inverted Tee Beam*)

2.2.3 Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (collapse) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (total collapse) seluruh struktur (Sudarmoko, 1996).

Kolom dalam perencanaan tugas akhir ini tidak mengaplikasikan kolom pracetak. Didalam perencanaan ini digunakan kolom cor di tempat (metode konvensional) yang menggunakan pengikat sengkang lateral. Kolom ini merupakan kolom beton yang ditulangi dengan batang tulangan pokok memanjang, yang pada jarak tertentu diikat dengan pengikat sengkang ke arah lateral. Tulangan ini berfungsi untuk memegang tulangan pokok memanjang agar tetap kokoh pada tempatnya.

2.3 Perencanaan Sambungan

Proses penyatuan komponen-komponen struktur beton pracetak menjadi sebuah struktur bangunan yang monolit merupakan hal yang penting dalam pengaplikasian teknologi beton pracetak. Oleh karena itu, perencanaan sambungan harus diperhatikan dengan seksama sehingga tidak menyulitkan pada saat pelaksanaan.

Dalam teknologi beton pracetak, terdapat 3 (tiga) macam sambungan yang umum digunakan. Sambungan tersebut antara lain, sambungan dengan cor di tempat (in situ concrete joint), sambungan dengan menggunakan las dan sambungan dengan menggunakan baut. Masing-masing dari jenis sambungan tersebut memiliki karakteristik serta kekurangan dan kelebihan sendiri-sendiri yang disajikan dalam tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Perbedaan Metode Penyambungan

| Deskripsi | Sambungan dengan cor setempat | Sambungan dengan las/baut |
|---|-------------------------------|---|
| Kebutuhan struktur | Monolit | Tidak monolit |
| Jenis sambungan | Basah | Kering |
| Toleransi dimensi | Lebih tinggi | Tergolong rendah, karena dibutuhkan akurasi yang tinggi |
| Kebutuhan waktu agar berfungsi secara efektif | Perlu setting time | Segera dapat berfungsi |
| Ketinggian bangunan | - | Maksimal 25 meter |

Sumber : Wulfram I. Ervianto (2006)

2.3.1 Sambungan dengan Cor Setempat

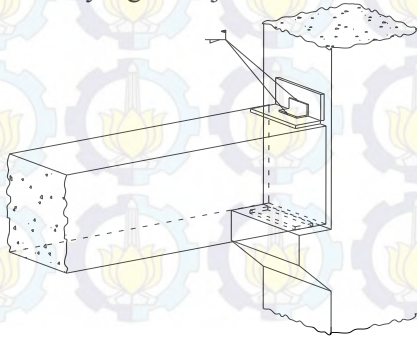
Sambungan ini merupakan sambungan dengan menggunakan tulangan biasa sebagai penyambung / penghubung antar elemen beton baik antar pracetak ataupun antara pracetak dengan cor ditempat. Elemen pracetak yang sudah berada di tempatnya akan di cor bagian ujungnya untuk menyambungkan elemen satu dengan yang lain agar menjadi satu kesatuan yang monolit seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7. Sambungan jenis ini disebut dengan sambungan basah. Sambungan jenis ini sering diterapkan dalam pelaksanaan konstruksi, karena tergolong mudah dalam pelaksanaannya. Selain itu sambungan ini dapat membuat bangunan menjadi lebih kaku dibanding menggunakan sambungan jenis lain. Dalam modifikasi ini akan direncanakan menggunakan sambungan cor setempat.



Gambar 2.7 Sambungan dengan cor setempat

2.3.2 Sambungan Las

Alat sambung jenis ini menggunakan plat baja yang ditanam dalam beton pracetak yang akan disambung. Kedua pelat ini selanjutnya disambung atau disatukan dengan bantuan las seperti gambar 2.8. Melalui pelat baja inilah gaya-gaya yang akan diteruskan ke komponen yang terkait. Setelah pekerjaan pengelasan, dilanjutkan dengan menutup pelat sambung tersebut dengan adukan beton yang bertujuan untuk melindungi pelat dari korosi.

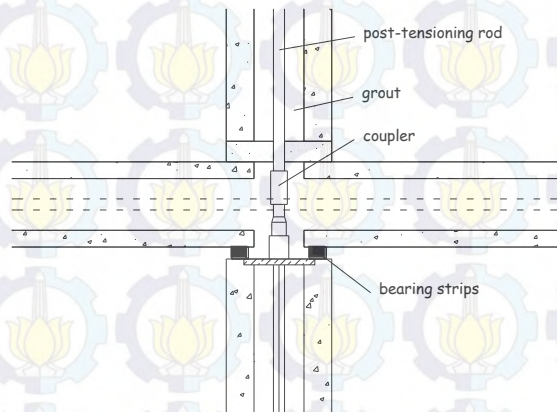


Gambar 2.8 Sambungan dengan las

Umumnya, pada pertemuan balok dan kolom, ujung balok di dukung oleh corbels atau biasa disebut dengan konsol yang menjadi satu dengan kolom. Penyatuan antara dua komponen tersebut menggunakan las yang dilaksanakan pada pelat baja yang tertanam dengan balok dengan pelat baja yang telah disiapkan pada sisi kolom.

2.3.3 Sambungan Baut

Penyambungan cara ini diperlukan pelat baja dikedua elemen betok pracetak yang akan disatukan. Kedua komponen tersebut disatukan melalui pelat tersebut dengan alat sambung berupa baut dengan kuat tarik tinggi. Selanjutnya pelat sambung tersebut dicor dengan adukan beton, guna melindungi dari korosi.



Gambar 2.9 Sambungan dengan menggunakan baut

2.4 Titik-Titik Angkat dan Sokongan

2.4.1 Pangkatan Pelat Pracetak

Pemasangan pelat pracetak harus diperhatikan bahwa pelat akan mengalami pengangkatan sehingga perlu perencanaan terhadap tulangan angkat untuk pelat dengan tujuan untuk

menghindari tegangan yang disebabkan oleh fleksibilitas dari truk pengangkut dalam perjalanan menuju lokasi proyek. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya momen-momen pada elemen pracetak. Pada saat pengangkatan elemen pracetak, dapat menggunakan bantuan balok angkat yang berfungsi untuk menyeimbangkan elemen pracetak pada saat pengangkatan. Jenis titik angkat pada pelat tersebut dijelaskan berikut ini :

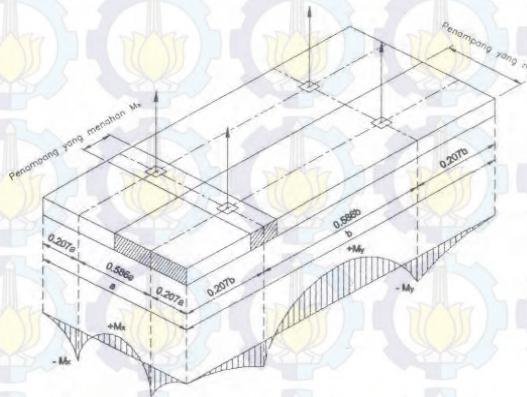
a. Dua Titik Angkat

Maksimum Momen (pendekatan) :

$$+M_x = -M_y = 0,0107 w a^2 b$$

$$+M_y = -M_x = 0,0107 w a b^2$$

- M_x ditahan oleh penampang dengan lebar yang terkecil dan $15t$ atau $b/2$
- M_y ditahan oleh penampang dengan lebar $a/2$



Gambar 2.10 Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)

(Sumber : PCI Design Handbook 6th Edition, gambar 5.3.1.2(b))

b. Empat Titik Angkat

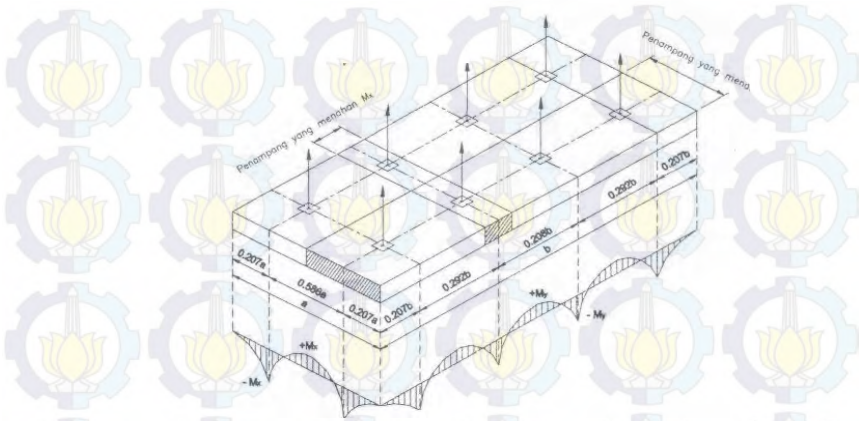
Maksimum Momen (pendekatan) :

$$+M_x = -M_y = 0,0054 w a^2 b$$

$$+M_y = -M_x = 0,0027 w a b^2$$

- M_x ditahan oleh penampang dengan lebar yang terkecil dan $15t$ atau $b/4$

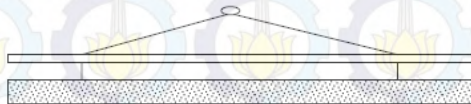
- My ditahan oleh nenampang dengan lebar $a/2$



Gambar 2.11 Posisi titik angkat pelat (8 buah titik angkat)
(Sumber : PCI Design Handbook 6th Edition, gambar 5.3.1.2(b))

2.4.2 Pengangkatan Balok Pracetak

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 menyebabkan terjadinya momen pada tengah bentang dan pada tumpuan. Ada dua hal yang harus ditinjau dalam kondisi ini, yaitu kekuatan angkur pengangkatan (lifting anchor) dan kekuatan lentur penampang beton pracetak.

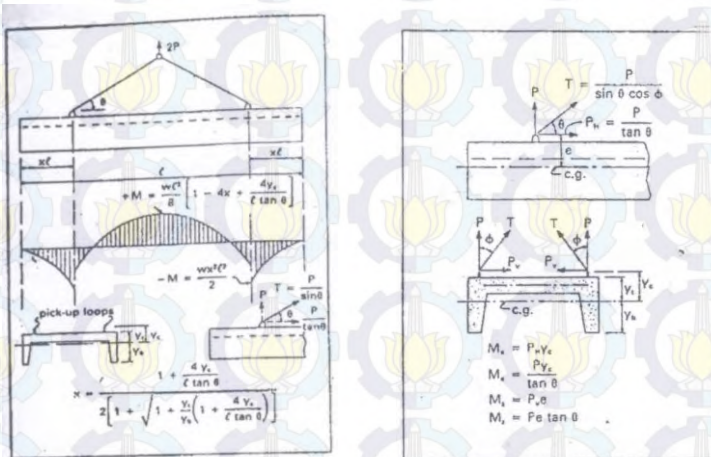


Gambar 2.12 Pengangkatan balok pracetak



Gambar 2.13 Model pembebanan balok pracetak saat pengangkatan

Balok pracetak harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok dari kerusakan. Titik pengangkatan balok dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.14 Titik-titik angkat dan sokongan sementara untuk produk pracetak balok (Sumber : PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete 6th Edition, gambar 5.3.2.2)

| | |
|------------------------------------|-----|
| Pengangkatan dari bekisting | 1,7 |
| Pengangkatan ke tempat penyimpanan | 1,2 |
| Transportasi | 1,5 |
| Pemasangan | 1,2 |

(PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete Fourth Edition, 1992, table 5.2.1.)

2.4.3 Geser Horizontal

- Pada pelat lantai dan balok pracetak, gaya geser yang terjadi:

$$V_{vh} = T = C = A_s f_y$$

- Kuat geser horizontal menurut SNI 03-2847-2013, pasal 17.5.4 adalah :

$$\phi x V_{nh} = \phi x 0,6 x b_v x l_{vh}$$

- Menurut SNI 03-2847-2002, pasal 11.6.4. tulangan geser horizontal perlu :

$$A_{vh} = \frac{V_n}{f_y x \mu}$$

2.4.4 Detail Penulangan

➤ Penyaluran Tulangan dalam Tarik

Menurut SNI 03-2847-2002, pasal 12.2.2 adalah sebagai berikut :

$$l_{d(\min)} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Untuk } D \leq 19 \text{ mm} : l_d = \left(\frac{f_y \psi_t \psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$$

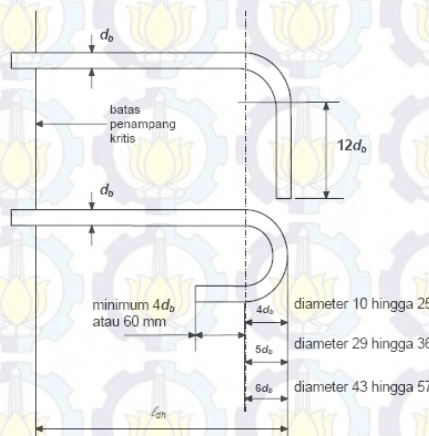
$$D \geq 22 \text{ mm} : l_d = \left(\frac{f_y \psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$$

Tabel 2.2 Faktor Pengali Penyaluran Tulangan Tarik

| | |
|--|-----|
| ψ_t = faktor lokasi penulangan | |
| Tulangan horizontal dipasang sehingga lebih dari 300mm beton segar dicor dibawah panjang penyaluran atau sambungan | 1,3 |
| Situasi lain | 1,0 |
| ψ_e = faktor pelapis | |
| Batang atau kawat dilapisi epoksi dengan selimut kurang dari $3d_b$ atau spasi bersih kurang dari $6d_b$ | 1,5 |
| Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi lainnya | 1,2 |

| | |
|--|------|
| Tulangan tidak dilapisi dan dilapisi bahan seng (digalvanis) | 1,0 |
| ψ_s = faktor ukuran batang tulangan | |
| Batang D-19 atau lebih kecil atau kawat ulir | 0,8 |
| Batang D-22 dan yang lebih besar | 1,0 |
| λ = faktor agregat ringan | |
| Apabila f_{ct} ditetapkan | 0,75 |
| Beton normal | 1,0 |

➤ Penyaluran Tulangan Berkait dalam Tarik



Gambar 2.15 Detail kaitan untuk penyaluran kait standar

(SNI 03-2847-2013, gambar S12.5)

Menurut SNI 03-2847-2013, pasal 12.5.2 adalah sebagai berikut:

$$l_{h(\min)} = 8d_b \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

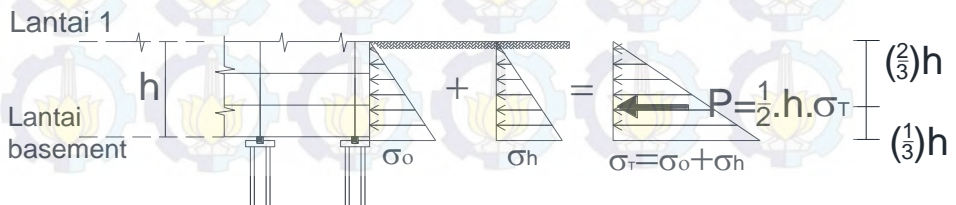
$$\text{Panjang penyaluran dasar } l_{dh} = (0,24\Psi_e f_y / \lambda \sqrt{f'_c}) / d_b$$

Tabel 2.3 Faktor Pengali Penyaluran Tulangan Berkait dalam Tarik

| Kondisi | Faktor |
|--|--------|
| Selimit Beton , batang D-36 dan yang lebih kecil dengan tebal selimit samping (normal terhadap bidang kait) tidak kurang dari 60 mm dan untuk kait 90° dengan tebal selimit terhadap kait tidak kurang dari 50 mm | 0,70 |
| Senggang, batang D-36 dan yang lebih kecil yang secara vertikal atau horisontal dilindungi oleh sengkang yang dipasang sepanjang l_{dh} dengan spasi tidak lebih dari $3d_b$ | 0,80 |
| Untuk kait 180 derajat dari batang tulangan D-36 dan yang lebih kecil yang dilindungi dalam pengikat atau sengkang tegak lurus terhadap tulangan yang disalurkan tidak lebih besar dari $3d_b$ | 0,8 |

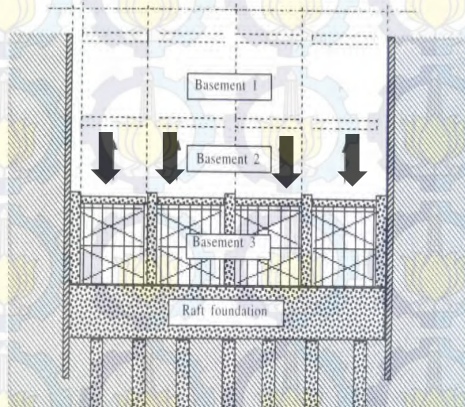
2.5 Struktur Basement

Perencanaan dinding basement juga difungsikan sebagai dinding penahan tanah. Karena lantai basement berada didalam tanah maka seluruh dinding luar digunakan plat beton sebagai penahan tanah. Dinding basement mengalami tekanan horizontal yang diakibatkan oleh tanah dan tekanan akibat air di belakang dinding basement.

**Gambar 2.16** Tekanan tanah yang terjadi di basement

2.5.1 Metode Konstruksi Basement

Metode konstruksi galian yang dilaksanakan pada proyek pembangunan basement MNC Tower Surabaya menggunakan sistem Bottom Up. Pada sistem bottom up struktur basement dilaksanakan setelah seluruh pekerjaan galian selesai mencapai elevasi rencana. Pelat basement paling bawah dicor terlebih dahulu, kemudian basement diselesaikan dari bawah ke atas, dengan menggunakan scaffolding. Kolom, balok dan slab dicor ditempat (cast in place). Pada sistem ini, galian tanah dapat berupa open cut atau dengan sistem dinding penahan tanah yang bisa sementara dan permanen.



Gambar 2.17 Metode Top Down

2.6 Tinjauan Elemen Pracetak

2.6.1 Fase-Fase Penanganan Produk Pracetak

Sebelum digunakan produk pracetak mengalami fase-fase perlakuan yang meliputi:

1. Pengangkatan dari bekisting modul (*stripping*)

- a. Orientasi produk apakah horisontal, vertikal, atau membentuk sudut

- b. Lekatan permukaan beton dengan bekisting dan kejut, lihat tabel
- c. Jumlah dan lokasi peralatan angkat
- d. Berat produk pracetak dan beban-beban tambahan, seperti bekisting yang
- e. terbawa saat produk diangkat

2. Penempatan ke lokasi penyimpanan (*yard handling and storage*)

- a. Orientasi produk apakah horisontal, vertikal, atau membentuk sudut
- b. Lokasi titik-titik angkat sementara
- c. Lokasi sokongan sehubungan dengan produk-produk lain yang juga disimpan
- d. Perlindungan dari sinar matahari langsung

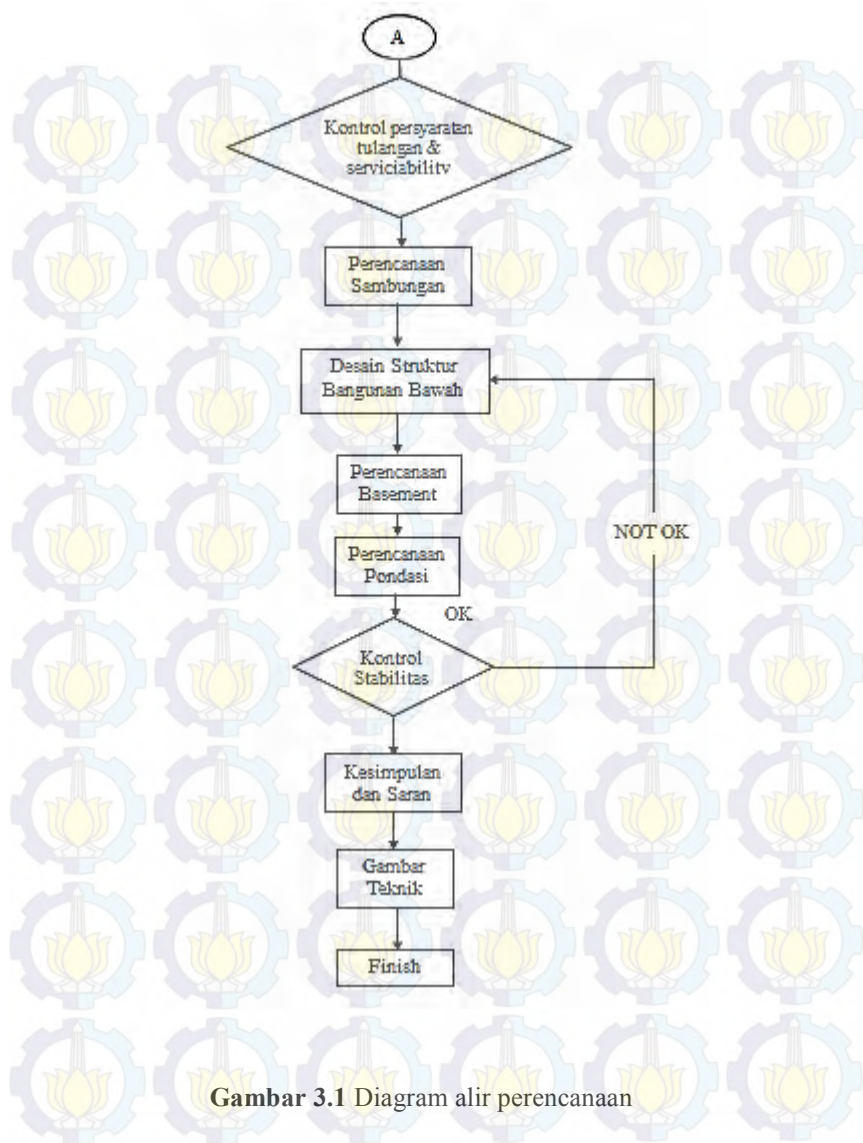
3. Transportasi ke lokasi (*transportation to the job site*)

- a. Orientasi produk apakah horisontal, vertikal, atau membentuk sudut
- b. Lokasi sokongan vertikal maupun horisontal
- c. Kondisi kendaraan pengangkut, jalan, dan batas-batas berat muatan dari jalan yang akan dilalui
- d. Pertimbangan dinamis saat transportasi

4. Pemasangan (*erection*)

- a. Orientasi produk apakah horisontal, vertikal, atau membentuk sudut
- b. Lokasi dan jumlah titik-titik angkat
- c. Lokasi dan jumlah titik-titik sokongan
- d. Beban sementara, seperti pekerja, peralatan selama pekerjaan, dan berat beton *overtopping*





Gambar 3.1 Diagram alir perencanaan

Tahapan atau metode yang akan digunakan dalam perancangan gedung perkantoran MNC Tower Surabaya dengan metode pracetak adalah :

3.1 Pengumpulan Data

Data-data perencanaan secara keseluruhan mencakup data umum bangunan, data bahan dan data tanah.

1. Data Umum Bangunan

- Nama gedung : Gedung Perkantoran MNC Tower Surabaya
- Lokasi : Jalan Taman Ade Irma Suryani Nasution No. 21, Embong Kaliasin, Genteng, Surabaya
- Fungsi : Perkantoran
- Jumlah lantai : 12 lantai dan 3 basement
- Tinggi bangunan : + 63.2 m
- Total luas area : $\pm 1424 \text{ m}^2$
- Struktur utama : Struktur beton bertulang

2. Data Bahan :

- Kekuatan tekan beton (f^c) = 30 MPa
- Tegangan leleh baja (f_y) = 390 Mpa
- Data Tanah : Seperti terlampir

3. Data Gambar

- Gambar Sruktur (Terlampir)
- Gambar arsitektur (Terlampir)

Bangunan gedung tersebut akan dimodifikasi menggunakan metode beton pracetak dan data bangunan yang direncanakan sebagai berikut :

1. Data Umum Bangunan

- Nama gedung : Gedung Perkantoran MNC Tower Surabaya
- Lokasi : Jalan Taman Ade Irma Suryani Nasution No. 21, Embong Kaliasin, Genteng, Surabaya

- Fungsi : Perkantoran
 - Jumlah lantai : 12 ½ lantai dan 1 ½ basement
 - Tinggi bangunan : + 52.5 m
 - Total luas area : ± 1424 m²
 - Struktur utama : Beton pracetak (non prategang)
2. Data Bahan :
- Kekuatan tekan beton ($f'c$) = 30 MPa
 - Tegangan leleh baja (f_y) = 390 Mpa
 - Data Tanah : Seperti terlampir
3. Data Gambar
- Gambar Struktur (Terlampir)
 - Gambar arsitektur (Terlampir)

3.2 Pencarian Literatur

Mencari literatur dan peraturan gedung (building code) yang menjadi acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Adapun beberapa literatur serta peraturan gedung tersebut antara lain adalah sebagai berikut :

- Badan Standarisasi Nasional. 2013. Tata cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2013)
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 03-1726-2012)
- Badan Standarisasi Nasional. 201X. Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Rumah dan Gedung (RSNI 03-1727-201X)
- Rahmat Purwono. 2006. Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa
- Departemen Pekerjaan Umum. 1983. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983)
- Departemen Pekerjaan Umum. 1971. Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI 1971)
- Kim S. Elliot. 2002. Precast Concrete Structure
- Wulfam I. Ervianto. 2006. Teknologi Pracetak dan Bekisting

3.3 Pemilihan Kriteria Desain

Secara umum pemilihan kriteria desain harus memenuhi dua syarat, yakni :

a. Kuat

Sesuai dengan pasal 9.1.1 SNI 2847-2013 Kuat mempunyai artian bahwa kemampuan suatu struktur harus didesain agar mempunyai kekuatan desain paling sedikit sama dengan kekuatan perlu yang dihitung untuk beban dan gaya berfaktor dalam kombinasi yang ditetapkan pada standar ini. Dapat disimpulkan bahwa kuat rencana harus lebih besar atau sama dengan kuat perlu ($\phi R \geq U$). Dimana Φ adalah factor reduksi kekuatan, R merupakan kuat nominal, dan U adalah kuat perlu.

b. Layak

Layak berarti suatu struktur atau elemen struktur harus memiliki lendutan, simpangan, dan retaknya yang masih dalam batas toleransi sehingga penghuni struktur tersebut tidak merasa terancam bahaya.

Dalam perancangan dengan metode precast ini digunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dimana jaminan akan kekuatan elemen struktur dijelaskan dalam SNI-03-2847-2013 pasal 21.3 dan pasal 21.4. Metode precast dipilih karena konfigurasi struktur gedung adalah beraturan dan tipikal pada setiap lantainya. Sedangkan dalam pemilihan sistem struktur digunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

3.4 Preliminary Design Bangunan Atas

Pada preliminary design ini akan menentukan dimensi elemen struktur gedung untuk digunakan dalam tahap perancangan selanjutnya.

3.4.1 Pengaturan Denah

Dalam pengaturan denah yang perlu mendapat perhatian adalah fungsi bangunan adalah fungsi bangunan dan peruntukan tata ruang.

3.4.2 Penentuan Dimensi Elemen Struktur

3.4.2.1 Dimensi Pelat Dan Balok Anak

Dalam menentukan dimensi pelat langkah-langkah perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan terlebih dahulu apakah pelat tergolong pelat satu arah (*One-way slab*) atau pelat dua arah (*two-way slab*).
2. Tebal minimum pelat satu arah (*One-way slab*) menggunakan rumus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.2.1 (tabel 9.5(a)). Sedangkan untuk pelat dua arah menggunakan rumus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.1
3. Dimensi pelat minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi :
 - a) Untuk α_m yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.2
 1. Tebal pelat tanpa penebalan 120 mm
 2. Tebal pelat dengan penebalan 100 mm
 - b) Untuk α_m lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, ketebalan pelat minimum harus memenuhi :

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)}$$

(SNI 03-2847-2013, persamaan 9-12)

dan tidak boleh kurang dari 125 mm.

- c) Untuk α_m lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 9\beta(\alpha_m - 0,2)}$$

(SNI 03-2847-2013, persamaan 9-13)

dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

dimana :

β = rasio dimensi panjang terhadap pendek

α_m = nilai rata - rata dari α_j untuk semua balok pada tepi dari suatu panel

3.4.2.2 Dimensi Balok Induk

Tabel minimum balok non-prategang apabila nilai lendutan tidak dihitung dapat dilihat pada SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.1 tabel 9.5(a). Nilai pada tabel tersebut berlaku apabila digunakan langsung untuk komponen struktur beton normal dan tulangan dengan mutu 420 MPa.

$$h_{min} = \frac{L}{16}$$

digunakan apabila $f_y = 420$ Mpa

$$h_{min} = \frac{L}{16} \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

digunakan untuk f_y selain 420 Mpa

$$h_{min} = \frac{L}{16} (1,65 - 0,003w_c)$$

digunakan untuk nilai w_c 1440 sampai 1840 kg/m^3

Dimana :

b = Lebar balok

h = Tinggi balok

Lb = Panjang balok

3.4.2.3 Dimensi Kolom

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.2 aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur untuk komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa, maka faktor reduksi $\phi = 0,65$.

$$A = \frac{W}{\phi \times f_c'}$$

Dimana,

W

= Beban aksial yang diterima

kolom
 f_c' = Kuat tekan beton karakteristik
 A = Luas penampang kolom

3.5 Permodelan Struktur

Saat pemasangan dan akhir konstruksi (setelah diberi topping) balok dimodelkan sebagai balok sederhana di atas dua tumpuan. Pelat dimodelkan sebagai beban yang dipikul oleh elemen balok. Pada saat pemasangan distribusi beban adalah setengah dari kiri dan setengah dari kanan. Sedangkan pada akhir konstruksi distribusinya berupa beban segitiga ataupun trapesium.

3.6 Pembebanan Struktur Atas

Dalam melakukan analisa desain suatu struktur, perlu ada gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur. Perilaku suatu struktur sangat dipengaruhi oleh beban-beban yang bekerja padanya. Beban yang bekerja pada suatu struktur ada beberapa jenis menurut karakteristik, yaitu beban statis dan beban dinamis. Berikut ini akan menjelaskan lebih detail mengenai pembebanan sesuai dengan ketentuan berdasarkan RSNI 03-1726-2012 dan ketentuan SNI 03-2847-2013.

1) Beban Statis

Beban statis adalah beban yang bekerja secara terus-menerus pada struktur dan juga yang diasosiasikan timbul secara perlahan-lahan, dan mempunyai karakter steady-states yaitu bersifat tetap. Jenis-jenis beban statis menurut Peraturan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung 1983 adalah sebagai berikut.

a. Beban Mati

Beban mati adalah beban-beban yang bekerja vertikal ke bawah pada struktur dan mempunyai karakteristik bangunan, seperti misalnya penutup lantai, alat mekanis, dan partisi yang dapat dipindahkan. Beban mati yang digunakan pada perancangan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983) yang tertera pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Beban mati pada struktur

| Beban Mati | Besar Beban |
|---|--------------------------|
| Batu Alam | 2600 kg / m ² |
| Beton Bertulang | 2400 kg / m ² |
| Dinding pasangan ¹ / ₂ Bata | 250 kg / m ² |
| Kaca setebal 12 mm | 30 kg / m ² |
| Langit-langit + penggantung | 18 kg / m ² |
| Lantai ubin semen portland | 24 kg / m ² |
| Spesi per cm tebal | 21 kg / m ² |

b. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban-beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat berpindah atau bergerak. Secara umum beban ini bekerja dengan arah vertikal ke bawah, tetapi kadang – kadang dapat berarah horizontal. Beban hidup diperhitungkan berdasarkan pendekatan matematis dan menurut kebiasaan yang berlaku pada pelaksanaan konstruksi di Indonesia. Untuk menentukan secara pasti beban hidup yang bekerja pada suatu lantai bangunan sangatlah sulit, dikarenakan fluktuasi beban hidup bervariasi, tergantung dan banyak faktor. Oleh karena itu, faktor beban – beban hidup lebih besar dibandingkan dengan beban mati. Peraturan yang digunakan dalam perancangan beban hidup SNI 03-1727-2013 Tabel 4.1.

Tabel 3.2 Beban hidup pada struktur

| Beban Hidup Lantai Bangunan | Besar Beban |
|-------------------------------|-------------------------|
| Lantai Perkantoran / Restoran | 250 kg / m ² |
| Lantai Ruang-ruang Balkon | 400 kg / m ² |
| Tangga dan Bordes | 300 kg / m ² |
| Lantai Ruang Alat dan Mesin | 400 kg / m ² |
| Beban Pekerja | 100 kg / m ² |

2) Beban Gempa

Beban gempa berdasarkan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2012) daerah Surabaya. Pembebanan ini termasuk beban mati dan beban hidup yang terjadi pada struktur. Perencanaan Beban Gempa pada struktur menggunakan metode diafragma, dimana pengaruh pada struktur dibebankan langsung kepusat massa bangunan (*center of mass*). Gaya geser dasar akibat gempa diperoleh dengan mengalikan berat gedung dengan faktor-faktor modifikasi sesuai dengan peraturan pembebanan yang ada.

Analisa beban gempa berdasarkan SNI 03-1726-2012 meliputi :

- Penentuan respon spektrum
- Penentuan wilayah gempa dapat dilihat pada gambar 9 dan 10 SNI-03-1726-2012
- Respon seismik (C_s)

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

(Persamaan 7.8-2 SNI 03-1726-2012)

Dimana :

S_{DS} = percepatan spektrum respons disain dalam rentan periode pendek

R = faktor modifikasi respons dalam tabel 7.2-1 (SNI 03-1726-2012)

I_e = faktor keutamaan hunian yang ditentukan sesuai dengan Tabel 6.4

nilai C_s max tidak lebih dari

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)}$$

- Gaya geser dasar dan gaya seismik lateral

$$V = C_S \times W$$

$$C_{v_x} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

dimana :

C_S = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.1.1

W = berat seismik efektif menurut SNI 03-1726-2012 Pasal 7.7.2

3) Beban Angin (*Wind Load/WL*)

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 :

- Untuk struktur rangka ruang dengan penampang melintang berbentuk bujursangkar dengan arah angin 45° terhadap bidang-bidang rangka, koefisien angin untuk kedua bidang rangka di pihak angin masing-masing 0,65 (tekan) dan untuk kedua rangka di belakang angin masing-masing 0,5 (isap)
- Kecuali itu, masing-masing rangka harus diperhitungkan terhadap beban angin yang bekerja dengan arah tegak lurus pada salah satu bidang rangka, koefisien angin untuk rangka pertama di pihak angin adalah 1,6 (tekan) dan untuk rangka kedua di belakang angin adalah 1,2 (isap)
- Untuk atap segitiga majemuk, untuk bidang-bidang atap di pihak angin dengan $\alpha < 65^\circ$ koefisien $(0,2\alpha - 0,4)$ (tekan), dan untuk semua bidang atap di belakang angin untuk semua α adalah 0,4 (isap)
- Tekanan tiup (beban angin) di laut dan di tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai harus diambil minimum 40 kg/m^2

3.6.1 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.2.1

- 1) $U = 1,4 D$
- 2) $U = 1,2 D + 1,6 L$

$$3) U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E$$

$$4) U = 1,0 D + 1,0 L$$

$$5) U = 0,9 D \pm 1,0 E$$

Keterangan :

U : beban ultimate

D : beban mati

L : beban hidup

E : beban gempa

3.7 Analisa Struktur

3.7.1 Perhitungan Gaya Dalam

Perhitungan gaya-gaya dalam struktur utama menggunakan bantuan program SAP2000.14. Adapun hal-hal yang diperhatikan dalam analisa struktur ini antara lain :

- Bentuk Gedung
- Dimensi elemen-elemen struktur dari preliminary design
- Wilayah gempa
- Pembebanan struktur dan kombinasi pembebanan
-

3.8 Perencanaan Struktur Sekunder

Direncanakan terpisah dalam perencanaannya, karena struktur sekunder hanya meneruskan beban ke struktur utama.

3.8.1 Perencanaan Tulangan Tangga

Perencanaan tangga didesain dengan mengasumsikan perletakan yang digunakan adalah sendi – rol. Syarat perencanaan tangga harus memenuhi syarat berikut ini :

- $64 \leq 2.t + i \leq 65$
- Syarat kemiringan tangga : $20 \leq \alpha \leq 40$

Dimana :

l = Lebar injakan

t = Tinggi tanjakan

α = Kemiringan tangga

3.8.2 Perencanaan Tulangan Balok Anak

Beban pelat yang diteruskan ke balok anak dihitung sebagai beban trapesium, segitiga dan dua segitiga. Beban ekuivalen ini selanjutnya akan digunakan untuk menghitung gaya-gaya dalam yang terjadi di balok anak untuk menentukan tulangan lentur dan geser (perhitungan tulangan longitudinal sama dengan pelat).

3.8.3 Perencanaan Struktur Atap

Konstruksi atap direncanakan berfungsi sebagai pelindung komponen yang ada dibawahnya dalam hal ini melindungi mesin elevator. Atap direncanakan hanya sebagai beban bagi konstruksi utama sehingga dalam perhitungannya dilakukan secara terpisah.

3.8.4 Perencanaan Lift

Lift merupakan alat transportasi manusia dalam gedung dan satu tingkat ke tingkat lain. Perencanaan lift disesuaikan dengan pemikiran jumlah lantai dan perkiraan jumlah pengguna lift. Dalam perencanaan lift, metode perhitungan yang dilakukan merupakan analisis terhadap konstruksi ruang tempat lift dan balok penggantung katrol lift.

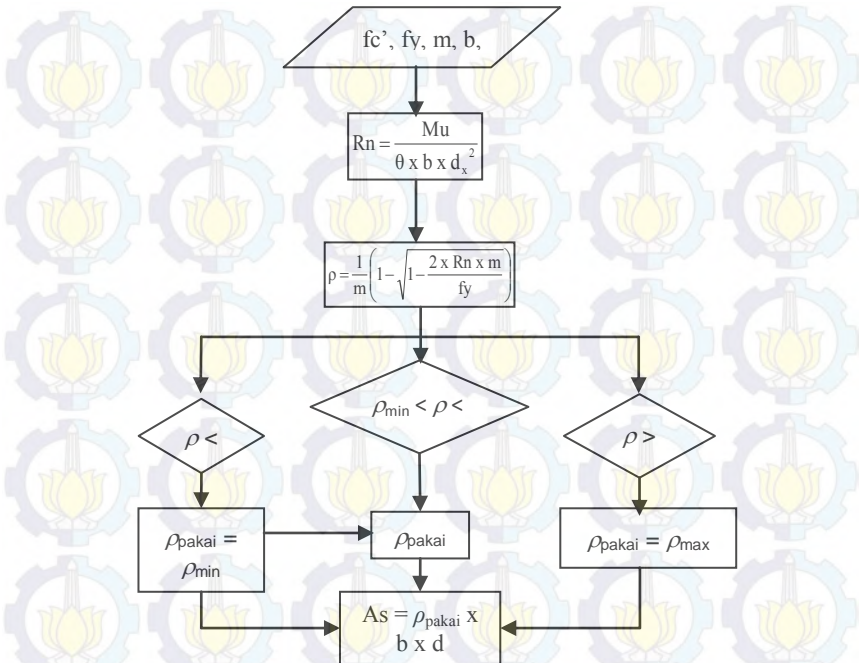
Ruang landasan diberi kelonggaran (lift pit) supaya pada saat lift mencapai lantai paling bawah, lift tidak menumbuk dasar landasan, disamping berfungsi pula menahan lift apabila terjadi kecelakaan, misalnya tali putus. Perencanaan ini mencakup perencanaan balok penumpu depan, penumpu belakang, dan balok penggantung lift.

3.9 Perencanaan Struktur Utama

Perhitungan perencanaan struktur utama dilakukan setelah perhitungan untuk elemen sekunder beserta gaya-gaya dalam yang diperoleh dari hasil analisa struktur, selanjutnya pendetailan elemen-elemen struktur utama. Perencanaan struktur ini meliputi perencanaan penulangan lentur dan perencanaan penulangan geser.

3.9.1 Pelat

3.9.1.1 Perhitungan Tulangan Lentur Pelat



Gambar 3.2 Diagram alir perhitungan penulangan komponen lentur

3.9.1.2 Perhitungan Tulangan Geser

Sedangkan untuk perhitungan kebutuhan tulangan geser, dapat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

- 1) Hitung V_u pada titik berjarak d dari ujung perletakan
- 2) Cek $V_u \leq \phi (V_c + \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d)$

Bila tidak memenuhi maka perbesaran penampang

- 3) Kriteria kebutuhan tulangan geser :

- ❖ $V_u \leq 0,5 \phi V_c \rightarrow$ Tidak perlu penguatan geser
- ❖ $0,5 \phi V_c < V_u < \phi V_c \rightarrow$ dipakai tulangan geser minimum
- ❖ $\phi V_c < V_u < \phi (V_c + V_{s \min}) \rightarrow$ diperlukan tulangan geser

❖ $\phi (V_c + V_{s_{min}}) < V_u$ $\phi(V_c + \frac{1}{3}\sqrt{f'_c} \times b_w \times d)$ → perlu

tulangan geser

dimana :

- $V_c = \frac{1}{6}\sqrt{f'_c} b_w \cdot d$

- $V_s = \sqrt{\frac{f'_c}{3}} b_w \cdot d$

- $\phi = 0,6$ (untuk geser)

Keterangan :

V_c = Kekuatan geser Nominal yang diakibatkan oleh Beton

V_s = Kekuatan geser Nominal yang diakibatkan oleh

Tulangan geser

V_n = Kekuatan geser Nominal ($V_c + V_s$)

V_u = Gaya geser Berfaktor

4) Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.3.4 :

Bila sengkang tertutup tidak diperlukan, sengkang dengan kait gempa pada kedua ujung harus dispasikan dengan jarak tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang komponen struktur.

3.9.1.3 Pehitungan Tulangan Susut

Kebutuhan tulangan susut di atur dalam SNI 03-28472013 Pasal 7.12.2.1

3.9.1.4 Kontrol Retak Tulangan

Untuk menghindari retak-retak beton di sekitar baja tulangan, maka penggunaan tulangan lentur dengan kuat leleh melebihi 300 MPa perlu dilakukan kontrol terhadap retak sesuai SNI 03-2847-2013, Pasal 10.6.4.

dengan :

$$Z = f_s \sqrt[3]{d_c A} \quad (\text{SNI 03-2847-2013, Pasal 10.6.4})$$

$Z \leq 30.000$ N/mm untuk penampang dalam ruangan,

$Z \leq 25.000$ N/mm untuk di luar ruangan,

f_s = tegangan dalam tulangan yang dihitung pada kondisi beban kerja, boleh diambil sebesar $0,60 f_y$ (MPa)

d_c = tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan atau kawat yang terdekat (mm)

$$A = \frac{2d_c b}{n}$$

A = Luas efektif beton tarik di sekitar tulangan lentur tarik dibagi dengan jumlah n batang tulangan atau kawat (mm^2)

3.9.2 Perencanaan Tulangan Balok

3.9.2.1 Perhitungan Tulangan Lentur Balok

Balok merupakan komponen struktur yang terkena beban lentur. Tata cara perhitungan penulangan lentur untuk komponen balok dapat dilihat pada diagram alir (Gambar 3.2) dan harus memenuhi ketentuan SRPMM yang tercantum dalam SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.2.

3.9.2.2 Perhitungan Tulangan Geser Balok

Perencanaan penampang geser harus didasarkan sesuai SNI 03-2847-2013, Pasal 11.1.1 persamaan 11-1 yaitu harus memenuhi $\Phi V_n \geq V_u$, dimana :

V_n = kuat geser nominal penampang

V_u = kuat geser terfaktor pada penampang

Φ = reduksi kekuatan untuk geser = 0,75

(SNI 03-2847-2013, Pasal 9.3)

Kuat geser nominal dari penampang merupakan sumbangan kuat geser beton (V_c) dan tulangan (V_s)

$$V_n = V_c + V_s$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.1.1 persamaan 11-2)

Dan untuk

$$V_c = 0,17\alpha\sqrt{f'_c}b_w d$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.2.1.1 persamaan 11-3)

Perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada :

$$\phi V_n \geq V_u$$

(SNI 03-2847-2002, Pasal 11.1)

Dimana :

V_u = geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

V_n = Kuat geser nominal

V_c = Kuat geser beton

V_s = Kuat geser nominal tulangan geser

3.9.2.3 Kontrol Torsi

Pengaruh torsi harus diperhitungkan apabila :

$$T_u \leq \frac{\phi \sqrt{f'c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}^2} \right)}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.5.1)

Perencanaan penampang terhadap torsi :

$$T_u \leq \phi T_n$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.5.3.5 pers.11-20)

Tulangan sengkang untuk puntir :

$$T_n = \frac{2 \cdot A_0 \cdot A_t \cdot f_y}{s} \cot \theta$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 11.5.3.6 pers.11-21)

Dimana :

T_u = Momen torsi terfaktor

T_n = Kuat momen torsi

T_c = Kuat torsi nominal yang disumbang oleh beton

T_s = Kuat momen torsi nominal tulangan geser

A_0 = Luas yang dibatasi oleh lintasan aliran geser mm^2

3.9.3 Perencanaan Tulangan Kolom

Detail penulangan kolom akibat beban aksial tekan harus sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.5.1. Sedangkan untuk perhitungan tulangan geser harus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 23.5.1.

3.9.4 Perencanaan Struktur Dinding Geser

3.9.4.1 Kuat Aksial Rencana

Dihitung berdasarkan (SNI 03-2847-2013 pasal 14.5.2)

$$\phi P_{nw} = 0,55 \phi f' c . A_g \left[1 - \left(\frac{k . I_c}{32h} \right)^2 \right]$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 14.5.2)

3.9.4.2 Pemeriksaan Tebal Dinding

Tebal dinding dianggap cukup bila dihitung memenuhi (SNI 03-2847-2013, pasal 11.9.3.)

$$\phi x V_n = \phi \frac{5}{6} x \sqrt{f' c} . h . d \geq V_u$$

(SNI 03-2847-2013, pasal 11.9.3.)

Dimana :

$$d = 0,8 I_w$$

3.9.4.3 Kuat Geser Beton

Dihitung Menurut SNI 03-2847-2013, pasal 11.9.6.

3.9.4.4 Keperluan Penulangan Geser

Penulangan geser dihitung berdasarkan (SNI 03-28472013, pasal 13.9.8.)

3.9.4.5 Penulangan Geser Horizontal

Dihitung merdasarkan pada (SNI 03-2847-2013, pasal 11.9.9)

3.9.4.6 Penulangan Geser Vertikal

Dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2002, pasal 11.9.9.4

3.10 Perencanaan Sambungan

Kelemahan konstruksi pracetak adalah terletak pada sambungan yang relatif kurang kaku atau monolit, sehingga lemah

terhadap beban lateral khususnya dalam menahan beban gempa, mengingat Indonesia merupakan daerah dengan intensitas gempa yang cukup besar. Untuk itu sambungan antara elemen balok pracetak dengan kolom maupun dengan plat pracetak direncanakan supaya memiliki kekakuan seperti beton monolit (*cast in place emulation*).

Dengan metode konstruksi semi pracetak, yaitu elemen pracetak dengan tuangan beton cast in place di atasnya, maka diharapkan sambungan elemen-elemen tersebut memiliki perilaku yang mendekati sama dengan struktur monolit. Untuk menjamin kekakuan dan kekuatan pada detail sambungan ini memang butuh penelitian mengenai perilaku sambungan tersebut terhadap beban gempa. Berdasarkan beberapa referensi hasil penelitian yang dimuat dalam PCI Journal, ada rekomendasi pendetailan sambungan elemen pracetak dibuat dalam kondisi daktail sesuai dengan konsep desain kapasitas strong coloumn weak beam.

Dalam perencanaan sambungan pracetak, gaya – gaya disalurkan dengan cara menggunakan sambungan grouting, kunci geser, sambungan mekanis, sambungan baja tulangan, pelapisan dengan beton bertulang cor setempat, atau kombuinasi cara – cara tersebut. Dalam penulisan tugas akhir ini digunakan sambungan dengan pelapisan beton bertulang cor setempat.

3.10.1 Perencanaan Sambungan pada Balok dan Kolom

Sambungan antara balok pracetak dengan kolom harus bersifat kaku atau monolit. Oleh sebab itu pada sambungan elemen pracetak ini harus direncanakan sedemikian rupa sehingga memiliki kekakuan yang sama dengan beton cor di tempat. Untuk menghasilkan sambungan dengan kekakuan yang relatif sama dengan beton cor di tempat, dapat dilakukan beberapa hal berikut ini.

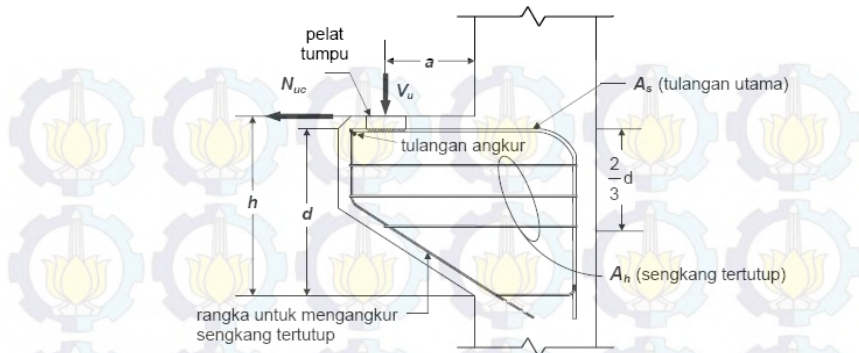
- Kombinasi dengan beton cor di tempat (topping), dimana permukaan balok pracetak dan kolom dikasarkan dengan amplitudo 5 mm.

- Pendetailan tulangan sambungan yang dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan, sesuai dengan aturan yang diberikan dalam SNI 03- 2847-2013 pasal 7.13, yaitu tulangan menerus atau pemberian kait standar pada sambungan ujung.
- Pemasangan dowel dan pemberian grouting pada tumpuan atau bidang kontak antara balok pracetak dan kolom untuk mengantisipasi gaya lateral yang bekerja pada struktur.



Gambar 3.3 Sambungan balok dengan kolom

Pada perancangan sambungan balok dan kolom ini menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakkan pada konsol pendek pada kolom kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8 mengenai ketentuan khusus untuk konsol pendek.

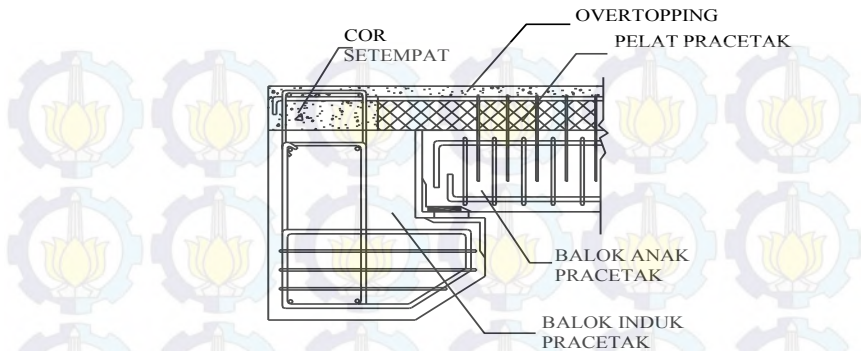


Gambar 3.4 Parameter geometri konsol pendek

3.10.2 Perencanaan Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak

Balok anak diletakkan menumpu pada tepi balok induk dengan ketentuan panjang landasan adalah sedikitnya 1/180 kali bentang bersih komponen plat pracetak, tapi tidak boleh kurang dari 75 mm. Untuk membuat integritas struktur, maka tulangan utama balok anak baik yang tulangan atas maupun bawah dibuat menerus atau dengan kait standar yang pendetailannya sesuai dengan aturan SK SNI 03-2847-2013.

Dalam perancangan sambungan balok induk dengan balok anak digunakan konsol pada balok induk. Balok anak diletakkan pada konsol pendek pada balok induk, kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada balok induk ini sama dengan perencanaan konsol pada kolom.

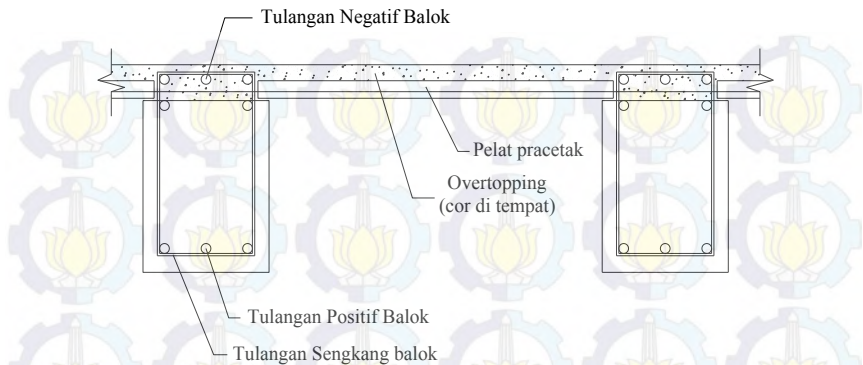


Gambar 3.5 Sambungan balok induk dengan balok anak

3.10.3 Perencanaan Sambungan Balok dengan Pelat

Untuk menghasilkan sambungan yang bersifat kaku, monolit, dan terintegrasi pada elemen-elemen ini, maka harus dipastikan gaya-gaya yang bekerja pada plat pracetak tersalurkan pada elemen balok. Hal ini dapat dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut.

- Kombinasi dengan beton cor di tempat (topping), dimana permukaan plat pracetak dan beton pracetak dikasarkan dengan amplitudo 5 mm.
- Pendetailan tulangan sambungan yang dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan, sesuai dengan aturan yang diberikan dalam SNI 03- 2847-2013 pasal 7.13.
- *Grouting* pada tumpuan atau bidang kontak antara plat pracetak dengan balok pracetak.



Gambar 3.6 Sambungan balok induk dengan pelat

3.11 Design Bangunan Bawah

3.11.1 Perencanaan Basement

➤ Penulangan Dinding Basement

Penulangan dinding basement dihitung sesuai dengan yang telah diatur dalam SNI 03-1729-2013.

➤ Kontrol Ketebalan Dinding Basement

Ketebalan dinding basement dikontrol sesuai dengan yang telah diatur dalam SNI03-1729-2013 pasal 22.6.6.3

➤ Penulangan Pelat Lantai Basement

Elevasi air tanah diasumsikan pada kondisi yang paling berbahaya, yaitu sama dengan permukaan tanah. Penulangan pelat lantai basement dihitung sesuai dengan yang telah diatur dalam SNI 03-1729-2013.

3.11.2 Perencanaan Pondasi

Dalam perencanaan pondasi untuk suatu konstruksi dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi. Pemilihan tipe pondasi ini didasarkan atas:

- Fungsi bangunan atas yang akan dipikul oleh pondasi tersebut
- Besarnya beban dan beratnya bangunan atas
- Keadaan tanah dimana bangunan tersebut akan didirikan

- Biaya pondasi dibandingkan biaya bangunan atas

Pemakaian tiang pancang digunakan untuk pondasi suatu bangunan bila tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya atau bila tanah keras yang mampu memikul berat bangunan dan bebannya letaknya sangat dalam.

Struktur pondasi direncanakan dengan menggunakan pondasi dalam, yaitu tiang pancang. Perhitungan kekuatan pondasi berdasarkan data tanah yang didapat dari tes sondir.

Nilai Konus diambil 4 D keatas & 4 D kebawah

$$P \text{ ijin 1 tiang} = \frac{A \text{ tiang} \times Cn}{Sf_1} + \frac{JHP \times Q}{Sf_2}$$

$$Sf_1 = (2 - 3)$$

$$Sf_2 = (5 - 8)$$

➤ **Jumlah tiang pancang yang diperlukan (n)**

$$n = \frac{\Sigma Pu}{Pijin}$$

$$S \geq \frac{1,57(D) \min - 2D}{m + n - 2}$$

$$\text{Efisiensi tiang } (\eta) = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \times m \times n}$$

$$\text{Dimana, } \theta = \text{arc tg} \left(\frac{D}{S} \right)$$

$$P \text{ maks} = \frac{\Sigma Pu}{n} + \frac{My \times X \text{ max}}{\Sigma x^2} + \frac{Mx \times Y \text{ max}}{\Sigma y^2}$$

$P \text{ ult} = \text{Efisiensi tiang} \times P_u \text{ 1 tiang berdiri}$

➤ **Kontrol Kekuatan Tiang**

$$P_{ult} \geq P_{perlu}$$

$$P_{perlu} = P_{maks}$$

➤ Kontrol Geser Ponds Pada Poer :

Dalam merencanakan tebal poer, harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan gaya geser nominal harus lebih besar dari geser ponds yang terjadi. Kuat geser yang disumbangkan beton diambil terkecil dari :

$$\blacksquare V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_o d$$

SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.12.1(a)

$$\blacksquare V_c = 0,083 \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_o d$$

SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.12.1(b)

$$\blacksquare V_c = 0,33 \lambda \sqrt{f'_c} b_o d$$

SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.12.1(c)

Dimana :

β = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek pada kolom

b_o = keliling pada penampang kritis pada poer

$$= 2(b_{\text{kolom}} + d) + 2(h_{\text{kolom}} + d)$$

α_s → 30, untuk kolom tepi

→ 40, untuk kolom tengah

→ 20, untuk kolom pojok

$\phi V_c > P_u$OK (Ketebalan dan ukuran poer memenuhi syarat terhadap geser)

3.12 Gambar Rencana

Hasil dari analisa struktur diatas divisualisasikan dalam gambar teknik. Dalam penggambaran ini menggunakan program AutoCAD 2004.

3.13 Kesimpulan dan Saran



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV PRELIMINARY DESAIN

4.1 Umum

4.2 Data Perencanaan

Sebelum perhitungan preliminary desain perlu diketahui terlebih dahulu data perencanaan dan beban-beban yang diterima oleh struktur gedung. Pada perencanaan gedung perkantoran MNC Tower Surabaya dimodifikasi menggunakan beton pracetak biasa dengan data perencanaan sebagai berikut :

- Fungsi bangunan : Gedung Perkantoran
- Lokasi : Jalan Taman Ade Irma Suryani
Nasution No. 21, Embong Kaliasin,
Genteng, Surabaya
- Jumlah lantai : 12 Lantai
- Ketinggian lantai : a) lantai 2-11 = 4.00 m
b) lantai 1 = 6.00 m
c) lantai 12 = 5.00 m
d) basement 1 = 4.00 m
e) basement 2 = 1.50 m
- Tinggi bangunan : + 52.5 m
- Total luas area : ± 1424 m²
- Mutu beton (f^c) : 30 MPa
- Mutu baja (fy) : 390 MPa
- Letak bangunan : Jauh dari pantai

4.2.1 Pembebanan

1. Beban Statis

➤ Beban Mati (PPIUG 1983)

- Berat sendiri beton bertulang : 2400 kg/m³
- Tegel : 24 kg/m³
- Dinding ½ bata : 250 kg/m³
- Plafond : 11 kg/m³
- Penggantung : 7 kg/m³
- Plumbing + duckting : 25 kg/m³

- Spesi : 21 kg/m³
- **Beban Hidup**
 - Beban pekerja : 100 kg/m³
 - Lantai perkantoran : 250 kg/m³
 - Tangga dan bordes : 300 kg/m³

2. Beban Angin

- Jauh dari pantai : 25 kg/m³

3. Beban Gempa

Perencanaan dan perhitungan struktur terhadap gempa dilakukan menurut SNI 03-1726-2012.

4.3 Perencanaan Dimensi Balok

Modifikasi pada tugas akhir ini menggunakan balok yang penampangnya berbentuk persegi (rectangular beam). Perencanaan balok dilakukan dalam dua tahap dimana tahap pertama balok pracetak dibuat dengan sistem fabrikasi yang kemudian pada tahap kedua dilakukan penyambungan dengan menggunakan sambungan basah. Pada tahap kedua balok dipasang dengan pengangkatan ke site lalu dilakukan *over-topping (cor in site)* setelah sebelumnya dipasang terlebih dahulu pelat pracetak. Dengan system tersebut maka akan membentuk suatu struktur yang monolit.

Dimensi balok yang disyaratkan pada SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.2.1 yang tertera pada tabel 9.5.a adalah sebagai berikut :

$$h_{\min} = \frac{1}{16} L_b$$

Untuk lebar balok diambil $\frac{2}{3}$ dari tinggi balok :

$$b = \frac{2}{3} h$$

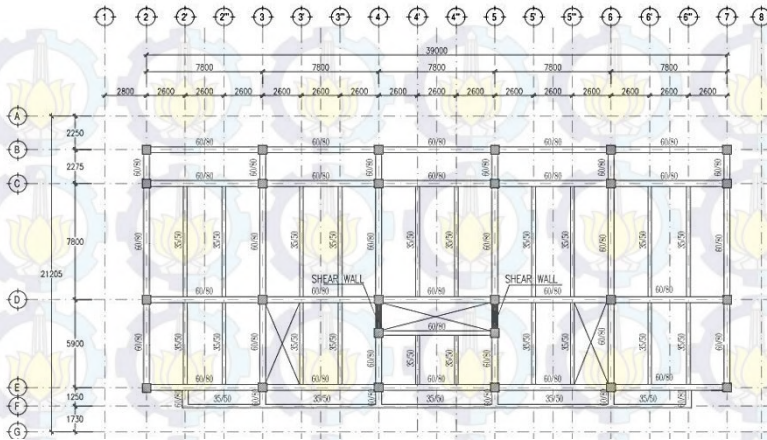
Dimana :

b = lebar balok

h = tinggi balok

L_b = lebar kotor dari balok

f_y = mutu baja tulangan



Gambar 4.1 Denah pembalokan

4.3.1 Dimensi Balok Induk

Dimensi balok induk direncanakan sebagai balok dengan dua tumpuan sederhana dengan mutu beton 30 MPa dan mutu baja 390 MPa sehingga digunakan :

➤ **Balok induk memanjang : L = 7,8 meter**

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times 7800 \text{ cm} = 48,75 \text{ cm}$$

$h_{\min} = 48,75 \text{ cm}$ digunakan $h_{\min} = 80 \text{ cm}$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 48,75 = 32,5 \text{ cm} \approx \text{digunakan } b = 60 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok induk memanjang dengan dimensi 80/60

➤ **Dimensi balok induk melintang : L = 7,8 meter**

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times 7800 \text{ cm} = 48,75 \text{ cm}$$

$h_{\min} = 48,75 \text{ cm}$ digunakan $h_{\min} = 80 \text{ cm}$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 48,75 = 32,5 \text{ cm} \approx \text{digunakan } b = 60 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok induk melintang dengan dimensi 80/60

Tabel 4.1 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk

| Kode balok induk | Bentang bersih (Lb) | h_{\min} | b | h_{pakai} | b_{pakai} | Dimensi |
|------------------|---------------------|------------|------|--------------------|--------------------|---------|
| | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) | (cm) |
| B1 | 780 | 48,75 | 32,5 | 80 | 60 | 60/80 |
| B2 | 590 | 36,88 | 24,6 | 80 | 60 | 60/80 |
| B3 | 227,5 | 14,22 | 9,48 | 80 | 60 | 60/80 |
| BASEMENT | | | | | | |
| B4 | 780 | 48,75 | 32,5 | 80 | 60 | 65/85 |
| B5 | 590 | 36,88 | 24,6 | 80 | 60 | 65/85 |
| B6 | 227,5 | 14,22 | 9,48 | 80 | 60 | 65/85 |

4.3.2 Dimensi Balok Anak

Dimensi balok anak direncanakan sebagai balok pada dua tumpuan menerus dengan mutu beton 30 MPa dan mutu baja 390 MPa sehingga digunakan :

$$h_{\min} = \frac{1}{21} \times L \quad (\text{SNI-03-2847-2013 Tabel 9.5.a})$$

$$b = \frac{2}{3} h$$

Dimana :

b = lebar balok

h = tinggi balok

maka dimensi balok anak arah melintang adalah :

$$h_{\min} = \frac{1}{21} \times 780 \text{ cm} = 37,14 \text{ cm}$$

$$h_{\min} = 37,14 \text{ cm digunakan } h_{\min} = 50 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 37,14 = 24,76 \text{ cm} \approx \text{digunakan } b = 35 \text{ cm}$$

maka digunakan balok anak arah melintang dengan dimensi 35/50

Tabel 4.2 Rekapitulasi Dimensi Balok Anak

| Kode Balok Anak | Bentang bersih (L_b) (cm) | h_{\min} (cm) | b (cm) | h_{pakai} (cm) | b_{pakai} (cm) | Dimensi (cm) |
|-----------------|----------------------------------|--------------------|-------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|
| BA1 | 780 | 48,75 | 32,5 | 50 | 35 | 35/50 |
| BA2 | 590 | 36,88 | 24,6 | 50 | 35 | 35/50 |
| BA3 | 520 | 32,5 | 21,7 | 50 | 35 | 35/50 |
| BA4 | 295 | 18,44 | 12,3 | 50 | 35 | 35/50 |
| BA5 | 125 | 7,813 | 5,21 | 50 | 35 | 35/50 |

4.4 Perencanaan Tebal Pelat

4.4.1 Peraturan Perencanaan Pelat

Peraturan penentuan tebal pelat minimum untuk satu arah dan dua arah menggunakan persyaratan pada SNI 03-2847-2013. Untuk memenuhi syarat lendutan, tebal pelat minimum satu arah harus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5 tabel 9.5 (a) seperti yang

4.4.2 Data Perencanaan Tebal Pelat Lantai dan Atap

Pelat yang direncanakan berupa pelat lantai dengan 3 tipe pelat yang memiliki ukuran yaitu :

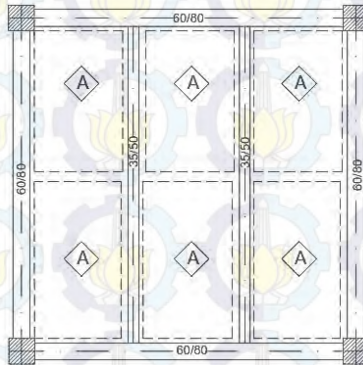
- Pelat tipe A : 390×260 cm
- Pelat tipe B : 295×260 cm
- Pelat tipe C : 125×260 cm
- Pelat tipe D : $227,5 \times 260$ cm

Ketiga tipe pelat tersebut direncanakan dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Mutu beton : 30 MPa
- Mutu baja : 390 MPa

Untuk perencanaan tebal pelat pelat diambil pelat dengan dimensi terluas dengan tebal sebesar 14 cm.

Dalam perencanaan ini, pelat berupa pelat pracetak yang kemudian pada saat pemasangan elemen pracetak tersebut dilanjutkan (pekerjaan overtopping). Denah pelat yang akan direncanakan disajikan dalam gambar 4.2 berikut ini :



Gambar 4.2 Tipe pelat A

Dalam tugas akhir ini tipe pelat A dengan dimensi yang paling besar yaitu 3,9 x 2,6 m digunakan sebagai contoh perhitungan dimensi tebal pelat sehingga nilai L_n dan S_n yaitu :

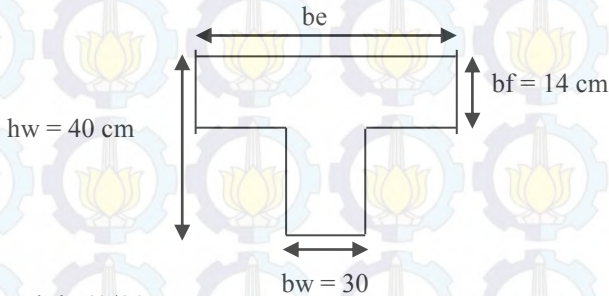
$$L_n = 390 - \left(\frac{60}{2}\right) = 360\text{cm}$$

$$S_n = 260 - \left(\frac{60}{2} + \frac{35}{2}\right) = 218,3\text{cm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{360}{218,3} = 1,64$$

Untuk nilai $\beta < 2$ tergolong pelat dua arah, maka perhitungan lebar sayap efektif adalah :

- a. Untuk pelat yang dijepit pada balok 60/80 dan balok anak 35/50 dengan bentang sepanjang 390 cm



➤ Balok 60/80

$$\begin{aligned} be &= bw + 2 (hw-hf) \\ &= 60 + 2 (80-14) \\ &= 192 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} be &= bw + 8 \times hf \\ &= 60 + 8 \times 14 \\ &= 172 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka dipakai $be = 177 \text{ cm}$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{hf}{hw}\right) + 4 \left(\frac{hf}{hw}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{172}{60} - 1\right) \left(\frac{14}{80}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{14}{80}\right) + 4 \left(\frac{14}{80}\right)^2 + \left(\frac{172}{60} - 1\right) \left(\frac{14}{80}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{172}{60} - 1\right) \left(\frac{14}{80}\right)}$$

$$k = 1,512$$

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

$$= \frac{1}{12} \times 1,512 \times 60 \times 80^3$$

$$I_{balok} = 3872710,164 \text{ cm}^4$$

$$I_{pelat} = bs \times \frac{t^3}{12}$$

$$= 780 \times \frac{14^3}{12}$$

$$I_{pelat} = 178360 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_m = \frac{I_{balok}}{I_{pelat}} = \frac{3872710,164}{178360} = 21,712 > 2$$

Sehingga harus memenuhi persyaratan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5

$$h_{\min} = \frac{L_n(0,8 + f_y / 1400)}{36 + 9\beta}$$

$$= \frac{360(0,8 + 390 / 1400)}{36 + 9(1,64)}$$

$$= 7,6 \text{ cm} \approx 14 \text{ cm}$$

Tebal pelat yang direncanakan 14 cm telah memenuhi syarat. Perincian elemen pelat yang merupakan pelat pracetak adalah :

- Untuk lantai 1-12
 - Tebal pelat pracetak = 8 cm
 - Tebal overtopping = 6 cm
- Untuk atap
 - Tebal pelat pracetak = 8 cm
 - Tebal overtopping = 6 cm

Tabel 4.3 Rekapitulasi Dimensi Pelat

| Tipe pelat | P | L | Dimensi balok tepi pelat | | | Ln | Sn | β | ket | hmin | hpakai |
|------------|------|------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|------|--------|
| | (cm) | (cm) | P1 | P2 | P3 | (cm) | (cm) | | | (cm) | (cm) |
| A | 390 | 260 | 60/80 | 60/80 | 35/50 | 360 | 212,5 | 1,69 | 2 arah | 7,58 | 14 |
| B | 295 | 260 | 60/80 | 60/80 | 35/50 | 265 | 212,5 | 1,25 | 2 arah | 6,05 | 14 |
| C | 125 | 260 | 60/80 | 35/50 | 35/50 | 107,5 | 212,5 | 0,51 | 2 arah | 2,86 | 14 |
| D | 228 | 260 | 60/80 | 60/80 | 60/80 | 197,5 | 200,0 | 0,99 | 2 arah | 4,75 | 14 |

4.5 Perencanaan Dimensi Kolom

Perencanaan dimensi kolom yang tinjau adalah kolom yang mengalami pembebanan terbesar, yaitu kolom yang memikul bentang 780 x 780 cm.

Kolom harus direncanakan untuk mampu memikul beban aksial terfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada satu bentang terdekat dari lantai atau atap yang ditinjau. Data- data yang diperlukan dalam menentukan dimensi kolom adalah sebagai berikut :

- Tebal pelat = 14 cm = 140 mm
- Tinggi lantai 1 = 6 m
- Tinggi tiap lantai 2-11 = 4 m
- Tinggi lantai 12 = 5 m
- Basement 1 = 3 m
- Basement 2 = 1,5 m
- Dimensi balok induk = 60/80
- Dimensi balok anak = 35/50

Bedasarkan RSNI 03-1727-1989 pembebanan seperti berikut ini :

a. Beban mati lantai 1-12

Beban mati yang diterima oleh kolom adalah sebagai berikut :

Pelat : $7,8 \times 7,8 \times 0,2 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 12 \text{ tk} = 350438,4 \text{ kg}$

Balok induk

Melintang : $7,8 \times 0,6 \times 0,8 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 12 \text{ tk} = 107827,2 \text{ kg}$

Memanjang : $7,8 \times 0,6 \times 0,8 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 12 \text{ tk} = 107827,2 \text{ kg}$

Balok anak : $7,8 \times 0,35 \times 0,5 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 12 \text{ tk} = 33696 \text{ kg}$

| | | |
|--------------|---|-----------------------|
| Aspal (1cm) | : $7,8 \times 7,8 \times 0,01 \times 1400 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ tk}$ | = 851,76 kg |
| Plafond | : $7,8 \times 7,8 \times 11 \text{ kg/m}^2 \times 12 \text{ tk}$ | = 8030,88 kg |
| Penggantung | : $7,8 \times 7,8 \times 7 \text{ kg/m}^2 \times 12 \text{ tk}$ | = 5110,56 kg |
| Plumbing | : $7,8 \times 7,8 \times 10 \text{ kg/m}^2 \times 12 \text{ tk}$ | = 7300,8 kg |
| Spesi (2cm) | : $7,8 \times 7,8 \times 0,2 \times 11 \text{ kg/m}^2 \times 12 \text{ tk}$ | = 2059,2 kg |
| Dinding bata | : $7,8 \times 7,8 \times 250 \text{ kg/m}^3 \times 12 \text{ tk}$ | = 182520 kg |
| Sanitasi | : $7,8 \times 7,8 \times 20 \text{ kg/m}^2 \times 12 \text{ tk}$ | = <u>14601,6 kg +</u> |
| | Berat Total (DL) | = 825879,6 kg |

b. Beban mati basement 1 dan 2

| | | |
|--------------|---|----------------------|
| Pelat | : $7,8 \times 7,8 \times 0,2 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 2 \text{ tk}$ | = 350438,4 kg |
| Balok induk | | |
| Melintang | : $7,8 \times 0,6 \times 0,8 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 2 \text{ tk}$ | = 58406,4 kg |
| Memanjang | : $7,8 \times 0,6 \times 0,8 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 2 \text{ tk}$ | = 17971,2 kg |
| Balok anak | : $7,8 \times 0,35 \times 0,5 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 2 \text{ tk}$ | = 17971,2 kg |
| Plafond | : $7,8 \times 7,8 \times 11 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ tk}$ | = 6552 kg |
| Penggantung | : $7,8 \times 7,8 \times 7 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ tk}$ | = 851,76 kg |
| Plumbing | : $7,8 \times 7,8 \times 10 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ tk}$ | = 1216,8 kg |
| Spesi (2cm) | : $7,8 \times 7,8 \times 0,2 \times 11 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ tk}$ | = 343,2 kg |
| Dinding bata | : $(7,8 + 7,8) \times 4 \times 250 \text{ kg/m}^3 \times 12 \text{ tk}$ | = 30420 kg |
| Sanitasi | : $7,8 \times 7,8 \times 20 \text{ kg/m}^2 \times 12 \text{ tk}$ | = <u>2433,6 kg +</u> |
| | Berat Total (DL) | = 137504,6 kg |

c. Beban hidup

| | | |
|--------------|---|---------------------|
| Beban atap | : $7,8 \times 7,8 \times 100 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ tk}$ | = 7300,8 kg |
| Beban lantai | : $7,8 \times 7,8 \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 12 \text{ tk}$ | = 182520 kg |
| Beban lantai | : $7,8 \times 7,8 \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ tk}$ | = <u>30420 kg +</u> |
| | Berat Total (LL) | = 220240,8 kg |

Bedasarkan RSNI 03-1727-1989 Pasal 4.8.2 koefisien reduksi untuk beban hidup struktur yang menumpu dua lantai atau lebih sebesar 20%.

$$\begin{aligned} LL &= 0,8 \times 220240,8 \\ &= 176192,6 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi berat total} &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 (825879,6 + 220240,8) + 1,6 (189820,8) \\ &= 1437969 \text{ kg} \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.2 aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur untuk komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa, maka faktor reduksi ($\phi=0.65$).

Mutu beton = 30 Mpa = $30 \times 10 = 300 \text{ kg/cm}^2$

$$\text{Rencana Awal} \rightarrow A = \frac{W}{\Phi f' c} = \frac{1437969}{0,65 \times 300} = 7374 \text{ cm}^2$$

Misalkan $b=h$, maka $b^2 = 7374 \text{ cm}^2$

$$b = 85,87 \text{ cm} \approx 100 \text{ cm}$$

Agar lebih efisien maka dimensi kolom :

- Lantai 1 – lantai 4 = $100 \times 100 \text{ cm}$
- Lantai 5 – lantai 8 = $90 \times 90 \text{ cm}$
- Lantai 9 – lantai 12 = $80 \times 80 \text{ cm}$

4.6 Perencanaan Tebal Dinding Geser

Bedasarkan peraturan SNI 03-2847-2013 pasal 14.5.3.1 ketebalan dinding pendukung tidak boleh kurang dari $1/25$ tinggi atau panjang bagian dinding yang ditopang secara lateral, diambil yang terkecil, dan tidak kurang daripada 100 mm. Dalam tugas akhir ini tebal dinding geser direncanakan sebagai berikut :

Tebal dinding geser = 40 cm

Panjang bentang dinding = 780 cm

Tinggi dinding = 400 cm

$T \geq H/25 = 400/25 = 16 \text{ cm}$

$T \geq L/25 = 780/25 = 31,2 \text{ cm}$

Dengan demikian tebal dinding geser 40 cm memenuhi.



BAB V

PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

5.1 Pemodelan dan Analisa Struktur Pelat

Desain tebal pelat direncanakan menggunakan ketebalan 14cm dengan perincian tebal pelat pracetak 8 cm dan pelat cor setempat (*overtopping*) 6 cm. Peraturan yang digunakan untuk penentuan besar beban yang bekerja pada struktur pelat adalah Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Rumah dan Gedung (SNI 03-1727-20xx). Desain Pelat direncanakan pada beberapa keadaan, yaitu :

1. Sebelum Komposit

Keadaan ini terjadi pada saat awal pengecoran topping yaitu komponen pracetak dan komponen topping belum menyatu dalam memikul beban. Perletakan pelat dapat dianggap sebagai perletakan bebas.

2. Sesudah Komposit

Keadaan ini terjadi apabila topping dan elemen pracetak pelat telah bekerja bersama-sama dalam memikul beban. Perletakan pelat dianggap sebagai perletakan terjepit elastis.

Pada dasarnya, permodelan pelat terutama perletakan baik pada saat sebelum komposit dan setelah komposit adalah untuk perhitungan tulangan pelat. Pada saat sebelum komposit yaitu kondisi ketika pemasangan awal pelat, pelat diasumsikan tertumpu pada dua tumpuan. Sedangkan pada saat setelah komposit, perletakan pelat diasumsikan sebagai perletakkan terjepit elastis.

Penulangan akhir nantinya merupakan penggabungan pada dua keadaan diatas. Selain tulangan untuk menahan beban gravitasi perlu juga diperhitungkan tulangan angkat yang sesuai pada pemasangan pelat pracetak.

5.1.1 Data Perencanaan

Data perencanaan yang digunakan untuk perencanaan pelat sesuai dengan preliminary desain adalah :

- Tebal pelat = 14 cm
- Mutu beton (f'_c) = 30 MPa
- Mutu baja (f_y) = 390 MPa
- Diameter tulangan rencana = 10 mm

5.1.2 Pembebanan Pelat Lantai

Sebelum komposit

Dalam pembebanan sebelum komposit akan diperhitungkan dua keadaan yaitu :

1. Berat orang yang bekerja dan peralatannya saat pemasangan pelat pracetak ataupun saat pengecoran topping dianggap sebagai beban kerja dan berat topping.
2. Topping telah terpasang tapi belum berkomposit dengan pelat pracetak, sehingga yang terjadi hanya beban topping saja.

Pada kedua keadaan ini diambil nilai yang paling kritis.

Untuk mengantisipasi adanya penumpukan saat pengecoran topping maka tebal topping dalam perhitungan beban pelu diadakan penambahan ketebalan topping setebal 0,02 sehingga dalam perhitungan ketebalan topping menjadi 0,08 m (dalam perhitungan beban saja).

- Beban mati (DL)

$$\text{Berat sendiri} = 0,08 \times 2400 = 192 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat topping} = 0,06 \times 2400 = 144 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{DL} = 192 + 144 = 336 \text{ kg/m}^2$$

- Beban hidup (LL)

$$\text{Beban kerja} = 250 \text{ kg/m}^2$$

Setelah komposit

- Beban mati (DL)

$$\text{Berat sendiri} = 0,14 \times 2400 = 336 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Plafon+penggantung} = 11 + 7 \text{ kg/m}^2 = 18 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Ubin (t = 2 cm)} = 0,02 \times 2400 = 48 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi (t = 2 cm)} = 0,02 \times 2100 = 42 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Ducting AC+pipa} = 10 + 5 \text{ kg/m}^2 = 15 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{DL} = 336 + 18 + 48 + 42 + 15 = 459 \text{ kg/m}^2$$

- Beban hidup (LL)
Beban hidup pada lantai LL = 250 kg

5.1.3 Pembebanan Pelat Atap Sebelum komposit

- Beban mati (DL)
Berat sendiri = $0,08 \times 2400 = 192 \text{ kg/m}^2$
Berat topping = $0,06 \times 2400 = 144 \text{ kg/m}^2$ +
DL = 336 kg/m^2
- Beban hidup (LL)
Beban kerja = 100 kg/m^2
Beban air hujan = 20 kg/m^2 +
LL = 120 kg/m^2

Setelah komposit

- Beban mati (DL)
Berat sendiri = $0,14 \times 2400 = 336 \text{ kg/m}^2$
Plafon+penggantung = $11 + 7 \text{ kg/m}^2 = 18 \text{ kg/m}^2$
Aspal (t = 1 cm) = $0,01 \times 1400 = 14 \text{ kg/m}^2$
Spesi (t = 2 cm) = $0,02 \times 2100 = 42 \text{ kg/m}^2$
Ducting AC+pipa = $10 \text{ kg/m}^2 = 15 \text{ kg/m}^2$ +
DL = 425 kg/m^2
- Beban hidup (LL)
Beban hidup pada atap = 100 kg/m^2
Beban air hujan = 20 kg/m^2 +
LL = 120 kg/m^2

Sesuai SNI 03 – 1727 – 2012, beban hidup dapat direduksi 20% untuk komponen yang menumpu 2 lantai atau lebih.

$$\text{Beban hidup} = 0,8 \times 120 \text{ kg/m}^2 = 96 \text{ kg/m}^2$$

Kombinasi pembebanan pelat

Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 9.2.1 didapatkan

$$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ DL}$$

Berikut adalah perhitungan kombinasi pembebanan **pelat lantai** :

- Keadaan 1 sebelum komposit, ada beban kerja

$$Q_u = 1,2 \times 192 + 1,6 \times 250 = 630,4 \text{ kg/m}^2$$

- Keadaan 2 sebelum komposit, topping telah terpasang

$$Q_u = 1,2 \times 336 + 1,6 \times 0 = 403,2 \text{ kg/m}^2$$

- Keadaan 3, setelah komposit

$$Q_u = 1,2 \times 459 + 1,6 \times 250 = 950,8 \text{ kg/m}^2$$

Serta perhitungan kombinasi pembebanan **pelat atap** :

- Keadaan 1, ada beban kerja

$$Q_u = 1,2 \times 192 + 1,6 \times 120 = 422,4 \text{ kg/m}^2$$

- Keadaan 2, topping telah terpasang

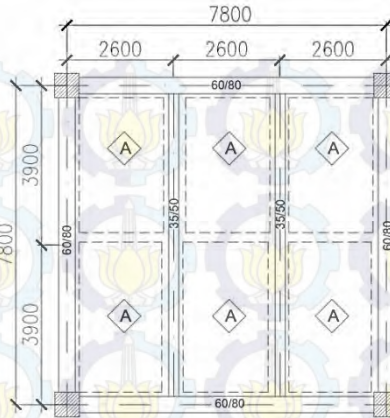
$$Q_u = 1,2 \times 392 + 1,6 \times 0 = 470,4 \text{ kg/m}^2$$

- Keadaan 3, setelah komposit

$$Q_u = 1,2 \times 425 + 1,6 \times 96 = 669,6 \text{ kg/m}^2$$

5.1.4 Perhitungan Tulangan Pelat

Perhitungan penulangan pelat akan direncanakan dalam dua tahap, yaitu tahap pertama penulangan sebelum komposit dan kedua adalah penulangan sesudah komposit. Lalu dipilih tulangan yang layak untuk digunakan, yang memperhtungkan tulangan yang paling kritis diantara kedua keadaan diatas. Tulangan pelat menggunakan tulangan yang sama untuk memudahkan pelaksanaan. Perhitungan pelat A dengan dimensi 2,6 m × 3,9 m yang dianggap mewakili perhitungan pelat lainnya.



Gambar 5.1 Tipe pelat A 260 × 390 cm

Data perencanaan untuk penulangan pelat :

- Menentukan data perencanaan penulangan pelat
- | | |
|------------------------------|-------------------|
| Dimensi pelat | = 390 cm × 260 cm |
| Tebal pelat pracetak | = 80 mm |
| Tebal overtopping | = 60 mm |
| Tebal decking | = 40 mm |
| Diameter tulangan rencana | = 12 mm |
| Mutu tulangan baja (f_y) | = 390 MPa |
| Mutu beton ($f'c$) | = 30 MPa |



Gambar 5.1 Potongan Pelat

- Kondisi sebelum komposit

$$dx = 80 - 20 - \frac{12}{2} = 54 \text{ mm}$$

$$dy = 80 - 20 - 12 - \frac{12}{2} = 42 \text{ mm}$$

- Kondisi sesudah komposit

$$dx = 140 - 20 - \frac{12}{2} = 114 \text{ mm}$$

$$dy = 140 - 20 - 12 - \frac{12}{2} = 102 \text{ mm}$$

- Untuk mutu beton $f_c' = 30 \text{ MPa}$ berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 12.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut :

$$\beta_1 = 0,85 - (8/1000) \times (f_c' - 30) \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008 \times (30 - 30) = 0,85$$

Dengan demikian maka batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,034 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,034 = 0,025$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{390} = 0,0035 \end{aligned}$$

ρ_{\min} dipilih yang memiliki nilai terbesar, yaitu 0,0036

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$L_x = 260 - (60/2 + 35/2) = 212,5 \text{ cm}$$

$$L_y = 390 - (60/2) = 360 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} = \frac{360}{212,5} = 1,69 < 2 \text{ (pelat dua arah)}$$

Pada penulangan pelat terdapat penulangan pelat arah X dan penulangan pelat arah Y. pada penulangan pelat arah X penulangan pada tumpuan sama dengan pada lapangan hanya saja letak tulak tulangan tariknya diatas sedangkan pada daerah lapangan tulangan tariknya berada dibawah. Tulangan lapangan dan tulangan tumpuan baik arah X maupun arah Y direncanakan menggunakan D12 mm.

5.1.4.1 Perhitungan Penulangan Pelat Sebelum Komposit

Menentukan momen (M_u) yang bekerja pada pelat dengan menggunakan koefisien PBI 1971 tabel 13.3.1 didapat persamaan momen untuk asumsi perletakan terletak beban pada keempat tepinya dan terjepit dikedua sisinya :

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{360}{212,5} = 1,69$$

- $M_{ulx}^{(+)} = M_{utx}^{(-)} = 0,001 \text{ Qu } L_x^2 \text{ x} \rightarrow x = 80$
- $M_{uly}^{(+)} = M_{uty}^{(-)} = 0,001 \text{ Qu } L_y^2 \text{ y} \rightarrow y = 57$

✓ Penulangan arah X

$$M_{ulx}^{(+)} = M_{utx}^{(-)} = 0,001 \times 630,4 \times 212,5^2 \times 80 = 227,732 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times 1000 \times dx^2} = \frac{2277320}{0,8 \times 1000 \times 54^2} = 0,98$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 0,98}{390}} \right) = 0,00255$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,00255 < \rho_{\text{min}} = 0,0036$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d \\ = 0,0036 \times 1000 \times 54 = 137,82 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah :

Jarak tulangan utama $\leq 3 \times$ tebal pelat, maka :

$$S \leq 3 \times 70 \\ \leq 210 \text{ mm}$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S_{D12}}} \\ = \frac{137,82}{113,09} = 1,22 \approx 4 \text{ buah}$$

$$A_s \text{ pasang} = \text{jumlah tulangan tiap meter} \times A_{D12} \\ = 4 \times 113,09 \text{ mm}^2 \\ = 452,36 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots \text{ OK}$$

Maka digunakan tulangan lentur 4D12-100 mm.

✓ Penulangan arah Y

$$M_{\text{uly}}^{(+)} = M_{\text{uly}}^{(-)} = 0,001 \times 630,4 \times 3,60^2 \times 57 = 465,689 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times 1000 \times d_y^2} = \frac{4656890}{0,8 \times 1000 \times 42^2} = 3,30$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ = \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 3,3}{390}} \right) = 0,0091$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0091 > \rho_{\text{min}} = 0,0036$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d \\ = 0,0091 \times 1000 \times 42 = 381,94 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah :

Jarak tulangan utama $\leq 3 \times$ tebal pelat, maka :

$$S \leq 3 \times 70 \\ \leq 210 \text{ mm}$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_s D \phi 12}$$

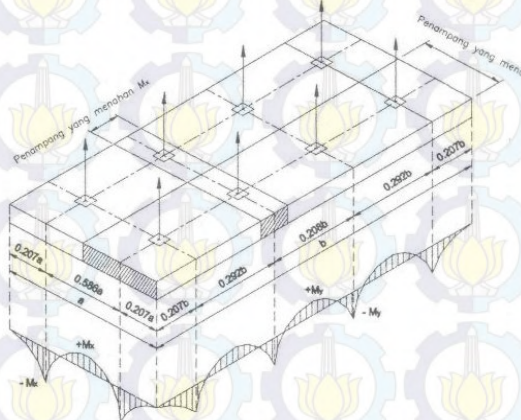
$$= \frac{381,94}{113,09} = 3,38 \approx \text{dipakai 4 buah}$$

$$A_s \text{ pasang} = \text{jumlah tulangan tiap meter} \times A_{D12} \\ = 4 \times 113,09 \text{ mm}^2 \\ = 452,39 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots\dots \text{OK}$$

Maka digunakan tulangan lentur 4D12-200 mm.

5.1.4.2 Penulangan Sebelum Komposit Akibat Pengangkatan

Dalam pemasangan pelat pracetak, perlu diingat bahwa pelat akan mengalami pengangkatan elemen (erection). Besarnya momen dan pengaturan jarak tulangan angkat sesuai dengan buku “*Precast and Prestressed Concrete*” seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.3 dibawah ini dimana momen daerah tumpuan sama dengan momen daerah lapangan, yaitu :



Gambar 5.3 Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)

$$M_x = 0,054 \times w \times a^2 \times b$$

$$M_y = 0,027 \times w \times a \times b^2$$

Pada pelat tipe-A : 390×260 cm ($L_x = 212,5$ cm, $L_y = 360$ cm)

Ditentukan $a = 2,125$ m dan $b = 3,6$ m

Dengan $w = (0,07 \times 2400) = 168$ kg/m

Maka :

$$M_x = 0,054 \times 168 \times 2,125^2 \times 3,6 = 147,47 \text{ kgm}$$

$$M_y = 0,027 \times 168 \times 2,125 \times 3,6^2 = 124,92 \text{ kgm}$$

✓ Penulangan arah X

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times 1000 \times d \times x^2} = \frac{1474767}{0,8 \times 1000 \times 54^2} = 0,63$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 0,63}{390}} \right) = 0,00164$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,00164 < \rho_{\text{min}} = 0,0036$ dipakai ρ_{min} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0036 \times 1000 \times 54 = 194,4 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah :

Jarak tulangan utama $\leq 3 \times$ tebal pelat, maka :

$$S \leq 3 \times 70$$

$$\leq 210 \text{ mm}$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_s D_{12}}$$

$$= \frac{194,4}{113,09} = 1,72 \approx \text{dipakai 4 buah}$$

$$A_s \text{ pasang} = \text{jumlah tulangan tiap meter} \times A D_{12}$$

$$= 4 \times 113,09 \text{ mm}^2$$

$$= 452,36 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} \dots\dots \text{OK}$$

Maka digunakan tulangan lentur 4D12-200 mm

✓ Penulangan arah Y

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times 1000 \times d_y^2} = \frac{1249214}{0,8 \times 1000 \times 42^2} = 0,89$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 0,89}{390}} \right) = 0,002311$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,00231 < \rho_{\text{min}} = 0,0036$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0036 \times 1000 \times 42 = 97,05 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah :

Jarak tulangan utama $\leq 3 \times$ tebal pelat, maka :

$$S \leq 3 \times 70$$

$$\leq 210 \text{ mm}$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ D12}}}$$

$$= \frac{97,05}{113,09} = 0,86 \approx \text{dipakai 2 buah}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = \text{jumlah tulangan tiap meter} \times A_{\text{D12}}$$

$$= 2 \times 113,09 \text{ mm}^2$$

$$= 226,18 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} \dots\dots \text{OK}$$

Maka digunakan tulangan lentur 2 D12-200 mm.

5.1.4.3 Penulangan Pelat Sesudah Komposit

$$Q_u = 950,8 \text{ kg/m}$$

$$d_x = 114 \text{ mm}$$

$$d_y = 102 \text{ mm}$$

Dengan menggunakan koefisien PBI 1971 tabel 13.3.1 didapat persamaan momen untuk asumsi peletakaan terletak jepit 2 sisi.

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{360}{212,5} = 1,69$$

- $Mulx^{(+)} = Mutx^{(-)} = 0,001 \text{ Qu } L_x^2 \text{ x} \rightarrow x = 80$
- $Muly^{(+)} = Muty^{(-)} = 0,001 \text{ Qu } L_y^2 \text{ y} \rightarrow y = 57$

✓ Penulangan Arah X

Tulangan Lapangan

$$Mulx^{(+)} = Mutx^{(-)} = 0,001 \times 950,8 \times 2,125^2 \times 80 = 343,476 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{0,8 \times 1000 \times dx^2} = \frac{3434765}{0,8 \times 1000 \times 54^2} = 1,47$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 1,47}{390}} \right) = 0,00389$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,00386 > \rho_{\text{min}} = 0,0036$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$As_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00386 \times 1000 \times 54 = 210,6 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah :

Jarak tulangan utama $\leq 3 \times$ tebal pelat, maka :

$$S \leq 3 \times 70$$

$$\leq 210 \text{ mm}$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{As_{\text{perlu}}}{As \text{ D12}}$$

$$= \frac{210,06}{113,09} = 1,86 \approx \text{dipakai 2 buah}$$

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= \text{jumlah tulangan tiap meter} \times A D_{12} \\ &= 2 \times 113,09 \text{ mm}^2 \\ &= 226,19 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} \dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur 2D12-200 mm.

✓ Penulangan Arah Y

Tulangan Lapangan

$$\text{Mulx}^{(+)} = \text{Mutx}^{(-)} = 0,001 \times 950,8 \times 3,6^2 \times 57 = 702,375 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{\text{Mu}}{0,8 \times 1000 \times d_y^2} = \frac{7023750}{0,8 \times 1000 \times 42^2} = 4,98$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 4,98}{390}} \right) = 0,0143 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0143 > \rho_{\text{min}} = 0,0035$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0143 \times 1000 \times 42 = 601,98 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah :

Jarak tulangan utama $\leq 3 \times$ tebal pelat, maka :

$$\begin{aligned} S &\leq 3 \times 70 \\ &\leq 210 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_s D_{12}} \\ &= \frac{601,98}{113,09} = 5,32 \approx \text{dipakai 6 buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= \text{jumlah tulangan tiap meter} \times A D_{12} \\ &= 6 \times 113,09 \text{ mm}^2 \\ &= 678,58 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} \dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur 6D12-200 mm.

5.1.4.4 Penulangan Pelat yang Terpasang

Penulangan pelat yang terpakai atau yang akan dipasang adalah dipilih penulangan yang paling banyak dari ketiga keadaan diatas (keadaan sebelum komposit, akibat pengangkatan, sesudah komposit) yaitu sebagai berikut :

Tabel 5.1 Tulangan Terpasang pada Pelat

| Tipe Pelat | Tulangan Terpasang mm ² | |
|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | Arah X | Arah Y |
| A | 4D12-200 As=452,36 mm ² | 6D12-200 As=678,58 mm ² |

5.1.5 Penulangan Stud Pelat Lantai

Pada perencanaan yang memakai elemen pracetak dan topping cor ditempat maka transfer gaya regangan horisontal yang terjadi harus dapat dipastikan mampu dipikul oleh seluruh penampang, baik oleh elemen pracetak maupun oleh topping cor ditempat. Untuk mengikat elemen pracetak dan elemen cor ditempat maka dipakai tulangan stud.

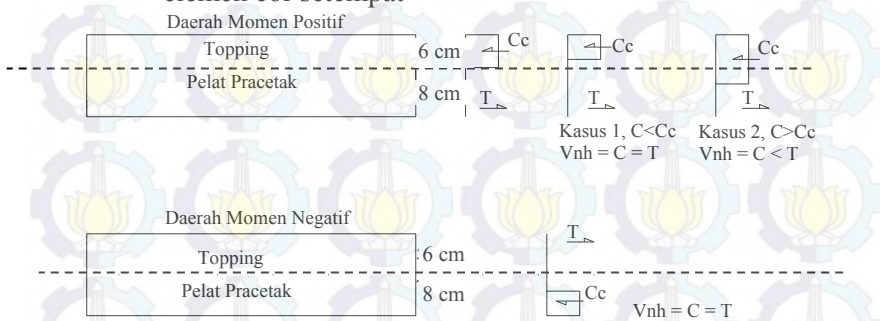
Stud ini berfungsi sebagai sengkang pengikat antar elemen sehingga mampu mentransfer gaya-gaya dalam yang bekerja pada penampang tekan menjadi gaya geser horisontal yang bekerja pada permukaan pertemuan antara kedua elemen komposit dalam memikul beban.

Dalam SNI disebutkan bahwa gaya geser horisontal bisa diperiksa dengan jalan menghitung perubahan aktual dari gaya tekan dan gaya tarik didalam sembarang segmen dan dengan menentukan bahwa gaya tersebut dipindahkan sebagai gaya geser horisontal elemen – elemen pendukung.

Gaya geser horisontal yang terjadi pada penampang komposit ada dua macam kasus :

- Kasus 1 : gaya tekan elemen komposit kurang dari gaya tekan elemen cor setempat

- Kasus 2 : gaya tekan elemen komposit lebih dari gaya tekan elemen cor setempat



Gambar 5.4 Diagram gaya geser horizontal penampang komposit

Perhitungan stud pelat 2,6 m × 3,9 m

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 f_c' A_{\text{topping}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 60 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} \\ &= 1530000 \text{ N} = 1530 \text{ KN} \end{aligned}$$

Dipakai stud Ø 10 mm

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 78,54$$

$$\begin{aligned} V_{nh} &= C = T \\ &= A_s \times f_y \\ &= 78,54 \times 390 = 30630,6 \text{ N} = 30,63 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,55A_c &= 0,55 \times b_v \times d \\ &= 0,55 \times 1000 \times 144 \\ &= 79200 \text{ N} = 79,2 \text{ KN} > V_{nh} \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 17.5.3.1, Bila dipasang sengkang pengikat minimum sesuai dengan 17.6 dan bidang kontak nya bersih dan bebas dari serpihan tapi tidak dikasarkan, maka kuat geser V_{nh} tidak boleh diambil lebih dari $0,55 b_v d$ dalam Newton. Pasal 17.6.1 berbunyi bahwa bila sengkang pengikat dipasang untuk menyalurkan geser horisontal, maka luas sengkang pengikat tidak boleh kurang luas daripada luas yang diperlukan oleh 11.4.6.3, dan spasi sengkang pengikat tidak

boleh melebihi empat kali dimensi terkecil elemen yang didukung ataupun 600 mm.

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.4.6.3 :

$$A_{v_{\min}} = \frac{b_w \times s}{3 \times f_y} = \frac{1000 \times 200}{3 \times 390} = 170,94 \text{ mm}^2$$

Maka dipasang stud (shear connector) Ø10-200 mm ($A_v = 392,7 \text{ mm}^2$)

5.1.6 Kontrol Lendutan

Tebal pelat yang dipakai lebih besar dari tabel minimum pelat seperti yang disyaratkan SNI 03-2847-2013 Pasal 9.5.3, maka tidak perlu dilakukan control terhadap lendutan.

5.1.7 Panjang Penyaluran Tulangan Pelat

Panjang penyaluran harus disediakan cukup untuk tulangan pelat sebelum dan sesudah komposit. Panjang penyaluran didasarkan pada SNI 03-2847-2013 :

- $l_{dh} > 8 d_b = 8 \times 12 = 96 \text{ mm}$

(SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1)

- $l_{dh} > 150 \text{ mm}$

(SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1)

- $l_{hb} = \frac{100 \times d_b}{\sqrt{f_c'}} \times \frac{f_y}{400} = \frac{100 \times 12}{\sqrt{30}} \times \frac{390}{400} = 213,611 \text{ mm}$

untuk $f_y = 390 \text{ Mpa}$ (SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.2)

Maka dipakai panjang penyaluran 220 mm

5.1.8 Perhitungan Tulangan Angkat

Dalam pemasangan pelat pracetak, pelat akan mengalami pengangkatan sehingga perlu direncanakan tulangan angkat untuk pelat. Contoh perhitungan akan diambil pelat tipe A dengan dimensi 2,6 m x 3,9 m dengan empat titik pengangkatan (*four point pick up*).

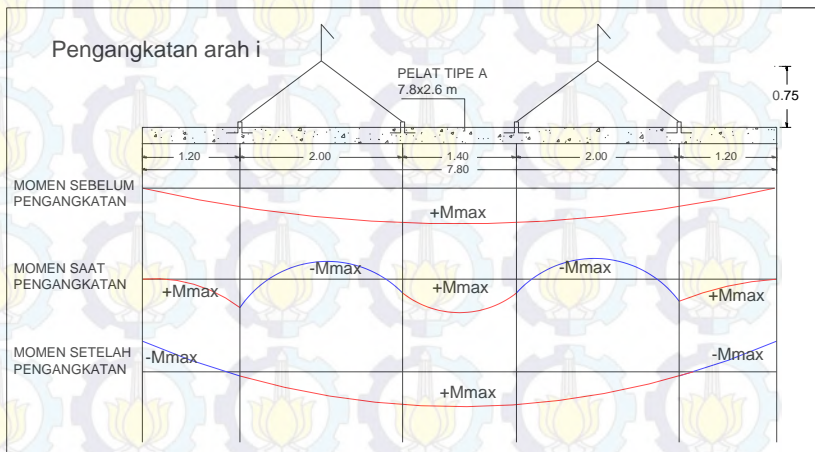
a) Perhitungan Tulangan Angkat Pelat



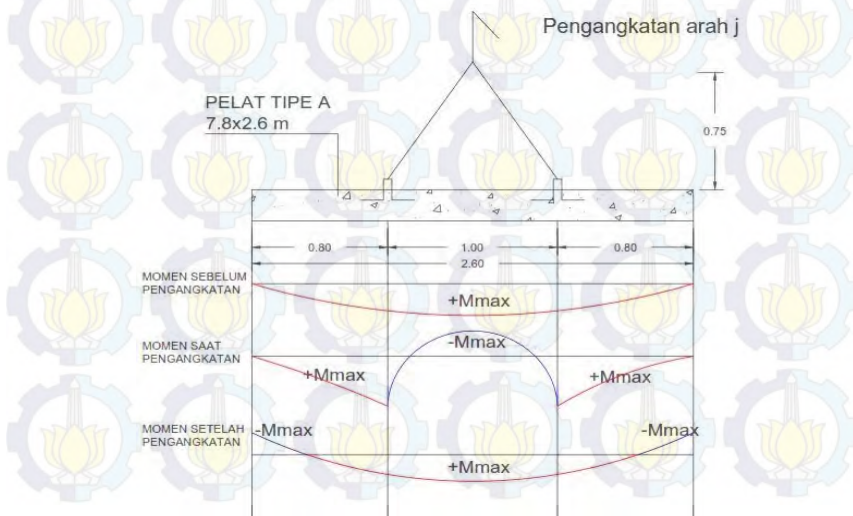
Gambar 5.5 Jarak Tulangan Angkat Menurut Buku (*PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete, Fourth Edition, 1992*)

- Gaya akibat pengangkatan akan ditransformasikan kedua arah horizontal, yaitu arah i dan j.
- Tinggi pengangkatan dari muka pelat diambil 75 cm
- Pada perhitungan beban ultimate ditambahkan koefisien kejut ($k = 1,2$) pada saat pengangkatan.
- $DL = 0,08 \times 2,6 \times 3,9 \times 2400 = 1946,88 \text{ kg}$

b) Pengangkatan Pelat Tipe A



Gambar 5.6 Momen pengangkatan pelat arah i



Gambar 5.7 Momen pengangkatan pelat arah j

Beban ultimate = $1,2 \times 1,4 \times 1946,88 = 3270,76 \text{ kg}$

Gaya angkat (Tu) setiap tulangan = $\frac{3270}{4} = 817,69 \text{ kg}$

Sesuai PBBBI pasal 2.2.2, tegangan tarik ijin baja

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = \frac{f_y}{1,5} = \frac{3900}{1,5} = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

Maka diameter tulangan angkat = $\sqrt{\frac{4 \times 817,69}{\pi \times 2600}} = 0,63 \text{ cm}$

$$\varphi = \text{arcTg} \frac{75}{\frac{1}{2} \sqrt{0,6^2 + 0,9^2}} = 89,58^\circ$$

$$Tu' = Tu \times \cos \alpha = 817,69 \times \cos 89,58^\circ = 14,27 \text{ kg}$$

$$\alpha_j = \alpha_i = \text{arctg} \frac{0,5}{0,9} = 29,05^\circ$$

Faktor gaya horizontal :

$$Ti = 817,69 \times \cos \alpha_i = 14,27 \times \cos 29,05^\circ = 12,48 \text{ kg}$$

$$Tj = 817,69 \times \cos \alpha_j = 14,27 \times \cos 45^\circ = 12,48 \text{ kg}$$

Ambil terbesar, P = 12,48 kg

Maka diameter tulangan angkat arah i dan arah j =

$$\phi_{\text{tulangamangkat}} \geq \sqrt{\frac{4 \times 12,48}{\pi \times 2600}} \\ \geq 0,078 \text{ cm}$$

Maka dipasang tulangan angkat Ø 8 mm

c) Kontrol Tulangan Angkat

$$f_{\text{pelat}} < f_{cr}$$

fcr untuk beton 3 hari adalah

$$f_r = \frac{0,7 \times \sqrt{f_c'}}{SF} = \frac{0,7 \times \sqrt{30}}{1,5} = 2,55 \text{ MPa}$$

$$y_c = 0,5 \times 0,08 = 0,04 \text{ m}$$

Berdasarkan *PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete, Fourth Edition, 1992* momen maksimum diperhitungkan

Berdasarkan gambar diatas :

- Arah i sama dengan arah y
- Arah j sama dengan arah x

$$w = (t_{\text{pelat}} \times 2400 \text{ kg/m}^3) + \left(\frac{200}{a \times b} \right)$$

$$w = (0,08 \times 2400 \text{ kg/m}^3) + \left(\frac{200}{2,6 \times 3,9} \right) = 211,72 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} + M_x = - M_x = M_x &= 0,0054 \times w \times a^2 \times b \\ &= 0,0054 \times 211,72 \times 2,6^2 \times 3,9 \\ &= 30,14 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} + M_y = - M_y = M_y &= 0,0027 \times w \times a \times b^2 \\ &= 0,0027 \times 211,72 \times 2,6 \times 3,9^2 \\ &= 60,283 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

$$P = \left(\frac{3270,76}{8} \right) = 408,85 \text{ kg}$$

$$M_y = \left(\frac{P \times y_c}{\text{tg } 45} \right) = \left(\frac{408,85 \times 0,04}{\text{tg } 45} \right) = 16,35 \text{ kgm}$$

$$M_{\text{tot}} = 16,35 + 60,283 = 76,64 \text{ kgm}$$

- M_y ditahan oleh penampang selebar $a/2 = 260/2 = 130 \text{ cm}$

$$Z = \frac{1}{6} \times 130 \times 8^2 = 1386,67 \text{ cm}^3$$

$$f_r = \frac{0,7 \times \sqrt{f_c'}}{SF} = \frac{0,7 \times \sqrt{30}}{1,5} = 2,55 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} f_t = f_b &= \frac{M_{\text{tot}}}{Z} = \frac{76,64 \times 10^4}{1386,67 \times 10^3} \\ &= 0,55 \text{ Mpa} < f_r \dots\dots\dots \text{Ok} \end{aligned}$$

- M_x ditahan oleh penampang selebar $15t = 120 \text{ cm}$ atau $b/2 = 195 \text{ cm}$

Ambil terkecil = 120 cm

$$M_x = \left(\frac{P \times y_c}{\text{tg } 45} \right) = \left(\frac{408,85 \times 0,035}{\text{tg } 45} \right) = 14,31 \text{ kgm}$$

$$M_{tot} = 30,14 + 14,31 = 44,45 \text{ kgm}$$

$$Z = \frac{1}{6} \times 195 \times 8^2 = 2080 \text{ cm}^3$$

$$f_t = f_b = \frac{M_{tot}}{Z} = \frac{44,45 \times 10^4}{2080 \times 10^3} = 0,23 \text{ Mpa} < f_r \dots\dots\dots \text{Ok}$$

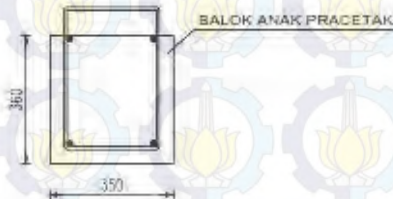
5.2 Perencanaan Balok Anak Pracetak

Pada perencanaan balok anak, beban yang diterima oleh balok anak berupa beban persegi biasa. Itu dikarenakan pelat pracetak hanya menumpu dua titik tumpu, titik tumpu pertama ada dibalok induk serta titik tumpu yang kedua berada di balok anak.

5.2.1 Data Perencanaan Balok Anak Pracetak

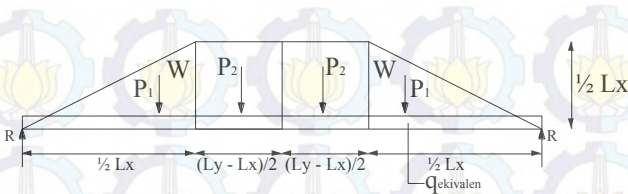
- Dimensi balok anak : $35 \times 50 \text{ cm}$
- Mutu beton (f_c') : 30 MPa
- Mutu baja (f_y) : 390 MPa
- Tulangan lentur : D16
- Tulangan sengkang : $\emptyset 8$

Dalam perhitungan bab ini, akan dilakukan perhitungan sebelum komposit dan perhitungan sesudah komposit. Berdasarkan kondisi tersebut maka tersapat dua dimensi balok anak yaitu dimensi sebelum komposit dan dimensi sesudah komposit.



(a)

Beban ekivalen trapesium



Beban Trapesium

$$W = \frac{1}{2} \times q \times Lx$$

$$P_1 = \frac{1}{8} \times q \times Lx^2$$

$$P_2 = \frac{1}{2} (Ly - Lx) \times \frac{1}{2} \times q \times Lx$$

$$R = P_1 + P_2$$

$$R = \left[\frac{1}{2} \times \left(\frac{1}{2} \times Lx \right) \times W \right] \times 2$$

$$R = \frac{1}{4} \times q \times Lx^2$$

$$M_{\max} = \left(R \times \frac{1}{2} Ly \right) - \left(P_1 \times \left(\frac{1}{2} Ly - \frac{1}{3} Lx \right) \right) - \left(P_2 \times \frac{1}{4} (Ly - Lx) \right)$$

$$M_{\max} = \left(R \times \frac{1}{2} Ly \right) - \left(\frac{1}{2} P_1 \times Ly \right) - \left(\frac{1}{3} P_1 \times Lx \right) - \left(\frac{1}{4} \times P_2 \times Ly \right) + \left(\frac{1}{4} \times P_2 \times Lx \right)$$

$$M_{\max} = \left(\frac{1}{2} P_1 \times Ly \right) + \left(\frac{1}{2} P_2 \times Ly \right) - \left(\frac{1}{2} P_1 \times Ly \right) + \left(\frac{1}{3} P_1 \times Lx \right) - \left(\frac{1}{4} \times P_2 \times Ly \right) + \left(\frac{1}{4} \times P_2 \times Lx \right)$$

$$M_{\max} = \left(\frac{1}{4} P_2 \times Ly \right) + \left(\frac{1}{3} P_1 \times Lx \right) + \left(\frac{1}{4} P_2 \times Lx \right)$$

$$M_{\max} = \left(\frac{1}{16} \times q \times Lx \times Ly^2 \right) - \left(\frac{1}{16} \times q \times Lx^2 \times Ly \right) + \left(\frac{1}{24} \times q \times Lx^3 \right) + \left(\frac{1}{16} \times q \times Lx^2 \times Ly \right) - \left(\frac{1}{16} \times q \times Lx^3 \right)$$

$$M_{\max} = \left(\frac{1}{16} \times q \times Lx \times Ly^2 \right) - \left(\frac{1}{24} \times q \times Lx^3 \right)$$

$$M_{\max} = \frac{1}{8} \times q \times Ly^2 \left(\left(\frac{1}{2} Lx \right) - \left(\frac{1}{6} \times \frac{Lx^3}{Ly^2} \right) \right)$$

$$M_{eq} = \frac{1}{8} \times q_{ek} \times Ly^2$$

$$M_{\max} = M_{eq}$$

$$\frac{1}{8} \times q \times Ly^2 \left(\left(\frac{1}{2} Lx \right) - \left(\frac{1}{6} \times \frac{Lx^3}{Ly^2} \right) \right) = \frac{1}{8} \times q_{ek} \times Ly^2$$

$$q_{ek} = q \times \left(\left(\frac{1}{2} Lx \right) - \left(\frac{1}{6} \times \frac{Lx^3}{Ly^2} \right) \right)$$

$$q_{ek} = \frac{1}{2} \times q \times Lx \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right)$$

5.2.3 Perhitungan Pembebanan Balok Anak

↶ Sebelum Komposit

$$L_x = 260 - (35/2 + 50/2) = 217,5 \text{ cm}$$

$$L_y = 390 - (60/2) = 360 \text{ cm}$$

- Beban mati (Q_{DL})

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri balok anak} &= 0,35 \times 0,36 \times 2400 \text{ kg/m}^2 \\ &= 302,4 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$q \text{ pelat sebelum komposit} = 192 \text{ kg/m}^2$$

$$Q_{\text{sebelum komposit}} = 2 \times \left(\frac{1}{2} \times q \times L_x \right)$$

$$= 2 \times \left(\frac{1}{2} \times 192 \times 2,175 \right)$$

$$= 417,6 \text{ kg/m}$$

- Kombinasi beban

Q_u sebelum komposit

$$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$= 1,2 \times (302,4 + 417,6) + 1,6 \times 0$$

$$= 864 \text{ kg/m}$$

↶ Sesudah Komposit

- Beban mati (Q_{DL})

$$\text{Berat sendiri balok anak} = 0,35 \times 0,5 \times 2400 \text{ kg/m}^2$$

$$= 420 \text{ kg/m}$$

$$q \text{ pelat sesudah komposit} = 459 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{sesudah komposit}} &= 2 \times \left(\frac{1}{2} \times q \times L_x \times \left(\frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right) \\
 &= 2 \times \left(\frac{1}{2} \times 459 \times 2,175 \times \left(1 - \frac{1}{2,175} \times \left(\frac{2,175}{3,6} \right)^2 \right) \right) \\
 &= 830,78 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- Beban hidup (Q_{LL})

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{ekivalen}} &= 2 \times \left(\frac{1}{2} \times q \times L_x \times \left(\frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right) \\
 &= 2 \times \left(\frac{1}{2} \times 250 \times 2,175 \times \left(1 - \frac{1}{2,175} \times \left(\frac{2,175}{3,6} \right)^2 \right) \right) \\
 &= 452,5 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- Kombinasi beban

Q_u sesudah komposit

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\
 &= 1,2 \times (420 + 830,78) + 1,6 \times 452,5 \\
 &= 1778,79 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

5.2.4 Perhitungan Momen dan Geser

Perhitungan momen dan gaya lintang sesuai dengan ikhtisar momen – momen dan gaya melintang dari SNI 03-2847-2013 pasal 8.3.3.

↳ Momen sebelum komposit

$$M_{\text{tump}} = \left(\frac{1}{16} \times q \times L^2 \right)$$

$$= \left(\frac{1}{16} \times 864 \times 7,8^2 \right)$$

$$= 3285,36 \text{ kgm}$$

$$M_{\text{lapangan}} = \left(\frac{1}{10} \times q \times L^2 \right)$$

$$= \left(\frac{1}{10} \times 864 \times 7,8^2 \right)$$

$$= 5256,58 \text{ kgm}$$

$$V = \frac{1}{2} \times (q \times L)$$

$$= \frac{1}{2} \times (864 \times 7,8)$$

$$= 3369,6 \text{ kg}$$

↪ Momen sebelum komposit

$$M_{\text{tump}} = \left(\frac{1}{16} \times q \times L^2 \right)$$

$$= \left(\frac{1}{16} \times 1778,79 \times 7,8^2 \right)$$

$$= 6763,861 \text{ kgm}$$

$$M_{\text{lapangan}} = \left(\frac{1}{10} \times q \times L^2 \right)$$

$$= \left(\frac{1}{10} \times 1778,79 \times 7,8^2 \right)$$

$$= 10822,18 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{1}{2} \times (q \times L) \\
 &= \frac{1}{2} \times (1778,79 \times 7,8) \\
 &= 6937,29 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

5.2.5 Perhitungan Tulangan Lentur Balok Anak

↳ Perhitungan tulangan sebelum komposit

$$\begin{aligned}
 \text{Dimensi balok anak} &= 35/50 \\
 \text{Tebal selimut beton} &= 40 \text{ mm} \\
 \text{Diameter tulangan utama} &= 16 \text{ mm} \\
 \text{Diameter tulangan sengkang} &= 8 \text{ mm} \\
 \text{Mutu beton } (f'_c) &= 30 \text{ MPa} \\
 \text{Mutu baja } (f_y) &= 400 \text{ Mpa} \\
 h \text{ efektif} &= 360 - 40 - 8 - \frac{1}{2} (16) = 304 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,034
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,034 = 0,025$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f'_c}}{f_y} \\
 &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{390} = 0,0035
 \end{aligned}$$

ρ_{\min} dipilih yang paling besar yaitu 0,0036

Tulangan lapangan

$$M_{\text{lapangan}} = 5256,576 \text{ kgm} = 52565760 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{52565760}{0,8 \times 350 \times 304^2} = 2,03$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 2,03}{390}} \right) = 0,00543$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,00543 > \rho_{\text{min}} = 0,0036$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00543 \times 350 \times 304 = 578,23 \text{ mm}^2$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s\phi 16}}$$

$$= \frac{578,23}{201,06} = 2,88 \approx 4 \text{ buah}$$

$$A_s \text{ pasang} = \text{jumlah tulangan} \times A_{D16}$$

$$= 4 \times 201,06 \text{ mm}^2$$

$$= 804,24 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots\dots \text{OK}$$

Maka digunakan tulangan lentur 4D16

Kontrol kekuatan :

$$\rho = \frac{A_{s_{\text{ada}}}}{b \times d_{\text{ada}}} = \frac{804,24}{350 \times 304} = 0,0076 > \rho_{\text{perlu}}$$

$$a = \frac{A_{s_{\text{ada}}} \times f_y}{0,85 \times b \times f'_c} = \frac{804,4 \times 390}{0,85 \times 350 \times 30} = 35,15 \text{ mm}$$

$$Mu = \phi \times A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,8 \times 804,24 \times 390 \left(304 - \frac{35,15}{2} \right) = 71870554,28 \text{ Nmm}$$

$M_u > M_{lapangan} = 52565760 \text{ Nmm} \dots\dots\dots \text{Ok}$

↪ **Perhitungan tulangan sesudah komposit**

Dimensi balok anak = 35/50

Tebal selimut beton = 40 mm

Diameter tulangan utama = 16 mm

Diameter tulangan sengkang = 8 mm

Mutu beton (f_c') = 30 MPa

Mutu baja (f_y) = 400 Mpa

h efektif = $500 - 40 - 8 - \frac{1}{2}(16) = 444 \text{ mm}$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,034$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,034 = 0,025$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y}$$

$$= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{390} = 0,0035$$

ρ_{\min} dipilih yang paling besar yaitu 0,0036

Tulangan lapangan

$$M_{lapangan} = 10822,18 \text{ kgm} = 1,08 \times 10^8 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{1,09 \times 10^8}{0,8 \times 350 \times 444^2} = 1,96$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 1,96}{390}} \right) = 0,0052$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0052 > \rho_{\text{min}} = 0,0036$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d \\ = 0,0052 \times 350 \times 444 = 813,81 \text{ mm}^2$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\phi 16}} \\ = \frac{813,81}{201,06} = 4,01 \approx 5 \text{ buah}$$

$$A_{s\text{pasang}} = \text{jumlah tulangan} \times A_{D16} \\ = 5 \times 201,06 \text{ mm}^2 \\ = 1005,3 \text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} \dots\dots \text{OK}$$

Maka digunakan tulangan lentur 5D16

Kontrol kekuatan :

$$\rho = \frac{A_{s\text{ada}}}{b \times d_{\text{ada}}} = \frac{1005,3}{350 \times 444} = 0,0065 > \rho_{\text{perlu}}$$

$$a = \frac{A_{s\text{ada}} \times f_y}{0,85 \times b \times f'_c} = \frac{1005,3 \times 390}{0,85 \times 350 \times 30} = 43,93 \text{ mm}$$

$$M_u = \phi \times A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ = 0,8 \times 1005,3 \times 390 \left(444 - \frac{43,93}{2} \right) = 132372747,1 \text{ Nmm}$$

$$M_u > M_{\text{lapangan}} = 1,08 \times 10^8 \text{ Nmm} \dots\dots \text{Ok}$$

Tulangan tumpuan

$$M_{\text{lapangan}} = 6763,861 \text{ kgm} = 67638606 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{67638606}{0,8 \times 350 \times 444^2} = 1,23$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 1,23}{390}} \right) = 0,0032$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0038 < \rho_{\text{min}} = 0,0036$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0036 \times 350 \times 444 = 500,59 \text{ mm}^2$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s\phi 16}}$$

$$= \frac{500,59}{201,06} = 2,49 \approx 3 \text{ buah}$$

$$A_s \text{ pasang} = \text{jumlah tulangan} \times A_{\phi 16}$$

$$= 3 \times 201,06 \text{ mm}^2$$

$$= 603,18 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots \text{ OK}$$

Maka digunakan tulangan lentur 3D16

Kontrol kekuatan :

$$\rho = \frac{A_{s_{\text{ada}}}}{b \times d_{\text{ada}}} = \frac{500,59}{350 \times 444} = 0,0032 > \rho_{\text{perlu}}$$

$$a = \frac{A_{s_{\text{ada}}} \times f_y}{0,85 \times b \times f'_c} = \frac{500,59 \times 390}{0,85 \times 350 \times 30} = 21,87 \text{ mm}$$

$$Mu = \phi \times A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,8 \times 500,59 \times 390 \left(444 - \frac{21,87}{2} \right) = 67637858,61 \text{ Nmm}$$

$M_u > M_{\text{lapangan}} = 67638606 \text{ Nmm} \dots\dots\dots \text{Ok}$

5.2.6 Perhitungan Tulangan Geser

↳ Perhitungan tulangan sebelum komposit

$$V_u = 3369,6 \text{ kg} = 33696 \text{ N}$$

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

$$= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 350 \times 304$$

$$= 97129,47 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,6 \times 97129,47$$

$$= 58277,68 \text{ N}$$

$$0,5\phi V_c = 0,5 \times 58277,68 = 29138,84 \text{ N}$$

Karena $V_c > V_u > 0,5\phi V_c$ maka dibutuhkan tulangan geser minimum. Dipakai tulangan diameter 8 mm

$$V_s \text{ min} = \frac{V_u}{\phi}$$

$$= \frac{33696}{0,6}$$

$$= 5616 \text{ N}$$

$$A_v = 2 \times A_s$$

$$A_s \text{ } \emptyset 8 = 50,26 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 2 \times 50,26 = 100,52 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jarak sengkang, dimana :

$$S_{\text{maks}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{100,52 \times 390 \times 304}{33696} = 353,68 \text{ mm}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 syarat jarak maksimum antar sengkang tertutup tidak boleh lebih dari yang terkecil :

- $\frac{d}{4} = \frac{304}{4} = 76 \text{ mm}$

$$2. 6D_{\text{tulangan}} = 8 \times 16 = 128 \text{ mm}$$

$$3. 150 \text{ mm}$$

Dari syarat diatas maka diambil jarak antar sengkang dengan hoop pertama = 70 mm

↳ Perhitungan tulangan sesudah komposit

$$V_u = 6937,293 \text{ kg} = 69372,93 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 350 \times 444 \\ &= 145913,3 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,6 \times 145913,3 \\ &= 87547,97 \text{ N} \end{aligned}$$

$$0,5\phi V_c = 0,5 \times 87547,97 = 43773,99 \text{ N}$$

Karena $V_c > V_u > 0,5\phi V_c$ maka dibutuhkan tulangan geser minimum. Dipakai tulangan diameter 8mm

$$\begin{aligned} V_s \text{ min} &= \frac{V_u}{\phi} \\ &= \frac{69372,93}{0,6} \\ &= 115621,5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$A_v = 2 \times A_s$$

$$A_s \text{ } \emptyset 8 = 50,26 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 2 \times 50,26 = 100,52 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jarak sengkang, dimana :

$$S_{\text{maks}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{100,52 \times 390 \times 444}{115621,5} = 250,91 \text{ mm}$$

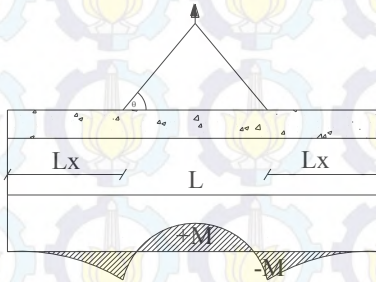
Menurut SNI 03-2847-2013 syarat jarak maksimum antar sengkang tertutup tidak boleh lebih dari yang terkecil :

4. $\frac{d}{4} = \frac{444}{4} = 111 \text{ mm}$
5. $6D_{\text{tulangan}} = 8 \times 16 = 128 \text{ mm}$
6. 150 mm

Dari syarat diatas maka diambil jarak antar sengkang dengan hoop pertama = 100 mm

5.2.7 Pengangkatan Balok Anak

Balok anak dibuat secara pracetak di pabrik. Elemen balok harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut dari kerusakan.



Gambar 5.10 Momen saat pengangkatan balok anak

Dimana :

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{Lx \operatorname{tg} \theta} \right)$$

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

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{Lx \operatorname{tg} \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Y_b} \left(1 + \frac{4Y_c}{Lx \operatorname{tg} \theta} \right)} \right)}$$

↗ **Kondisi sebelum komposit**

$$b = 35 \text{ cm}$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$L = 780 \text{ cm}$$

Perhitungan :

$$Y_t = Y_b = \frac{(50 - 12)}{2} = 19 \text{ cm}$$

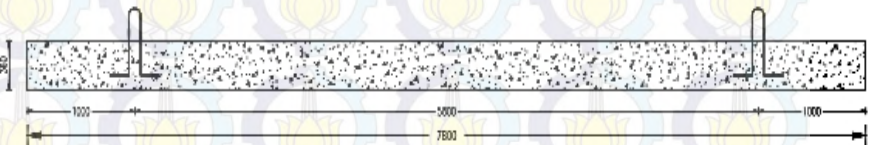
$$I = \frac{1}{12} \times 35 \times 36^3 = 136080 \text{ cm}^4$$

$$Y_c = Y_t + 5 = 24 \text{ cm}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 24}{780 \times \tan 45^\circ}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{19}{19} \left(1 + \frac{4 \times 24}{780 \times \tan 45^\circ} \right)} \right)} = 0,102$$

$$X \times L = 0,12 \times 780 = 79,56 \text{ cm} = 0,8 \text{ m}$$

$$L - 2 \times (X \times L) = 7,8 - 2 \times (0,8) = 6,2 \text{ m}$$



Gambar 5.11 Letak titik pengangkatan

a. Pembebanan

$$\text{Balok } (0,35 \times 0,36 \times 7,8 \times 2400) = 2358,72 \text{ kg}$$

$$T \sin \phi = P = \frac{1,2 \times k \times W}{2}$$

$$= \frac{1,2 \times 1,2 \times 2358,72}{2}$$

$$= 1698,278 \text{ kg}$$

$$T = \frac{1698,278}{\sin 45^\circ} = 2401,72 \text{ kg}$$

b. Tulangan angkat balok anak

$$P_u = 2358,825 \text{ kg}$$

Menurut PBBI pasal 2.2.2. tegangan ijin tarik dasar baja bertulang mutu $f_y = 390 \text{ Mpa}$ adalah $f_y/1,5$

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = 3900/1,5 = 2600 \text{ kg/m}^2$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\sigma_{\text{ijin}} \times \pi}}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{2358,825}{2600 \times \pi}}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq 0,28 \text{ cm}$$

Digunakan Tulangan $\phi 10 \text{ mm}$

c. Momen yang Terjadi

- Pembebanan

$$\text{Balok } (0,35 \times 0,356 \times 2400) = 302,4 \text{ kg/m}$$

Dalam upaya untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2 sebagai berikut :

- Momen lapangan

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

$$+M = \left(\frac{302,4 \times 7,8^2}{8} \left(1 - 4 \times 0,102 + \frac{4 \times 0,24}{7,8 \times \text{tg} 45} \right) \right) \times 1,2$$

$$= 12940,09 \text{ kgm}$$

d. Tegangan yang terjadi

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{12940,09 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 350 \times 360^2}$$

$$= 1,71 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 3,83 \text{ MPa}$$

OK

- Momen tumpuan

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

$$-M = \left(\frac{302,4 \times 0,102^2 \times 7,8^2}{2} \right) \times 1,2 = 114,85 \text{ kgm}$$

Tegangan yang terjadi

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{114,85 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 350 \times 380^2}$$

$$= 0,15 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 3,83 \text{ MPa}$$

OK

Dari perhitungan momen diatas, didapatkan nilai f' akibat momen positif dan negatif berada dibawah nilai $f'_{r, \text{ijin}}$ usia beton 3 hari. Jadi dapat ditarik kesimpulan, balok anak tersebut aman dalam menerima tegangan akibat pengangkatan.

5.2.8 Kontrol Lenturan

Komponen struktur beton yang mengalami lentur harus dirancang agar memiliki kekakuan cukup untuk batas deformasi yang akan memperlemah kemampuan layan struktur saat bekerja. Sesuai SNI 03 – 2847 – 2013, syarat tebal minimum balok dengan

dua tumpuan apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut :

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times lb$$

Lendutan tidak perlu dihitung sebab sejak preliminary design telah direncanakan agar tinggi dari masing-masing tipe balok lebih besar dari persyaratan hmin.

5.3 Perencanaan Tangga

Pada perencanaan ini, struktur tangga dimodelkan sebagai frame statis tertentu dengan kondisi ujung perletakan berupa sendi dan rol (rol diletakkan pada ujung bordes). Struktur tangga ke atas dan ke bawah tipikal.

5.3.1 Data Perencanaan

A. Lantai 1

Data perencanaan yang diperlukan untuk merencanakan konstruksi tangga adalah sebagai berikut :

- Mutu beton (f_c') = 30 Mpa
- Mutu baja (f_y) = 390 Mpa
- Tinggi antar lantai = 400 cm
- Panjang bordes = 230 cm
- Lebar bordes = 260 cm
- Lebar tangga = 260 cm
- Tebal pelat tangga (t_p) = 20 cm
- Tebal pelat bordes = 20 cm
- Tinggi injakan (t) = 17 cm
- Lebar injakan (i) = 30 cm
- Jumlah tanjakan (n_T) = $\frac{\text{Tinggi lantai}}{t} = 22$ buah
- Jumlah injakan (n_i) = $n_T - 1 = 21$ buah
- Jumlah tanjakan ke bordes = 11 buah
- Jumlah tanjakan dari bordes ke lantai 2 = 11 buah

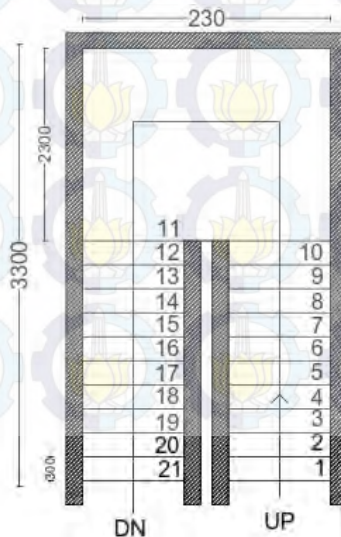
- Elevasi bordes = 200 cm
- Panjang horizontal plat tangga = $i \times$ jumlah tanjakan bordes
= $30 \times 11 = 330$ cm
- Kemiringan tangga (α)

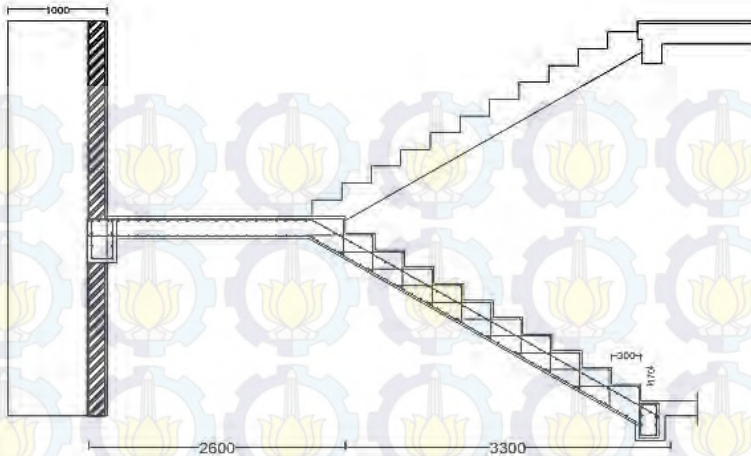
$$\text{arc tan } \alpha = \frac{\text{elevasi bordes}}{\text{panjang horisontal plat tangga}} = \frac{200}{330} = 0,61$$

Jadi, $\alpha = 31,22$

Cek syarat :

- $60 \leq (2t + i) \leq 65$
 $60 \leq (2 \times 17 + 30) \leq 65$
 $60 \leq 64 \leq 65 \dots \dots \dots$ (OK)
- $25 \leq \alpha \leq 40$
 $25 \leq 29,55^\circ \leq 40 \dots$ (OK)
- Tebal plat rata-rata anak tangga = $(i/2) \sin \alpha$
= $(30/2) \sin 31,22^\circ$
= 7,75 cm
- Tebal plat rata-rata = $t_p + t_r = 20 + 7,75$
= 27,77 cm \approx 28 cm





Gambar 5.12 Perencanaan Tangga

5.3.2 Perhitungan Pembebanan dan Analisa Struktur

a. Pembebanan Tangga

Beban Mati (DL)

$$\text{Pelat tangga} = \frac{0,28}{\cos 31,2^{\circ}} \times 2400 = 785,78 \text{ kg/m}$$

$$\text{Tegel horizontal} = 24 \text{ kg/m}$$

$$\text{Tegel vertikal} = 24 \text{ kg/m}$$

$$\text{Spesi horizontal (2 cm)} = 42 \text{ kg/m}$$

$$\text{Spesi vertical (2 cm)} = 42 \text{ kg/m}$$

$$\text{Sandaran} = 50 \text{ kg/m} +$$

$$\text{Total (DL)} = 883,78 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban Hidup (LL)} : 1 \text{ m} \times 500 \text{ kg/m}^2 = 500 \text{ kg/m}$$

Kombinasi Beban :

$$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$= 1,2 (883,78) + 1,6 (500)$$

$$= 1860,54 \text{ kg/m}$$

b. Pembebanan Pelat Bordes

Beban Mati (DL)

| | | |
|--------------|--|-----------------------|
| Pelat bordes | = $0,2 \times 2400 \times 1 \text{ m}$ | = 480 kg/m |
| Spesi | = $2 \times 21 \times 1 \text{ m}$ | = 42 kg/m |
| Tegel | = $24 \times 1 \text{ m}$ | = 24 kg/m + |
| | | Total (LL) = 546 kg/m |

Beban Hidup (LL) : $1 \text{ m} \times 500 \text{ kg/m}^2 = 500 \text{ kg/m}$

Kombinasi Beban :

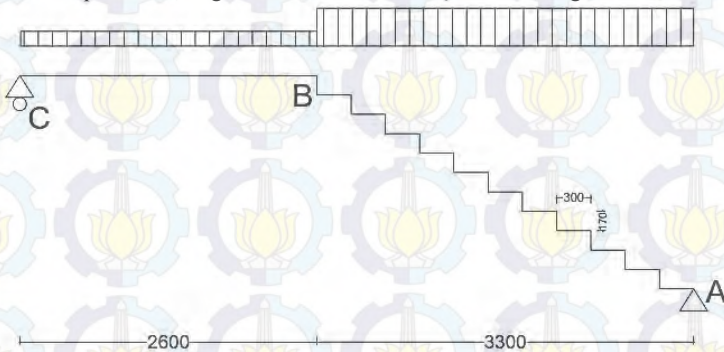
$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 (546) + 1,6 (500) \\ &= 1455,2 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

5.3.3 Analisa Gaya-Gaya Dalam

Pada proses analisa struktur tangga ini, menggunakan perhitungan statis tak tentu dengan menggunakan perletakan Sendi-Rol, dimana pembebanan tangga dan output seperti dibawah ini :

$$q_2 = 1991,2 \text{ kg/m}$$

$$Q_1 = 1455,2 \text{ kg/m}$$



Gambar 5.13 Sketsa beban pada tangga

- $\sum M_A = 0$
 $(R_c \times 5,9) - (q_2 \times 3,6 \times (1,8 + 2,3)) - (q_1 \times 2,3 \times 1,15) = 0$
 $(R_c \times 5,9) - 28975,5 - 3849 = 0$
 $R_c = 5563,468 \text{ kg}$
- $\sum M_C = 0$
 $(R_c \times 5,9) - (q_2 \times 2,3 \times (1,15 + 3,6)) - (q_1 \times 3,6 \times 1,8) = 0$
 $(R_c \times 5,9) - 21446,9 - 9429,7 = 0$
 $R_c = 4850,677 \text{ kg}$
- $\sum H = 0$
 $H_A = 0$

Kontrol

- $\sum V_A = 0$
 $R_A + R_C - (q_2 \times 3,6) - (q_1 \times 2,3) = 0$
 $5563,468 + 4850,677 - (1455 \times 3,6) - (1869,54 \times 2,3) = 0$
 $0 = 0 \dots\dots (\text{OK})$

Pelat Bordes A-B (2,3m)

- a. Gaya Momen (M)

$$M_{x_1} = R_a \times x_1 - \frac{1}{2} q_2 \times x_1^2$$

$$M_A = 0$$

$$M_{B \text{ kanan}} = R_a \times x_1 - \frac{1}{2} q_1 \times x_1^2$$

$$M_{B \text{ kanan}} = 5563,468 \times 2,3 - \frac{1}{2} \times 1455 \times 2,3^2$$

$$= 8946,973 \text{ kgm}$$

- b. Gaya Lintang (D)

$$\text{Titik A} \quad D_{A \text{ kanan}} = R_A = 5563,468 \text{ kg}$$

$$D_{B \text{ kiri}} = R_a - (q_1 \times 2,3)$$

$$= 2216,508 \text{ kg}$$

- c. Gaya Normal (N)

$$N_{A-B} = 0 \text{ kg}$$

Pelat B-C (3,6 m)

- a. Gaya Momen (M)

$$M_{x_1} = R_C \times x_2 - \frac{1}{2} q_2 \times x_2^2$$

Momen maksimum apabila :

$$\frac{\Sigma M_{x_2}}{\Sigma X_2} = 0$$

$$R_C - q_2 \times x_2^2 = 0$$

$$x_2 = \frac{R_C}{q_2} = \frac{5563,468}{1963,11} = 2,83 \text{ m} < 3,6 \text{ m}$$

Momen maksimum terjadi di titik $X_2 = 2,83 \text{ m}$

$$M_{\max} = R_C \times x_2 - \frac{1}{2} q_2 \times x_2^2$$

$$= 5563,468 \times 2,83 - \frac{1}{2} \times 1963,11 \times 2,83^2$$

$$= 7929,79 \text{ kgm}$$

Titik C, $M_C = 0 \text{ kgm}$

$$M_{\max} = R_C \times x_2 - \frac{1}{2} q_2 \times x_2^2$$

$$= 5563,468 \times 3,6 - \frac{1}{2} \times 1963,11 \times 3,6^2$$

$$= 7345,62 \text{ kgm}$$

b. Gaya Lintang (D)

$$D_x = R_c \cos 31,2^\circ - (q_2 \cos 31,2^\circ \times x_2)$$

$$D_x = R_c \cos 31,2^\circ - (q_2 \cos 31,2^\circ \times x_2)$$

$$\text{Titik C } (X_2 = 0) ; D_C = 4817 \text{ kg}$$

$$\text{Titik B } (X_2 = 3,6 \text{ m}) ; D_B = -1307,43 \text{ kg}$$

c. Gaya Normal (N)

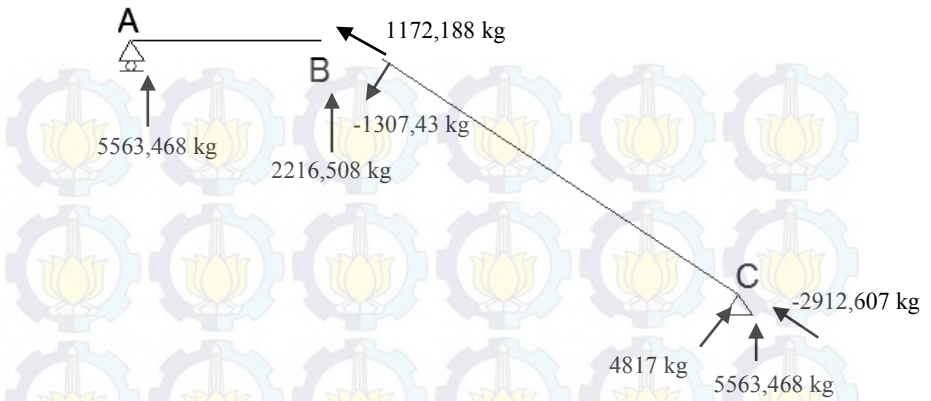
$$\text{Titik C ; } N_c = -V_c \sin 31,2^\circ = -5601,168 \times \sin 31,2^\circ$$

$$N_c = -2912,607 \text{ kg}$$

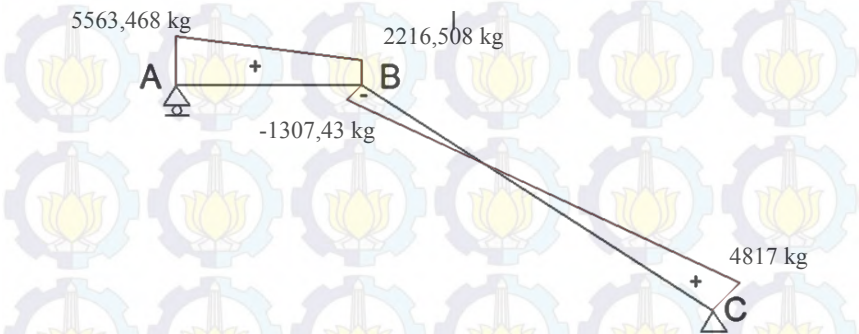
$$\text{Titik B ; } N_B = -V_c \sin 31,2^\circ + q_2 \sin 31,2^\circ \times 3,6 \text{ m}$$

$$N_B = -5601,168 \sin 31,2^\circ + 1963,11 \sin 31,2^\circ \times 3,6 \text{ m}$$

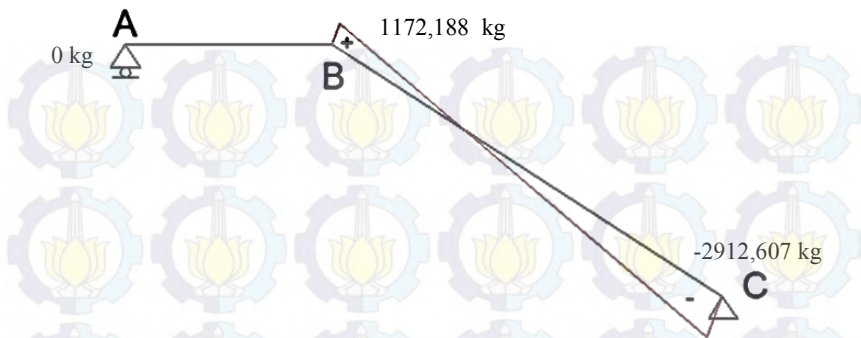
$$N_B = 1172,188 \text{ kg}$$



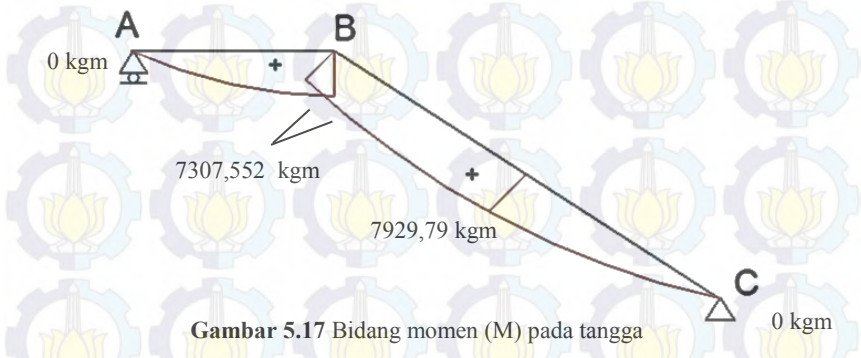
Gambar 5.14 Free body diagram gaya-gaya pada tangga



Gambar 5.15 Bidang lintang (D) pada tangga



Gambar 5.16 Bidang normal (N) pada tangga



Gambar 5.17 Bidang momen (M) pada tangga

5.3.4 Perhitungan Tulangan Pelat Tangga dan Bordes

▪ Perhitungan Penulangan Pelat Tangga

Data – Data Perencanaan

| | |
|----------------------|------------|
| Mutu beton ($f'c$) | = 30 Mpa |
| Mutu baja (f_y) | = 390 Mpa |
| Berat jenis beton | = 2400 Mpa |
| D tulangan lentur | = 12 mm |
| Tebal pelat tangga | = 200 mm |
| Tebal pelat bordes | = 200 mm |
| Tebal selimut beton | = 20 mm |
| β_1 | = 0,85 |

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'c \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \left(\frac{600}{600 + 390} \right)}{390} = 0,034$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,034 = 0,025$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f'c}}{f_y}$$

$$= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{390} = 0,0035$$

ρ_{\min} dipilih yang memiliki nilai terbesar, yaitu 0,0036

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'c} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$d = 200 - 20 - (0,15 \times 12) = 174 \text{ mm}$$

Penulangan pelat tangga

➤ Tulangan utama

$$M_{\max} = 7929,79 \text{ kgm} = 79297900 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times 1000 \times d_y^2} = \frac{79297900}{0,8 \times 1000 \times 175^2} = 3,24$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 3,24}{390}} \right) = 0,0089$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0089 > \rho_{\text{min}} = 0,0036$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0089 \times 1000 \times 175 = 1558,48 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah :

Jarak tulangan utama $\leq 3 \times$ tebal pelat, maka :

$$S \leq 3 \times 200$$

$$\leq 600 \text{ mm}$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_s D_{12}}$$

$$= \frac{1558,48}{113,09} = 13,78 \approx \text{dipakai } 14 \text{ buah}$$

$$A_s \text{ pasang} = \text{jumlah tulangan tiap meter} \times A_{D_{12}}$$

$$= 14 \times 113,09 \text{ mm}^2$$

$$= 1583,26 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} \dots \text{OK}$$

Maka digunakan tulangan lentur 14D12-90 mm.

- Penulangan lentur arah melintang pelat
Penulangan arah y dipasang tulangan susut dan suhu dengan :

$$\rho_{\text{min}} = 0,0036 \text{ untuk } f_y = 390 \text{ Mpa}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.1)

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 0,0036 \times b \times h$$

$$= 0,0036 \times 1000 \times 174 = 720 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_s \phi^8}$$

$$= \frac{720}{50,27} = 14,32 \approx \text{dipakai 15 buah}$$

$$A_s \text{ pasang} = \text{jumlah tulangan tiap meter} \times A \phi_8$$

$$= 15 \times 50,27 \text{ mm}^2$$

$$= 753,98 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots\dots \text{OK}$$

Maka digunakan tulangan lentur 15Ø8-100 mm.

Penulangan pelat bordes

➤ Tulangan utama

$$M_{\text{max}} = 9033,68 \text{ kgm} = 90336800 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times 1000 \times d y^2} = \frac{90336800}{0,8 \times 1000 \times 175^2} = 3,68$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 3,24}{390}} \right) = 0,0098$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0098 < \rho_{\text{min}} = 0,0036$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0098 \times 1000 \times 175 = 1711,63 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah :

Jarak tulangan utama $\leq 3 \times$ tebal pelat, maka :

$$S \leq 3 \times 200$$

$$\leq 600 \text{ mm}$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_s D12}$$

$$= \frac{1711,63}{113,09} = 15,14 \approx \text{dipakai 16 buah}$$

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= \text{jumlah tulangan tiap meter} \times A D_{12} \\ &= 16 \times 113,09 \text{ mm}^2 \\ &= 1809,56 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} \dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur 16D12-90 mm.

- Penulangan lentur arah melintang pelat
Penulangan arah y dipasang tulangan susut dan suhu dengan :

$$\rho_{\min} = 0,0036 \text{ untuk } f_y = 390 \text{ Mpa}$$

(SNI 03–2847–2013 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= 0,0036 \times b \times h \\ &= 0,0036 \times 1000 \times 174 = 720 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s\phi 8}} \\ &= \frac{720}{50,27} = 14,32 \approx \text{dipakai 15 buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= \text{jumlah tulangan tiap meter} \times A \phi_8 \\ &= 15 \times 50,27 \text{ mm}^2 \\ &= 753,98 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} \dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur 15Ø8-100 mm.

- Perencanaan dimensi balok bordes

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times L = \frac{1}{16} \times 260 = 16,25 \approx 40 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 16,25 = 10,83 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

Dipakai dimensi balok bordes 30/45

- Pembebanan Balok Bordes

Beban Mati

$$\text{Berat sendiri balok} = 0,3 \times 0,45 \times 2400 = 324 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat dinding} = 2 \times 250 = 500 \text{ kg/m} +$$

$$q_d = 824 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} q_d \text{ ultimate} &= 1,2 \times q_d = 1,2 \times 824 = 988,8 \text{ kg/m} \\ \text{beban pelat bordes} &= 5601,168 \text{ kg/m} + \\ q_u &= 6546,77 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen tumpuan} &= \frac{1}{24} \times q_u \times l^2 \\ &= \frac{1}{24} \times 6546,77 \times 2600^2 \\ &= 18440063,9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen lapangan} &= \frac{1}{12} \times q_u \times l^2 \\ &= \frac{1}{12} \times 6546,77 \times 2600^2 \\ &= 36880127,9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$V_u \text{ total} = 0,5 \times q_u \times l = 0,5 \times 65,47 \times 2600 = 78561,22 \text{ kg}$$

▪ Penulangan Lentur Balok Bordes

Direncanakan :

$$\text{Diameter sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan utama} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Sehingga } d = 260 - 40 - 10 - 16/2 = 227 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c' \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \left(\frac{600}{600 + 390} \right)}{390} = 0,034 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,034 = 0,025$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{390} = 0,0035 \end{aligned}$$

ρ_{\min} dipilih yang memiliki nilai terbesar, yaitu 0,0036

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

➤ Penulangan Tumpuan

$$M_{\max} = 18440063,9 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 23050079,9 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{23050079,9}{300 \times 227^2} = 1,49$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 1,49}{390}} \right) = 0,0036$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0036 > \rho_{\min} = 0,0036$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0036 \times 300 \times 227 = 244,462 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah :

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_s \text{ D16}}$$

$$= \frac{244,462}{201,06} = 1,2 \approx \text{dipakai 4 buah}$$

$$A_s \text{ pasang} = \text{jumlah tulangan tiap meter} \times A_{D16}$$

$$= 4 \times 201,106 \text{ mm}^2$$

$$= 804,248 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots\dots \text{OK}$$

Maka digunakan tulangan lentur 6 D16

$$A_s' \text{ perlu} = 0,5 \times A_s$$

$$= 0,5 \times 244,463 \text{ mm}^2$$

$$= 122,23 \text{ mm}^2$$

digunakan tulangan lentur 2 D16

➤ Penulangan Lapangan :

$$M_{\text{lapangan}} = 37123587,9 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 46404359,8 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{46404359,8}{300 \times 227^2} = 3$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 3}{390}} \right) = 0,008$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,008 > \rho_{\text{min}} = 0,0036$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,008 \times 300 \times 227 = 559,29 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah :

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ D16}}}$$

$$= \frac{559,29}{201,06} = 2,78 \approx \text{dipakai 6 buah}$$

$$A_s \text{ pasang} = \text{jumlah tulangan tiap meter} \times A_{\text{D16}}$$

$$= 6 \times 201,06 \text{ mm}^2$$

$$= 1206,37 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} \dots \text{OK}$$

Maka digunakan tulangan lentur 6 D16

$$A_{s' \text{ perlu}} = 0,5 \times A_s$$

$$= 0,5 \times 559,29 \text{ mm}^2$$

$$= 279,64 \text{ mm}^2$$

digunakan tulangan lentur 3 D16

- Penulangan Geser Balok Bordes

Penulangan Tumpuan

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

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 300 \times 227 = 62166,51 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 62166,51 = 37299,906 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 92970,96 = 46485,48 \text{ N}$$

$$\phi V_s \text{ min} = \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 300 \times 227 = 12433,021 \text{ N}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5(5.1) : Bila V_u kurang dari setengah kuat geser yang disumbangkan oleh beton ϕV_c ,maka tidak perlu diberi tulangan geser. Karena $0,5 \phi V_c < V_u < \phi V_c$ maka diperlukan tulangan geser minimum.

$$\phi V_s \text{ perlu} = \phi V_s \text{ min} = 12433,021 \text{ N}$$

$$\text{Diameter tulangan geser} = 10 \text{ mm}$$

$$A_v = 2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 = 157,080 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.4 ketentuan jarak maksimum antar sengkang tertutup tidak boleh melebihi $d/2$ atau 600 mm untuk komponen struktur non prategang

$$s = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{157,080 \times 390 \times 227}{12433,021} = 68,79 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat } s < \frac{d}{2} = \frac{227}{2} = 113,5 \text{ mm}$$

Pasang $\emptyset 10 - 100 \text{ mm}$

5.4 Perencanaan Balok Lift

5.4.1 Data Perencanaan

Perencanaan yang dilakukan pada lift ini meliputi balok-balok yang berkaitan dengan mesin lift. Pada bangunan ini digunakan lift penumpang yang diproduksi oleh Asia Schneider (Thailand) Co.,Ltd. dengan data-data spesifikasi sebagai beriku :

Tipe Lift : C300 Passenger Elevator

Kapasitas : 1000 Kg

Kecepatan : 1.75 m/detik

Motor : 18.5 KW

Lebar pintu (opening width) : 800 mm

Dimensi sangkar (car size)

- Car Wide (CW) : 1600 mm

- Car Depth (CD) : 1400 mm

- Opening : 900 mm
- Dimensi ruang luncur (Hoistway)
- Hoistway width (HW) : 2100 mm
- Hoistway Depth (HD) : 2000 mm
- Beban reaksi ruang mesin
- R_1 : 5800 kg
- R_2 : 4600 kg

Untuk lebih jelasnya mengenai spesifikasi lift berikut disajikan dalam tabel 5.1 :

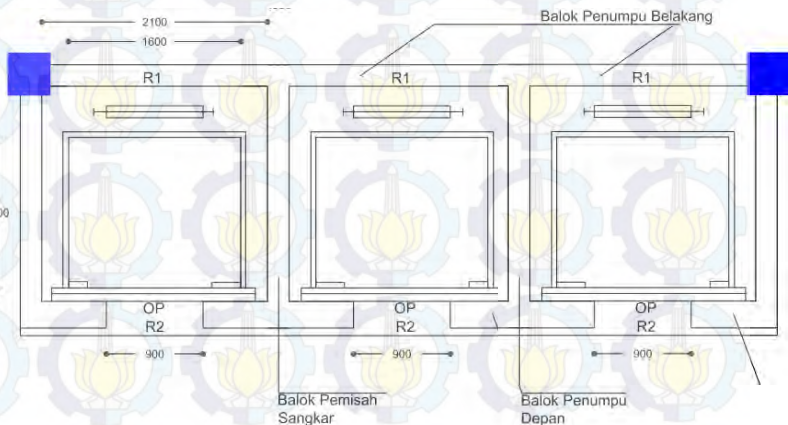
Tabel 5.1 Spesifikasi C300 Passenger Elevator

Sumber : Asia Schneider (Thailand) Co.,Ltd.

C300 Passenger Elevator Technical Specification (For wide car)

| Type | Capacity kg | Speed m/s | Motor kW | Car size mm | | | Hoistway size mm | | | | Mastops # | Mastshafts # | Reaction force kg | | | | |
|--------------|----------------|--------------|-------------|----------------|------|-----|---------------------|------|------|------|--------------|-----------------|----------------------|----|----|----|----|
| | | | | Ca | Cb | CP | HW | HD | PD | OH | | | R1 | R2 | R3 | R4 | |
| P0630W10S-CO | 630 | 1.00 | 7.5 | 1400 | 1100 | 800 | 1850 | 1300 | 4400 | 14 | 40 | 74 | 60 | 46 | 33 | | |
| P0630W16S-CO | | 1.50 | 11 | | | | | 1400 | 1700 | 1400 | 4500 | | | | | 20 | 60 |
| P0630W17S-CO | | 1.75 | 15 | | | | | 1500 | 1500 | 1500 | 4600 | | | | | 24 | 75 |
| P0800W10S-CO | 800 | 1.00 | 11 | 1400 | 1350 | 800 | 1850 | 1300 | 4400 | 14 | 40 | 82 | 66 | 52 | 38 | | |
| P0800W16S-CO | | 1.50 | 15 | | | | | 1400 | 1950 | 1400 | 4500 | | | | | 20 | 60 |
| P0800W17S-CO | | 1.75 | 15 | | | | | 1500 | 1500 | 1500 | 4600 | | | | | 24 | 75 |
| P1000W10S-CO | 1000 | 1.00 | 11 | 1600 | 1400 | 900 | 2100 | 1300 | 4400 | 14 | 40 | 101 | 81 | 58 | 46 | | |
| P1000W16S-CO | | 1.50 | 18.5 | | | | | 1600 | 2000 | 1400 | 4500 | | | | | 20 | 60 |
| P1000W17S-CO | | 1.75 | 18.5 | | | | | 1500 | 1500 | 1500 | 4600 | | | | | 24 | 75 |

Notice: Above dimension is only for conference, if you need trim size, please contact us.



Gambar 5.18 Denah Lift

Perencanaan Dimensi Balok Lift

▪ Balok Penumpu Depan dan Belakang

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times 780 \text{ cm} = 48,75 \text{ cm} \approx 80 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 48,75 = 32,5 \text{ cm} \approx 60 \text{ cm}$$

Dirancang dimensi balok 60/80 cm

▪ Balok Penggantung Lift

Panjang balok penggantung lift = 295 cm

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times 295 \text{ cm} = 18,44 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 18,44 = 12,29 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

Dirancang dimensi balok 30/40 cm

5.4.2 Pembebanan Lift

1. Beban yang bekerja pada balok penumpu

Beban yang bekerja merupakan beban akibat dari mesin penggerak lift + berat kereta luncur + perlengkapan, dan akibat bandul pemberat + perlengkapan.

2. Koefisien kejut beban hidup oleh keran

Pasal 3.3.(3) PPIUG 1983 menyatakan bahwa beban keran yang membebani struktur pemikulnya terdiri dari berat sendiri keran ditambah muatan yang diangkatnya, dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau. Sebagai beban rencana harus diambil beban keran tersebut dengan mengalikannya dengan suatu koefisien kejut yang ditentukan dengan rumus berikut :

$$\Psi = (1 + k_1 k_2 v) \geq 1,15$$

Dimana :

Ψ = koefisien kejut yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari 1,15.

v = kecepatan angkat maksimum dalam m/det pada pengangkatan muatan maksimum dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau, dan nilainya tidak perlu diambil lebih dari 1,00 m/s.

k_1 = koefisien yang bergantung pada kekakuan struktur keran induk, yang untuk keran induk dengan struktur rangka, pada umumnya nilainya dapat diambil sebesar 0,6.

k_2 = koefisien yang bergantung pada sifat mesin angkat dari keran angkatnya, dan diambil sebesar 1,3

Jadi, beban yang bekerja pada balok adalah :

$$P = \sum R \times \Psi = (5800 + 4600) \times (1 + 0,6 \times 1,3 \times 1) \\ = 18512 \text{ kg}$$

5.4.3 Balok Penggantung Lift 30/40

a. Pembebanan

Beban mati lantai :

$$\text{Berat pelat} = 0,12 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Aspal (t=2cm)} = 0,02 \times 1400 = 28 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi (t=2cm)} = 0,02 \times 2100 = 42 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Ducting + Plumbing} = 30 \text{ kg/m}^2 +$$

$$= 388 \text{ kg/m}^2$$

$$Q = 388 \times 2 \text{ m} = 776 \text{ kg/m}$$

$$\text{Akibat balok} = 0,3 \times 0,4 \times 2400 = 288 \text{ kg/m} +$$

$$Q_d = 1064 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup (q_1) :

$$Q_1 = 250 \text{ kg/m}$$

Beban berfaktor

$$q_u = 1,2 q_d + 1,6 q_L$$

$$= 1,2 \times 1064 + 1,6 \times 250$$

$$= 1676,8 \text{ kg/m}$$

Beban terpusat lift P = 18512 kg

$$V_u = \frac{1}{2} q_u L + \frac{1}{2} p$$

$$= \frac{1}{2} \times 1676,8 \times 2 + \frac{1}{2} \times 18512$$

$$= 10932,8 \text{ kg}$$

$$M_u = \frac{1}{8} q_u L^2 + \frac{1}{4} pL$$

$$= \frac{1}{8} \times 1676,8 \times 2^2 + \frac{1}{4} \times 18512 \times 2$$

$$= 10094,4 \text{ kgm}$$

Data Perencanaan :

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

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tul. balok diameter } (D_{16}) = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Tul. sengkang diameter } (\varnothing_8) = 8 \text{ mm}$$

$$b = 30 \text{ cm}$$

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

$$d' = h' + \varnothing_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tul. utama}}$$

$$= 40 + 8 + 0,5 \times 16 = 56 \text{ mm}$$

$$d = 400 - 56 = 344 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c' \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \left(\frac{600}{600 + 390} \right)}{390} = 0,034$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,034 = 0,025$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y}$$

$$= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{390} = 0,0035$$

ρ_{\min} dipilih yang memiliki nilai terbesar, yaitu 0,0036

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

b. Perhitungan Tulangan Lentur

$$R_n = \frac{M_u}{b \times d^2} = \frac{100944000}{0,8 \times 300 \times 344^2} = 3,55$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 3,55}{390}} \right) = 0,00914$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,00914 > \rho_{\min} = 0,0036$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00914 \times 300 \times 344 = 943,3 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah :

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S\phi 16}}$$

$$= \frac{943,3}{201,06} = 4,6 \approx \text{dipakai 5 buah}$$

Spasi bersih antar tulangan

$$S = \frac{b_w - 2\phi_{senggang} - 2 \times decking - n \times l_{tul.utama}}{n-1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$= \frac{300 - 2 \times 8 - 2 \times 40 - 5 \times 16}{5-1} = 31 \geq 25 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan 5 D16 (1005,3 cm²)

c. Perhitungan Tulangan Geser

$$V_u = 11729,28 \text{ N}$$

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

$$= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 300 \times 344$$

$$= 94208,280 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,6 \times 94208,280$$

$$= 56524,968 \text{ N}$$

$$\phi V_{s \min} = 0,6 \times 1/3 \times 300 \times 344$$

$$= 20640 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \phi V_{s \min} = 77164,968 \text{ N}$$

$$\phi \left(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \times b_w \times d \right)$$

$$= 0,6 \left(94208,28 + \frac{1}{3} \sqrt{30} \times 300 \times 344 \right)$$

$$= 169574,9$$

$$\phi(V_c + V_{s \min}) < V_u < \phi \left(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \times b_w \times d \right)$$

Maka perlu tulangan geser

$$\phi V_{s \text{ perlu}} = V_u - \phi V_c$$

$$\phi V_{s \text{ perlu}} = 107341 - 56524,968 = 50816,032 \text{ N}$$

$$V_{s \text{ perlu}} = 84693,4 \text{ N}$$

Syarat $s_{\max} < d/2 = 344/2 = 172 \text{ mm}$ dan $s_{\max} < 600 \text{ mm}$

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 = 100,53 \text{ mm}^2$$

Pasang $\phi 8 - 160 \text{ mm}$

Kontrol V_s

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{100,53 \times 390 \times 344}{160} = 84294,405 \text{ N} > V_s$$

Sehingga untuk perencanaan penulangan balok penggantung lift digunakan tulangan lentur dan tulangan geser dengan perincian sebagai berikut :

- Tulangan lentur 5D16
- Tulangan geser $\phi 8 - 160$

d. Kontrol Lendutan dan Retak

- Kontrol lendutan

Komponen struktur beton yang mengalami lentur harus dirancang agar memiliki kekakuan cukup untuk batas deformasi yang akan memperlemah kemampuan layan struktur saat bekerja. Sesuai SNI 03-2847-2013 tabel 9.5(a), syarat tebal minimum balok apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut :

Balok dengan dua tumpuan

$$h_{min} = \frac{1}{16} \times L_b$$

Lendutan tidak perlu dihitung sebab sejak preliminary design telah direncanakan agar tinggi dari masing-masing tipe balok lebih besar dari persyaratan h_{min}

- Kontrol Retak

Untuk daerah lapangan

$$d_c = 40 + 8 + \frac{1}{2} (16) = 56 \text{ mm}$$

$$f_s = 0,6 \times 390 \text{ MPa} = 234 \text{ MPa}$$

$$A = \frac{2 \times d_c \times b}{n} = \frac{2 \times 0,056 \times 0,3}{5} = 0,00672 \text{ m}^2$$

$$Z = f_s \times \sqrt{d_c \times A} = 234 \times \sqrt{0,056 \times 0,00672} \\ = 4,54 \text{ MN/m} \leq 30 \text{ MN/m} \quad (\text{OK})$$

5.4.5 Balok Penumpu Depan dan Belakang Lift 60/80

a. Pembebanan

Beban mati lantai :

$$\text{Berat pelat} = 0,12 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Aspal (t=2cm)} = 0,02 \times 1400 = 28 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi (t=2cm)} = 0,02 \times 2100 = 42 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Ducting + Plumbing} \\ = 30 \text{ kg/m}^2 + \\ = 388 \text{ kg/m}^2$$

$$Q = 388 \times 7,8 = 3026,4 \text{ kg/m}$$

$$\text{Akibat balok} = 0,6 \times 0,8 \times 2400 = 1152 \text{ kg/m} +$$

$$Q_d = 4178,4 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup (q_l) :

$$Q_l = 250 \text{ kg/m}$$

Beban berfaktor

$$q_u = 1,2 q_d + 1,6 q_l$$

$$= 1,2 \times 4178,4 + 1,6 \times 250$$

$$= 5414,08 \text{ kg/m}$$

Beban terpusat lift P

$$P = \sum R \times \Psi = (4600) \times (1 + 0,6 \times 1,3 \times 1)$$

$$= 8188 \text{ kg}$$

$$V_u = \frac{1}{2} q_u L + \frac{1}{2} P$$

$$= \frac{1}{2} \times 5414,08 \times 7,8 + \frac{1}{2} \times 8188$$

$$= 25208,9 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &= \frac{1}{8} q_u L^2 + \frac{1}{4} pL \\
 &= \frac{1}{8} \times 5414,08 \times 7,8^2 + \frac{1}{4} \times 8188 \times 7,8 \\
 &= 57140,68 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Data Perencanaan :

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

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tul. balok diameter } (D_{16}) = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Tul. sengkang diameter } (\varnothing_8) = 8 \text{ mm}$$

$$b = 60 \text{ cm}$$

$$h = 80 \text{ cm}$$

$$d' = h' + \varnothing_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tul. utama}} \\ = 40 + 8 + 0,5 \times 16 = 56 \text{ mm}$$

$$d = 800 - 56 = 744 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,034
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,034 = 0,025$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \\
 &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{390} = 0,0035
 \end{aligned}$$

ρ_{\min} dipilih yang memiliki nilai terbesar, yaitu 0,0036

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

b. Perhitungan Tulangan Lentur

$$R_n = \frac{M_u}{b \times d^2} = \frac{571406800}{0,8 \times 600 \times 744^2} = 2,15$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 2,15}{390}} \right) = 0,0058$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0058 > \rho_{\min} = 0,0036$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0058 \times 600 \times 744 = 2575,21 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah :

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_s \phi 16}$$

$$= \frac{2575,21}{201,06} = 12,8 \approx \text{dipakai 13 buah}$$

Spasi bersih antar tulangan

$$S = \frac{b_w - 2\phi_{\text{senggang}} - 2 \times \text{decking} - n \times t_{\text{tul.utama}}}{n - 1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$= \frac{600 - 2 \times 8 - 2 \times 40 - 13 \times 16}{13 - 1} = 25 \geq 25 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan ganda 13 D 16 (2613,78 cm²)

c. Perhitungan Tulangan Geser

$$V_u = 25208,9 \text{ N}$$

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

$$= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 600 \times 744$$

$$= 407505,6 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,6 \times 407505,6$$

$$= 244503,34 \text{ N}$$

$$\phi \left(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \times b_w \times d \right)$$

$$= 0,6 \left(33783,34 + \frac{1}{3} \sqrt{30} \times 600 \times 744 \right)$$

$$= 509276,70$$

$$V_u < \phi \left(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \times b_w \times d \right)$$

Maka perlu tulangan geser

$$\phi V_{s \text{ perlu}} = V_u - \phi V_c$$

$$\phi V_{s \text{ perlu}} = 25208,9 - 244503,34 = -382296,68 \text{ N}$$

$$V_{s \text{ perlu}} = -637161,138 \text{ N}$$

Syarat $s_{\max} < d/2 = 344/2 = 172 \text{ mm}$ dan $s_{\max} < 600 \text{ mm}$

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 = 100,53 \text{ mm}^2$$

Pasang $\phi 8 - 160 \text{ mm}$

Kontrol V_s

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{100,53 \times 390 \times 344}{160} = 84294,405 \text{ N} > V_s$$

Sehingga untuk perencanaan penulangan balok penggantung lift digunakan tulangan lentur dan tulangan geser dengan perincian sebagai berikut :

- Tulangan lentur 13D16

➤ Tulangan geser $\phi 8 - 160$

d. Kontrol Lentutan dan Retak

• Kontrol lentutan

Komponen struktur beton yang mengalami lentur harus dirancang agar memiliki kekakuan cukup untuk batas deformasi yang akan memperlemah kemampuan layan struktur saat bekerja. Sesuai SNI 03-2847-2013 tabel 9.5(a), syarat tebal minimum balok apabila lentutan tidak dihitung adalah sebagai berikut :

Balok dengan dua tumpuan

$$h_{min} = \frac{1}{16} \times L_b$$

Lentutan tidak perlu dihitung sebab sejak preliminary design telah direncanakan agar tinggi dari masing-masing tipe balok lebih besar dari persyaratan h_{min}

• Kontrol Retak

Untuk daerah lapangan

$$d_c = 40 + 8 + \frac{1}{2} (16) = 56 \text{ mm}$$

$$f_s = 0,6 \times 390 \text{ MPa} = 234 \text{ MPa}$$

$$A = \frac{2 \times d_c \times b}{n} = \frac{2 \times 0,056 \times 0,3}{5} = 0,00672 \text{ m}^2$$

$$Z = f_s \times \sqrt{d_c \times A} = 234 \times \sqrt{0,056 \times 0,00672}$$

$$= 4,54 \text{ MN/m} \leq 30 \text{ MN/m} \quad (\text{OK})$$

5.5 Kontrol Kapasitas Crane

Elemen struktur pracetak

► Balok :

1. Balok induk 60/80 (terpanjang 7,8 m)

$$W = 0,60 \times (0,80 - 0,14) \times 7,8 \times 2400 = 7413,12 \text{ kg}$$

Kapasitas crane mampu mengangkat balok induk pracetak dengan beban 7413,12 kg dengan jarak jangkauan maksimum 40 m dengan beban maksimum 4,2 ton

2. Balok anak 35/50 (terpanjang 7,8 m)

$$W = 0,35 \times (0,5 - 0,14) \times 7,8 \times 2400 = 2358,72 \text{ kg}$$

Kapasitas crane mampu mengangkat balok anak pracetak dengan beban 2358,72 kg dengan jarak jangkauan maksimum 40 m dengan beban maksimum 4,2 ton

3. Pelat :

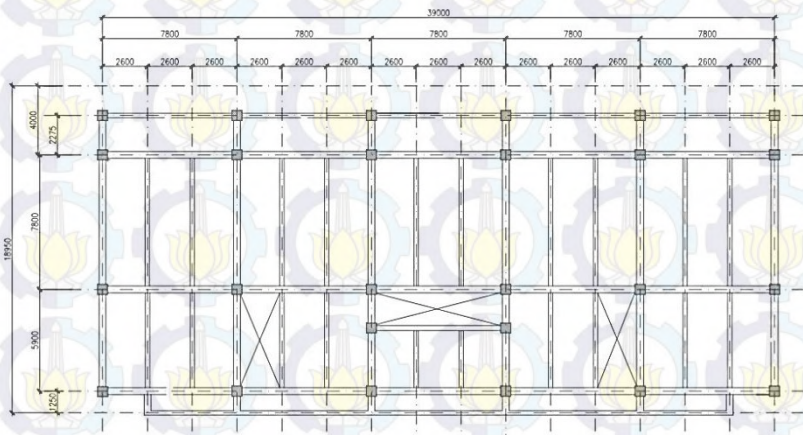
Ukuran Pelat 2,6 × 3,9 m (t = 8 cm)

$$W = 2,6 \times 3,9 \times 0,08 \times 2400 = 1946,88 \text{ kg}$$

Kapasitas crane mampu mengangkat pelat pracetak dengan beban 1946,88 kg dengan jarak jangkauan maksimum 40 m dengan beban maksimum 4,2 ton

BAB VI PEMODELAN STRUKTUR

Struktur yang direncanakan adalah bangunan perkantoran yang terdiri dari 1 lantai basement, 12 lantai perkantoran dan 1 lantai parkir dengan total tinggi struktur 52,5 meter. Denah dari struktur yang ada dalam permodelan tugas akhir penulis adalah sebagai berikut.

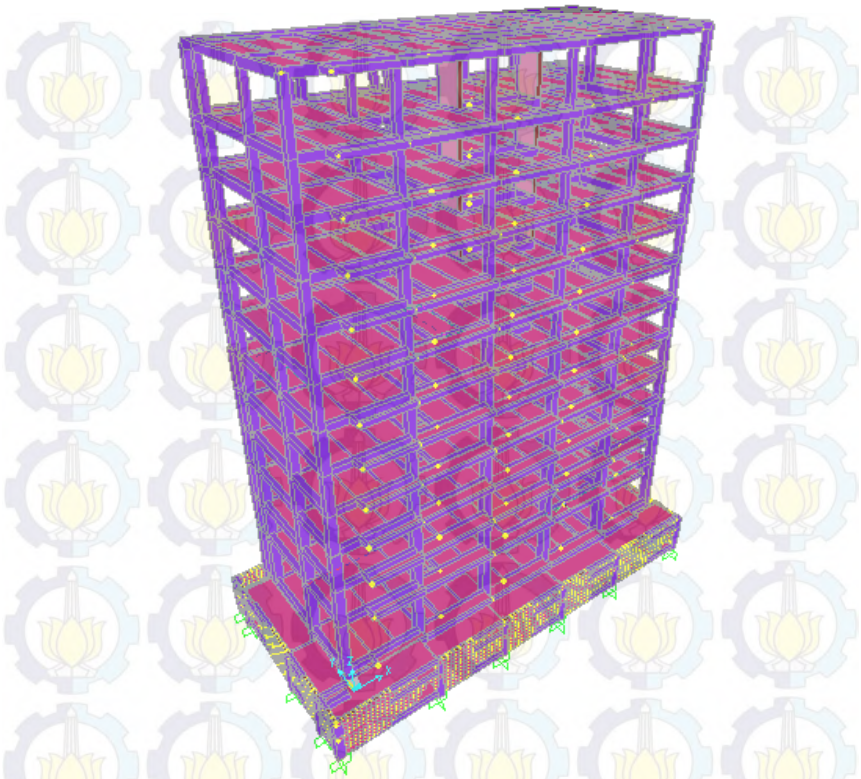


Gambar 6.1 Denah struktur perkantoran MNC Tower

Pada gambar 6.1 arah vertikal mengikuti arah sumbu Y global (sumbu model) dan sumbu X adalah arah horisontal gambar.

Permodelan struktur perkantoran MNC Tower dilakukan menggunakan program bantu SAP 2000. Pada program SAP 2000, struktur perkantoran akan dimodelkan sesuai dengan kondisi yang nyata. Program ini akan membantu dalam beberapa perhitungan yang akan digunakan untuk mengecek apakah struktur sudah memenuhi persyaratan yang ada di SNI-1726-2012 (Gempa).

Berikut adalah pemodelan yang sudah dilakukan dalam program SAP 2000 :



Gambar 6.2 Dimensi struktur Perkantoran MNC

6.1 Perhitungan Berat Struktur

Data perencanaan struktur seperti data luas lantai, tinggi struktur, panjang balok induk, dan balok anak merupakan data data yang diperlukan dalam perhitungan berat struktur. Setelah perhitungan berat struktur diketahui dapat di lakukan analisa terhadap beban gempa. Berikut data data beserta perhitungan berat struktur. :

Tabel 6.1 Data Tinggi, Luas dan Jumlah Kolom Struktur

| LANTAI | TINGGI TIAP LANTAI (m) | LUAS TIAP LANTAI (m ²) | JUMLAH KOLOM (Buah) |
|-------------|------------------------|------------------------------------|---------------------|
| Basement | 1,5 | 629,557 | 33 |
| Lantai 1 | 6 | 629,557 | 33 |
| Lantai 2-11 | 4 | 629,557 | 33 |
| Lantai 12 | 5 | 629,557 | 33 |

6.1.1 Berat Total Bangunan

Perhitungan nilai total berat bangunan ini akan digunakan untuk menentukan gaya geser statik. Nilai tersebut digunakan untuk mengecek apakah perhitungan struktur perkantoran MNC Tower yang menggunakan pembebanan gempa dinamik gaya geser nya sudah mencapai 80% gaya geser statik.

Pada tugas akhir ini perhitungan berat struktur diambil dari hasil analisis menggunakan program SAP 2000 untuk kombinasi 1D + 1L.

6.1.2 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan diperlukan dalam sebuah perencanaan struktur bangunan. Pada saat konstruksi, tentunya beban-beban yang bekerja pada struktur hanyalah beban-beban mati saja dan beban hidup sementara akibat dari pekerja bangunan. Sedangkan pada masa layan, beban-beban hidup permanen dari aktifitas pemakai gedung dan barang-barang inventaris yang dapat bergerak di dalam gedung. Hal ini tentunya akan berdampak pada kekuatan rencana elemen struktur yang direncanakan berdasarkan kombinasi pembebanan terbesar akibat penjumlahan beban-beban yang bekerja dengan faktor beban LRFD (*Load Resistance Factor Design*).

Kombinasi pembebanan yang dipakai pada struktur gedung ini mengacu pada SNI 03-1729-2012 bangunan tahan gempa sebagai berikut :

- 1,4 DL

- 1,2 DL + 1,6 LL
- 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0Ex
- 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0Ey
- 1,0DL+1,0Ex
- 0,9 DL + EX
- 0,9 DL + Ey

Keterangan :

DL : beban mati

LL : beban hidup

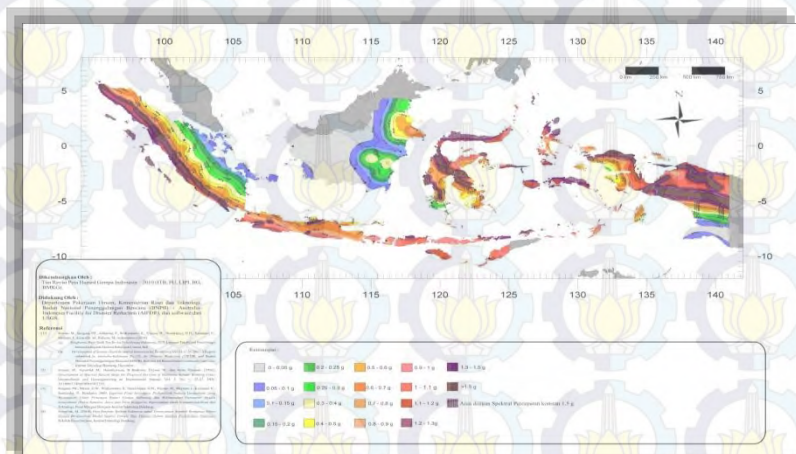
Ex : beban gempa arah x

Ey : beban gempa arah y

6.2 Gempa Rencana

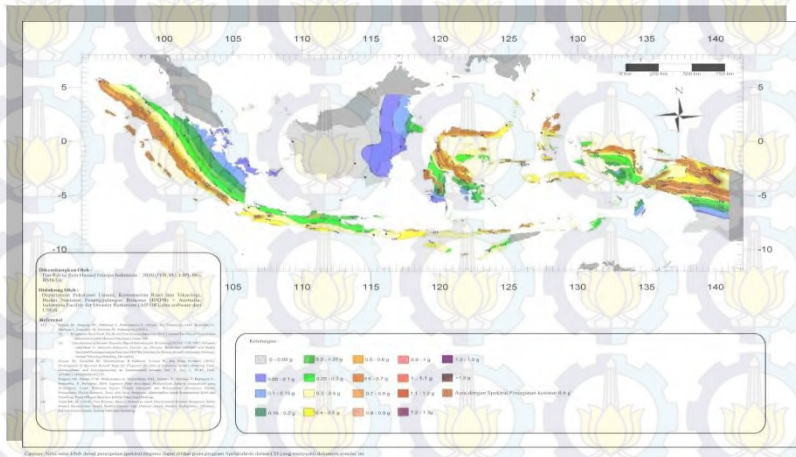
Sebagai input data pada SAP 2000, diperlukan data Percepatan Respon Spektrum (MCE)

Penentuan wilayah gempa dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 6.3 Peta untuk Menentukan Harga Ss

Ss, Gempa Maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaian (MCER). Parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spektral 0,2 detik dalam g, (5% redaman kritis), Kelas situs SB. Dari gambar 6.1 untuk daerah Surabaya didapatkan nilai Ss = 0,663 g.



Gambar 6.4 Peta untuk Menentukan S_1

Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaian (MCER) parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spektral 1 detik dalam g (5% redaman kritis), kelas situs SB. Dari gambar 6.3 untuk wilayah Surabaya $S_1 = 0,248$

6.3 Pembebanan Gempa Dinamis

Pada struktur perkantoran MNC Tower ini mempunyai jumlah lantai 12 tingkat dan basement 1,5 lantai dengan ketinggian 57 m. Perhitungan beban gempa pada struktur ini ditinjau dengan pengaruh gempa dinamik sesuai SNI 03-1726-2012. Analisisnya dilakukan berdasarkan analisis respon dinamik dengan parameter-parameter yang sudah ditentukan.

6.3.1 Arah pembebanan

Beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan terjadi dalam arah sembarang (tidak terduga) baik dalam arah x dan y secara bolak-balik dan periodikal. Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa rencana dalam arah utama harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa yang arahnya tegak lurus dengan arah utama dengan efektifitas 30%.

- Gempa Respon Spektrum X :
100% efektifitas untuk arah X dan 30% efektifitas arah Y
- Gempa Respon Spektrum Y :
100% efektifitas untuk arah Y dan 30% efektifitas arah X

6.3.2 Parameter Respon Spektrum Rencana

Parameter respon spektrum rencana digunakan untuk menentukan gaya gempa rencana yang bekerja pada struktur. Pada tugas akhir ini, perhitungan gaya gempa digunakan analisis dinamik sesuai persyaratan SNI 03-1726-2012. Berikut adalah nilai parameter respon spektrum untuk wilayah surabaya dengan kondisi tanah lunak (kelas situs E) :

| | | |
|---|---------------------|---------|
| ➤ | PGA (g) | = 0.326 |
| ➤ | S _s (g) | = 0.663 |
| ➤ | S ₁ (g) | = 0.248 |
| ➤ | CR _s | = 0.992 |
| ➤ | CR ₁ | = 0.929 |
| ➤ | FPGA | = 1.123 |
| ➤ | FA | = 1.373 |
| ➤ | FV | = 3.009 |
| ➤ | SMS (g) | = 0.911 |
| ➤ | PSA (g) | = 0.366 |
| ➤ | S _{M1} (g) | = 0.746 |
| ➤ | S _{DS} (g) | = 0.607 |
| ➤ | S _{D1} (g) | = 0.497 |

- T_0 (detik) = 0.164
- T_s (detik) = 0.819
- S_s (g) = 0.663
- S_1 (g) = 0.248

6.3.3 Faktor Reduksi Gempa (R)

Gedung ini direncanakan dengan sistem rangka beton pracetak pemikul momen khusus. Berdasarkan tabel 9 SNI 03-1726-2012 didapatkan nilai faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5,5 nilai koefisien modifikasi respon (R) = 7 dan nilai faktor kuat lebih sistem (Ω) = 2,5

6.3.4 Faktor Keutamaan (I)

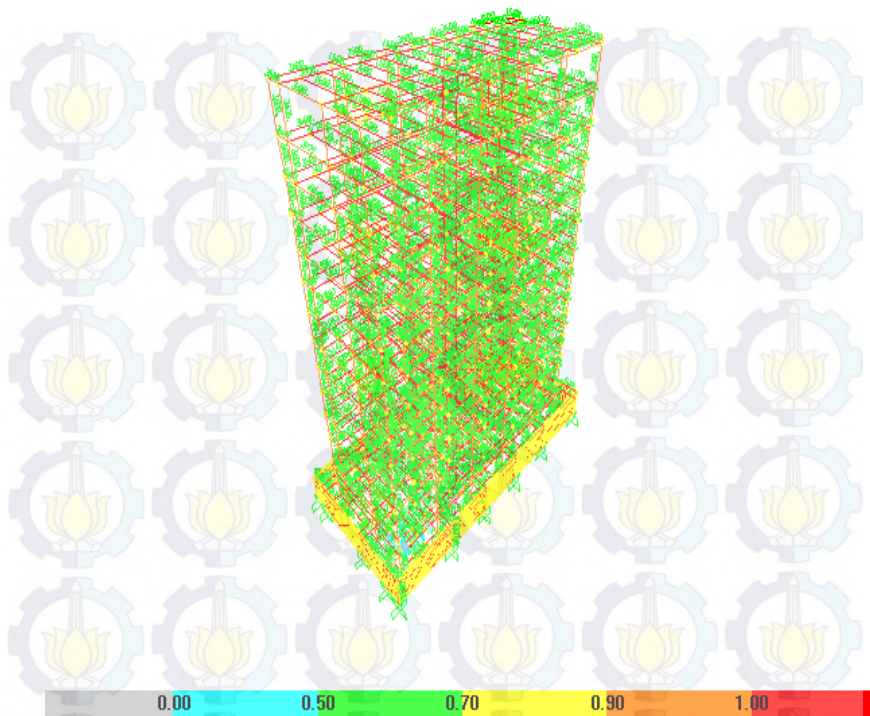
Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e . Gedung ini direncanakan sebagai bangunan perkantoran. Pada tabel 1 SNI 03-1726-2012 bangunan ini termasuk kategori II sehingga didapat nilai $I = 1$.

6.4 Kontrol Desain

Setelah dilakukan pemodelan struktur 3 dimensi dengan program bantu SAP 2000, hasil analisis struktur harus dikontrol terhadap suatu batasan-batasan tertentu sesuai dengan peraturan SNI 03-1726-2012 untuk menentukan kelayakan sistem struktur tersebut. Adapun hal-hal yang harus dikontrol adalah sebagai berikut :

- Kontrol partisipasi massa.
- Kontrol periode getar struktur.
- Kontrol nilai akhir respon spektrum.
- Kontrol batas simpangan (*drift*)

Dari analisis tersebut juga diambil gaya dalam yang terjadi pada masing-masing elemen struktur untuk dilakukan pengecekan kapasitas penampang.



Gambar 6.5 Hasil analisis struktur menggunakan program bantu SAP2000

6.4.1 Kontrol Partisipasi Massa

Menurut SNI 1726 ps 7.9.1, bahwa perhitungan respon dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90% dari massa aktual dari masing-masing arah

Dalam hal ini digunakan bantuan program SAP 2000 untuk mengeluarkan hasil partisipasi massa seperti pada Tabel 6.10 berikut :

Tabel 6.2 Rasio partisipasi massa perkantoran MNC

| Output Case | Step Num | Period | Sum UX | Sum UY |
|--------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| Text | Unitless | Sec | Unitless | Unitless |
| MODAL | 1 | 0.91548 | 0.085 | 0.394 |
| MODAL | 2 | 0.88622 | 0.599 | 0.543 |
| MODAL | 3 | 0.79184 | 0.682 | 0.649 |
| MODAL | 4 | 0.780795 | 0.736 | 0.659 |
| MODAL | 5 | 0.746271 | 0.758 | 0.719 |
| MODAL | 6 | 0.69242 | 0.762 | 0.759 |
| MODAL | 7 | 0.445035 | 0.784 | 0.759 |
| MODAL | 8 | 0.406444 | 0.787 | 0.768 |
| MODAL | 9 | 0.375436 | 0.787 | 0.792 |
| MODAL | 10 | 0.301945 | 0.798 | 0.792 |
| MODAL | 11 | 0.267676 | 0.798 | 0.795 |
| MODAL | 12 | 0.244458 | 0.799 | 0.809 |
| MODAL | 13 | 0.222032 | 0.805 | 0.809 |
| MODAL | 14 | 0.175324 | 0.808 | 0.813 |
| MODAL | 15 | 0.169981 | 0.81 | 0.824 |
| MODAL | 16 | 0.141504 | 0.815 | 0.824 |
| MODAL | 17 | 0.103883 | 0.816 | 0.87 |
| MODAL | 18 | 0.081785 | 0.874 | 0.871 |
| MODAL | 19 | 0.065405 | 0.875 | 0.98 |
| MODAL | 20 | 0.051169 | 0.977 | 0.98 |

Dari tabel di atas didapat partisipasi massa arah X sebesar 97,7 % pada moda ke 20 dan partisipasi massa arah Y sebesar 98 % pada moda ke 19. Maka dapat disimpulkan analisis struktur yang sudah dilakukan telah memenuhi syarat yang terdapat pada SNI-03-1726-2012 pasal 7.9.1 yaitu partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90%.

6.4.2 Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental (T) dari struktur gedung harus dibatasi. Berdasarkan SNI 03-1726-2012, periode fundamental struktur harus ditentukan dari :

$$T = C_t \times h_n^x$$

Nilai T di atas adalah batas bawah periode struktur yang ditinjau. Untuk batas atas nya dikalikan dengan koefisien batas. Besarnya koefisien tersebut tergantung dari nilai S_{DI} .

Struktur perkantoran MNC Tower memiliki tinggi dari basement hingga atas gedung adalah 57 m. Pada struktur ini digunakan tipe struktur rangka beton pemikul momen sehingga pada tabel 15 SNI 03-1726-2012 didapatkan nilai :

$$C_t = 0,0488^a$$

$$x = 0,75$$

$$h_n = 57 \text{ m}$$

maka :

$$T = 0,0488 \times 57^{0,75}$$

$$= 1,01 \text{ s}$$

Nilai C_u didapat dari tabel 14 SNI 03-1726-2012, untuk nilai $S_{DI} = 0,497$, maka :

$$C_u \times T = 1,4 \times 1,01 = 1,42 \text{ s}$$

Dari hasil analisis SAP 2000 didapat :

Tabel 6.3 Perioda dan Frekuensi Struktur

| Step Num | Period |
|-------------|-------------------|
| | Unitless Sec |
| 1 | 0.915 |
| 2 | 0.886 |
| 3 | 0.792 |
| 4 | 0.781 |
| 5 | 0.746 |
| 6 | 0.692 |
| 7 | 0.445 |
| 8 | 0.406 |
| 9 | 0.375 |
| 10 | 0.302 |
| 11 | 0.268 |
| 12 | 0.244 |

Dari tabel di atas didapat $T = 0,915$ s. Maka berdasarkan kontrol waktu getar alami fundamental nilai T masih lebih kecil dari $C_u \times T$. Jadi analisis struktur perkantoran MNC Tower masih memenuhi syarat SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.2

6.4.3 Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum

Berdasarkan SNI 03-1726-2012, nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 85% nilai respons statik. Rumus gaya geser statik adalah :

$$V = C_s \times W \quad (\text{SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.1})$$

Dimana :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,607}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,086$$

Nilai C_s di atas nilainya tidak perlu diambil lebih besar dari:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} = \frac{0,497}{1,65 \left(\frac{7}{1} \right)} = 0,043 < 0,086$$

Maka diambil $C_s = 0,043$

Dan tidak lebih kecil dari :

$$\begin{aligned} C_s &= 0,044 \times S_{DS} \times I_e \\ &= 0,044 \times 0,607 \times 1 \\ &= 0,027 < 0,043 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Maka nilai C_s diambil 0,086

Dari analisis yang sudah dilakukan, didapatkan nilai berat total struktur perkantoran MNC Tower adalah:

Tabel 6.4 Reaksi Dasar Struktur

| OutputCase Text | GlobalFX Kgf | GlobalFY Kgf | GlobalFZ Kgf |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1.4D | -2811.44 | -205027.44 | 25587685.88 |
| 1.2D+1.6L | -4143.93 | -229496.28 | 19333250.18 |
| 1.2D+1.0L+1.0EX | 228973.44 | -77558.48 | 20343252.19 |
| 1.2D+1.0L+1.0EX | -235960.71 | -341115.22 | 20272537.18 |
| 1.2D+1.0L+1.0EY | 78403.33 | 157637.27 | 20330915.52 |
| 1.2D+1.0L+1.0EY | -85390.6 | -576310.98 | 20284873.84 |
| 1.0D+1.0L | -3092 | -180047.22 | 16652510.98 |
| 0.9D+1.0EX | 230659.72 | -24.98 | 16484584.14 |
| 0.9D+1.0EX | -234274.43 | -263581.72 | 16413869.13 |
| 0.9D+1.0EY | 80089.61 | 235170.77 | 16472247.48 |
| 0.9D+1.0EY | -83704.32 | -498777.48 | 16426205.79 |

Dari tabel di atas didapat berat total struktur adalah 166525210,98 kg. Maka :

$$\begin{aligned}
 V_{statik} &= C_s \times W \\
 &= 0,086 \times 166525210,98 \\
 &= 1432115,944 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Dari hasil analisis menggunakan program SAP 2000 didapatkan nilai gaya geser dasar (base shear) sebagai berikut :

Tabel 6.5 Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa

| Beban Gempa | Global FX | Global FY |
|--------------------|------------------|------------------|
| Text | Kgf | Kgf |
| GEMPA X | 232467.08 | 131778.37 |
| GEMPA Y | 81896.96 | 366974.13 |

Kontrol :

- Untuk gempa arah X :

$$V_{dinamik} \geq 85\% V_{Statik}$$

$$232467,08 \geq 85\% \times 1432115,94$$

$$232467,08 \geq 1217299 \text{ kg (Not OK)}$$

- Untuk gempa arah Y :

$$V_{dinamik} \geq 85\% V_{Statik}$$

$$366974,13 \geq 85\% \times 1432115,94$$

$$366974,13 \geq 1217299 \text{ kg (Not OK)}$$

Dari kontrol di atas, analisis perkantoran MNC Tower masih belum memenuhi syarat nilai akhir respon. Pada Pasal 11.1.4 SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.4.2 dijelaskan apabila gaya geser dasar hasil analisis kurang dari 85%, maka harus diperbesar

dengan faktor skala $0,85 \times \frac{C_s \times W}{V}$

- Untuk gempa arah X :

$$0,85 \times \frac{0,086 \times 166525210,98}{232467,08} = 5,2$$

- Untuk gempa arah Y :

$$0,85 \times \frac{0,06 \times 166525210,98}{366974,13} = 3,3$$

Setelah dikali faktor skala di atas didapatkan gaya geser dasar sebagai berikut :

Tabel 6.6 Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa Setelah Dikalikan dengan Faktor Skala

| Beban Gempa | Global FX | Global FY |
|--------------------|------------------|------------------|
| Text | Kgf | Kgf |
| GEMPA X | 1232076 | 904738.94 |
| GEMPA Y | 570059.83 | 1371390.45 |

Kontrol :

- Untuk gempa arah X :

$$V_{dinamik} \geq 85\% V_{Statik}$$

$$1232076 \geq 85\% \times 1432115,94$$

$$1232076 \geq 1217299 \text{ kg (OK)}$$

- Untuk gempa arah Y :

$$V_{dinamik} \geq 85\% V_{Statik}$$

$$1371390,45 \geq 85\% \times 1432115,94$$

$$1371390,45 \geq 1217299 \text{ kg (OK)}$$

Dari kontrol di atas dapat disimpulkan bahwa analisis struktur perkantoran MNC Tower masih memenuhi persyaratan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8

6.4.4 Kontrol Batas Simpangan Antar Lantai (*Drift*)

Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni.

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.3 untuk memenuhi persyaratan simpangan digunakan rumus :

$$\Delta_i \leq \Delta_a$$

Dimana :

Δ_i = Simpangan yang terjadi

Δ_a = Simpangan ijin antar lantai

Perhitungan Δ_i untuk tingkat 1 :

$$\Delta_1 = \frac{C_d \times \delta_{e1}}{I}$$

Perhitungan Δ_i untuk tingkat 2 :

$$\Delta_2 = \delta_{e2} - \delta_{e1} \times \frac{C_d}{I}$$

Dimana :

δ_{e1} = Simpangan yang dihitung akibat beban gempa tingkat 1

δ_{e2} = Simpangan yang dihitung akibat beban gempa tingkat 2

C_d = Faktor pembesaran defleksi

I = Faktor keutamaan gedung

Untuk sistem rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah, dari tabel 9 SNI 03-1726-2012 didapatkan nilai $C_d = 4,5$ dan dari tabel 2 SNI 03-1726-2012 didapat nilai $I = 1$. Dari tabel 16 SNI 03-1726-2012 untuk sistem struktur yang lain simpangan antar tingkat ijinnya adalah :

$$\Delta_a = 0,02 \times h_{sx}$$

Dimana :

h_{sx} = Tinggi tingkat dibawah tingkat x

- Untuk tinggi tingkat 4 m, simpangan ijinnya adalah :

$$\begin{aligned} \Delta_a &= 0,02 \times 4 \\ &= 0,08 \text{ m} \\ &= 80 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Untuk tinggi tingkat 6 m, simpangan ijinnya adalah :

$$\begin{aligned} \Delta_a &= 0,02 \times 6 \\ &= 0,12 \text{ m} \\ &= 120 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Untuk tinggi tingkat 5 m, simpangan ijinnya adalah :

$$\Delta_a = 0,02 \times 5$$

$$= 0,10 \text{ m}$$

$$= 100 \text{ mm}$$

- Untuk tinggi tingkat 3 m, simpangan ijinnya adalah :

$$\Delta_a = 0,02 \times 3$$

$$= 0,06 \text{ m}$$

$$= 60 \text{ mm}$$

- Untuk tinggi tingkat 5 m, simpangan ijinnya adalah :

$$\Delta_a = 0,02 \times 1,5$$

$$= 0,03 \text{ m}$$

$$= 30 \text{ mm}$$

Dari analisis akibat beban lateral (beban gempa) dengan program SAP 2000, diperoleh nilai simpangan yang terjadi pada struktur yaitu sebagai berikut :

Tabel 6.7 Simpangan Antar Lantai Yang Terjadi Akibat Beban

| Lantai | Tinggi Lantai | Gempa Arah X | | Gempa Arah Y | |
|------------|---------------|--------------|--------|--------------|--------|
| | Zi (m) | Simpangan | | Simpangan | |
| | | X (mm) | Y (mm) | X (mm) | Y (mm) |
| Atap | 52.5 | 47.49 | 18.13 | 17.16 | 49.21 |
| 12 | 47.5 | 45.95 | 16.97 | 16.59 | 46.053 |
| 11 | 43.5 | 44.18 | 15.92 | 15.958 | 43.2 |
| 10 | 39.5 | 41.81 | 14.73 | 15.09 | 39.97 |
| 9 | 35.5 | 38.84 | 13.4 | 14.026 | 36.39 |
| 8 | 31.5 | 35.66 | 12.03 | 12.87 | 32.633 |
| 7 | 27.5 | 32.06 | 10.54 | 11.571 | 28.645 |
| 6 | 23.5 | 28.03 | 8.99 | 10.11 | 24.25 |
| 5 | 19.5 | 23.6 | 7.37 | 8.5 | 20.08 |
| 4 | 15.5 | 19.06 | 5.76 | 6.87 | 15.7 |
| 3 | 11.5 | 14.18 | 4.12 | 5.11 | 11.24 |
| 2 | 7.5 | 8.93 | 2.49 | 3.22 | 6.81 |
| 1 | 1.5 | 1.07 | 0.41 | 0.387 | 1.11 |
| 0 | 0 | 0.17 | 0.11 | 0.062 | 0.31 |
| Basement 1 | -1.5 | 0.083 | 0.059 | 0.029 | 0.162 |
| Basement 2 | -4.5 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabel 6.8 Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah X

| Lantai | Tinggi Lantai | | Gempa Arah X | | | Ket |
|------------|----------------|---------|----------------------|---------------------|---------------------|-----|
| | Z _i | Δ (mm) | Simpangan Arah X | | | |
| | | | δ _{ei} (mm) | δ _i (mm) | Δ _a (mm) | |
| Atap | 52.5 | 47.49 | 1.540 | 3.850 | 100 | OK |
| 12 | 47.5 | 45.95 | 1.765 | 4.413 | 80 | OK |
| 11 | 43.5 | 44.1849 | 2.375 | 5.937 | 80 | OK |
| 10 | 39.5 | 41.81 | 2.970 | 7.425 | 80 | OK |
| 9 | 35.5 | 38.84 | 3.180 | 7.950 | 80 | OK |
| 8 | 31.5 | 35.66 | 3.600 | 9.000 | 80 | OK |
| 7 | 27.5 | 32.06 | 4.030 | 10.075 | 80 | OK |
| 6 | 23.5 | 28.03 | 4.430 | 11.075 | 80 | OK |
| 5 | 19.5 | 23.6 | 4.540 | 11.350 | 80 | OK |
| 4 | 15.5 | 19.06 | 4.880 | 12.200 | 80 | OK |
| 3 | 11.5 | 14.18 | 5.250 | 13.125 | 80 | OK |
| 2 | 7.5 | 8.93 | 7.860 | 19.650 | 120 | OK |
| 1 | 1.5 | 1.07 | 0.900 | 2.250 | 30 | OK |
| 0 | 0 | 0.17 | 0.087 | 0.218 | 0 | OK |
| Basement 1 | -1.5 | 0.083 | 0.083 | 0.208 | 30 | OK |
| Basement 2 | -4.5 | 0 | 0.000 | 0.000 | 60 | OK |

Tabel 6.9 Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah Y

| Lantai | Tinggi Lantai | Gempa Arah X | | | | Ket |
|------------|---------------|------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-----|
| | Zi (m) | Simpangan Arah Y | | | | |
| | | Δ (mm) | δ_{ei} (mm) | δ_i (mm) | Δa (mm) | |
| Atap | 52.5 | 18.13 | 1.160 | 2.900 | 100 | OK |
| 12 | 47.5 | 16.97 | 1.050 | 2.625 | 80 | OK |
| 11 | 43.5 | 15.92 | 1.190 | 2.975 | 80 | OK |
| 10 | 39.5 | 14.73 | 1.330 | 3.325 | 80 | OK |
| 9 | 35.5 | 13.4 | 1.370 | 3.425 | 80 | OK |
| 8 | 31.5 | 12.03 | 1.490 | 3.725 | 80 | OK |
| 7 | 27.5 | 10.54 | 1.550 | 3.875 | 80 | OK |
| 6 | 23.5 | 8.99 | 1.620 | 4.050 | 80 | OK |
| 5 | 19.5 | 7.37 | 1.610 | 4.025 | 80 | OK |
| 4 | 15.5 | 5.76 | 1.640 | 4.100 | 80 | OK |
| 3 | 11.5 | 4.12 | 1.630 | 4.075 | 80 | OK |
| 2 | 7.5 | 2.49 | 2.080 | 5.200 | 120 | OK |
| 1 | 1.5 | 0.41 | 0.300 | 0.750 | 30 | OK |
| 0 | 0 | 0.11 | 0.051 | 0.128 | 0 | OK |
| Basement 1 | -1.5 | 0.059 | 0.059 | 0.148 | 30 | OK |
| Basement 2 | -4.5 | 0 | 0.000 | 0.000 | 60 | OK |

Tabel 6.10 Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah

| Lantai | Tinggi Lantai | Gempa Arah Y | | | | Ket |
|------------|---------------|------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|-----|
| | Zi | Simpangan Arah X | | | | |
| | (m) | Δ (mm) | δ_{ei} (mm) | δ_{i} (mm) | Δa (mm) | |
| Atap | 52.5 | 17.16 | 0.57 | 1.43 | 100 | OK |
| 12 | 47.5 | 16.59 | 0.63 | 1.58 | 80 | OK |
| 11 | 43.5 | 15.958 | 0.87 | 2.17 | 80 | OK |
| 10 | 39.5 | 15.09 | 1.06 | 2.66 | 80 | OK |
| 9 | 35.5 | 14.026 | 1.16 | 2.89 | 80 | OK |
| 8 | 31.5 | 12.87 | 1.30 | 3.25 | 80 | OK |
| 7 | 27.5 | 11.571 | 1.46 | 3.65 | 80 | OK |
| 6 | 23.5 | 10.11 | 1.61 | 4.03 | 80 | OK |
| 5 | 19.5 | 8.5 | 1.63 | 4.08 | 80 | OK |
| 4 | 15.5 | 6.87 | 1.76 | 4.40 | 80 | OK |
| 3 | 11.5 | 5.11 | 1.89 | 4.73 | 80 | OK |
| 2 | 7.5 | 3.22 | 2.83 | 7.08 | 120 | OK |
| 1 | 1.5 | 0.387 | 0.33 | 0.81 | 30 | OK |
| 0 | 0 | 0.062 | 0.03 | 0.08 | 0 | OK |
| Basement 1 | -1.5 | 0.029 | 0.03 | 0.07 | 30 | OK |
| Basement 2 | -4.5 | 0 | 0.00 | 0.00 | 60 | OK |

Tabel 6.11 Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah

| Lantai | Tinggi Lantai Zi (m) | Gempa Arah Y | | | | Ket |
|------------|----------------------------|------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-----|
| | | Simpangan Arah Y | | | | |
| | | Δ (mm) | δ_{ei} (mm) | δ_i (mm) | Δa (mm) | |
| Atap | 52.5 | 49.21 | 3.16 | 7.89 | 100 | OK |
| 12 | 47.5 | 46.053 | 2.85 | 7.13 | 80 | OK |
| 11 | 43.5 | 43.2 | 3.23 | 8.08 | 80 | OK |
| 10 | 39.5 | 39.97 | 3.58 | 8.95 | 80 | OK |
| 9 | 35.5 | 36.39 | 3.76 | 9.39 | 80 | OK |
| 8 | 31.5 | 32.633 | 3.99 | 9.97 | 80 | OK |
| 7 | 27.5 | 28.645 | 4.40 | 10.99 | 80 | OK |
| 6 | 23.5 | 24.25 | 4.17 | 10.43 | 80 | OK |
| 5 | 19.5 | 20.08 | 4.38 | 10.95 | 80 | OK |
| 4 | 15.5 | 15.7 | 4.46 | 11.15 | 80 | OK |
| 3 | 11.5 | 11.24 | 4.43 | 11.08 | 80 | OK |
| 2 | 7.5 | 6.81 | 5.70 | 14.25 | 120 | OK |
| 1 | 1.5 | 1.11 | 0.80 | 2.00 | 30 | OK |
| 0 | 0 | 0.31 | 0.15 | 0.37 | 0 | OK |
| Basement 1 | -1.5 | 0.162 | 0.16 | 0.41 | 30 | OK |
| Basement 2 | -4.5 | 0 | 0.00 | 0.00 | 60 | OK |

Dari hasil kontrol tabel di atas maka analisis struktur perkantoran MNC Tower memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.3 dan Pasal 7.12.1.

6.4.5 Kontrol Sistem Ganda

Untuk system ganda, rangka pemikul momen khusus harus mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa desain. Tahanan gaya gempa total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka bresing, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya.

Tabel 6.12 Persentase Gaya Geser yang Mampu Dipikul Sistem Struktur

| Pemikul gaya geser | Arah Y | % |
|---------------------------|---------------|------------|
| Dinding geser | 55362,31 | 70% |
| Sistem rangka | 25088,54 | 30% |
| total | 80450,85 | 100% |

Dari tabel perhitungan diatas, system ganda memenuhi

BAB VII

PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA

7.1 Umum

Struktur utama merupakan suatu komponen utama dimana kekakuannya mempengaruhi perilaku gedung tersebut. Struktur utama memiliki fungsi untuk menahan pembebanan yang berasal dari beban gravitasi dan beban lateral berupa beban gempa maupun beban angin. Komponen utama terdiri dari balok induk, kolom dan shearwall. Pada bab ini akan dibahas mengenai kekuatan struktur utama mencakup kebutuhan tulangan yang diperlukan pada komponen tersebut.

7.2 Perencanaan Balok Induk

Balok induk merupakan struktur utama yang memikul beban struktur sekunder dan meneruskan beban tersebut ke kolom. Didalam preliminary desain gedung perkantoran MNC Tower Surabaya direncanakan dimensi balok induk sebesar 60/80 dengan panjang bentang 780 cm dengan menggunakan sistem pracetak. Maka dari itu, penulangan lentur balok induk dihitung dalam dua kondisi, yaitu sebelum komposit dan setelah komposit. Dengan adanya dua kondisi tersebut nantinya akan dipilih tulangan yang lebih kritis untuk digunakan pada penulangan balok induk.

7.2.1 Data Perencanaan

Data perencanaan yang diperlukan meliputi :

- Mutu beton (f_c') = 30 MPa
- Mutu baja (f_y) = 420 MPa
- Dimensi balok = 60/80 cm
- Diameter tulangan longitudinal = 22 mm
- Diameter tulangan sengkang = 13 mm

7.2.2 Penulangan Lentur Balok Induk Melintang Sebelum Komposit

Balok pracetak pada saat sebelum komposit dihitung sebagai balok sederhana pada tumpuan dua sendi. Pembebanan pada balok induk sebelum komposit konsepnya sama dengan pembebanan balok induk sesudah komposit yang telah dihitung sebelumnya. Perhitungan untuk pembebanan merata pada balok induk menggunakan konsep menggunakan konsep tributari area. Berikut ini merupakan beban merata (q) yang terjadi pada balok :

Beban mati

$$\text{Berat sendiri pelat pracetak} = 0,08 \times 2400 = 192 \text{ kg/m}^2$$

Beban hidup

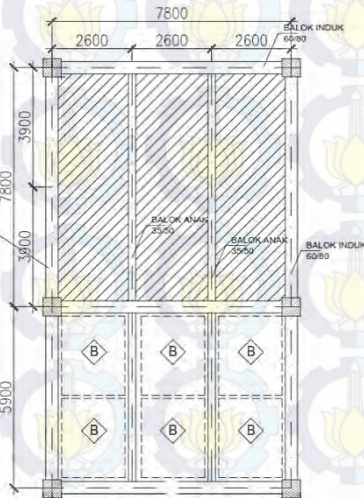
$$\text{Beban pekerja} = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Dimensi balok induk sebelum komposit} = 60/66$$

$$\text{Bentang balok induk} = 7,8 \text{ meter}$$

a) Pelat dalam kondisi sebelum terdapat overtopping

Pada kondisi komposit, beban yang dihitung hanyalah menerima beban mati dan beban hidup dari pelat pracetak, balok anak, serta berat dari balok induk itu sendiri.



Gambar 7.1 Detail pembalokan A

Beban pada balok anak

$$L_x = 390 - \left(\frac{60}{2}\right) = 360\text{cm}$$

$$l_y = 260 - \left(\frac{60}{2} + \frac{35}{2}\right) = 212,5\text{cm}$$

▪ **Beban mati**

$$\text{Berat balok anak} = 0,35 \times 0,36 \times 2400 = 302,4 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat ekuivalen} = 2 \times \frac{1}{2} \times q \times l_x \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \frac{l_x}{2l_y}\right)$$

$$= 2 \times \frac{1}{2} \times 192 \times 3,6 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \frac{3,6}{2 \times 2,125}\right)$$

$$= 496,038 \text{ kg/m}$$

$$\text{Total beban mati balok anak} = 302,4 + 496,038 = 798,438 \text{ kg/m}$$

▪ **Beban hidup**

$$\text{Berat ekuivalen pelat} = 2 \times \frac{1}{2} \times q \times l_x \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \frac{l_x}{2l_y}\right)$$

$$=$$

$$2 \times \frac{1}{2} \times 200 \times 3,6 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \frac{3,6}{2 \times 2,125}\right)$$

$$= 516,706 \text{ kg/m}$$

$$Q_u = 1,2 D + 1,6 L$$

$$= 1,2 (496,038) + 1,6 (516,706) = 1784,866 \text{ kg/m}$$

Kemudian berat total dari balok anak ini dijadikan sebagai beban terpusat (P_D) pada saat pembebanan balok induk.

$$P_u = 1784,866 \text{ kg/m} \times 7,8 \text{ m} = 13921,866 \text{ kg}$$

Beban pada balok induk

Beban yang terjadi pada balok induk adalah berat sendiri balok induk dan berat ekuivalen pelat.

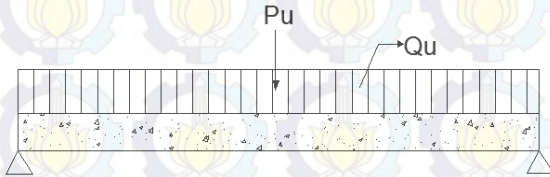
$$\text{Berat balok induk} = 0,6 \times 0,66 \times 2400 = 950,4 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat ekivalen pelat} &= 2 \times \frac{1}{4} \times q \times l_x \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times 192 \times 3,6 \\ &= 345,6 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

Total beban mati balok anak = 950,4 + 345,6 = 1296 kg/m

$$\begin{aligned}Q_u &= 1,2D \\ &= 1,2 \times 1296 \\ &= 1555,2 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat digambarkan pembebanan pada balok induk sebelum komposit dalam gambar 7.3 berikut :



Gambar 7.2 Pembebanan balok induk sebelum komposit

$$\begin{aligned}M_u &= \left(\frac{1}{8} \times Q_u \times L^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times P_u \times L \right) \\ &= \left(\frac{1}{8} \times 1555,2 \times 7,8^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times 13921,866 \times 7,8 \right) \\ &= 66122,6 \text{ kgm}\end{aligned}$$

b) Pelat dalam kondisi terdapat overtopping, tidak terdapat beban kerja
Beban mati

Pelat :

$$\text{Berat sendiri pelat pracetak} = 0,08 \times 2400 = 192 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Overtopping} &= 0,06 \times 2400 = 144 \text{ kg/m}^2 + \\ &= 336 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\text{Dimensi balok induk sebelum komposit} = 60/66$$

Bentang balok induk = 7,8 meter

Pada kondisi sebelum komposit, balok hanya menerima beban mati dari pelat pracetak, overtopping dan balok anak serta berat balok induk sendiri.

Beban pada balok anak

▪ Beban mati

$$\text{Berat balok anak} = 0,3 \times 0,36 \times 2400 = 259,2 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat ekuivalen} = 2 \times \frac{1}{2} \times q \times l_x \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \frac{l_x}{2l_y} \right)$$

$$= 2 \times \frac{1}{2} \times 336 \times 3,6 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \frac{3,6}{2 \times 2,125} \right)$$

$$= 868,066 \text{ kg/m}$$

$$\text{Total beban mati balok anak} = 259,2 + 868,066 = 1127,27 \text{ kg/m}$$

$$Q_u = 1,2D$$

$$= 1,2 \times 1127,27$$

$$= 1352,719 \text{ kg/m}$$

Kemudian berat total dari balok anak ini dijadikan sebagai beban terpusat (P_D) pada saat pembebanan balok induk.

$$P_u = 1352,719 \text{ kg/m} \times 7,8 \text{ m} = 10551,209 \text{ kg}$$

Beban pada balok induk

Beban yang terjadi pada balok induk adalah berat sendiri balok induk dan berat ekuivalen pelat.

$$\text{Berat balok induk} = 0,6 \times 0,66 \times 2400 = 950,4 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat ekuivalen pelat} = 2 \times \frac{1}{4} \times q \times l_x$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \times 336 \times 3,6$$

$$= 604,8 \text{ kg/m}$$

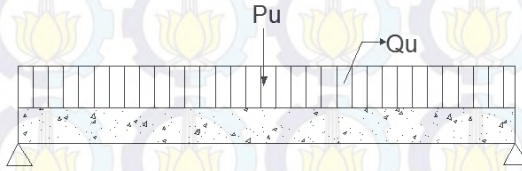
$$\text{Total beban mati balok anak} = 950,4 + 604,8 = 1555,2 \text{ kg/m}$$

$$Q_u = 1,2D$$

$$= 1,2 \times 1555,2$$

$$= 1866,24 \text{ kg/m}$$

Dari perhitungan diatas dapat digambarkan pembebanan pada balok induk sebelum komposit dalam gambar 7.4 berikut :



Gambar 7.3 Pembebanan balok induk sebelum komposit

$$\begin{aligned} Mu &= \left(\frac{1}{8} \times Qu \times L^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times Pu \times L \right) \\ &= \left(\frac{1}{8} \times 1866,24 \times 7,8^2 \right) + \left(\frac{1}{2} \times 10551,209 \times 7,8 \right) \\ &= 55342,5 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Jadi, momen (M_u) yang akan dipakai dalam perhitungan tulangan lentur balok induk sebelum komposit adalah 55342,5 kgm.

c) Perhitungan Tulangan Lentur



Data Perencanaan

Dimensi Balok Induk = 60/80

Bentang Balok Induk = 7,8 m

Diameter Tulangan utama = 22 mm

Diameter Sengkang = 13 mm

ρ_{\max} = 0,025

ρ_{\min} = 0,0036

$b = 600 \text{ mm}$

$dx = 800 - 40 - 13 - (0,5 \times 22) = 596 \text{ mm}$

$M_u = 55342,5 \text{ kgm}$

Karena perletakan sebelum komposit dianggap sendi maka momennya adalah nol, namun tetap diberi

penulangan tumpuan sebesar setengah dari penulangan lapangan.

➤ Penulangan Tumpuan

$$R_n = \frac{M_n}{0,8 \times b \times d^2} = \frac{55342,5}{0,8 \times 500 \times 596^2} = 3,246$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 3,246}{390}} \right) = 0,0089$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0089 > \rho_{\text{min}} = 0,0036$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0089 \times 600 \times 596 = 3194,377 \text{ mm}^2$$

➤ Digunakan **9 D22 mm** ($A_s = 3419,46 \text{ mm}^2$)

➤ Tulangan tekan

$$A_{s'} = 0,5 \times A_{s_{\text{perlu}}} = 0,5 \times 3419,46$$

$$= 1709,73 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan tekan **5 D22** ($A_{s'} = 1899,7 \text{ mm}^2$)

7.2.3 Penulangan Lentur Balok Induk Melintang Interior Setelah Komposit

Perencanaan balok induk didesain dengan menggunakan tulangan rangkap dimana untuk merencanakan tulangan lentur diperhitungkan gaya gempa arah bolak balik (kiri-kanan) yang akan menghasilkan momen positif dan negatif pada tumpuan.

Hasil perencanaan tulangan yang nantinya akan digunakan merupakan kombinasi dari perencanaan bertahap tersebut dengan mengambil jumlah tulangan yang terbesar.

Data - data yang akan digunakan dalam merencanakan balok induk pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

Mutu beton ($f'c$) = 30 MPa

Mutu baj (f_y) tulangan = 390 MPa

Dimensi balok induk = 60/80 cm

Panjang balok induk = 7,8 m

Tebal *decking* = 40 mm

Diameter tulangan utama = 22 mm

Diameter sengkang = 13 mm

$b = 600$ mm

$d = 800 - 40 - 13 - (0,5 \times 22) = 736$ mm

$d' = 40 + 13 + (0,5 \times 22) = 64$ mm

Dari perhitungan pada bab sebelumnya didapatkan :

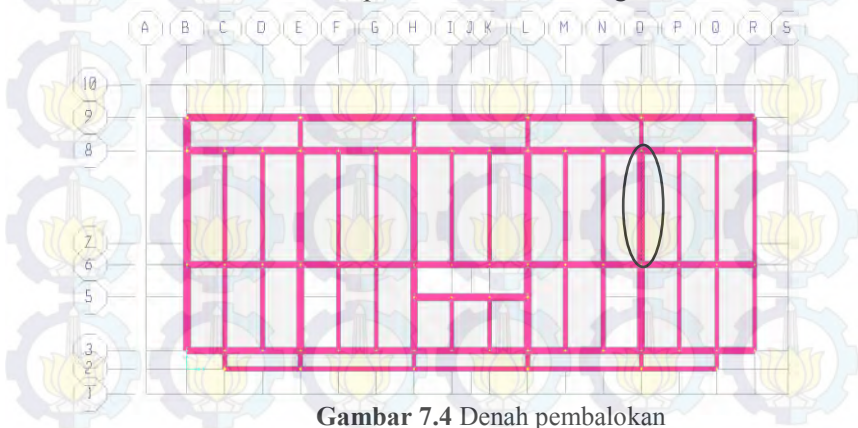
$\rho_{\text{balance}} = 0,013$

$\rho_{\text{max}} = 0,025$

$\rho_{\text{min}} = 0,0036$

$m = 15,29$

Dari analisa SAP2000 didapat nilai momen sebagai berikut :



Gambar 7.4 Denah pembalokan

M tumpuan kiri

= -202174971 Nmm

$$\begin{aligned} M \text{ tumpuan kanan} &= -122337525 \text{ Nmm} \\ M \text{ lapangan} &= +118380836,1 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

a. Perhitungan balok T beam

• Lebar efektif

$$be_1 = \frac{1}{4} \times Lb = \frac{1}{4} \times 780 = 195 \text{ cm}$$

$$be_2 = 8 \times tp = 8 \times 14 = 112 \text{ cm}$$

$$be_3 = \frac{1}{2} \times b = \frac{1}{2} \times 600 = 300 \text{ cm}$$

• Kontrol balok T

$$be = 1120 \text{ mm}$$

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times be}$$

$$= \frac{3419,46 \times 390}{0,85 \times 30 \times 1120}$$

$$= 46,694 \text{ mm}$$

$$C = \frac{a}{0,85} = \frac{46,694}{0,85} = 54,934 \text{ mm}$$

$$C < tf$$

$$54,934 \text{ mm} < 140 \text{ mm} \dots\dots \text{OK}$$

b. Pada tumpuan balok dianggap persegi

b.1. Tulangan tumpuan atas kiri

Direncanakan menggunakan tulangan D22

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

$$dx = 736 \text{ mm}$$

$$Mu = 202174971 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{0,8 \times b \times dx^2} = \frac{202174971}{0,8 \times 600 \times 736^2} = 0,78$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times f'c} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 0,78}{390}} \right) = 0,002$$

$$\rho' = \frac{M_u}{\phi \times f_y \times (d_x - d') \times b \times d_x}$$

$$= \frac{202174971}{0,8 \times 390 \times (736 - 64) \times 600 \times 736}$$

$$= 0,00219$$

$\rho_{\text{pakai}} = 0,002 + 0,00219 = 0,0042 > \rho_{\text{min}} = 0,0036$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0042 \times 600 \times 736 = 1856,72 \text{ mm}^2$$

Maka dipasang tulangan **6 D 22 ($A_s = 2280,8 \text{ mm}^2$)**

▪ Perhitungan tulangan tekan

Persyaratan SNI 03-2847-2013 pasal 21.10 menyatakan bahwa jumlah tulangan serat bawah tidak boleh kurang dari 1/3 tulangan atas atau minimal dipasang 2 buah tulangan.

- $n_{\text{bawah}} \geq 1/3 n_{\text{atas}}$
- $n_{\text{bawah}} \geq 1/3 \times 6$
- $n_{\text{bawah}} \geq 2$

ambil jumlah tulangan bawah = 3 buah, syarat > 2 buah

Maka untuk tulangan tekan (tulangan bawah) dipasang tulangan sejumlah **4 D 22 ($A_s' = 1140,4 \text{ mm}^2$)**

▪ Kontrol kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{2280,8}{600 \times 736} = 0,00516$$

$$a = \frac{A_{s\text{ada}} \times f_y}{0,85 \times b \times f'_c} = \frac{2280,8 \times 390}{0,85 \times 600 \times 30} = 58,138$$

$$\begin{aligned} \phi Mn &= \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 2280,8 \times 390 \times \left(736 - \frac{58,138}{2} \right) \\ &= 503058083 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi Mn > Mu$$

$$503058083 \text{ Nmm} > 202174971 \text{ Nmm}$$

(OK)

▪ Kontrol tulangan rangkap

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{2280,8}{600 \times 636} = 0,00516 > \rho_{\text{perlu}}$$

$$\rho' = \frac{A_{s'}}{b_w \times d} = \frac{1140,4}{600 \times 736} = 0,00258$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1 \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0,00258 \geq \frac{0,85 \times 30 \times 0,85 \times 64}{390 \times 736} \times \frac{600}{600 - 390}$$

$$0,00258 \leq 0,014 \text{ (Tulangan tekan belum leleh)}$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c \times d'}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right| \leq f_y$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{0,00258 \times 390} \times \frac{64}{736} \right| \leq 390$$

$$f'_s = |-1070,673| \geq 390 \text{ MPa (tulangan tekan dalam kondisi tarik)}$$

Maka diambil $f'_s = 390 \text{ MPa}$ (dalam kondisi tarik)

$$a = \frac{A_s \times f_y - A'_s \times f'_s}{0,85 \times b \times f'_c} = \frac{2280,8 \times 390 - 1140,4 \times 30}{0,85 \times 600 \times 30} = 29,07 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s \times f_y - A'_s \times f'_s) \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \times f'_s \times (d - d')$$

$$= (2280,8 \times 390 - 1140,4 \times 30) \times \left(636 - \frac{29,07}{2} \right) + 1140,4 \times 30 \times 672$$

$$= 619751134 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \times 619751134 \text{ Nmm}$$

$$= 495800907 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$495800907 > 202174971 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

b.2. Tulangan tumpuan atas kanan

Direncanakan menggunakan tulangan D22

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

$$d_x = 736 \text{ mm}$$

$$M_u = 122337525 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times b \times d_x^2} = \frac{122337525}{0,8 \times 600 \times 736^2} = 0,47$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 0,47}{390}} \right) = 0,0012$$

$$\rho' = \frac{M_u}{\phi \times f_y \times (d_x - d') \times b \times d_x}$$

$$= \frac{122337857}{0,8 \times 390 \times (736 - 64) \times 600 \times 736}$$

$$= 0,00132$$

$\rho_{\text{pakai}} = 0,012 + 0,00132 = 0,00325 < \rho_{\text{min}} = 0,0036$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0036 \times 600 \times 736 = 1589,76 \text{ mm}^2$$

Maka dipasang tulangan **6 D 22 ($A_s = 2280,8 \text{ mm}^2$)**

▪ Perhitungan tulangan tekan

Persyaratan SNI 03-2847-2013 pasal 21.10 menyatakan bahwa jumlah tulangan serat bawah tidak boleh kurang dari 1/3 tulangan atas atau minimal dipasang 2 buah tulangan.

- $n_{\text{bawah}} \geq 1/3 n_{\text{atas}}$
- $n_{\text{bawah}} \geq 1/3 \times 6$
- $n_{\text{bawah}} \geq 2$

ambil jumlah tulangan bawah = 3 buah, syarat > 2 buah

Maka untuk tulangan tekan (tulangan bawah) dipasang tulangan sejumlah **3 D 22 ($A_s' = 1140,4 \text{ mm}^2$)**

▪ Kontrol kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{2280,8}{600 \times 736} = 0,00516$$

$$a = \frac{A_s_{\text{ada}} \times f_y}{0,85 \times b \times f'c} = \frac{2280,8 \times 390}{0,85 \times 600 \times 30} = 69,765$$

$$\begin{aligned}\phi Mn &= \phi \times As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 2280,8 \times 390 \times \left(736 - \frac{69,765}{2} \right) \\ &= 498920937 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi Mn &> Mu \\ 498920937 \text{ Nmm} &> 122337525 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})\end{aligned}$$

▪ **Kontrol tulangan rangkap**

$$\rho = \frac{As}{b_w \times d} = \frac{2280,8}{600 \times 636} = 0,0052 > \rho_{\text{perlu}}$$

$$\rho' = \frac{As'}{b_w \times d} = \frac{1520,53}{600 \times 736} = 0,00258$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0,00258 \geq \frac{0,85 \times 30 \times 0,85 \times 64}{390 \times 736} \times \frac{600}{600 - 390}$$

$$0,00258 \leq 0,0138 \text{ (Tulangan tekan belum leleh)}$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times d'}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right| \leq f_y$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{0,00344 \times 390} \times \frac{64}{736} \right| \leq 390$$

$$f'_s = |-1070,673| \geq 390 \text{ MPa (tulangan tekan dalam kondisi tarik)}$$

Maka diambil $f'_s = 390 \text{ MPa}$ (dalam kondisi tarik)

$$a = \frac{As \times fy - A'_s \times f'_s}{0,85 \times b \times f'_c} = \frac{2280,8 \times 390 - 1520,53 \times 30}{0,85 \times 600 \times 30} = 29,068 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= (A_s \times f_y - A'_s \times f'_s) \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \times f'_s \times (d - d') \\
 &= (2280,8 \times 390 - 1520,53 \times 390) \times \left(636 - \frac{29,068}{2} \right) + 1520,53 \times 390 \times 672 \\
 &= 575275606 \text{ Nmm} \\
 \phi M_n &= 0,8 \times 57527606 \text{ Nmm} \\
 &= 460220485 \text{ Nmm} \\
 \phi M_n &> M_u \\
 460220485 &> 122337525 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

c. Pada lapangan balok dianggap sebagai balok T palsu

Penulangan lentur lapangan berdasarkan pada nilai momen yang terjadi di daerah lapangan. Besar momen lapangan yang terjadi di bagian balok melintang interior ialah sebesar $M_u = 118380836,2$ Nmm.

Sebelum kita lakukan analisa desain perencanaan untuk tulangan lapangan perlu dilakukan cek apakah balok pada daerah lapangan tergolong balok T atau bukan dengan perumusan sebagai berikut :

Tulangan lapangan bawah

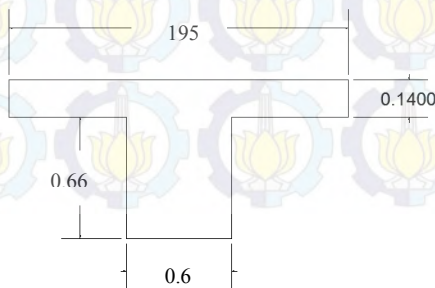
$$be_1 = \frac{1}{4} \times L_b = \frac{1}{4} \times 780 = 195 \text{ cm}$$

$$be_2 = b_w + 16t = 60 + (16 \times 14) = 284 \text{ cm}$$

$$be_3 = \frac{1}{2} \times (L_b - b_w) = \frac{1}{2} \times (780 - 60) = 360 \text{ cm}$$

$$b = be = 195 \text{ cm}$$

$$dx = 736 \text{ mm}$$



Gambar 7.5 Potongan Balok T

▪ **Tulangan Lapangan**

$$M_{\max} = 118380836,1 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{0,8 \times b \times dx^2} = \frac{118380836,1}{0,8 \times 600 \times 636^2} = 0,455$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 0,455}{390}} \right) = 0,00118 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho' &= \frac{Mn}{\phi \times fy(dx - d') \times b \times dx} \\ &= \frac{118380836,2}{0,8 \times 390 \times (736 - 64) \times 600 \times 736} \\ &= 0,00128 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,00118 + 0,00128 = 0,00245 < \rho_{\text{min}} = 0,0036$$

dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0036 \times 500 \times 636 = 1144,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan **6 D 22 ($A_s = 2280,8 \text{ mm}^2$)**

▪ **Perhitungan tulangan tekan**

Persyaratan SNI 03-2847-2013 pasal 21.10 menyatakan bahwa jumlah tulangan serat bawah tidak boleh kurang dari 1/3 tulangan atas atau minimal dipasang 2 buah tulangan.

- $n_{\text{bawah}} \geq 1/3 n_{\text{atas}}$
- $n_{\text{bawah}} \geq 1/3 \times 6$

➤ $n_{\text{bawah}} \geq 2$

ambil jumlah tulangan bawah = 3 buah, syarat > 2 buah

Maka untuk tulangan tekan (tulangan bawah) dipasang tulangan sejumlah **3 D 22** ($A_s' = 1140,389 \text{ mm}^2$)

▪ **Kontrol tulangan rangkap**

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{2280,8}{600 \times 636} = 0,00516 > \rho_{\text{perlu}}$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w \times d} = \frac{1140,389}{600 \times 636} = 0,0026$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0,0026 \geq \frac{0,85 \times 30 \times 0,85 \times 64}{390 \times 736} \times \frac{600}{600 - 390}$$

$$0,0026 \leq 0,013 \text{ (Tulangan tekan belum leleh)}$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times d'}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right| \leq f_y$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{0,0026 \times 390} \times \frac{64}{736} \right| \leq 390$$

$$f'_s = |-1070,673| \geq 390 \text{ MPa (tulangan tekan dalam kondisi tarik)}$$

Maka diambil $f'_s = 390 \text{ MPa}$ (dalam kondisi tarik)

$$a = \frac{A_s \times f_y - A_s' \times f'_s}{0,85 \times b \times f_c'} = \frac{2280,8 \times 390 - 1140,389 \times 30}{0,85 \times 600 \times 30} = 34,882 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s \times f_y - A'_s \times f'_s) \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \times f'_s \times (d - d')$$

$$= (2280,8 \times 390 - 1140,389 \times 390) \times \left(736 - \frac{34,882}{2} \right) + 1140,389 \times 390 \times 672$$

$$= 618458276 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \times 618458276 \text{ Nmm}$$

$$= 494766621 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$494766621 > 118380836,1 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

▪ **Cek Balok T Palsu**

$$T = A_s \times f_y$$

$$= 2280,8 \times 390$$

$$= 889510,544 \text{ N}$$

$$C = 0,85 \times f'_c \times b_e \times h_f$$

$$= 0,85 \times 30 \times 1950 \times 140 = 6961500 \text{ N}$$

Karena $C > T$, maka balok dianggap sebagai balok T palsu, berperilaku sebagai balok persegi dengan lebar b_e ,

$$a = \frac{A_s \text{ ada} \times f_y}{0,85 \times b_w \times f'_c} = \frac{2280,8 \times 390}{0,85 \times 600 \times 30} = 58,138 < t = 140 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{aktual}} = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{2280,84}{600 \times 736} = 0,00516 > \rho_{\text{min}} = 0,0036$$

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,8 \times 2280,8 \times 390 \times \left(736 - \frac{58,138}{2} \right)$$

$$= 503058886,1 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$503058886,1 > 118380836,1 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Hasil dari penulangan setelah komposit adalah sebagai berikut,

- Akibat momen tumpuan kiri
 - Tulangan atas = 6D22 ($A_s = 2280,8 \text{ mm}^2$)
 - Tulangan bawah = 3D22 ($A_s = 1140,4 \text{ mm}^2$)
- Akibat momen tumpuan kanan
 - Tulangan atas = 6D22 ($A_s = 2280,8 \text{ mm}^2$)
 - Tulangan bawah = 3D22 ($A_s = 1140,4 \text{ mm}^2$)
- Akibat momen lapangan
 - Tulangan atas = 6D22 ($A_s = 2280,8 \text{ mm}^2$)
 - Tulangan bawah = 3D22 ($A_s = 1140,4 \text{ mm}^2$)

Sehingga jumlah tulangan yang terpasang merupakan jumlah terbesar yang dihasilkan dari masing – masing nilai momen diatas maka,

$$\begin{aligned} \text{Tulangan atas} &= 6\text{D}22 \quad (A_s = 2280,8 \text{ mm}^2) \\ \text{Tulangan bawah} &= 4\text{D}22 \quad (A_s = 1520,53 \text{ mm}^2) \end{aligned}$$

d. Penulangan Geser dan Torsi

Sesuai peraturan SNI 03-2847-2013 bab 11 mengenai geser dan torsi, perencanaan tulangan geser dan torsi mengikuti kaidah berikut ini : Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh geser harus didasarkan pada perumusan :

$$\Phi V_n = V_u \quad (\text{SNI 03-2847-2013 Pasal 11.1})$$

Dengan V_u merupakan gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan V_n merupakan kuat geser nominal yang ditinjau dari :

$$V_n = V_c + V_s$$

Dimana :

V_u = Geser pada terfaktor penampang yang ditinjau

Φ = Faktor reduksi geser (0.75)

V_n = Kuat Geser nominal

V_c = Kuat geser beton

V_s = Kuat Geser nominal tulangan geser

Sedangkan untuk perencanaan penampang yang diakibatkan oleh torsi harus didasarkan pada perumusan sebagai berikut :

$\Phi T_n = T_u$ (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.5)

Tulangan sengkang untuk torsi harus direncanakan berdasarkan (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.6) sesuai persamaan berikut :

$$T_n = \frac{2A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta$$

Dimana :

T_n = Kuat momen torsi ($T_c + T_s > T_{umin}$)

T_s = Kuat momen torsi nominal tulangan geser

T_c = Kuat torsi nominal yang disumbngkan oleh beton

A_o = Luas bruto yang ditasi oleh lintasan aliran geser, mm

A_t = Luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan puntir dalam daerah sejarak s , mm²

F_{yv} = kuat leleh tulangan sengkang torsi, Mpa

s = Spasi tulangan geser atau puntir dalam arah paralel dengan tulangan longitudinal

Sesuai peraturan (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.1) pengaruh torsi balok diabaikan bila momen torsi terfaktor T_u kurang dari :

$$\phi 0,33 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

Dimana :

ϕ = Faktor reduksi kekuatan

f'_c = Kuat tekan beton, Mpa

A_{cp} = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton, mm²

P_{cp} = Keliling luar penampang beton, mm²

e. Perhitungan Penulangan Torsi

Data perencanaan :

Dimensi Balok Induk = 600/800 mm

T_u = 1157620,07 Nmm

Pada kasus ini balok induk termasuk torsi kompatibilitas dimana dapat terjadi redistribusi puntir sehingga berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.2.2 (a) maka momen puntir terfaktor maksimum dapat direduksi sesuai persamaan berikut :

$$T_u < \phi \frac{\sqrt{f'_c}}{12} \left(\frac{A^2_{cp}}{P_{cp}} \right)$$

$$1157620,07 < 0,75 \times \frac{\sqrt{30}}{12} \left(\frac{(500 \times 700)^2}{(500 + 700) \times 2} \right)$$

$$1157620,07 < 28168588,67 \text{ Nmm}$$

Dengan demikian Tulangan Torsi diabaikan.

▪ Penulangan Geser Balok Balok Induk Interior 7,8 meter

Penulangan geser balok induk didasarkan pada SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.3 dimana nilai gaya geser rencana (yang digunakan untuk perencanaan desain) bukan hanya pada gaya geser yang terjadi, tetapi harus memenuhi persyaratan yang ada sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.3.

- Jumlah gaya lintang yang terjadi akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan akibat beban gravitasi terfaktor.
- Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk beban gempa dimana nilai beban gempa diambil sebesar dua kali lipat nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahan gempa.

Dari perhitungan sebelumnya didapatkan penulangan tumpuan dan lapangan untuk balok dengan bentang 7,8 meter digambarkan dalam gambar 7.6 berikut ini



Gambar 7.6 Penulangan balok bentang 7,8 meter

Perumusan perhitungan gaya lintang pada balok

$$V_u = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} + \frac{W_u \times l_n}{2}$$

Dari persyaratan yang telah ditetapkan di atas maka besarnya gaya geser rencana dilakukan dengan membandingkan nilai momen nominal ujung balok (pada muka kolom) ditambah dengan gaya geser beban gravitasi berfaktor.

▪ Perhitungan Penulangan Geser Balok Induk Bentang 7,8 meter

Nilai momen nominal maksimum dari cek momen tulangan nominal terpasang dengan asumsi tumpuan kiri dan kanan memiliki jumlah tulangan yang sama. Menurut SNI 2847-2013 pasal 21.6.5.1 persamaan yang digunakan dalam menghitung tulangan geser adalah sebagai berikut :

$$M_{pr} = A_s \times 1,25 \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

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

Tabel 7.1 Nilai Mpr balok induk interior

| LOKASI | | Tul. Pasang | As perlu | a (mm) | Mpr (kNm) | |
|---------|-------|-------------|----------|---------|-----------|--------|
| Tumpuan | KIRI | ATAS | 6 | 1856,72 | 50,65 | 639,42 |
| | | BAWAH | 3 | 794,88 | 25,33 | 280,30 |
| | KANAN | ATAS | 6 | 1589,76 | 50,65 | 550,78 |
| | | BAWAH | 3 | 794,88 | 25,33 | 280,30 |

$$Mpr_1 = 550,78 \text{ kNm}$$

$$Mpr_2 = 280,30 \text{ kNm}$$

$$l_n = 7,8 \text{ m}$$

$$W_u = 71,634 \text{ KN/m (distribusi beban segitiga dan trapesium)}$$

➤ Analisa terhadap gempa kiri

$$V_u = \frac{550,78 + 280,30}{7,8} - \frac{71,634 \times 7,8}{2}$$

$$V_u = -172,82 \text{ kN}$$

$$V_u = \frac{550,78 + 280,30}{7,8} + \frac{71,634 \times 7,8}{2}$$

$$V_u = 385,920 \text{ kN}$$

➤ Analisa terhadap gempa kanan

$$V_u = \frac{550,78 + 280,30}{7,8} - \frac{71,634 \times 7,8}{2}$$

$$V_u = -172,82 \text{ kN}$$

$$V_u = \frac{550,78 + 280,30}{7,8} + \frac{71,634 \times 7,8}{2}$$

$$V_u = 385,920 \text{ kN}$$

Hasil dari SAP 2000 dengan nilai $V_u = 148,763 \text{ kN}$, sehingga nilai V_u yang menentukan ialah $385,92 \text{ kN}$

f. Pemasangan sengkang daerah sendi plastis

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.4.2 bahwa tulangan transversal untuk memikul geser dengan menganggap $V_c = 0$, apabila:

1. $M_{pr} > 0,5 \times \text{Total geser kombinasi gempa dan gravitasi}$
 $(550,78+280,30)/4 > 0,5 \times 385,92 \text{ kN}$
 $207,77 > 192,96 \quad \dots \text{ (OK)}$
2. Gaya Aksial Tekan $< 0,2 \times A_g \times f_c'$
 $14469,35 \text{ kg} < 84000 \quad \dots \text{ (OK)}$

Karena Gaya aksial terlalu kecil maka persyaratan memenuhi :

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \times b_w \times d$$

$$= 0,75 \frac{\sqrt{30}}{6} \times 600 \times 736$$

$$= 403124 \text{ N} = 403,124 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{385,92}{0,75} - 403,124 = 111,437 \text{ kN}$$

Rencanakan tulangan geser $2\phi 13 \text{ mm}$ ($A_v = 265,33 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_v \times f_y \times b}{V_s} = \frac{265,3 \times 390 \times 736}{111437} = 600 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.2 bahwa syarat jarak antar sengkang untuk sendi plastis tidak boleh melebihi :

1. $d/4 = 736/4 = 184 \text{ mm}$
2. $6 \times D = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$
3. 150 mm

Dari Syarat diatas maka diambil jarak antar sengkang dengan hoop pertama = 150 mm .

Sehingga nilai kuat geser diperoleh sebagai berikut :

$$V_s = \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{265,3 \times 390 \times 736}{150} = 507678,08 \text{ N}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 507678,08 = 380758,56 \text{ N}$$

$$\phi(V_c + V_s) = 0,75 \times (403,124 + 380,759) = 587,912 \text{ N} > 380,759 \text{ N}$$

Senggang yang dipasang $2\phi 13$ mm sejarak 150 mm dengan ketentuan dan syarat sebagai berikut mengacu pada SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 sebagai berikut :

- S_{\max} sepanjang sendi plastis di ujung balok $2h = 2 \times 800 = 1600$ mm
- Senggang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan

Kontrol kuat geser balok induk interior tidak boleh lebih besar dari syarat SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.7.9

$$V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times bw \times d \times \sqrt{f'c} = \frac{2}{3} \times 600 \times 736 \times \sqrt{30}$$

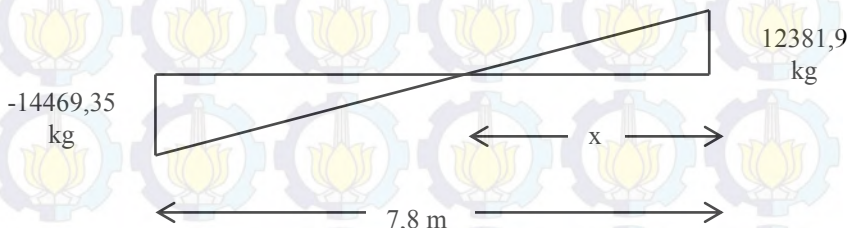
$$= 1596370,26 \text{ N} = 1596,37 \text{ kN}$$

$1596,37 \text{ kN} > 380,758 \text{ kN}$

Sehingga senggang $2\phi 13 - 150$ dapat digunakan

g. Pemasangan senggang diluar sendi plastis

Pemasangan tulangan senggang di luar daerah sendi plastis dimulai dari 1600 mm dari ujung balok dimana gaya geser yang digunakan merupakan gaya geser dari hasil analisa struktur dengan besar beban gempa dan memperhitungkan pula kuat geser yang disumbangkan oleh beton.



Gambar 7.7 Penentuan jarak x diluar sendi plastis

Persamaan segitiga untuk mencari jarak x

$$\frac{x}{7,8 - x} = \frac{12381,9}{14469,35}$$

$$14469,35 x = 96579 - 12382 x$$

$$26851,24 x = 96579$$

$$x = 3,6 \text{ m}$$

V_u pada jarak = 1600 mm dari tumpuan

$$\frac{3,6}{3,6 - 1,6} = \frac{12381,9}{x}$$

$$3,6 x = 24724,3$$

$$3,6 x = 24724,3$$

$$x = 6873,94 \text{ kg}$$

$V_u = 6873,94 \text{ kg}$ pada jarak 1600 mm

$$V_s = \frac{V_u}{\phi}$$

$$V_s = \frac{6873,94}{0,75}$$

$$V_s = 9165,257 \text{ kg}$$

Jika dipakai begel 2 kaki dengan $\phi 13$ ($A_v = 265,3 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_v \times f_y \times b}{V_s} = \frac{265,3 \times 390 \times 736}{916,53} = 293 \text{ mm}$$

Syarat pemasangan begel di luar sendi plastis berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.4 :

$$\frac{1}{2} \times d = \frac{1}{2} \times 736 = 368 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

Jadi dipasang begel 2 $\phi 13 - 300 \text{ mm}$ sebanyak :

$$L_n = 7800 - 2 \times 0,5 \times 600 = 7200 \text{ mm}$$

$$\frac{L_n - 4 \times h}{s} + 1 = \frac{7200 - 4 \times 800}{300} + 1 = 14,3 \approx 15 \text{ buah}$$

tengah balok

h. Kontrol lendutan

Komponen struktur beton yang mengalami lentur harus dirancang agar memiliki kekakuan cukup untuk batas deformasi yang akan memperlemah kemampuan layan struktur saat bekerja. Sesuai SNI 03-2847-2013 tabel 9.5(a), syarat tebal minimum balok apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut :

Balok dengan dua tumpuan

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times L_b$$

Lendutan tidak perlu dihitung sebab sejak preliminary design telah direncanakan agar tinggi dari masing-masing tipe balok lebih besar dari persyaratan h_{\min}

i. Kontrol retak

Distribusi tulangan lentur harus diatur sedemikian hingga untuk membatasi retak lentur yang terjadi, bila tegangan leleh rencana f_y untuk tulangan tarik melebihi 300 MPa, penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus diproporsikan sedemikian hingga nilai Z yang diberikan oleh :

$$Z = f_s \times \sqrt{d_c \times A} \quad \text{SNI 03-2847-2013 pasal 10.6.4}$$

Tidak melebihi 30 MN/m untuk penampang didalam ruangan

f_s = tegangan dalam tulangan yang dihitung pada beban kerja, f_s dapat diambil $0,6 f_y$

$$f_s = 0,6 \times 390 \text{ Mpa} = 234 \text{ Mpa}$$

d_c = tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan (decking + $\frac{1}{2}$ jari-jari tulangan)

$$d_c = 40 + 13 + \frac{1}{2} (22) = 64 \text{ mm}$$

A = Luas efektif beton ditarik disekitar tulangan lentur tarik dan mempunyai titik pusat yang sama dengan titik pusat tulangan (pada hal ini diambil selebar 1 m) tersebut dibagi dengan jumlah batang tulangan dalam 1 m tersebut.

$$A = \frac{d_c \times b}{n} = \frac{64 \times 600}{3} = 12800 \text{ mm}^2$$

$$Z = f_s \times \sqrt{d_c \times A}$$

$$Z = 234 \times \sqrt{0,064 \times 0,0128}$$

$$Z = 6,69 \text{ MN/m} > 30 \text{ MN/m}$$

7.2.4 Penulangan Lentur Balok Induk Melintang Eksterior Setelah Komposit

Perencanaan balok induk didesain dengan menggunakan tulangan rangkap dimana untuk merencanakan tulangan lentur diperhitungkan gaya gempa arah bolak balik (kiri-kanan) yang akan menghasilkan momen positif dan negatif pada tumpuan. Hasil perencanaan tulangan yang nantinya akan digunakan merupakan kombinasi dari perencanaan bertahap tersebut dengan mengambil jumlah tulangan yang terbesar.

Data - data yang akan digunakan dalam merencanakan balok induk pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

Mutu beton (f'_c) = 30 MPa

Mutu baj (f_y) tulangan = 390 MPa

Dimensi balok induk = 60/80 cm

Panjang balok induk = 7,8 m

Tebal *decking* = 40 mm

Diameter tulangan utama = 22 mm

Diameter sengkang = 13 mm

$b = 600 \text{ mm}$

$d = 800 - 40 - 13 - (0,5 \times 22) = 736 \text{ mm}$

$d' = 40 + 13 + (0,5 \times 22) = 64 \text{ mm}$

Dari perhitungan pada bab sebelumnya didapatkan :

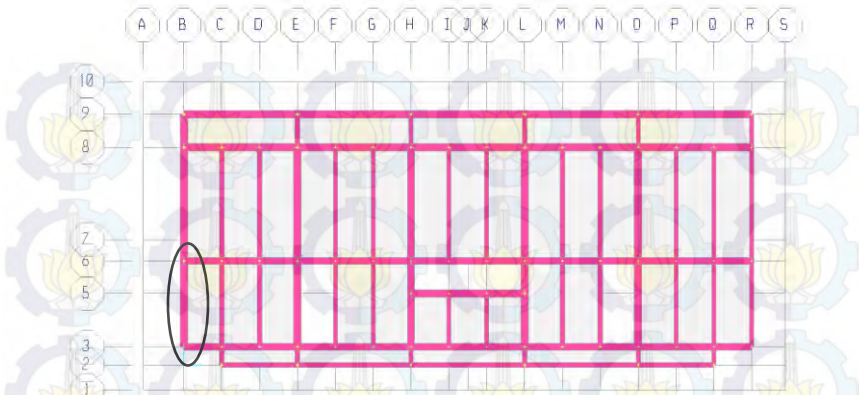
$\rho_{\text{balance}} = 0,013$

$\rho_{\text{max}} = 0,025$

$\rho_{\text{min}} = 0,0036$

$m = 15,29$

Dari analisa SAP2000 didapat nilai momen sebagai berikut :



Gambar 7.8 Denah pembalokan

$$\begin{aligned} M \text{ tumpuan kiri} &= -285977314,6 \text{ Nmm} \\ M \text{ tumpuan kanan} &= +587724583 \text{ Nmm} \\ M \text{ lapangan} &= +44451433,69 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

a. Perhitungan balok T beam

• Lebar efektif

$$be_1 = \frac{1}{4} \times Lb = \frac{1}{4} \times 780 = 195 \text{ cm}$$

$$be_2 = 8 \times t_p = 8 \times 14 = 112 \text{ cm}$$

$$be_3 = \frac{1}{2} \times b = \frac{1}{2} \times 600 = 300 \text{ cm}$$

• Kontrol balok T

$$be = 1120 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times be} \\ &= \frac{3419,46 \times 390}{0,85 \times 30 \times 1120} \\ &= 46,694 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$C = \frac{a}{0,85} = \frac{46,694}{0,85} = 54,934 \text{ mm}$$

$$C < t_f$$

$$54,934 \text{ mm} < 140 \text{ mm} \dots\dots \text{OK}$$

b. Pada tumpuan balok dianggap persegi

b.1. Tulangan tumpuan atas kiri

Direncanakan menggunakan tulangan D22

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

$$dx = 736 \text{ mm}$$

$$Mu = 285977314,6 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{0,8 \times b \times dx^2} = \frac{285977314,6}{0,8 \times 600 \times 736^2} = 1,099$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 1,099}{390}} \right) = 0,00287$$

$$\begin{aligned} \rho' &= \frac{Mn}{\phi \times fy \times (dx - d') \times d \times dx} \\ &= \frac{285977314,6}{0,8 \times 390 \times (736 - 64) \times 600 \times 736} \\ &= 0,0036 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{pakai}} = 0,00287 + 0,0036 = 0,00596 > \rho_{\text{min}} = 0,0036$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$As_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00596 \times 600 \times 736 = 2632,759 \text{ mm}^2$$

Maka dipasang tulangan **8 D 22 ($As = 3041,062 \text{ mm}^2$)**

▪ Perhitungan tulangan tekan

Persyaratan SNI 03-2847-2013 pasal 21.10 menyatakan bahwa jumlah tulangan serat bawah tidak boleh kurang dari 1/3 tulangan atas atau minimal dipasang 2 buah tulangan.

$$\triangleright n_{\text{bawah}} \geq 1/3 n_{\text{atas}}$$

$$\triangleright n_{\text{bawah}} \geq 1/3 \times 8$$

$$\triangleright n_{\text{bawah}} \geq 2,67$$

ambil jumlah tulangan bawah = 3 buah, syarat > 2 buah

Maka untuk tulangan tekan (tulangan bawah) dipasang tulangan sejumlah **3 D 22** ($A_s' = 1140,398 \text{ mm}^2$)

▪ Kontrol kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{3041,062}{600 \times 736} = 0,00688$$

$$a = \frac{A_s \text{ ada} \times f_y}{0,85 \times b \times f'_c} = \frac{3041,062 \times 390}{0,85 \times 600 \times 30} = 77,517$$

$$\phi Mn = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,8 \times 3041,062 \times 390 \times \left(736 - \frac{77,517}{2} \right)$$

$$= 661550454 \text{ Nmm}$$

$$\phi Mn > Mu$$

$$661559454 \text{ Nmm} > 285977314,6 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

▪ Kontrol tulangan rangkap

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{3041,062}{600 \times 636} = 0,00688 > \rho_{\text{perlu}}$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w \times d} = \frac{1140,398}{600 \times 736} = 0,00258$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1 \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0,00430 \geq \frac{0,85 \times 30 \times 0,85 \times 64}{390 \times 736} \times \frac{600}{600 - 390}$$

$$0,00430 \leq 0,014 \text{ (Tulangan tekan belum leleh)}$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right| \leq f_y$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{0,00430 \times 390} \times \frac{64}{736} \right| \leq 390$$

$$f'_s = |-621,534| \geq 390 \text{ MPa (tulangan tekan dalam kondisi tarik)}$$

Maka diambil $f'_s = 390 \text{ MPa}$ (dalam kondisi tarik)

$$a = \frac{A_s \times f_y - A'_s \times f'_s}{0,85 \times b \times f'_c} = \frac{3041,062 \times 390 - 1140,398 \times 390}{0,85 \times 600 \times 30} = 48,44 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s \times f_y - A'_s \times f'_s) \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \times f'_s \times (d - d')$$

$$= (3041,06 \times 390 - 1140,39 \times 390) \times \left(636 - \frac{48,44}{2} \right) + 1140,39 \times 390 \times 672$$

$$= 826485651 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \times 826485651 \text{ Nmm}$$

$$= 661188520 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$661188520 > 285977314,6 \text{ Nmm}$$

(OK)

b.2. Tulangan tumpuan atas kanan

Direncanakan menggunakan tulangan D22

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

$$d_x = 736 \text{ mm}$$

$$M_u = 587724583 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{0,8 \times b \times d_x^2} = \frac{587724583}{0,8 \times 600 \times 736^2} = 2,260$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 2,26}{390}} \right) = 0,006$$

$$\rho' = \frac{M_n}{\phi \times f_y \times (d_x - d') \times b \times d_x}$$

$$= \frac{587724583}{0,8 \times 390 \times (736 - 64) \times 600 \times 736}$$

$$= 0,00635$$

$\rho_{\text{pakai}} = 0,006 + 0,00635 = 0,013 > \rho_{\text{min}} = 0,0036$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,013 \times 600 \times 736 = 2807,351 \text{ mm}^2$$

Maka dipasang tulangan **8 D 22 ($A_s = 3041,062 \text{ mm}^2$)**

▪ Perhitungan tulangan tekan

Persyaratan SNI 03-2847-2013 pasal 21.10 menyatakan bahwa jumlah tulangan serat bawah tidak boleh kurang dari 1/3 tulangan atas atau minimal dipasang 2 buah tulangan.

- $n_{\text{bawah}} \geq 1/3 n_{\text{atas}}$
- $n_{\text{bawah}} \geq 1/3 \times 8$
- $n_{\text{bawah}} \geq 2,67$

ambil jumlah tulangan bawah = 3 buah, syarat > 2 buah

Maka untuk tulangan tekan (tulangan bawah) dipasang tulangan sejumlah **3 D 22 ($A_s' = 1140,398 \text{ mm}^2$)**

▪ Kontrol kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{3041,062}{600 \times 736} = 0,00688$$

$$a = \frac{A_{s\text{ada}} \times f_y}{0,85 \times b \times f'_c} = \frac{3041,062 \times 390}{0,85 \times 600 \times 30} = 93,020$$

$$\begin{aligned} \phi Mn &= \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8 \times 3041,062 \times 390 \times \left(736 - \frac{93,020}{2} \right) \\ &= 654195530 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi Mn > Mu$$

$$654195530 \text{ Nmm} > 587724583 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

▪ **Kontrol tulangan rangkap**

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{3041,062}{600 \times 636} = 0,00688 > \rho_{\text{perlu}}$$

$$\rho' = \frac{A_{s'}}{b_w \times d} = \frac{1140,398}{600 \times 736} = 0,00258$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1 \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0,00430 \geq \frac{0,85 \times 30 \times 0,85 \times 64}{390 \times 736} \times \frac{600}{600 - 390}$$

$$0,00430 \leq 0,0138 \text{ (Tulangan tekan belum leleh)}$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c \times d'}{(\rho - \rho') \times f_y \times d} \right| \leq f_y$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{0,00430 \times 390} \times \frac{64}{736} \right| \leq 390$$

$$f'_s = |-621,534| \geq 390 \text{ MPa (tulangan tekan dalam kondisi tarik)}$$

Maka diambil $f'_s = 390 \text{ MPa}$ (dalam kondisi tarik)

$$a = \frac{A_s \times f_y - A'_s \times f'_s}{0,85 \times b \times f'_c} = \frac{3041,062 \times 390 - 1140,398 \times 30}{0,85 \times 600 \times 30} = 48,448 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s \times f_y - A'_s \times f'_s) \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \times f'_s \times (d - d')$$

$$= (3041,06 \times 390 - 1140,39 \times 390) \times \left(636 - \frac{48,448}{2} \right) + 1140,39 \times 390 \times 672$$

$$= 782010123 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \times 782010123 \text{ Nmm}$$

$$= 782010123 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$782010123 > 587724583 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

c. Pada lapangan balok dianggap sebagai balok T palsu

Penulangan lentur lapangan didasarkan pada nilai momen yang terjadi di daerah lapangan. Besar momen lapangan yang terjadi di bagian balok melintang interior ialah sebesar $M_u = 118380836,2$ Nmm.

Sebelum kita lakukan analisa desain perencanaan untuk tulangan lapangan perlu dilakukan cek apakah balok pada daerah lapangan tergolong balok T atau bukan dengan perumusan sebagai berikut :

Tulangan lapangan bawah

$$be_1 = \frac{1}{4} \times L_b = \frac{1}{4} \times 780 = 195 \text{ cm}$$

$$be_2 = b_w + 16t = 60 + (16 \times 14) = 284 \text{ cm}$$

$$be_3 = \frac{1}{2} \times (L_b - b_w) = \frac{1}{2} \times (780 - 60) = 360 \text{ cm}$$

$$b = be = 195 \text{ cm}$$

$$dx = 736 \text{ mm}$$

▪ **Tulangan Lapangan**

$$M_{\max} = 44451433,69 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{0,8 \times b \times d_x^2} = \frac{44451433,69}{0,8 \times 600 \times 636^2} = 0,171$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 0,171}{390}} \right) = 0,000439 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho' &= \frac{M_n}{\phi \times f_y \times (d_x - d') \times b \times d_x} \\ &= \frac{118380836,2}{0,8 \times 390 \times (736 - 64) \times 600 \times 736} \\ &= 0,00048 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,000439 + 0,00048 = 0,00092 < \rho_{\min} = 0,0036$$

dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0036 \times 500 \times 636 = 1144,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan **6 D 22 ($A_s = 2280,8 \text{ mm}^2$)**

▪ **Perhitungan tulangan tekan**

Persyaratan SNI 03-2847-2013 pasal 21.10 menyatakan bahwa jumlah tulangan serat bawah tidak boleh kurang dari 1/3 tulangan atas atau minimal dipasang 2 buah tulangan.

- $n_{\text{bawah}} \geq 1/3 n_{\text{atas}}$
- $n_{\text{bawah}} \geq 1/3 \times 6$

➤ $n_{\text{bawah}} \geq 3$

ambil jumlah tulangan bawah = 3 buah, syarat > 2 buah

Maka untuk tulangan tekan (tulangan bawah) dipasang tulangan sejumlah **3 D 22** ($A_s' = 1140,389 \text{ mm}^2$)

▪ **Kontrol tulangan rangkap**

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{2280,8}{600 \times 636} = 0,00516 > \rho_{\text{perlu}}$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w \times d} = \frac{1140,389}{600 \times 636} = 0,0026$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0,0026 \geq \frac{0,85 \times 30 \times 0,85 \times 64}{390 \times 736} \times \frac{600}{600 - 390}$$

$$0,0026 \leq 0,013 \text{ (Tulangan tekan belum leleh)}$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times \frac{d'}{d}}{(\rho - \rho') \times f_y} \right| \leq f_y$$

$$f'_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{0,0026 \times 390} \times \frac{64}{736} \right| \leq 390$$

$$f'_s = |-1070,673| \geq 390 \text{ MPa (tulangan tekan dalam kondisi tarik)}$$

Maka diambil $f'_s = 390 \text{ MPa}$ (dalam kondisi tarik)

$$a = \frac{A_s \times f_y - A_s' \times f'_s}{0,85 \times b \times f_c'} = \frac{2280,8 \times 390 - 1140,389 \times 30}{0,85 \times 600 \times 30} = 34,882 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s \times f_y - A'_s \times f'_s) \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \times f'_s \times (d - d')$$

$$= (2280,8 \times 390 - 1140,389 \times 390) \times \left(736 - \frac{34,882}{2} \right) + 1140,389 \times 390 \times 672$$

$$= 618458276 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \times 618458276 \text{ Nmm}$$

$$= 494766621 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$494766621 > 44451433,69 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

▪ **Cek Balok T Palsu**

$$T = A_s \times f_y$$

$$= 2280,8 \times 390$$

$$= 889510,544 \text{ N}$$

$$C = 0,85 \times f'_c \times b_e \times h_f$$

$$= 0,85 \times 30 \times 1950 \times 140 = 6961500 \text{ N}$$

Karena $C > T$, maka balok dianggap sebagai balok T palsu, berperilaku sebagai balok persegi dengan lebar b_e ,

$$a = \frac{A_s \text{ ada} \times f_y}{0,85 \times b_w \times f'_c} = \frac{2280,8 \times 390}{0,85 \times 600 \times 30} = 58,138 < t = 140 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{aktual}} = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{2280,84}{600 \times 736} = 0,00516 > \rho_{\text{min}} = 0,0036$$

$$\phi Mn = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,8 \times 2280,8 \times 390 \times \left(736 - \frac{58,138}{2} \right)$$

$$= 503058886,1 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$503058886,1 > 44451433,69 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Hasil dari penulangan setelah komposit adalah sebagai berikut,

- Akibat momen tumpuan kiri
 - Tulangan atas = 8D22 ($A_s = 3041,06 \text{ mm}^2$)
 - Tulangan bawah = 3D22 ($A_s = 1140,4 \text{ mm}^2$)
- Akibat momen tumpuan kanan
 - Tulangan atas = 6D22 ($A_s = 2280,8 \text{ mm}^2$)
 - Tulangan bawah = 3D22 ($A_s = 1140,4 \text{ mm}^2$)
- Akibat momen lapangan
 - Tulangan atas = 6D22 ($A_s = 2280,8 \text{ mm}^2$)
 - Tulangan bawah = 3D22 ($A_s = 1140,4 \text{ mm}^2$)

Sehingga jumlah tulangan yang terpasang merupakan jumlah terbesar yang dihasilkan dari masing – masing nilai momen diatas maka,

Tulangan atas = 8D22 ($A_s = 3041,06 \text{ mm}^2$)

Tulangan bawah = 3D22 ($A_s = 1520,53 \text{ mm}^2$)

d. Penulangan Geser dan Torsi

Sesuai peraturan SNI 03-2847-2013 bab 11 mengenai geser dan torsi, perencanaan tulangan geser dan torsi mengikuti kaidah berikut ini : Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh geser harus didasarkan pada perumusan :

$$\Phi V_n = V_u \quad (\text{SNI 03-2847-2013 Pasal 11.1})$$

Dengan V_u merupakan gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan V_n merupakan kuat geser nominal yang ditinjau dari :

$$V_n = V_c + V_s$$

Dimana :

V_u = Geser pada terfaktor penampang yang ditinjau

Φ = Faktor reduksi geser (0.75)

V_n = Kuat Geser nominal

V_c = Kuat geser beton

V_s = Kuat Geser nominal tulangan geser

Sedangkan untuk perencanaan penampang yang diakibatkan oleh torsi harus didasarkan pada perumusan sebagai berikut :

$\Phi T_n = T_u$ (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.5)

Tulangan sengkang untuk torsi harus direncanakan berdasarkan (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.6) sesuai persamaan berikut :

$$T_n = \frac{2A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta$$

Dimana :

T_n = Kuat momen torsi ($T_c + T_s > T_{umin}$)

T_s = Kuat momen torsi nominal tulangan geser

T_c = Kuat torsi nominal yang disumbngkan oleh beton

A_o = Luas bruto yang ditasi oleh lintasan aliran geser, mm

A_t = Luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan puntir dalam daerah sejarak s , mm²

F_{yv} = kuat leleh tulangan sengkang torsi, Mpa

s = Spasi tulangan geser atau puntir dalam arah paralel dengan tulangan longitudinal

Sesuai peraturan (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.1) pengaruh torsi balok diabaikan bila momen torsi terfaktor T_u kurang dari :

$$\phi 0,33 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

Dimana :

ϕ = Faktor reduksi kekuatan

F_c' = Kuat tekan beton, Mpa

A_{cp} = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton, mm²

P_{cp} = Keliling luar penampang beton, mm²

e. Perhitungan Penulangan Torsi

Data perencanaan :

Dimensi Balok Induk = 600/800 mm

T_u = 10561109,04 Nmm

Pada kasus ini balok induk termasuk torsi kompatibilitas dimana dapat terjadi redistribusi puntir sehingga berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.2.2 (a) maka momen puntir terfaktor maksimum dapat direduksi sesuai persamaan berikut :

$$T_u < \phi \frac{\sqrt{f'_c}}{12} \left(\frac{A^2_{cp}}{P_{cp}} \right)$$

$$10561109,04 < 0,75 \times \frac{\sqrt{30}}{12} \left(\frac{(500 \times 700)^2}{(500 + 700) \times 2} \right)$$

$$10561109,04 < 28168588,67 \text{ Nmm}$$

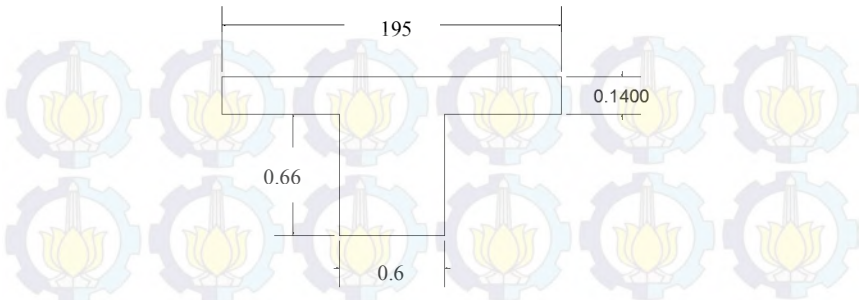
Dengan demikian Tulangan Torsi diabaikan.

▪ Penulangan Geser Balok Balok Induk Eksterior 7,8 meter

Penulangan geser balok induk didasarkan pada SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.3 dimana nilai gaya geser rencana (yang digunakan untuk perencanaan desain) bukan hanya pada gaya geser yang terjadi, tetapi harus memenuhi persyaratan yang ada sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.3.

- Jumlah gaya lintang yang terjadi akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan akibat beban gravitasi terfaktor.
- Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk beban gempa dimana nilai beban gempa diambil sebesar dua kali lipat nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahan gempa.

Dari perhitungan sebelumnya didapatkan penulangan tumpuan dan lapangan untuk balok dengan bentang 7,8 meter digambarkan dalam gambar 7.9 berikut ini



Gambar 7.9 Dimensi balok induk sebagai balok T

Perumusan perhitungan gaya lintang pada balok

$$V_u = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} + \frac{Wu \times l_n}{2}$$

Dari persyaratan yang telah ditetapkan di atas maka besarnya gaya geser rencana dilakukan dengan membandingkan nilai momen nominal ujung balok (pada muka kolom) ditambah dengan gaya geser beban gravitasi berfaktor.

▪ **Perhitungan Penulangan Geser Balok Induk Bentang 7,8 meter**

Nilai momen nominal maksimum dari cek momen tulangan nominal terpasang dengan asumsi tumpuan kiri dan kanan memiliki jumlah tulangan yang sama. Menurut SNI 2847-2013 pasal 21.6.5.1 persamaan yang digunakan dalam menghitung tulangan geser adalah sebagai berikut :

$$M_{pr} = A_s \times 1,25 \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

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

Tabel 7.2 Nilai Mpr balok induk eksterior

| LOKASI | | Tul. Pasang | As perlu | a (mm) | Mpr (kNm) | |
|---------|-------|-------------|----------|----------|-----------|--------|
| Tumpuan | KIRI | ATAS | 8 | 2633 | 83,89 | 890,80 |
| | | BAWAH | 3 | 1140,398 | 36,34 | 399,07 |
| | KANAN | ATAS | 8 | 2807,351 | 89,45 | 946,07 |
| | | BAWAH | 3 | 1140,398 | 36,34 | 399,07 |

$$M_{pr_1} = 890,80 \text{ kNm}$$

$$M_{pr_2} = 399,07 \text{ kNm}$$

$$l_n = 7,8 \text{ m}$$

$$W_u = 71,634 \text{ KN/m (distribusi beban segitiga dan trapesium)}$$

➤ Analisa terhadap gempa kiri

$$V_u = \frac{890,8 + 399,07}{7,8} - \frac{71,634 \times 7,8}{2}$$

$$V_u = -106,92 \text{ kN}$$

$$V_u = \frac{890,8 + 399,07}{7,8} + \frac{71,634 \times 7,8}{2}$$

$$V_u = 451,826 \text{ kN}$$

➤ Analisa terhadap gempa kanan

$$V_u = \frac{946,07 + 399,07}{7,8} - \frac{71,634 \times 7,8}{2}$$

$$V_u = -114,00 \text{ kN}$$

$$V_u = \frac{946,07 + 399,07}{7,8} + \frac{71,634 \times 7,8}{2}$$

$$V_u = 444,741 \text{ kN}$$

Hasil dari SAP 2000 dengan nilai $V_u = 288,216 \text{ kN}$, sehingga nilai V_u yang menentukan ialah $444,741 \text{ kN}$

f. Pemasangan sengkang daerah sendi plastis

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.4.2 bahwa tulangan transversal untuk memikul geser dengan menganggap $V_c = 0$, apabila:

1. $M_{pr} > 0,5 \times \text{Total geser kombinasi gempa dan gravitasi}$
 $(946,07 + 399,07) / 4 > 0,5 \times 444,741 \text{ kN}$
 $336,286 > 222,371 \quad \dots \text{ (OK)}$
2. Gaya Aksial Tekan $< 0,2 \times A_g \times f_c'$
 $179433 \text{ kg} < 84000 \quad \dots \text{ (OK)}$

Karena Gaya aksial terlalu kecil maka persyaratan memenuhi :

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \times b_w \times d$$

$$= 0,75 \frac{\sqrt{30}}{6} \times 600 \times 736$$

$$= 403124 \text{ N} = 403,124 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{444,741}{0,75} - 403,124 = 189,864 \text{ kN}$$

Rencanakan tulangan geser $2\phi 13 \text{ mm}$ ($A_v = 265,33 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_v \times f_y \times b}{V_s} = \frac{265,3 \times 390 \times 736}{189864} = 401,13 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.2 bahwa syarat jarak antar sengkang untuk sendi plastis tidak boleh melebihi :

1. $d/4 = 736 / 4 = 184 \text{ mm}$
2. $6 \times D = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$
3. 150 mm

Dari Syarat diatas maka diambil jarak antar sengkang dengan hoop pertama = 150 mm .

Sehingga nilai kuat geser diperoleh sebagai berikut :

$$V_s = \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{265,3 \times 390 \times 736}{150} = 507678,08 \text{ N}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 507678,08 = 380758,56 \text{ N}$$

$$\phi(V_c + V_s) = 0,75 \times (403,124 + 380,759) = 587,912 \text{ N} > 380,759 \text{ N}$$

Sengkang yang dipasang 2 ϕ 13 mm sejarak 150 mm dengan ketentuan dan syarat sebagai berikut mengacu pada SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 sebagai berikut :

- S_{\max} sepanjang sendi plastis di ujung balok $2h = 2 \times 800 = 1600$ mm
- Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan

Kontrol kuat geser balok induk interior tidak boleh lebih besar dari syarat SNI 03-2847-2013 pasal 11.4.7.9

$$V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \times bw \times d \times \sqrt{f'c} = \frac{2}{3} \times 600 \times 736 \times \sqrt{30}$$

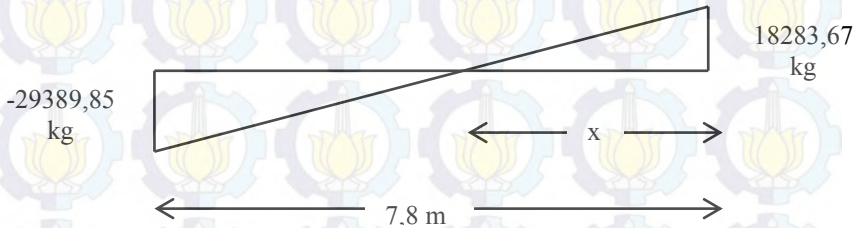
$$= 1596370,26 \text{ N} = 1596,37 \text{ kN}$$

$$1596,37 \text{ kN} > 380,758 \text{ kN}$$

Sehingga sengkang 2 ϕ 13 – 150 dapat digunakan

4. Pemasangan sengkang diluar sendi plastis

Pemasangan tulangan sengkang di luar daerah sendi plastis dimulai dari 1600 mm dari ujung balok dimana gaya geser yang digunakan merupakan gaya geser dari hasil analisa struktur dengan besar beban gempa dan memperhitungkan pula kuat geser yang disumbangkan oleh beton.



Gambar 7.10 Penentuan jarak x diluar sendi plastis

Persamaan segitiga untuk mencari jarak x

$$\frac{x}{7,8 - x} = \frac{18284}{29390}$$

$$293890 x = 142613 - 18284 x$$

$$293890 x = 142613$$

$$x = 2,99 \text{ m}$$

V_u pada jarak = 1600 mm dari tumpuan

$$\frac{2,99}{2,99 - 1,6} = \frac{18283,7}{x}$$

$$2,99 x = 25440,7$$

$$x = 8504,49 \text{ kg}$$

$V_u = 8504,49 \text{ kg}$ pada jarak 1600 mm

$$V_s = \frac{Vu}{\phi}$$

$$V_s = \frac{8504,49}{0,75}$$

$$V_s = 11339,315 \text{ kg}$$

Jika dipakai begel 2 kaki dengan ϕ 13 ($A_v = 265,3 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_v \times f_y \times b}{V_s} = \frac{265,3 \times 390 \times 736}{916,53} = 293 \text{ mm}$$

Syarat pemasangan begel di luar sendi plastis berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.4 :

$$\frac{1}{2} \times d = \frac{1}{2} \times 736 = 368 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

Jadi dipasang begel 2 ϕ 13 – 300 mm sebanyak :

$$L_n = 7800 - 2 \times 0,5 \times 600 = 7200 \text{ mm}$$

$$\frac{L_n - 4 \times h}{s} + 1 = \frac{7200 - 4 \times 800}{300} + 1 = 14,3 \approx 15 \text{ buah di bagian}$$

tengah balok

5. Kontrol lendutan

Komponen struktur beton yang mengalami lentur harus dirancang agar memiliki kekakuan cukup untuk batas deformasi yang akan memperlemah kemampuan layan struktur saat bekerja. Sesuai SNI 03-2847-2013 tabel 9.5(a), syarat tebal minimum balok apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut :

Balok dengan dua tumpuan

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times L_b$$

Lendutan tidak perlu dihitung sebab sejak preliminary design telah direncanakan agar tinggi dari masing-masing tipe balok lebih besar dari persyaratan h_{\min}

6. Kontrol retak

Distribusi tulangan lentur harus diatur sedemikian hingga untuk membatasi retak lentur yang terjadi, bila tegangan leleh rencana f_y untuk tulangan tarik melebihi 300 MPa, penampang dengan momen positif dan negatif maksimum harus diproporsikan sedemikian hingga nilai Z yang diberikan oleh :

$$Z = f_s \times \sqrt{d_c \times A} \quad \text{SNI 03-2847-2013 pasal 10.6.4}$$

Tidak melebihi 30 MN/m untuk penampang didalam ruangan

f_s = tegangan dalam tulangan yang dihitung pada beban kerja, f_s dapat diambil $0,6 f_y$

$$f_s = 0,6 \times 390 \text{ Mpa} = 234 \text{ Mpa}$$

d_c = tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan (decking + $\frac{1}{2}$ jari-jari tulangan)

$$d_c = 40 + 13 + \frac{1}{2} (22) = 64 \text{ mm}$$

A = Luas efektif beton ditarik disekitar tulangan lentur tarik dan mempunyai titik pusat yang sama dengan titik pusat tulangan (pada hal ini diambil selebar 1 m) tersebut dibagi dengan jumlah batang tulangan dalam 1 m tersebut.

$$A = \frac{d_c \times b}{n} = \frac{64 \times 600}{4} = 9600 \text{ mm}^2$$

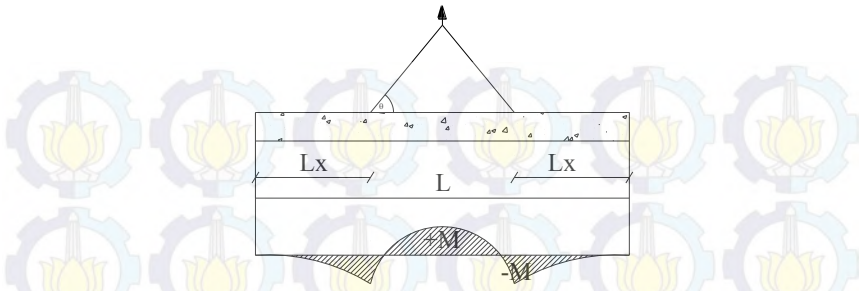
$$Z = f_s \times \sqrt{d_c \times A}$$

$$Z = 234 \times \sqrt{0,064 \times 0,0096}$$

$$Z = 5,8 \text{ MN/m} > 30 \text{ MN/m}$$

7.2.5 Pengangkatan Elemen Balok Induk

Balok induk dibuat secara pracetak di pabrik. Elemen balok harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut dari kerusakan.



Gambar 7.11 Momen saat pengangkatan balok induk

Dimana :

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{Lx \operatorname{tg} \theta} \right)$$

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

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{Lx \operatorname{tg} \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Y_b} \left(1 + \frac{4Y_c}{Lx \operatorname{tg} \theta} \right)} \right)}$$

↪ **Kondisi sebelum komposit**

$$b = 60 \text{ cm}$$

$$h = 80 \text{ cm}$$

$$L = 780 \text{ cm}$$

Perhitungan :

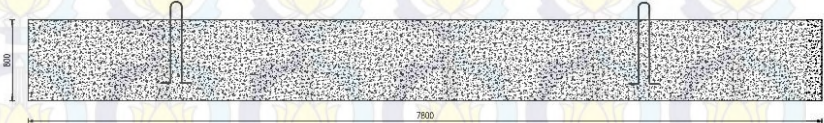
$$Y_t = Y_b = \frac{(80 - 14)}{2} = 33 \text{ cm}$$

$$Y_c = 33 + 5 = 38 \text{ cm}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 38}{780 \times \operatorname{tg} 45^\circ}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{33}{33} \left(1 + \frac{4 \times 38}{780 \times \operatorname{tg} 45^\circ} \right)} \right)} = 0,362$$

$$X \times L = 0,362 \times 780 = 282,64 \text{ cm} = 2,82 \text{ m}$$

$$L - 2 \times (X \times L) = 7,8 - 2 \times (2,82) = 7,23 \text{ m}$$



Gambar 7.12 Letak titik pengangkatan

a. Pembebanan

$$\text{Balok } (0,6 \times 0,66 \times 7,8 \times 2400) = 7413,12 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} T \sin \phi &= P = \frac{1,2 \times k \times W}{2} \\ &= \frac{1,2 \times 1,2 \times 7413,12}{2} \\ &= 5337,45 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$T = \frac{5337,45}{\sin 45^\circ} = 7548,29 \text{ kg}$$

b. Tulangan Angkat Balok Induk

$$P_u = 7413,12 \text{ kg}$$

Menurut PBBI pasal 2.2.2. tegangan ijin tarik dasar baja bertulang mutu $f_y = 390 \text{ Mpa}$ adalah $f_y/1,5$

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = 3900/1,5 = 2600 \text{ kg/m}^2$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\sigma_{\text{ijin}} \times \pi}}$$

$$\emptyset_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{7413,12}{2600 \times \pi}}$$

$$\emptyset_{\text{tulangan angkat}} \geq 0,9 \text{ cm}$$

Digunakan Tulangan \emptyset 10 mm

c. Momen yang Terjadi

- Pembebanan

$$\text{Balok } (0,6 \times 0,66 \times 2400) = 950,4 \text{ kg/m}$$

Dalam upaya untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2 sebagai berikut :

- Momen lapangan

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

$$+M = \left(\frac{950,4 \times 7,8^2}{8} \left(1 - 4 \times 0,362 + \frac{4 \times 0,38}{7,8 \times \text{tg} 45} \right) \right) \times 1,2$$

$$= 5575,85 \text{ kgm}$$

d. Tegangan yang Terjadi

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{5575,85 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 600 \times 660^2}$$

$$= 1,28 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 3,83 \text{ MPa}$$

OK

- Momen tumpuan

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

$$-M = \left(\frac{950,4 \times 0,362^2 \times 7,8^2}{2} \right) \times 1,2 = 4546,36 \text{ kgm}$$

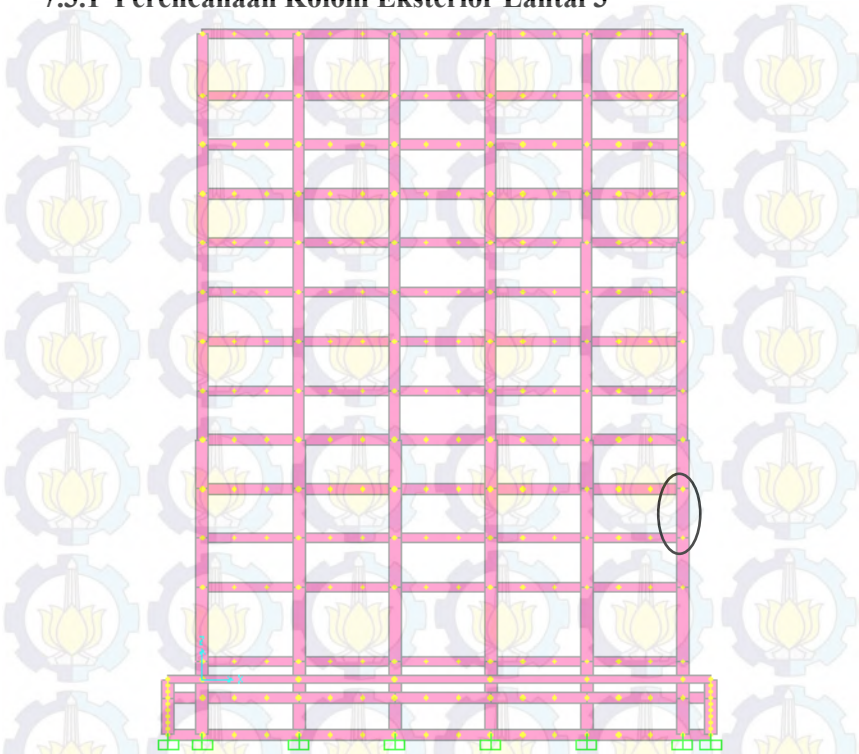
Tegangan yang terjadi

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{4546,36 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 600 \times 660^2}$$
$$= 1,044 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 3,83 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

Dari perhitungan momen diatas, didapatkan nilai f' akibat momen positif dan negatif berada dibawah nilai $f'_{r_{ijin}}$ usia beton 3 hari. Jadi dapat ditarik kesimpulan, balok anak tersebut aman dalam menerima tegangan akibat pengangkatan.

7.3 Perencanaan Kolom

7.3.1 Perencanaan Kolom Eksterior Lantai 3



Gambar 7.13 Potongan rangka

Pada perencanaan Tugas Akhir ini, kolom yang diperhitungkan diambil pada kolom eksterior lantai 3. Data kolom perencanaan dimensi kolom tersebut adalah sebagai berikut :

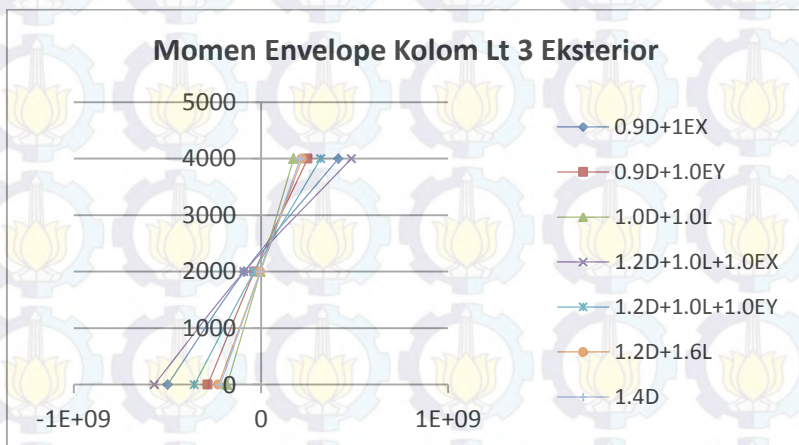
- Mutu Beton : 30 Mpa
- Mutu Baja : 390 Mpa
- Dimensi Kolom : 100/100 cm
- Tebal decking : 40 mm

- Diameter Tulangan Utama (D) : 25 mm
- Diameter Sengkang (ϕ) : 16 mm
- $d = h - \text{selimut} - \phi - 0,5D$
 $= 1000 - 40 - 16 - (0,5 \times 25) = 931,5 \text{ mm}$

Dengan menggunakan *software SAP2000* diperoleh Besarnya gaya pada kolom atas adalah sebagai berikut:

Tabel 7.3 Momen Maximum Kolom Interior

| JENIS GAYA | NILAI (Nmm) | KOMBINASI | DIPAKAI (kNm) |
|--------------|-------------|-----------------|---------------|
| M. Lapangan | -570214691 | 1.2D+1.0L+1.0EX | -570.214 |
| M. Tmp Kiri | -90326640 | 1.2D+1.0L+1.0EX | -90.33 |
| M. Tmp Kanan | 483210507 | 1.2D+1.0L+1.0EX | 483.211 |
| Torsi | -43749126.5 | 1.2D+1.0L+1.0EX | -43.75 |
| Beban Aksial | -5123022.66 | 1.2D+1.0L+1.0EX | -5123.022 |



Gambar 7.14 Grafik momen envelope lantai 3 eksterior

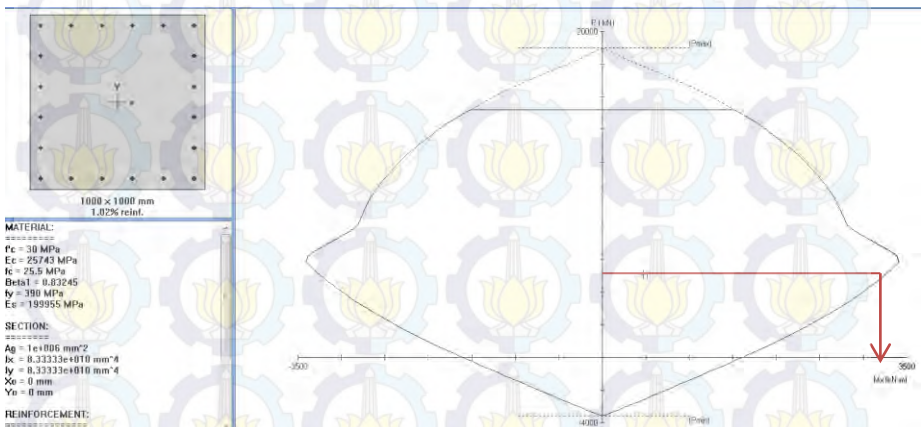
Sesuai dengan persyaratan pada SNI -03-2847 2013 komponen struktur yang memikul gaya aksial terfaktor akibat beban gravitasi

terfaktor yang melebihi $A_g \cdot f_c' / 10$, harus memenuhi ketentuan pada pasal 21.6.4, 21.6.5, dan 21.7.3.

$$\begin{aligned} \text{Gaya aksial terfaktor} &\leq A_g \times \frac{f'_c}{10} \\ &\leq 1000 \times 1000 \times \frac{30}{10} \\ &\leq 3000000 \text{ N} = 3000 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari hasil analisa dengan program bantu *SAP 2000* didapat gaya aksial tekan terfaktor yang terbesar adalah 5122,88 kN. Karena beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur telah melebihi

$A_g \times \frac{f'_c}{10}$, maka detail pengekanan kolom harus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4, 21.6.5, dan 21.7.3.



Gambar 7.15 Diagram interaksi aksial vs momen kolom eksterior lantai 1

Berdasarkan kombinasi pada **Tabel 7.3**, maka kolom memerlukan tulangan memanjang (longitudinal) sebanyak 20D25 ($\rho = 1,02\%$) seperti pada hasil perhitungan program bantu *spColumn* pada

Gambar 7.13. Kebutuhan ρ tersebut telah memenuhi syarat SNI 03-2847-2013 pasal 10.9.1 yaitu antara 1%- 8%. Dari hasil analisis kolom menggunakan program bantu *spColumn*, didapat hasil analisa sebagai berikut :

- Rasio tulangan longitudinal = 1,02 %
- Penulangan 20D25 = $A_s = 9817,477 \text{ mm}^2$
- $I_x = 8,33 \times 10^{10} \text{ mm}^4$
- $I_y = 8,33 \times 10^{10} \text{ mm}^4$
- $A_g = 10^6 \text{ mm}^2$

Kontrol kapasitas beban aksial kolom

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.5.2, kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisa struktur.

$$\begin{aligned} \phi P_n (\text{max}) &= 0,8 \times \phi \times [0,85 \times f_c' \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}] \\ &= 0,8 \times 0,65 \times [0,85 \times 30 \times (10^6 - 9817,477) + 390 \times 9817,477] \\ &= 15120804,59 \text{ N} \\ &= 15120,804 \text{ kNm} > 5123,022 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

jadi, tulangan memanjang 20 D 25 dapat digunakan.

A. Kontrol Persyaratan Kolom Eksterior Terhadap Gaya Geser Rencana V_e

➤ Geser pada kolom :

Bedasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.5.1 gaya geser desain, V_e ditentukan sebagai berikut :

$$V_e = \frac{(2 \times M_{pr})}{Ln}$$

M_{pr} adalah kekuatan lentur mungkin komponen struktur, dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan menggunakan properti komponen struktur pada muka joint yang mengasumsikan tegangan tarik dalam batang tulangan longitudinal sebesar paling sedikit **1,25 f_y** dan faktor reduksi kekuatan ϕ

sebesar 1,0 Nmm. Sehingga nilai f_y untuk analisa geser sebesar $1,25 \times f_y = 1,25 \times 390 = 97,5 \text{ Mpa}$

Dari hasil analisa menggunakan PCACOL diperoleh $M_{pr} = 3160 \text{ kNm}$

Panjang bentang bersih : $4 - 0,8 = 3,2 \text{ m}$

$$V_e = \frac{(2 \times 3160)}{3,2} = 1975 \text{ kN}$$

➤ Geser pada balok :

$$V_u = 2 \times \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{l_1} \times \frac{l_2}{l_1 + l_2}$$

$$V_u = 2 \times \frac{323,449 + 947,96}{4} \times \frac{4}{(4 + 4)}$$

$$V_u = 317,852 \text{ kN}$$

$$V_e > V_u$$

$$1975 \text{ kN} > 317,852 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Nilai gaya geser diambil nilai terbesar dari kedua nilai di atas sehingga diambil nilai gaya geser sebesar 1975 kN.

B. Pengekang Eksterior

Bedasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4.1 panjang l_0 tidak boleh kurang dari yang terbesar dari :

$$L_0 \geq h = 1000 \text{ mm}$$

$$\geq \frac{1}{6} \times l_n = \frac{1}{6} \times 3200 = 433,33 \text{ mm}$$

$$\geq 450 \text{ mm}$$

∴ Maka, l_0 pakai adalah 1000 mm

Untuk jarak begel (s) bedasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4.3 tidak boleh melebihi yang terkecil dari : (diamater pakai sebarang 16 mm)

$$\frac{1}{4} \times b = \frac{1}{4} \times 1000 = 250 \text{ mm}$$

$$6 \times dl = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$$

$$100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) = 100 + \left(\frac{350 - 0,5 \times (1000 - 2 \times (40 + 16/2))}{3} \right) = 66 \text{ mm}$$

Dipakai jarak begel (s) = 65 mm (minimum)

Untuk Ash minimal sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai lebih besar dari hasil 2 rumus berikut :

$$A_{sh} = 0,3 \times \frac{s b_c f_c'}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

atau

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s b_c f_c'}{f_{yt}}$$

$$A_{sh} = 0,3 \times \frac{65 \times 904 \times 30}{390} \left[\left(\frac{1000000}{921600} \right) - 1 \right] = 115,354 \text{ mm}^2$$

atau

$$A_{sh} = 0,09 \frac{65 \times 904 \times 35}{390} = 406,8 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 603,186 \text{ mm}^2 > A_{sh} \text{ max} = 406,8 \text{ mm}^2$$

Untuk memenuhi syarat diatas dipasang 3D16 – 65 ($A_{sh} = 603,186 \text{ mm}^2 > 406,8 \text{ mm}^2$). Mengingat beban aksial terfaktor kolom eksterior minimal 5123,022kN > 3000 kN, maka Nilai V_c diambil sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.2

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$$

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{5123022,66}{14 \times 1000000} \right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 1000 \times 913,5$$

$$V_c = 1184725,688 \text{ N} = 1184,725 \text{ kN}$$

Bedasarkan A_v 3D16 = 1005,309 mm² dan s terpasang = 150 mm

$d = h \text{ kolom} - d' - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} dl$

$$d = 1000 - 40 - 14 - \frac{1}{2} 22$$

$$d = 931,5 \text{ mm}$$

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

$$V_s = \frac{1005,31 \times 390 \times 931,5}{150} = 2434759,439 \text{ N} = 2434,759 \text{ kN}$$

Maka $\emptyset(V_s + V_c)$

$$= 0,75(1184,725 + 2434,759) = 2714,614 \text{ kN} > V_u = 317,853 \text{ kN}$$

Ini berarti A_{sh} terpasang di $L_0 = 1000 \text{ mm}$ cukup untuk menahan gese. Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.3.2 spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari :

$$S < \frac{1}{4} \times d = \frac{1}{4} \times 931,5 = 232,875 \text{ mm}$$

$$< 6 \times dl = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$$

$$< 150 \text{ mm}$$

\therefore spasi sengkang pakai = 100 mm

C. Panjang Lewatan pada Sambungan Tulangan Kolom Ekterior lantai 3

Sambungan kolom yang diletakkan di tengah tinggi kolom harus memenuhi ketentuan panjang lewatan yang ditentukan berdasarkan SNI03-2847-2013 pasal 12.2.3 berikut :

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f_c'}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) \times d_b$$

Dimana :

$$\Psi_t = 1 ; \Psi_e = 1 ; \Psi_s = 1$$

$$\lambda = 1$$

$K_{tr} = 0 \rightarrow$ penyederhanaan desain

$$\begin{aligned}
 c &= 40 + ds + \frac{1}{2}dl \\
 &= 40 + 16 + \frac{1}{2} 25 \\
 &= 68,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$l_d = \left(\frac{390}{1,1 \times 1 \times \sqrt{30}} \frac{1 \times 1 \times 1}{\left(\frac{68,5 + 0}{25} \right)} \right) \times 25$$

$$l_d = 590,61 \text{ mm}$$

Bedasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.7.2 sambungan lewatan tulangan ulir dan kawat ulir $l_d \geq 200\text{mm}$, maka

$$l_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$590,61 \geq 200 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

7.4 Perencanaan Basement

Perencanaan Basement menggunakan dinding geser yang juga difungsikan sebagai penahan tanah. Tinggi besmen yang direncanakan memiliki tinggi 4,5 m dengan masing- masing 1,5 m dan 3 m ketinggiannya.

7.4.1 Perencanaan Balok Induk Basement

Didalam preliminary desain gedung perkantoran MNC Tower Surabaya direncanakan dimensi balok induk untuk lantai 2 basement sebesar 65/85 cm dengan panjang bentang 780 cm. Sistem balok dan pelat pada basement berbeda dengan struktur bangunan atas, karena balok dan pelat pada basement menggunakan system cor ditempat (*cast in site*).

↳ Data Perencanaan

Data perencanaan yang diperlukan meliputi :

- Mutu beton (f_c') = 30 MPa
- Mutu baja (f_y) = 420 MPa
- Dimensi balok = 65/85 cm
- Diameter tulangan longitudinal = 22 mm
- Diameter tulangan sengkang = 13 mm
- $d = 850 - 40 - 13 - \frac{1}{2} \times 22 = 786 \text{ mm}$

- $d' = 850 - 787 = 64 \text{ mm}$
- $d'' = 40 + 13 + \frac{1}{2} \times 22 = 64 \text{ mm}$

Momen balok induk memanjang basement hasil analisis SAP2000

- $M_{\text{tump}} = 75267,77 \text{ kgm}$
- $M_{\text{lapangan}} = -42170,24 \text{ kgm}$

Momen balok induk melintang basement hasil analisis SAP2000

- $M_{\text{tump}} = 104409,41 \text{ kgm}$
- $M_{\text{lapangan}} = -62583,26 \text{ kgm}$

↪ Penulangan Tumpuan Balok Induk Melintang

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times b \times d_x^2} = \frac{1044094100}{0,8 \times 650 \times 786^2} = 3,25$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 3,25}{390}} \right) = 0,0089 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0089 > \rho_{\text{min}} = 0,0036$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0089 \times 650 \times 786 = 4568,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

➤ Digunakan **13 D22 mm** ($A_s = 4941,73 \text{ mm}^2$)

➤ Tulangan tekan

$$\begin{aligned} A_s' &= 0,5 \times A_s \text{ perlu} = 0,5 \times 4941,73 \\ &= 2470,86 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan tekan **5 D22** ($A_s' = 2660,93 \text{ mm}^2$)

↪ Penulangan Lapangan Balok Induk Melintang

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times b \times d_x^2} = \frac{625832600}{0,8 \times 650 \times 786^2} = 1,95$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 1,95}{390}} \right) = 0,0052 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0052 > \rho_{\text{min}} = 0,0036$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0052 \times 650 \times 786 = 2656,98 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

➤ Digunakan 7 D22 mm ($A_s = 2660,93 \text{ mm}^2$)

➤ Tulangan tekan

$$\begin{aligned} A_s' &= 0,5 \times A_s \text{ perlu} = 0,5 \times 2660,93 \\ &= 1330,46 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan tekan 4 D22 ($A_s' = 1520,53 \text{ mm}^2$)

↪ **Perhitungan Penulangan Geser Balok Induk Memanjang**

Nilai momen nominal maksimum dari cek momen tulangan nominal terpasang dengan asumsi tumpuan kiri dan kanan memiliki jumlah tulangan yang sama. Menurut SNI 2847-2013 pasal 21.6.5.1 persamaan yang digunakan dalam menghitung tulangan geser adalah sebagai berikut :

$$M_{pr} = A_s \times 1,25 \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$a = \frac{A_s \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

Tabel 7.4 Nilai Mpr Balok Induk

| LOKASI | | Tul. Pasang | As perlu | a (mm) | Mpr (kNm) | |
|---------|-------|-------------|----------|---------|-----------|---------|
| Tumpuan | KIRI | ATAS | 9 | 3224 | 94,82 | 1160,84 |
| | | BAWAH | 5 | 1709,73 | 50,3 | 1195,84 |
| | KANAN | ATAS | 9 | 3224 | 94,82 | 1160,84 |
| | | BAWAH | 5 | 1709,73 | 50,3 | 1195,84 |

$$M_{pr_1} = 1160,84 \text{ kNm}$$

$$M_{pr_2} = 1195,84 \text{ kNm}$$

$$l_n = 7,8 \text{ m}$$

$$W_u = 81,52 \text{ KN/m (distribusi beban segitiga dan trapesium)}$$

Analisa terhadap gempa kiri

$$V_u = \frac{1160,84 + 1195,84}{7,8} - \frac{81,52 \times 7,8}{2}$$

$$V_u = -15,78 \text{ kN}$$

$$V_u = \frac{890,8 + 399,07}{7,8} + \frac{71,634 \times 7,8}{2}$$

$$V_u = 620,06 \text{ kN}$$

Sambungan kekuatan geser beton :

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

$$= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 650 \times 786 = 462825,56 \text{ N}$$

Kuat geser sengkang

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{620,06}{0,75} - 462,825 = 363,92 \text{ kN}$$

Kriteria kebutuhan tulangan geser

$$\phi \times V_c = 0,6 \times 462,82 = 277,692 \text{ kN}$$

Karena $\phi V_c < V_u$ maka diperlukan tulangan geser

Direncanakan tulangan geser ϕ 13 mm

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \pi \times 13^2 = 265,46 \text{ mm}^2$$

Tulangan geser minimum

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{265,46 \times 390 \times 786}{363920} = 223,604 \text{ mm}$$

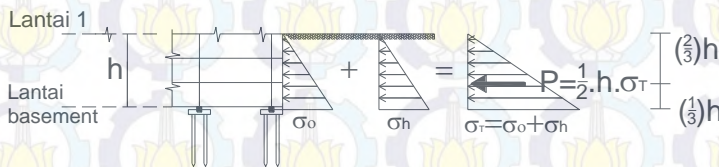
Kontrol jarak sengkang

$$S \leq \frac{1}{2} \times d$$

$$S \leq \frac{1}{2} \times 786 \text{ mm} = 393 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan sengkang ϕ 13 – 300

7.4.2 Penulangan Dinding Basement



Gambar 7.16 Diagram tegangan yang terjadi pada dinding basement

Data perencanaan basement adalah sebagai berikut :

Mutu beton ($f'c$) = 30 Mpa

Mutu Baja (f_y) = 390 Mpa

Tebal dinding basement (t) = 25 cm

Diameter Tulangan = 22 mm

Tinggi Dinding besmen = 4,5 m

Panjang besmen = 7,8 m

Tebal selimut beton = 40 mm

$d = t - \text{decking} - 1/2 D - D$
 $= 250 - 40 - 11 - 22 = 177 \text{ mm}$

Hasil analisa SAP, didapatkan $Mu \text{ max} = 627327021 \text{ Nmm}$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{627327021}{0,8} = 7841586776,3 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bdx^2} = \frac{7841586776,3}{7800 \times 177^2} = 3,2 \text{ Mpa}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 3,2}{390}} \right) = 0,008$$

$$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$$

$$A_s_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,008 \times 177 \times 7800$$

$$= 12181,614 \text{ mm}^2$$

Jika dipakai tulangan D22 mm,

$$A_s = 0,25 \times 3,14 \times 22^2 = 379,94 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{12181,614}{379,94} = 32,1 \text{ buah} \approx 33 \text{ buah}$$

$$S_{\max} = \frac{7800 - 2 \times 40}{33 - 1} = 241,25 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ pakai} = 33 \times 379,94 = 12538,02 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan **35 D22mm** ($A_s \text{ pakai } 12538,02 \text{ mm}^2$) dengan jarak 200 mm

- **Kontrol ketebalan minimum dinding besmen**

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 15.5.3.2 yang menyatakan bahwa tebal dinding *basement* eksterior dan dinding pondasi tidak boleh kurang dari 190 mm. Dinding *basement* yang dipakai 250 mm.

- **Kontrol Rasio Tulangan**

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 14.3.3 menyatakan bahwa Rasio minimum luas tulangan horizontal terhadap luas beton bruto, ρ_t , harus 0,0020 untuk bentang ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan f_y tidak kurang dari 420 Mpa

$$\rho_t = \frac{379,94 \times 33}{(4020 \times 250)} = 0,0064 > 0,0020 \text{ (OK)}$$

7.4.3 Penulangan Lantai Parkir *Basement*

- **Plat Lantai**

Perhitungan pelat A *basement* dengan dimensi 3900 mm × 7800 mm yang dianggap mewakili perhitungan pelat lainnya. Untuk pelat lantai *basement* tidak menggunakan beton *precast* melainkan menggunakan beton *cor in situ*. Beban-beban untuk Perkantoran berdasarkan SNI 03-1727-2012

Elevasi air tanah diasumsikan pada kondisi yang paling berbahaya, yaitu sama dengan permukaan tanah

$$D_f = 4,5 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 1 \text{ t/m}^3$$

$$t = 0,4 \text{ m}$$

σ_h = tekanan hidrostatik oleh air tanah

$$= \gamma_w \times \text{volume basement}$$

$$= 1 \times (D_f + t)$$

$$= 1 \times (4,5 + 0,4) = 4900 \text{ kg/m}^2$$

Beban pelat *basement* ($q_d = 4900 \text{ kg/m}^2$)

Kombinasi beban pelat

$$1,4q_d = 1,4 \times 4900 = 6860 \text{ kgm}$$

$$d_x = 400 - 40 - \frac{1}{2} 22 = 349 \text{ mm}$$

$$d_y = 400 - 40 - 22 - \frac{1}{2} 22 = 327 \text{ mm}$$

• **Perhitungan penulangan tumpuan arah X**

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} = \frac{780}{390} = 2 < 2 \text{ (pelat dua arah)}$$

$$\text{Mulx}^{(+)} = \text{Mutx}^{(-)} = 0,001 \text{ Qu } L_x^2 \text{ x} \rightarrow \text{x} = 83$$

$$\text{Mulx}^{(+)} = \text{Mutx}^{(-)} = 0,001 \times 6860 \times 3,9^2 \times 83 = 8660,27 \text{ kg.m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{86602700}{0,8} = 108253372,5 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d x^2} = \frac{108253372,5}{3900 \times 349^2} = 0,22 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 0,22}{390}} \right)$$

$$= 0,00029$$

$$\rho_{\text{min}} > \rho_{\text{perlu}}$$

$$A_s_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0036 \times 349 \times 7800$$

$$= 9772 \text{ mm}^2$$

Jika dipakai tulangan D22 mm,

$$A_s = 0,25 \times 3,14 \times 22^2 = 379,94 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{9772}{379,94} = 25,7 \text{ buah} \approx 26 \text{ buah}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{3900 - 2 \times 40}{26 - 1} = 152,8 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ pakai} = 26 \times 379,94 = 9878,44 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan lentur **26 D22 mm (As pakai 9878,44 mm²)**
dengan jarak 160 mm

• **Perhitungan penulangan tumpuan arah Y**

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} = \frac{780}{780} = 1 < 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

$$Muly^{(+)} = Muty^{(-)} = 0,001 Q_u L_y^2 y \rightarrow y = 57$$

$$Muly^{(+)} = Muty^{(-)} = 0,001 \times 6860 \times 7,8^2 \times 57 = 27389,66 \text{ kg.m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{273896600}{0,8} = 29370710 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d x^2} = \frac{29370710}{7800 \times 327} = 0,36 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 0,36}{390}} \right)$$

$$= 0,000921$$

$$\rho_{\text{min}} > \rho_{\text{perlu}}$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0036 \times 327 \times 7800$$

$$= 9156 \text{ mm}^2$$

Jika dipakai tulangan D22 mm,

$$A_s = 0,25 \times 3,14 \times 22^2 = 379,94 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{9156}{379,94} = 24,09 \text{ buah} \approx 25 \text{ buah}$$

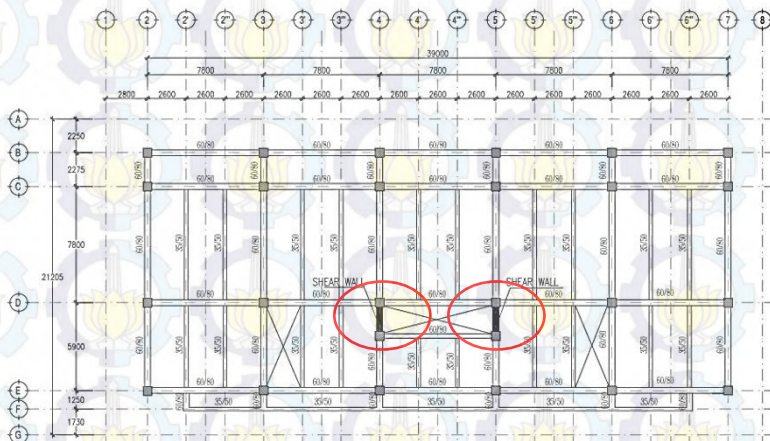
$$S_{\text{max}} = \frac{7800 - 2 \times 40}{25 - 1} = 165 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ pakai} = 25 \times 379,94 = 9498,5 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan lentur **25D22 mm** (A_s pakai **9498,5 mm²**) dengan jarak 200 mm

7.5 Perencanaan Dinding Struktural

Dinding geser (*Shearwall*) dalam struktur gedung berfungsi untuk menahan gaya geser dan momen momen yang terjadi akibat gaya lateral. Dinding geser bekerja sebagai sebuah balok kantilever vertikal dan dalam menyediakan tahanan lateral, dinding geser menerima tekuk maupun geser. Untuk dinding seperti itu, geser maksimum V_u dan momen maksimum M_u terjadi pada dasar dinding. Jika tegangan lentur diperhitungkan, besar tegangan lentur tersebut akan dipengaruhi oleh beban aksial N_u (kombinasi aksial lentur). Dalam struktur bangunan ini dipakai model section dinding geser tipe I dengan tebal 40 cm. sebagai contoh perhitungan, akan direncanakan dinding geser I lantai 1 karena berdasarkan hasil analisa SAP 2000 mempunyai gaya paling maksimum.



Gambar 7.17 Denah penempatan shearwall

Data perencanaan adalah sebagai berikut :

Mutu beton ($f'c$) = 30 MPa

Mutu baja (f_y) = 390 MPa

Tebal dinding geser = 40 cm

Bentang shearwall = 1,88 m

Tinggi shearwall = 57 m (keseluruhan)
 Tebal selimut beton = 40 mm

7.5.1 Penulangan Geser Dinding Struktural

Tabel 7.5 Beban yang Dipikul Shearwall Lt 1

| Kombinasi | Aksial (KN) | Momen (KNm) | Geser (KN) |
|-----------------|-------------|-------------|------------|
| 1,2D+1,0L+1,0Ex | 7598,5960 | 776,187 | 329,331 |
| 1,2D+1,0L+1,0Ey | 4779,573 | 337,62 | 138.258 |

➤ Gaya Geser Rencana

Pada dinding struktur sedikitnya harus digunakan 2 lapis tulangan bila gaya geser di dalam bidang diantara 2 komponen batas melebihi $0,17 \times A_{cv} \times \sqrt{f'_c}$, dimana A_{cv} adalah luasan netto yang dibatasi oleh tebal dan panjang penampang dinding (SNI 032847-2013 pasal 21.9.2.2) :

$$V_u = 33582,46 \text{ kg} < 0,17 \times (1880 \times 400) \times \sqrt{30} = 70020,85 \text{ kg}$$

Maka hanya dibutuhkan 1 lapis tulangan.

➤ Batas Kuat Geser Tiap Dinding Struktural

Sesuai SNI 03 2847 2013 pasal 21.9.2.1 Untuk dinding struktur rasio tulangan di arah vertikal dan horizontal harus diatur tidak boleh kurang dari 0,0025 dan $s \leq 450 \text{ mm}$. Sementara itu batas kuat geser DS sesuai pasal 21.9.4.4 SNI 2847 2013 adalah sebesar :

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y)$$

Dimana :

A_{cv} = luas penampang total dinding structural

α_c = 0,25 \rightarrow $hw/lw < 1,5$

0,17 \rightarrow $hw/lw > 2,0$

ρ_t = rasio tulangan arah transversal

ρ_t = rasio tulangan arah longitudinal

$$V_n = V_u/0,8 = 37973 \text{ kg}$$

Vn tidak perlu lebih besar dari

$$V_n < 0,66 \times A_{cv} \times \sqrt{f'c} = 271846 \text{ kg}$$

Vn harus lebih besar dari

$$V_n < 0,83 \times A_{cv} \times \sqrt{f'c} = 341867 \text{ kg}$$

Vn pakai = 341867 kg

$$\rho_t = 0,0081$$

$$\rho_t = 0,0081$$

$$A_s \text{ perlu} = 0,0081 \times 1880 \times 400 = 6125,604 \text{ mm}^2$$

$$A_s (D25) = 490,87 \text{ mm}^2$$

Jumlah yang dibutuhkan 13 buah dengan jarak 140 mm

Maka dibutuhkan 13 D25-140 mm



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VIII PERENCANAAN SAMBUNGAN

8.1 Umum

Sambungan berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya yang dipikul oleh elemen struktur ke elemen struktur yang lainnya. Gaya-gaya tersebut untuk selanjutnya diteruskan ke pondasi. Selain itu desain sambungan dibuat untuk menciptakan kestabilan. Suatu sambungan diharapkan dapat mentransfer beberapa gaya secara bersamaan.

Sambungan basah relatif mudah dalam pelaksanaannya jika dibandingkan dengan sambungan kering (*non topping*) seperti *mechanical connection* dan *welding connection* yang cukup rumit. Untuk sambungan basah dalam daerah *joint*, diberikan tulangan yang dihitung berdasarkan panjang penyaluran dan sambungan lewatan. Selain itu juga dilakukan perhitungan geser friksi yaitu geser beton yang berbeda umurnya antara beton pracetak dengan beton *topping*. Di dalam pelaksanaan biasanya dipakai stud tulangan (*shear connector*) yang berfungsi sebagai penahan geser dan sebagai pengikat antara pelat pracetak dan pelat *topping* agar pelat bersifat secara monolit dalam satu kesatuan integritas struktur.

Dalam pelaksanaan kontruksi beton pracetak, sebuah sambungan yang baik selalu ditinjau dari segi praktis dan ekonomis. Selain itu perlu juga ditinjau *serviceability*, kekuatan dan produksi. Faktor kekuatan khususnya harus dipenuhi oleh suatu sambungan karena sambungan harus mampu menahan gaya-gaya yang dihasilkan oleh beberapa macam beban. Beban-beban tersebut dapat berupa beban mati, beban hidup, beban gempa dan kombinasi dari beban-beban tersebut.

Sambungan antar elemen beton pracetak tersebut harus mempunyai cukup kekuatan, kekakuan dan dapat memberikan kebutuhan daktilitas yang disyaratkan.

Baik sambungan cor setempat maupun sambungan *grouting* sudah banyak dipergunakan sebagai salah satu pemecahan

masalah dalam mendesain konstruksi pracetak yang setara dengan konstruksi cor setempat (*cast in situ*).

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 16.6.2.2, adalah

- $D = 1/180 L_n$
- Untuk slab masif atau inti berongga (*hollow-core*) 50 mm
- Untuk balok atau komponen struktur bertangkai (*stemmed*) 75 mm

Dimana L_n = bentang bersih elemen pracetak

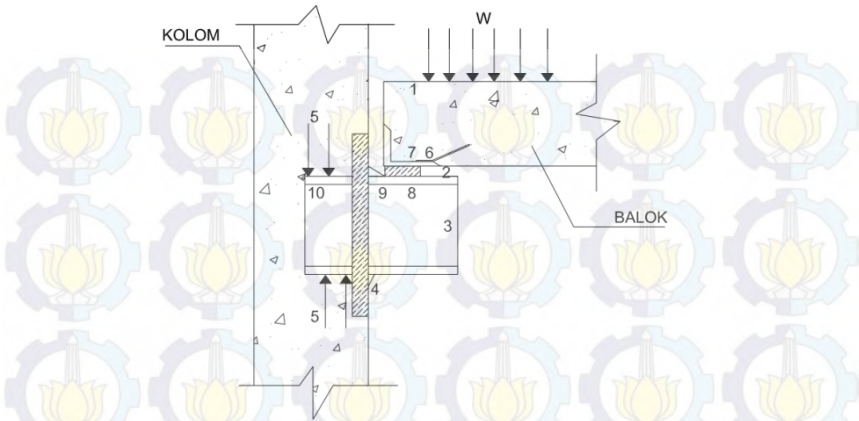


Gambar 8.1 Panjang Tumpuan pada Tumpuan

8.2 Konsep Desain Sambungan

8.2.1 Mekanisme Pemindahan Beban

Tujuan dari sambungan adalah memindahkan beban dari satu elemen pracetak ke elemen lainnya atau sebaliknya. Pada setiap sambungan, beban akan ditransfer melalui elemen sambungan dengan mekanisme yang bermacam-macam. Untuk menjelaskan mekanisme pemindahan beban, diambil contoh seperti gambar 8.2 dimana pemindahan beban diteruskan kekolom dengan melalui tahap sebagai berikut:



Gambar 8.2 Mekanisme Pemindahan Beban

1. Beban diserap pelat dan ditransfer ke perletakan dengan kekuatan geser
2. Perletakan ke *haunch* melalui gaya tekan *pads*
3. *Haunch* menyerap gaya vertical dari perletakan dengan kekuatan geser dan lentur dari profil baja.
4. Gaya geser vertical dan lentur diteruskan ke pelat baja melalui titik las.
5. Kolom beton memberikan reaksi terhadap profil baja yang tertanam.

Mekanisme pemindahan gaya tarik akibat susut, dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Balok beton ke tulangan dengan lekatan / ikatan.
2. Tulangan baja siku di ujung balok diikat dengan las.
3. Baja siku di ujung balok ke *haunch* melalui gesekan di atas dan di bawah *bearing pads*. Sebagian gaya akibat perubahan volume dikurangi dengan adanya deformasi pada *pads*.
4. Sebagian kecil dari gaya akibat perubahan volume dipindahkan melalui las ke pelat baja.
5. Gaya tersebut ditahan oleh perletakan dan diteruskan oleh *stud* ke kolom beton melalui ikatan / lekatan.

8.2.2 Klasifikasi Sistem dan Sambungannya

Sistem pracetak didefinisikan dalam dua kategori yaitu lokasi penyambungan dan jenis alat penyambungan :

1. Lokasi penyambungan

Portal daktil dapat dibagi sesuai dengan letak penyambung dan lokasi yang diharapkan terjadi pelelehan atau tempat sendi daktilnya. Simbol-simbol di bawah ini digunakan untuk mengidentifikasi perilaku dan karakteristik pelaksanaannya.

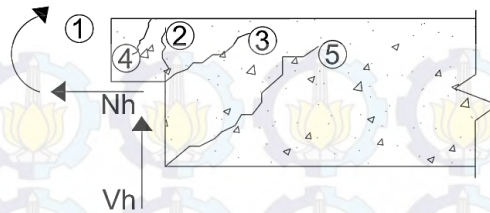
- *Strong*, sambungan elemen-elemen pracetak yang kuat dan tidak akan leleh akibat gempa-gempa yang besar.
- *Sendi*, sambungan elemen-elemen pracetak bila dilihat dari momen akibat beban lateral gempa dapat bersifat sebagai sendi.
- *Daktil*, sambungan elemen-elemen pracetak yang daktil dan berfungsi sebagai pemencar energi.
- Lokasi sendi plastis

2. Jenis alat penyambung

- *Shell pracetak* dengan bagian intinya di cor beton setempat
- *Cold joint* yang diberi tulangan biasa
- *Cold joint* yang diberi tulangan pracetak parsial, dimana joint *digROUT*.
- *Cold joint* yang diberi tulangan pracetak parsial, dimana joint tidak *digROUT*.
- Sambungan-sambungan mekanik

8.2.3 Pola-pola Kehancuran

Sebagian perencanaan diharuskan untuk menguji masing masing pola-pola kehancuran. Pada dasarnya pola kehancuran kritis pada sambungan sederhana akan tampak nyata. Sebagai contoh pada kehancuran untuk sambungan sederhana dapat dilihat pada gambar 8.3

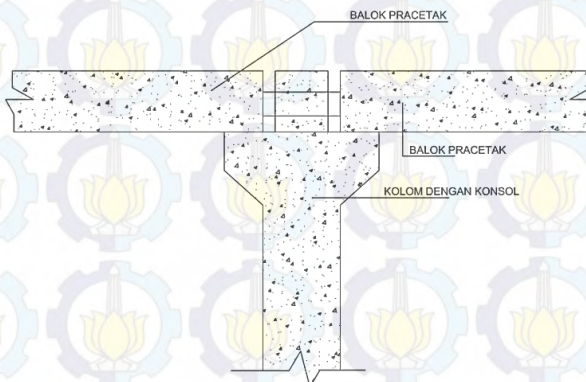


Gambar 8.3 Model keruntahan

PCI desain handbook memberikan 5 pola kehancuran yang harus diselidiki pada waktu perencanaan *dapped-end* dari balok yaitu sebagai berikut

- 1) lentur dan gaya tarik aksial pada ujung
- 2) Tarik diagonal yang berasal dari sudut ujung
- 3) Geser langsung antar tonjolan dengan bagian utama balok
- 4) Tarik diagonal pada ujung akhir
- 5) Perletakan pada ujung atau tonjolan

Pada tugas akhir ini penulis merencanakan sistem balok pracetak yang mampu menumpu pada kolom dengan bantuan konsol pendek pada saat proses pencapaian penyambungan sebelum komposit sehingga mencapai kekuatan yang benar-benar monolit (menyatu dan berkesinambungan). Berikut disajikan permodelannya dalam gambar 8.4 berikut ini :



Gambar 8.4 Model sambungan balok pada konsol kolom

8.3 Penggunaan Topping Beton

Penggunaan topping beton komposit disebabkan karena berbagai pertimbangan. Tujuan utamanya adalah :

- 1) Untuk menjamin agar lantai beton pracetak dapat bekerja sebagai satu kesatuan diafragma horizontal yang cukup kaku.
- 2) Agar penyebaran atau distribusi beban hidup vertical antar komponen pracetak lebih merata.
- 3) Meratakan permukaan beton karena adanya perbedaan penurunan atau camber mereduksi kebocoran air.

Tebal topping umumnya berkisar antara 50 mm sampai 100 mm. Pemindahan sepenuhnya gaya geser akibat beban lateral pada komponen struktur komposit tersebut akan bekerja dengan baik selama tegangan geser horizontal yang timbul tidak melampaui $5,50 \text{ kg/cm}^2$. Bila tegangan geser tersebut dilampaui, maka topping beton tidak boleh dianggap sebagai struktur komposit, melainkan harus dianggap sebagai beban mati yang bekerja pada komponen beton pracetak tersebut. Kebutuhan baja tulangan pada topping dalam menampung gaya geser horizontal tersebut dapat direncanakan dengan menggunakan geser friksi (*shear friction concept*).

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \times \mu} \geq A_{vf} \text{ min}$$

dimana :

A_{vf} = luas tulangan geser friksi

V_n = luas geser nominal $< 0,2 f_c A_c$ (Newton)

$< 5,5 A_c$ (Newton)

A_c = luas penampang beton yang memikul penyaluran geser

F_y = kuat leleh tulangan

μ = koefisien friksi (1)

$A_{vf} \text{ min} = 0,018 A_c$ untuk baja tulangan mutu $< 400 \text{ Mpa}$

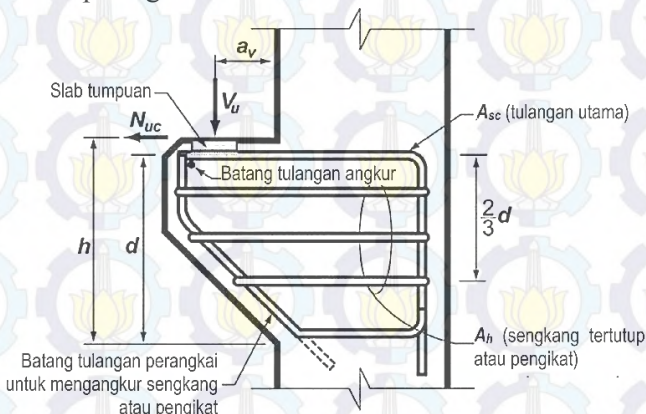
$= 0,018 \times 400/f_y$ untuk tulangan $f_y > 400 \text{ Mpa}$ diukur

pada tegangan leleh 0,35% dalam segala hal tidak boleh kurang dari $0,0014 A_c$

8.4 Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom

8.4.1 Perencanaan Konsol pada Kolom

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan kolom dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakan pada konsol yang berada pada kolom yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada kolom tersebut mengikuti persyaratan yang diatur dalam SNI-03-2847-2013 Pasal 11.8 mengenai konsol pendek. Bentuk konsol pendek yang dipakai dapat dilihat pada gambar 8.3 berikut ini:



Gambar 8.5 Geometrik konsol pendek

Ketentuan SNI 03 – 2847 – 2013 pasal 11.8 tentang perencanaan konsol pendek yang diatur sebagai berikut :

1. Perencanaan konsol pendek dengan rasio bentang geser terhadap tinggi a_v/d tidak lebih besar dari satu, dan dikenai gaya tarik horizontal terfaktor, N_{uc} , tidak lebih besar daripada V_u . Tinggi efektif d harus ditentukan di muka tumpuan
2. Tinggi di tepi luar luas tumpuan tidak boleh kurang dari $0,5d$

3. Penampang di muka tumpuan harus didesain untuk menahan secara bersamaan V_u suatu momen terfaktor $V_{ua} + N_{uc}(h-d)$, dan gaya tarik horizontal terfaktor, N_{uc}

- 1) Dalam semua perhitungan desain yang sesuai dengan SNI 03 – 2847 – 2013 pasal 11.8, ϕ harus diambil sama dengan 0,75
- 2) Desain tulangan geser-friksi A_{vf} untuk menahan V_u harus sesuai dengan SNI 03 – 2847 – 201X pasal 11.6:
 - a) Untuk beton berat normal, V_n tidak boleh melebihi yang terkecil dari $0,2f'_c b_w d$, $(3,3+0,08f'_c)b_w d$, dan $11 b_w d$.
 - b) Untuk beton ringan atau ringan pasir, V_n tidak boleh diambil lebih besar dari yang lebih kecil dari $(0,2 - 0,07 \frac{a}{d}) f'_c b_w d$ dan $(5,5 - 1,9 \frac{a}{d}) b_w d$
 - c) Tulangan A_f untuk menahan terfaktor
 - a. $[V_u a_v + N_{uc}(h - d)]$ harus dihitung menurut SNI 03 – 2847 – 201X pasal 10.2 dan pasal 10.3
 - d) Tulangan A_n untuk menahan gaya Tarik terfaktor N_{uc} harus ditentukan dari $\phi A_n f_y \geq N_{uc}$. Gaya tarik terfaktor, N_{uc} tidak boleh diambil kurang dari $0,2V_u$ kecuali bila ketentuan dibuat untuk menghindari gaya Tarik. N_{uc} harus dianggap sebagai beban hidup bahkan bilamana Tarik yang dihasilkan dari kekangan rangkai, susut, atau perubahan suhu.
 - e) Luas tulangan Tarik utama A_{sc} tidak boleh kurang dari yang lebih besar dari $(A_f + A_n)$ dan $(\frac{2A_{vf}}{3} + A_n)$
4. Luas total A_h , sengkang tertutup atau pengikat parallel terhadap tulangan Tarik utama tidak boleh kurang dari $0,5(A_{sc} - A_n)$, Distribusikan A_h secara merata dalam $(2/3)d$ bersebelahan dengan tulangan tarik utama
5. $\frac{A_{sc}}{bd}$ tidak boleh kurang dari $0,04 \frac{f'_c}{f_y}$

6. Pada muka depan konsol pendek, tulangan tarik utama A_s harus diangkur dengan salah satu dari berikut :
- Dengan las struktur pada batang tulangan transversal dengan sedikit berukuran sama; las didesain untuk mengembangkan f_y tulangan Tarik utama
 - Dengan pembengkakan tulangan tarik utama menjadi bentuk tertutup horizontal atau
 - Dengan suatu cara pengankuran baik lainnya
7. Luas tumpuan pada konsol pendek tidak boleh menonjol melampaui bagian lurus batang tulangan tarik utama A_s , ataupun menonjol melampaui muka dalam dari batang tulangan angkur transversal (bila batang tulangan tersebut disediakan)

8.4.1.1 Perhitungan Konsol pada Kolom

a. Data perencanaan

V_u output analisis dengan software SAP2000 = 258644,52 N

Dimensi Balok = 60/80

Dimensi konsol :

b_w = 500 mm

h = 400 mm

d = 400 - 40 - 25 = 335 mm

f_c' = 40 MPa

f_y = 390 MPa

a = 150 mm

Ketentuan yang digunakan dalam perencanaan konsol pendek sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8. Untuk dapat menggunakan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8, maka geometri konsol pendek serta gaya yang terjadi pada konsol pendek tersebut harus sesuai dengan yang diisyaratkan oleh SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8.1. Syarat tersebut adalah sebagai berikut :

- $a/d = 150 / 335 = 0,41 < 1 \dots \text{OK}$
- $N_{uc} \leq V_u$
 $N_{uc} = 0,2 \times 258644,52 = 51728,9 \text{ N} \leq 258644,52 \text{ N}$
 OK

Sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.1, syarat nilai kuat geser

V_n untuk beton normal adalah

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{258644,52}{0,75} = 344859,4 \text{ N}$$

b. Menentukan luas tulangan geser friksi

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8.3.2 (a), untuk beton normal, kuat geser V_n tidak boleh diambil lebih besar daripada :

$$0,2 f_c' \times b_w \times d = 0,2 \times 30 \times 500 \times 335 \\ = 1005000 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$$

$$11 b_w d = 1,1 \times 500 \times 335 \\ = 184250 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$$

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \times \mu} \\ = \frac{344859,4}{390 \times 1,4} \\ = 1237,96 \text{ mm}^2$$

c. Luas tulangan lentur :

Perletakan yang akan digunakan dalam konsol pendek ini adalah sendi-rol yang mengijinkan adanya deformasi arah lateral ataupun horizontal, maka gaya horizontal akibat susut jangka panjang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi. Maka sesuai dengan SNI 03-2847 pasal 11.8.3.4, akan digunakan N_{uc} minimum.

$$M_u = V_{ua} \times a + N_{uc} (h-d) \\ = (258644,52 \times 150) + (51728,9 \times (400-330)) \\ = 42159057 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times b \times d x^2} = \frac{42159057}{0,8 \times 500 \times 335^2} = 0,619$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 0,619}{390}} \right) = 0,00161$$

$\rho = 0,00154 < \rho_{\text{min}} = 0,0036$, maka dipakai $\rho_{\text{min}} = 0,0036$ (menentukan)

$$A_{f1} = \frac{M_u}{0,85 \times \phi \times f_y \times d}$$

$$A_{f1} = \frac{42159057}{0,85 \times 0,65 \times 390 \times 335} = 584,049 \text{ mm}^2$$

$$A_{f2} = \rho \times b \times d$$

$$A_{f2} = 0,0036 \times 500 \times 400$$

$$A_{f2} = 603 \text{ mm}^2$$

Jadi dipakai $A_f = 584,049 \text{ mm}^2$

Tulangan pokok A_s :

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \times f_y} = \frac{51728,9}{0,65 \times 390} = 204,059 \text{ mm}^2$$

d. Pemilihan tulangan yang digunakan

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.5

$$A_s = A_f + A_n = 584,049 + 204,059 = 788,11 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \left(\frac{2 \times A_{f1}}{3} + A_n \right) = \left(\frac{2 \times 1237,957}{3} \right) + 204,059 = 1029,363 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.5

$$A_{s_{\min}} = 0,04 \left(\frac{f_c'}{f_y} \right) b \times d = 0,04 \left(\frac{30}{390} \right) 500 \times 335 = 515,385 \text{ mm}^2$$

$A_s = 989,80 \text{ mm}^2$ menentukan

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.4

$$A_h = 0,5 (A_s - A_n) = 0,5 (1029,363 - 204,059) = 412,652 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan 4D13 ($A_s = 530,929 \text{ mm}^2$)

Dipasang sepanjang $(2/3)d = 233,33 = 250 \text{ mm}$ (vertikal)

dipasang 4D13 dengan spasi $250/4 = 62,5 \text{ mm}$

e. Luas pelat landasan :

$$V_u = \emptyset \times (0,85) \times f_c \times A_l$$

$$A_l = \frac{258644,5}{0,85 \times 30 \times 0,75} = 15604,5 \text{ mm}^2$$

dipakai pelat landasan $250 \times 300 \text{ mm}^2 = 75000 \text{ mm}^2$ (tebal 15 mm)

8.4.2 Perhitungan Sambungan Balok Kolom

Sistem sambungan antara balok dengan kolom pada perencanaan memanfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan balok, terutama tulangan pada bagian bawah yang nantinya akan dijangkarkan atau dikaitkan ke atas.

Panjang penyaluran diasumsikan menerima tekan dan juga menerima tarik, sehingga dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi, yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan.

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ perlu} = 2632,759 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ terpasang} = 3041,062 \text{ mm}^2$$

a. Panjang penyaluran tulangan deform dalam tekan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3 maka :

$$l_d = l_{db} \times \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ terpasang}}$$

$$l_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$l_{db} \geq 0,04 d_b f_y$$

$$\geq 0,04 \times 22 \times 390 = 343,2$$

$$l_{db} = \frac{db \times f_y}{4\sqrt{f'c}} = \frac{22 \times 390}{4\sqrt{30}} = 391,621 \text{ mm}$$

$$l_d = 391,621 \times \frac{2632,759}{3041,062} = 339,041 \text{ mm} > 200 \text{ mm (OK)}$$

Maka dipakai $l_d = 339,041 \approx 340 \text{ mm}$.

b. Panjang penyaluran kait standar dalam tarik

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5, maka :

$$l_{dh} = l_{hb} \frac{f_y}{400}$$

$$l_{dh} \geq 8d_b$$

$$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

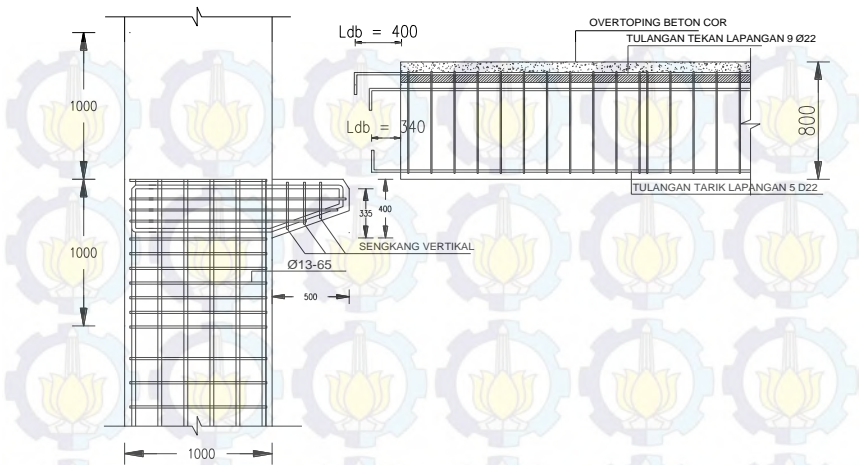
Didapat :

$$l_{hb} = 100 \times \frac{db}{\sqrt{f'c}} = 100 \times \frac{22}{\sqrt{30}} = 401,66 \text{ mm}$$

$$l_{dh} \geq 8 \times 22 = 176 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = l_{hb} \frac{f_y}{400} = 401,66 \times \frac{390}{400} = 391,622 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm (OK)}$$

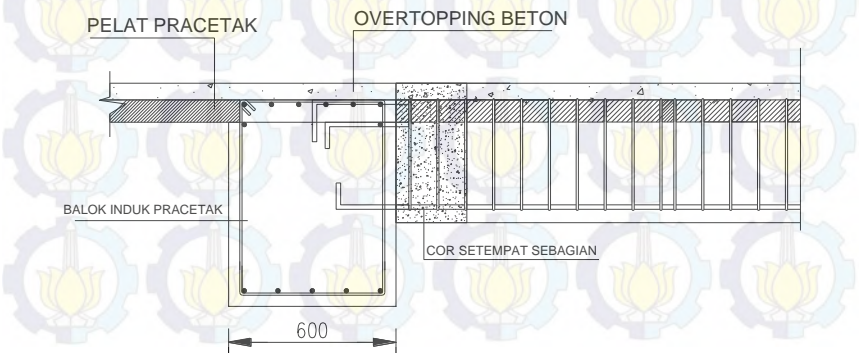
Maka dipakai $l_{dh} = 391,622 \approx 400 \text{ mm}$ dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk kedalam kolom dengan panjang kait standar 90° sebesar $12 db = 12 \times 22 = 264 \text{ mm}$



Gambar 8.6 Panjang Penyaluran Balok Induk

8.5 Perencanaan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan balok anak digunakan sambungan dengan konsol pendek. Balok anak diletakkan pada konsol yang berada pada balok induk yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan.



Gambar 8.7 Sambungan Balok Induk dan Balok Anak

8.5.1 Perhitungan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak

Sistem sambungan antara balok dengan balok anak pada perencanaan ini memanfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan balok, terutama tulangan pada bagian bawah yang nantinya akan dijangkarkan atau dikaitkan ke atas.

Panjang penyaluran diasumsikan menerima tekan dan juga menerima tarik, sehingga dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi, yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan.

$$db = 16 \text{ mm}$$

$$As \text{ perlu} = 1358,21 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ terpasang} = 1608,49 \text{ mm}^2$$

a. Panjang Penyaluran Tulangan Tekan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.3 maka :

$$\frac{ld}{db} = ldb \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ terpasang}}$$

$$ld \geq 200 \text{ mm}$$

$$ldb \geq 0,04 \text{ db } f_y$$

$$\geq 0,04 \times 16 \times 390 = 249,6$$

$$\frac{ld}{db} = \frac{d_b \times f_y}{4\sqrt{f'c}}$$

$$ldb = \frac{16 \times 390}{4\sqrt{30}}$$

$$= 284,816 \text{ mm}$$

$$ld = 284,816 \times \frac{1358,21}{1608,49} = 240,5 \text{ mm}$$

Maka dipakai $ld = 240,5 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$.

$$ld \geq 200 \text{ mm} \dots\dots \text{OK}$$

b. Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

Berdasarkan SNI 03-2847-201X Pasal 12.2.2, maka :

$$\begin{aligned}
 l_d &= \left(\frac{f_y}{1,7\lambda} \frac{\Psi_t \Psi_e}{\sqrt{f'c}} \right) \times d_b \\
 &= \left(\frac{390}{1,7 \times 1} \frac{1,3 \times 1}{\sqrt{30}} \right) \times 16 \\
 &= 871,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$l_d > 300 \text{ mm}$ OK

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan tarik $l_d = 871,2 \text{ mm} \approx 900 \text{ mm}$

c. Panjang Penyaluran Kait Standar Dalam Tarik

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5, maka :

$$l_{dh} = l_{hb} \frac{f_y}{400}$$

$$l_{dh} \geq 8 \text{ db}$$

$$l_{dh} \geq 176 \text{ mm}$$

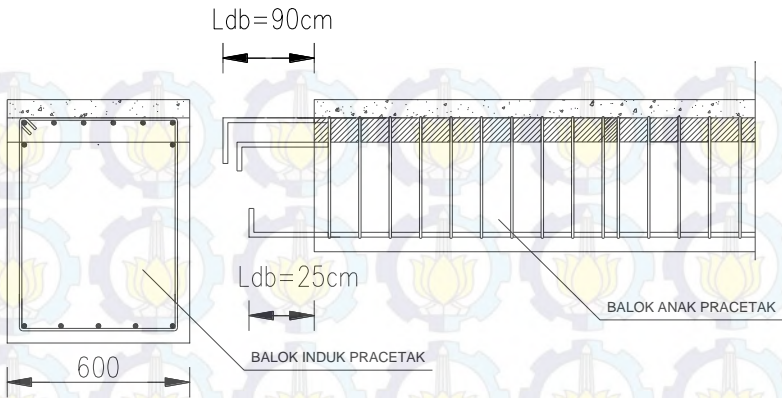
$$l_{hb} = 100 \times \frac{d_b}{\sqrt{f'c}} = 100 \times \frac{16}{\sqrt{40}} = 252,98 \text{ mm}$$

$$l_{dh} \geq 8 \text{ db} = 8 \times 16 = 128 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = 252,98 \times \frac{390}{400} = 246,65 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

$$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$
 OK

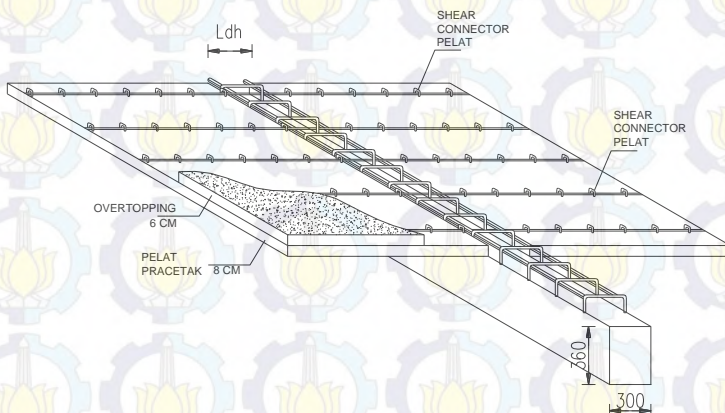
Maka dipakai $l_{dh} = 250 \text{ mm}$ dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk kedalam balok induk dengan panjang kait standart 90° sebesar $12 \text{ db} = 12 \times 16 = 192 \text{ mm}$



Gambar 8.8 Panjang Penyaluran Balok Anak

8.6 Perencanaan Sambungan Pelat dan Balok

Sambungan antara balok dengan pelat mengandalkan adanya tumpuan tumpang yang dipasang memanjang melintang tegak lurus di atas balok (menghubungkan stud – stud pelat). Selanjutnya pelat pracetak yang sudah dihubungkan stud-studnya tersebut diberi overtopping dengan cor setempat.



Gambar 8.9 Panjang Penyaluran Pelat

8.6.1 Panjang Penyaluran Tulangan Pelat Type A

Berdasarkan perhitungan pada bab sebelumnya, didapatkan hasil penulangan pada pelat type A sebagai berikut :

$$d_b = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Arah X} - \text{As perlu} : 210,06 \text{ mm}^2$$

$$\text{As terpasang} : 226,19 \text{ mm}^2$$

$$\text{Arah Y} - \text{As perlu} : 601,98 \text{ mm}^2$$

$$\text{As terpasang} : 678,58 \text{ mm}^2$$

a. Penyaluran Arah X

- Kondisi tarik

$$\ell_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$\ell_d = \frac{12 f_y \alpha \beta \lambda}{25 \sqrt{f_c'}}$$

$$d_b$$

$$\alpha \beta \leq 1,7 \dots \text{SNI 03 - 2847 - 2013 Pasal 12.2.4}$$

Dengan :

$$\alpha : \text{faktor lokasi penulangan} = 1$$

$$\beta : \text{faktor pelapis} = 1$$

$$\lambda : \text{faktor beton normal} = 1$$

$$\ell_d = \frac{12 \times 390 \times 1 \times 1 \times 1}{25 \sqrt{30}}$$

$$\ell_d = 445,79 \text{ mm (OK)}$$

Dipakai $\ell_d = 450 \text{ mm}$

- Kondisi tekan

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3

$$\ell_d = \ell_{db} \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}}$$

$$\ell_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$\ell_d \geq 0,043 d_b f_y$$

$$\geq 0,043 \times 12 \times 390 = 201,24$$

$$\ell_{db} = \frac{d_b \times f_y}{4 \times \sqrt{f'_c}} = \frac{12 \times 390}{4 \times \sqrt{30}} = 213,612 \text{ mm}$$

$$\ell_d = 213,612 \times \frac{210,06}{226,19} = 198,38 \text{ mm (NOT OK)}$$

Dipakai $\ell_d = 200 \text{ mm}$

b. Penyaluran Arah Y

- Kondisi tarik

$$\ell_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{12 f_y \alpha \beta \lambda}{25 \sqrt{f'_c}}$$

$$\alpha \beta \leq 1,7, \dots \text{SNI 03 - 2847 - 2013 Pasal 12.2.4}$$

Dengan :

α : faktor lokasi penulangan = 1

β : faktor pelapis = 1

λ : faktor beton normal = 1

$$\frac{\ell_d}{12} = \frac{12 \times 390 \times 1 \times 1 \times 1}{25 \sqrt{30}}$$

$$\ell_d = 445,79 \text{ mm (OK)}$$

Dipakai $\ell_d = 450 \text{ mm}$

- Kondisi tekan
Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3

$$\ell_d = \ell_{db} \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}}$$

$$\ell_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \ell_d &\geq 0,043 d_b f_y \\ &\geq 0,043 \times 12 \times 390 = 201,24 \end{aligned}$$

$$\ell_{db} = \frac{d_b \times f_y}{4 \times \sqrt{f'_c}} = \frac{12 \times 390}{4 \times \sqrt{30}} = 213,612 \text{ mm}$$

$$\ell_d = 213,612 \times \frac{601,98}{678,58} = 189,49 \text{ mm (NOT OK)}$$

Dipakai $\ell_d = 200 \text{ mm}$



BAB IX

PERENCANAAN PONDASI

9.1 Umum

Perencanaan pondasi merupakan perencanaan struktur bawah bangunan. Pondasi pada umumnya berlaku sebagai komponen struktur pendukung bangunan yang terbawah dan berfungsi sebagai elemen terakhir yang meneruskan beban ke tanah. Pondasi pada gedung ini direncanakan memakai pondasi tiang pancang jenis *pencil pile shoe* produk dari PT. WIKA (Wijaya Karya) Beton. Pada bab perencanaan pondasi pembahasan meliputi perencanaan jumlah tiang pancang yang dibutuhkan, perencanaan poer (pile cap) dan perencanaan sloof (Tie beam).

9.2 Data Tanah

Data tanah diperlukan untuk merencanakan pondasi yang sesuai dengan jenis dan kemampuan daya dukung tanah tersebut. Data tanah didapatkan melalui penyelidikan tanah pada lokasi dimana struktur tersebut akan dibangun. Dalam hal ini data tanah yang digunakan untuk perencanaan pondasi gedung Perkantoran MNC Tower Surabaya adalah data tanah pembangunan Gardu Induk PLN Wonorejo – Surabaya Selatan hasil Uji Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil ITS Surabaya.

9.3 Kriteria Design

9.3.1 Spesifikasi Tiang Pancang

Pada perencanaan pondasi gedung ini, digunakan pondasi tiang pancang jenis *pencil pile shoe* Produk dari PT. Wijaya Karya Beton.

1. Tiang pancang beton pracetak (*precast concrete pile*) dengan bentuk penampang bulat.
2. Mutu beton tiang pancang K-600 (*concrete cube compressive strength is 600 kg/cm² at 28 days*).

Berikut ini, spesifikasi tiang pancang yang akan digunakan,

- *Diameter outside (D)* : 600 mm
- *Thickness* : 100 mm
- *Kelas* : A1
- *Modulus* : 17255,62 cm³
- *Bending momen crack* : 17 tm
- *Bending momen ultimate* : 25,5 tm
- *Allowable axial* : 235,4 ton

9.4 Daya Dukung

9.4.1 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Daya dukung pada pondasi tiang pancang ditentukan oleh dua hal, yaitu daya dukung perlawanan tanah dari unsur dasar tiang pondasi (Q_p) dan daya dukung tanah dari unsur lekatan lateral tanah (Q_r). Sehingga daya dukung total dari tanah dapat dirumuskan :

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Di samping peninjauan berdasarkan kekuatan tanah tempat pondasi tiang pancang di tanam, daya dukung suatu tiang juga harus ditinjau berdasarkan kekuatan bahan tiang pancang tersebut.

Hasil daya dukung yang menentukan yang dipakai sebagai daya dukung ijin tiang. Perhitungan daya dukung dapat ditinjau dari dua keadaan, yaitu daya dukung tiang pancang tunggal yang berdiri sendiri dan daya dukung tiang pancang dalam kelompok. Perhitungan daya dukung tiang pancang ini dilakukan berdasarkan hasil uji *SPT* menurut Luciano Decourt.

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

Dimana :

Q_L = Daya dukung tanah maksimum pada pondasi

Q_p = *Resistance ultime* di dasar pondasi

Q_s = *Resistance ultime* akibat lekatan lateral

$Q_p = q_p \cdot A_p = (N_p \cdot K) \cdot A_p$

Dimana :

A_p = Luas penampang ujung tiang

N_p = Harga rata-rata *SPT* 4B diatas dasar pondasi dan 4B dibawah dasar pondasi.

- K** = Koefisien karakteristik tanah
 $12 \text{ t/m}^2 = 117,7 \text{ kPa}$, (untuk lempung)
 $20 \text{ t/m}^2 = 196 \text{ kPa}$, (untuk lanau berlempung)
 $25 \text{ t/m}^2 = 245 \text{ kPa}$, (untuk lanau berpasir)
 $40 \text{ t/m}^2 = 392 \text{ kPa}$, (untuk pasir)
Q_p = Tegangan di ujung tiang
Q_s = $q_s \cdot A_s = (N_s/3 + 1) \cdot A_s$

Dimana :

q_s = Tegangan akibat lekatan lateral dalam t/m²

N_s = Harga rata-rata SPT sepanjang tiang yang tertanam,
dengan batasan ; $3 \leq N \leq 50$

A_s = Keliling x panjang tiang yang terbenam

Harga N di bawah muka air tanah harus dikoreksi menjadi N' berdasarkan perumusan sebagai berikut (Terzaghi & Peck):

$$N' = 15 + 0,5 (N - 15)$$

Dimana:

N = Jumlah pukulan kenyataan di lapangan untuk di bawah muka air tanah

9.4.2 Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Untuk daya dukung pondasi group, terlebih dahulu dikoreksi dengan apa yang disebut dengan koefisien efisiensi C_e .

$$Q_L(\text{group}) = Q_L(\text{1 tiang}) \times n \times \eta$$

dengan n = jumlah tiang dalam group

Daya dukung pondasi kelompok menurut Converse

Labarre adalah :

Efisiensi :

$$(\eta) = 1 - \left\{ \arctg \left(\frac{D}{S} \right) \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right) \right\}$$

Dimana :

D = diameter tiang pancang

S = jarak antar tiang pancang

m = jumlah baris tiang pancang dalam group

n = jumlah kolom tiang pancang dalam group

9.4.3 Repartisi Beban di Atas Tiang Berkelompok

Bila di atas tiang-tiang dalam kelompok yang disatukan oleh sebuah kepala tiang (*poer*) bekerja beban-beban vertikal (V), horizontal (H), dan momen (M), maka besarnya beban vertical ekuivalen (P_v) yang bekerja pada sebuah tiang adalah

$$P_{\max} = \frac{\sum V}{n} + \frac{M_x \cdot y_{\max}}{\sum y_i^2} + \frac{M_y \cdot x_{\max}}{\sum x_i^2}$$

Dimana :

P_i = Total beban yang bekerja pada tiang yang ditinjau

y_{\max} = jarak maksimum tiang yang ditinjau dalam arah y

x_{\max} = jarak maksimum tiang yang ditinjau dalam arah x

$\sum x_i^2$ = jumlah kuadrat jarak tiang pancang terhadap as poer arah x

$\sum y_i^2$ = jumlah kuadrat jarak tiang pancang terhadap as poer arah y

nilai x dan y positif jika arahnya sama dengan arah e, dan negatif bila berlawanan dengan arah e.

9.5 Perhitungan Tiang Pancang

Dari hasil analisa struktur dengan menggunakan program bantu SAP 2000, diambil output reaksi perletakan yang terbesar dengan hasil ialah sebagai berikut (dalam hal ini, nilai beban yang dimasukkan bukanlah beban ultimate, tetapi beban awal sebelum ditambah faktor beban) :

P = 683,851 t

M_{ux} = 26,925 tm

M_{uy} = 8,05 tm

H_x = 12,41 t

H_y = 5,085 t

9.5.1 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Dari hasil data tanah yang didapatkan dari Lab Mektan ITS digunakan contoh untuk kedalaman 22 m dengan diameter tiang pancang 600 mm (lihat Tabel 8.1). Dari data tanah tersebut kemudian dihitung menggunakan persamaan *Luciano Decourt* :

$$Q_N = Q_p + Q_s$$

Dimana:

$$Q_p = (N_p \times K) \times A_p \\ = (32,5 \times 25 \times 0,283) = 229,613 \text{ t}$$

$$Q_s = (N_s/3 + 1) \times A_s \\ = (23,65/3 + 1) \times 39,564 = 351,48 \text{ t}$$

$$Q_L = Q_p + Q_s \\ = 229,613 + 351,48 = 581,10 \text{ t}$$

$$Q_U = \frac{Q_L}{S_r} = \frac{581,10}{3} = 193,70 \text{ t}$$

Dari hasil Q_u yang didapatkan maka rencana jumlah tiang pancang adalah :

$$n = \frac{P_n}{Q_u} = \frac{683,851}{193,7} = 3,54 \approx 4 \text{ buah}$$

Secara lengkap perhitungan daya dukung tiang pancang tunggal disajikan dalam tabel 9.1 berikut ini :

Tabel 9.1 Daya dukung tiang pancang tunggal

| D (m) | N-SPT | Jenis | N _p | K | q _p | q _s | Q _p | Q _s | Q _L | Q _{ijin} | n min tiang |
|-------|-------|------------------------|----------------|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|-------------|
| | | Tanah | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | pasir kerikil berlanau | 7.50 | 40 | 85 | 3.50 | 24.0 | 0.0 | 24.0 | 8.0 | 158.6 |
| 1 | 0 | pasir kerikil berlanau | 7.88 | 40 | 315 | 3.50 | 89.0 | 6.6 | 95.6 | 31.9 | 39.8 |
| 2 | 0 | lempung | 8.30 | 20 | 166 | 3.50 | 46.9 | 13.2 | 60.1 | 20.0 | 63.2 |
| 3 | 3 | lempung | 8.90 | 20 | 178 | 3.63 | 50.3 | 20.5 | 70.8 | 23.6 | 53.7 |
| 4 | 5 | lempung | 9.60 | 20 | 192 | 3.77 | 54.3 | 28.4 | 82.6 | 27.5 | 46.0 |
| 5 | 6 | lempung berpasir | 11.70 | 25 | 293 | 3.89 | 82.7 | 36.6 | 119.3 | 39.8 | 31.9 |
| 6 | 7 | lempung | 15.70 | 35 | 550 | 4.00 | 155.3 | 45.2 | 200.5 | 66.8 | 19.0 |

| | | berpasir | | | | | | | | | |
|----|----|-----------------------------|-------|----|------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| 7 | 21 | pasir kerikil | 20.10 | 40 | 804 | 4.38 | 227.2 | 57.7 | 284.9 | 95.0 | 13.3 |
| 8 | 43 | pasir kerikil | 24.40 | 40 | 976 | 5.07 | 275.8 | 76.5 | 352.3 | 117.4 | 10.8 |
| 9 | 49 | pasir kerikil | 28.70 | 40 | 1148 | 5.73 | 324.4 | 97.2 | 421.6 | 140.5 | 9.0 |
| 10 | 49 | pasir kerikil berlanau | 31.30 | 40 | 1252 | 6.27 | 353.8 | 118.2 | 472.0 | 157.3 | 8.1 |
| 11 | 50 | pasir kerikil berlanau | 31.20 | 40 | 1248 | 6.74 | 352.7 | 139.6 | 492.3 | 164.1 | 7.7 |
| 12 | 47 | pasir kerikil berlanau | 30.70 | 40 | 1228 | 7.09 | 347.0 | 160.3 | 507.3 | 169.1 | 7.5 |
| 13 | 42 | pasir kerikil berlanau | 30.00 | 40 | 1200 | 7.33 | 339.1 | 179.6 | 518.7 | 172.9 | 7.3 |
| 14 | 44 | pasir kerikil berlanau | 29.40 | 40 | 1176 | 7.57 | 332.3 | 199.6 | 531.9 | 177.3 | 7.1 |
| 15 | 42 | pasir kerikil berlanau | 29.30 | 40 | 1172 | 7.75 | 331.2 | 219.0 | 550.2 | 183.4 | 6.9 |
| 16 | 44 | pasir kerikil berlanau | 29.80 | 40 | 1192 | 7.93 | 336.9 | 239.1 | 575.9 | 192.0 | 6.6 |
| 17 | 46 | pasir kerikil berlanau | 30.20 | 40 | 1208 | 8.11 | 341.4 | 259.8 | 601.2 | 200.4 | 6.3 |
| 18 | 47 | pasir kerikil berlanau | 31.00 | 40 | 1240 | 8.28 | 350.4 | 280.8 | 631.2 | 210.4 | 6.0 |
| 19 | 48 | pasir kerikil berlanau | 31.60 | 40 | 1264 | 8.44 | 357.2 | 302.2 | 659.4 | 219.8 | 5.8 |
| 20 | 50 | pasir kerikil berlanau | 32.00 | 40 | 1280 | 8.60 | 361.7 | 324.2 | 685.9 | 228.6 | 5.5 |
| 21 | 50 | pasir kerikil berlempung | 32.30 | 25 | 808 | 8.75 | 228.2 | 346.2 | 574.4 | 191.5 | 6.6 |
| 22 | 50 | pasir kerikil berlempung | 32.50 | 25 | 813 | 8.88 | 229.6 | 368.2 | 597.8 | 199.3 | 6.4 |

9.5.2 Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Pondasi tiang pancang direncanakan dengan diameter 60 cm. Jarak dari as ke as antar tiang pancang direncanakan seperti pada perhitungan di bawah ini :

▪ Untuk jarak antar tiang pancang :

$$2,5 D \leq S \leq 3 D$$

$$2,5 \times 60 \leq S \leq 3 \times 60$$

$$150 \text{ cm} \leq S \leq 180 \text{ cm}$$

Digunakan jarak antar tiang = 150 cm

- Untuk jarak tiang pancang :

$$1 D \leq S_1 \leq 2 D$$

$$1 \times 60 \leq S_1 \leq 2 \times 60$$

$$60 \text{ cm} \leq S_1 \leq 120 \text{ cm}$$

Digunakan jarak tiang ke tepi = 100 cm

Dimana : S = jarak antar tiang pancang

S_1 = jarak tiang pancang ke tepi

Dipakai : jarak antar tiang pancang (S) = 150 cm

Jarak tepi tiang pancang (S_1) = 100 cm

Pada pondasi tiang grup/kelompok, terlebih dahulu dikoreksi dengan suatu faktor yaitu faktor efisiensi, yang dirumus pada persamaan di bawah ini :

$$Q_L(\text{group}) = Q_L(1 \text{ tiang}) \times n \times \eta$$

$$(\eta) = 1 - \left\{ \arctg \left(\frac{D}{S} \right) \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right) \right\}$$

Dimana :

D = diameter tiang pancang

S = jarak antar tiang pancang

m = jumlah baris tiang pancang dalam 1 baris

n = jumlah kolom tiang pancang

Efisiensi :

$$(\eta) = 1 - \left\{ \frac{\arctan\left(\frac{600}{1500}\right)}{90^\circ} \left(2 - \frac{1}{2} - \frac{1}{4} \right) \right\} = 0,95$$

Sehingga :

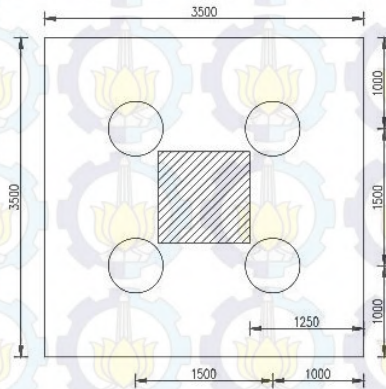
$$Q_{ijin \text{ grup}} = \eta \times Q_{ijin \text{ 1 tiang}} \times n$$

$$= 0,95 \times 193,7 \times 4$$

$$= 736,06 \text{ t} > P_u = 683,851 \text{ t}$$

Perhitungan Beban Aksial Maksimum Pada Pondasi Kelompok

$$\begin{aligned}
 Q_{L(\text{groups})} &= 3,5 \times 3,5 \times 1,5 \times 2400 && = \underline{44,1 \text{ ton}} + \\
 \text{Berat total} &&& = \underline{727,951 \text{ ton}} \\
 Q_{L(\text{groups})} &= 736,06 \text{ ton} > P = 727,951 \text{ ton} \dots\dots \text{OK!!}
 \end{aligned}$$



Gambar 9.1 Konfigurasi rencana tiang pancang

9.5.3 Kontrol Beban Maksimum 1 Tiang (P_{\max})

Beban maksimum yang bekerja pada satu tiang dalam tiang kelompok dihitung berdasarkan gaya aksial dan momen yang bekerja pada tiang. Momen pada tiang dapat menyebabkan gaya tekan atau tarik pada tiang, namun yang diperhitungkan hanya gaya tekan karena gaya tarik dianggap lebih kecil dari beban gravitasi struktur, sehingga berlaku persamaan :

$$P_{\max} = \frac{\sum V}{n} + \frac{M_x \times y_{\max}}{\sum y_i^2} + \frac{M_y \times x_{\max}}{\sum x_i^2} \leq P_{ijin(\text{tiang})}$$

Perhitungan Beban Aksial Maksimum Pada Pondasi Kelompok

$$\begin{aligned}
 \text{a. Reaksi kolom} &= 683851 \text{ kg} \\
 \text{b. Berat poer} &= 3,5 \times 3,5 \times 1,2 \times 2400 = \underline{35280 \text{ kg}} + \\
 \text{Berat total } (\Sigma V) &= 719131 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$P_{\max} = \frac{719131}{4} + \frac{(12410 \times 1,75)}{(4 \times 0,75^2)} + \frac{(5085 \times 1,75)}{(4 \times 0,75^2)}$$

$$= 187,508 \text{ t} \leq 235,4 \text{ t} \quad (\text{OK})$$

9.5.4 Kontrol Kekuatan Tiang

Sesuai dengan spesifikasi dari PT. WIKA BETON direncanakan tiang pancang beton dengan :

- Diameter : 600 mm
- Tebal : 100 mm
- Type : A1
- Allowable axial : 235,4 ton
- Bending Momen crack : 17 tonm
- Bending Momen ultimate : 25,5 tonm

Tiang pancang yang direncanakan di kontrol terhadap beberapa kriteria berikut ini :

a. Kontrol terhadap gaya aksial

Tiang pancang yang direncanakan dengan diameter 60 cm type A1 sesuai dengan spesifikasi dari PT.WIKA BETON, gaya aksial tidak diperkenankan melebihi 235,4 Ton.

$$P_{\max} < P_{\text{ijin}} = 235,4 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

b. Kontrol terhadap gaya lateral

Panjang jepitan kritis tanah terhadap tiang pondasi menurut metode Philipponat dimana kedalaman minimal tanah terhadap tiang pondasi didapat dari harga terbesar dari gaya-gaya berikut :

Monolayer : 3 meter atau 6 kali diameter

Multilayer : 1,5 meter atau 3 kali diameter

Perhitungan :

Tanah bersifat multi layer

L_e = panjang penjepitan

$$= 3 \times 0,6 \text{ m} = 1,8 \text{ m} > 1,5 \text{ m}$$

Dipakai $L_e = 1,8 \text{ m}$

$$\begin{aligned} M_y &= L_e \times H_y \\ &= 1,8 \times 5,08 \text{ t} \\ &= 9,144 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$M_y \text{ (satu tiang pancang)} = \frac{9,144}{4} = 2,286 \text{ tm}$$

$$\begin{aligned} M_y &< M_{\text{bending crack}} \text{ (dari Spesifikasi WIKA BETON)} \\ 2,286 \text{ tm} &< 17 \text{ tm} \dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_x &= L_e \times H_x \\ &= 1,8 \times 12,4 \text{ t} \\ &= 22,32 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$M_y \text{ (satu tiang pancang)} = \frac{22,32}{4} = 5,58 \text{ tm}$$

$$\begin{aligned} M_y &< M_{\text{bending crack}} \text{ (dari Spesifikasi WIKA BETON)} \\ 5,58 \text{ tm} &< 17 \text{ tm} \dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

Dari kedua perhitungan momen yang telah dilakukan maka untuk Ø60 cm kelas A1 pada Wika Piles Classification momen tidak diperkenankan melebihi $M = 17 \text{ tm}$.

Cek kekuatan momen tiang :

$$M < M_{\text{bending crack}} = 5,58 \text{ tm} < 17 \text{ tm} \quad (\text{OK})$$

9.5.5 Perencanaan Poer

Perencanaan Poer dirancang untuk meneruskan gaya dari struktur atas ke pondasi tiang pancang. Berdasarkan hal tersebut poer direncanakan harus memiliki kekuatan yang cukup terhadap geser pons dan lentur.

Data-data perencanaan :

- Dimensi poer (B × L) = 3,5 × 3,5 m
- Tebal poer (t) = 1,2 m
- Diameter tulangan utama = 25 mm
- Diameter sengkang = 12 mm
- Dimensi kolom = 1000 × 1000 mm

- Tebal selimut beton = 40 mm
- Tinggi efektif balok poer
 Arah x (d_x) = $1200 - 40 - \frac{1}{2} \times 25 = 1147,5$ mm
 Arah y (d_y) = $1200 - 40 - 25 - \frac{1}{2} \times 25 = 1122,5$ mm

a. Penulangan poer

Untuk penulangan lentur, poer dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Sedangkan beban yang bekerja adalah beban terpusat di tiang kolom yang menyebabkan reaksi pada tanah dan berat sendiri poer. Perhitungan gaya dalam pada poer didapat dengan teori mekanika statis tertentu.

$$\text{Berat poer } (q_u) = 3 \times 1,50 \times 2400 = 10800 \text{ kg/m}^2$$

$$P_t = 2P_{\text{maks}} = 2 \times 204658 \text{ kg} = 409316,558 \text{ kg/m}^2$$

a = jarak poer ke tepi kolom + selimut kolom + db sengkang + $\frac{1}{2}$ db kolom

$$= 1250 + 40 + 12 + \frac{1}{2} \times 25 = 1,314 \text{ m}$$

b = jarak tepi tiang pancang = 1 m

Penulangan arah x

Penulangan lentur :

$$P_{\text{max}} = 204,658 \text{ t}$$

$$q = 3,5 \times 2,4 \times 1,8 = 15,12 \text{ ton/m}$$

Momen – momen yang bekerja :

$$\begin{aligned} M &= (P_t \times a) - (1/2 \times q \times (a + b)^2) \\ &= (409,32 \times 1,314) - (1/2 \times 15,12 \times (1,314 + 1)^2) \\ &= 497,36 \text{ tm} = 497360000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,034 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,034 = 0,025$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times 3500 \times d x^2} = \frac{5497360000}{0,8 \times 3500 \times 1147,5^2} = 0,13$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 0,13}{390}} \right) = 0,000347 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{min}} > \rho_{\text{perlu}}$
maka dipakai $\rho = 0,0036$

Tulangan lentur yang dibutuhkan :

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d = 0,0036 \times 3500 \times 1147,5 = 14456 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 32 D25 – 90 ($A_s \text{ pakai} = 15707,96 \text{ mm}^2$)

Penulangan arah y

Penulangan lentur :

$$q = 3,5 \times 2,4 \times 1,8 = 15,12 \text{ ton/m}$$

Momen – momen yang bekerja :

$$\begin{aligned} M &= (P_t \times a) - (1/2 \times q \times (a + b)^2) \\ &= (409,32 \times 1,314) - (1/2 \times 15,12 \times (1,314 + 1)^2) \\ &= 497,36 \text{ tm} = 497360000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,034$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,034 = 0,025$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times 3500 \times d x^2} = \frac{5497360000}{0,8 \times 3500 \times 1122,5^2} = 0,14$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 0,14}{390}} \right) = 0,000362$$

$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}}$
maka dipakai $\rho = 0,00362$

Tulangan lentur yang dibutuhkan :

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d = 0,00362 \times 3500 \times 1122,5 = 14459 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 32 D25 – 90 ($A_s \text{ pakai} = 15707,96 \text{ mm}^2$)

b. Kontrol geser pada pile cap

Perencanaan pile cap harus memenuhi persyaratan kekuatan gaya geser nominal beton yang harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Hal ini sesuai yang disyaratkan pada SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.2.1 Kuat geser yang disumbangkan beton diambil yang terkecil dari :

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \lambda \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.2.1.a

$$V_c = 0,083 \times \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} \right) \lambda \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.2.1.b

$$V_c = 0,33 \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.2.1.c

Dimana :

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek beton dari daerah beban terpusat atau reaksi = 1

b_o = keliling dari penampang kritis pada pile cap

$$b_o = 2 (b_k + d) + 2 (h_k + d)$$

dimana :

b_k = lebar penampang kolom

h_k = tinggi penampang kolom

d = tebal efektif pile cap

➤ Kontrol geser pons pada tiang pancang tengah (akibat kolom)

$$b_o = 2 (1000 + 1147,5) + 2 (1000 + 1122,5) \\ = 8540 \text{ mm}$$

➤ Batas geser pons

$$P \leq \phi V_c$$

➤ Batas geser pons

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek pada kolom

$$= \frac{1000}{1000} = 1$$

$\alpha_s = 40$, untuk kolom interior

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1} \right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 8540 \times 1147,5 = 18249464 \text{ N} = 1824,95 \text{ t}$$

$$V_c = 0,083 \times \left(\frac{40 \times 1147,5}{8540} \right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 8540 \times 1147,5 = 23944408 \text{ N} = 2394,441 \text{ t}$$

$$V_c = 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times 8540 \times 1147,5 = 17712715 \text{ N} = 1771,27 \text{ t}$$

Diambil yang terkecil $V_c = 1771,27 \text{ t}$

$$\phi V_c = 0,75 \times 1771,27 \text{ t} = 1328,45 \text{ t}$$

$$= 1328,45 \text{ ton} > P_{u \text{ kolom}} = 683,851 \text{ ton}$$

Sehingga ketebalan dan ukuran pile cap memenuhi syarat terhadap geser ponds.

c. Kontrol geser ponds tiang pancang tepi

Dalam merencanakan tebal poer, harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan gaya geser nominal harus lebih besar dari geser ponds yang terjadi. Kuat geser yang disumbangkan beton diambil terkecil dari :

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \lambda \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

SNI 03-2847-201X pasal 11.11.2.1.a

$$V_c = 0,083 \times \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} \right) \lambda \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

SNI 03-2847-201X pasal 11.11.2.1.b

$$V_c = 0,33 \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

SNI 03-2847-201X pasal 11.11.2.1.c

Dengan :

Dimensi poer : $3,5 \times 3,5 \times 1,20 \text{ m}^3$

Selimit beton : 40 mm

Ø tul utama : D25

Tinggi efektif : $d = 1200 - 40 - \frac{1}{2} \times 25 = 1147,5 \text{ mm}$

dimana :

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek pada pondasi tiang pancang

$$= \frac{1000}{1000} = 1,00$$

b_o = keliling dari penampang kritis pada poer

$$= [2\pi \times (d + D_{\text{tiang}})]$$

$$= [2\pi \times (1147,5 + 600)]$$

$$= 10979,87 \text{ mm}$$

α_s = 30, untuk kolom eksterior

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 10979,87 \times 1147,5 = 35194966 \text{ N} = 3519,49 \text{ t}$$

$$V_c = 0,083 \times \left(\frac{30 \times 1147,5}{10979,87}\right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 10979,87 \times 1147,5 = 17958306 \text{ N} = 1795,83 \text{ t}$$

$$V_c = 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times 10979,87 \times 1147,5 = 22773213 \text{ N} = 2277,32 \text{ t}$$

Diambil yang terkecil $V_c = 1795,83 \text{ t}$

$$\phi V_c = 0,75 \times 1795,83 \text{ t} = 1346,87 \text{ t}$$

$$= 1346,87 \text{ ton} > P_{u \text{ tiang tepi}} = 683,851 \text{ ton} \quad \text{OK}$$

Sehingga ketebalan dan ukuran poer mampu menahan gaya geser akibat beban reaksi aksial tiang tepi.

9.5.6 Kontrol Balok Tinggi

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 10.7 Balok tinggi adalah komponen struktur yang dibebani pada salah satu mukanya dan ditumpu pada muka yang berlawanan sehingga strat tekan dapat membentuk di antara beban dan tumpuan, dan mempunyai salah satu antara:

- (a) bentang bersih l_n , sama dengan atau kurang dari empat kali tinggi komponen struktur keseluruhan h ; atau
- (b) daerah dengan beban terpusat dalam jarak $2h$ dari muka tumpuan.

Balok tinggi harus didesain dengan memperhitungkan salah satu antara distribusi regangan nonlinier, atau dengan Lampiran A. (Lihat juga 11.7.1 dan 12.10.6).

In poer = 3500 mm < 4h = 4 × 1200 = 4800 mm, sehingga poer termasuk balok tinggi.

Balok tinggi harus dikontrol sesuai ketentuan yang ada dalam SNI :

$$V_u = 160382 \text{ N (hasil SAP2000)}$$

$$V_u \leq \phi \times 0,83 \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d \quad (\text{SNI 03-2847-2013 pasal 11.7})$$

$$A_v > 0,0025 \times b_w \times S \quad (\text{SNI 03-2847-2013 pasal 11.7.4.1})$$

Dimana $S < d/5$ atau $S < 300 \text{ mm}$

$$d/5 = 1200/5 = 240 \text{ mm}$$

sehingga di gunakan $S = 240 \text{ mm}$

Arah X

$$V_u \leq \phi \times 0,83 \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d$$

$$160382 \text{ N} \leq 0,75 \times 0,83 \times \sqrt{30} \times 3500 \times 1147,5$$

$$160382 \text{ N} \leq 13693697,24 \text{ N} \dots \text{OK}$$

$$A_v > 0,0025 \times b_w \times S$$

$$14456 \text{ mm}^2 > 0,0025 \times 3500 \times 240$$

$$14456 \text{ mm}^2 > 2100 \text{ mm}^2 \dots \text{OK}$$

Arah Y

$$V_u \leq \phi \times 0,83 \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d$$

$$160382 \text{ N} \leq 0,75 \times 0,83 \times \sqrt{30} \times 3500 \times 1122,5$$

$$160382 \text{ N} \leq 13395359,61 \text{ N} \dots \text{OK}$$

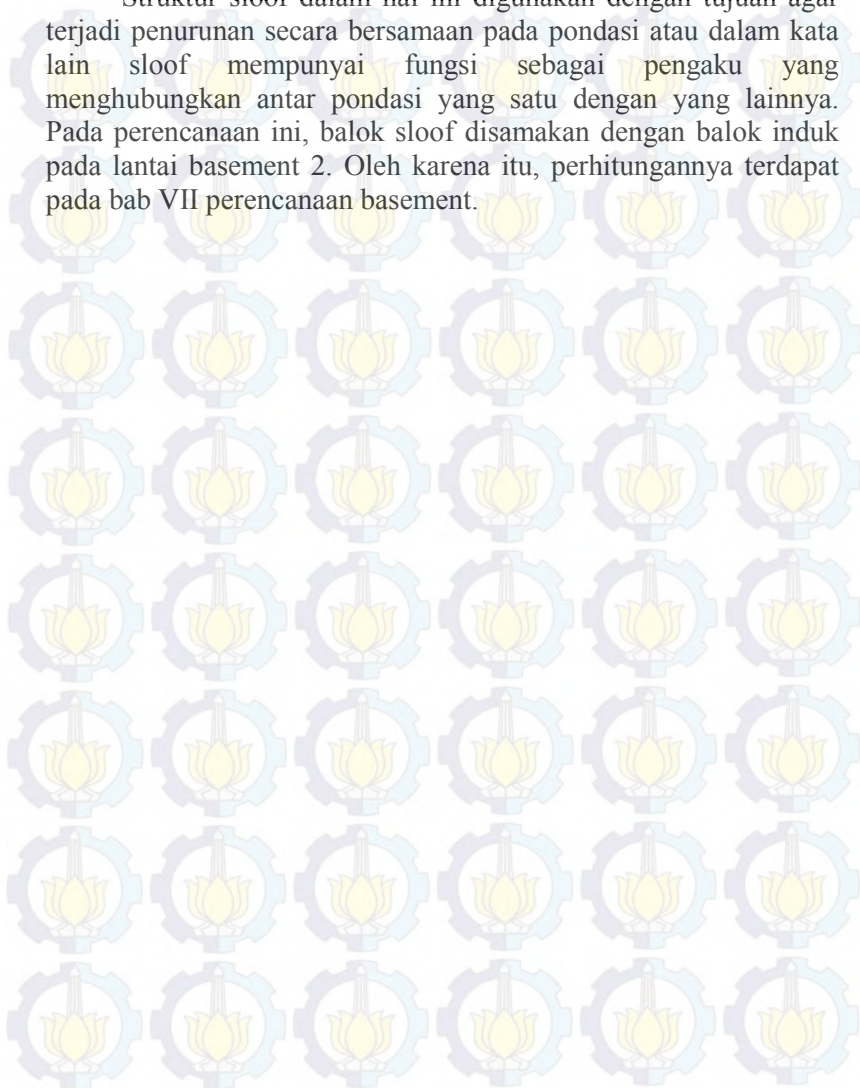
$$A_v > 0,0025 \times b_w \times S$$

$$14459 \text{ mm}^2 > 0,0025 \times 3500 \times 240$$

$$14459 \text{ mm}^2 > 2100 \text{ mm}^2 \dots \text{OK}$$

9.6 Perencanaan Balok Sloof

Struktur sloof dalam hal ini digunakan dengan tujuan agar terjadi penurunan secara bersamaan pada pondasi atau dalam kata lain sloof mempunyai fungsi sebagai pengaku yang menghubungkan antar pondasi yang satu dengan yang lainnya. Pada perencanaan ini, balok sloof disamakan dengan balok induk pada lantai basement 2. Oleh karena itu, perhitungannya terdapat pada bab VII perencanaan basement.



BAB X

METODE PELAKSANAAN

10.1 Umum

Dalam setiap pekerjaan konstruksi, metode pelaksanaan merupakan item penting yang tidak bisa dipisahkan. Apalagi menyangkut struktur beton pracetak. Untuk merencanakan beton pracetak, terlebih dahulu harus diketahui apakah struktur tersebut bisa dilaksanakan. Tahap pelaksanaan ini akan diuraikan mengenai item – item pekerjaan konstruksi dan pembahasan mengenai pelaksanaan yang berkaitan dengan penggunaan material – material beton pracetak, proses pekerjaan yang dilakukan di proyek ini adalah ;

- Proses pencetakan secara pabrikasi di Industri pracetak. Hal – hal yang perlu dipertimbangkan dengan proses pabrikasi adalah :
 - a. Perlunya standart khusus sehingga hasil pracetak dapat diaplikasikan secara umum di pasaran
 - b. Terbatasnya fleksibilitas ukuran yang disediakan untuk elemen pracetak yang disebabkan karena harus mengikuti elemen pracetak yang disebabkan karena harus mengikuti kaidah sistem dimensi satuan yang disepakati bersama dalam bentuk kelipatan suatu modul.
 - c. Dengan cara ini dimungkinkan untuk mencari produk yang terbaik dari lain pabrik.

10.1.1 Pengangkatan dan Penempatan Crane

Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam pengangkatan elemen pracetak antara lain :

1. kemampuan maksimum crane yang digunakan
2. metode pengangkatan
3. letak titik – titik angkat pada elemen pracetak

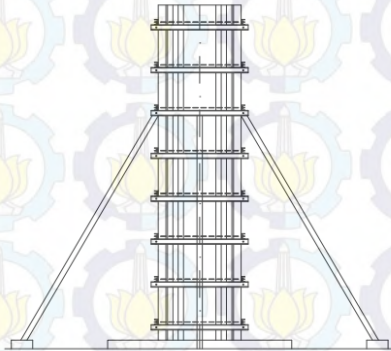
hal – hal tentang pengangkatan dan penentuan tidak angkat telah dibahas pada bab – bab sebelumnya. Dalam perencanaan ini memakai peralatan tower crane untuk

mengangkat elemen pracetak di lapangan. Untuk pemilihan tower crane harus disesuaikan antara kemampuan angkat crane dengan berat elemen pracetak.

- Jenis crane POTAIN MR 160 C
- Jarak jangkauan maksimum 60 m dengan beban maksimum 7,5 ton
- Tower crane yang digunakan 1 buah

10.1.2 Pekerjaan Elemen Kolom

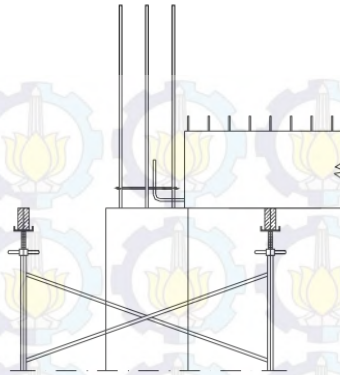
1. Setelah dilakukan pemancangan, pembuatan pile cap dan sloof, maka tulangan kolom dipasang bersamaan dengan pendimensian pile cap. Tulangan kolom bersamaan dengan tulangan konsol yang telah disiapkan dicor sampai batas yang sudah ditentukan. Dalam hal ini sampai ketinggian permukaan bawah balok induk yang menumpang pada kolom.



Gambar 10.1 Pemasangan Bekisting untuk Pembuatan Kolom

10.1.3 Pemasangan Elemen Balok Induk

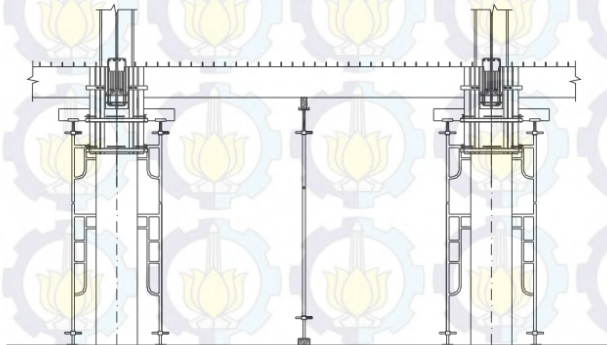
Pemasangan balok pracetak setelah pengecoran kolom. Balok induk dipasang terlebih dahulu baru kemudian dilanjutkan dengan pemasangan balok anak. Diperlukan peralatan crane dan scaffolding untuk membantu menunjang balok pracetak. Kemudian dapat dilanjutkan dengan pemasangan tulang utama pada balok yaitu tulangan tarik pada tumpuan. Lalu setelah tulangan terpasang baru dilakukan pengecoran.



Gambar 10.2 Pemasangan Balok Induk Pracetak

10.1.4 Pemasangan Elemen Balok Anak

Pemasangan balok anak pracetak di bagian tengah balok induk. Konsol tempat bertumpunya balok anak pun terbuat dari beton pracetak dengan balok. Untuk mencegah terjadinya kerusakan pada balok induk maupun balok anak, maka dipasang tiga buah perancah dengan posisi satu di tengah dan dua di tepi.

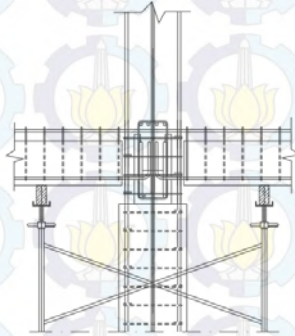


Gambar 10.3 Pemasangan Balok Anak Pracetak

Setelah balok anak dan balok induk terpasang, maka dilanjutkan dengan pemasangan tangga di tempat yang sudah disediakan. Pengangkatan tangga dilakukan dengan posisi tangga datar.

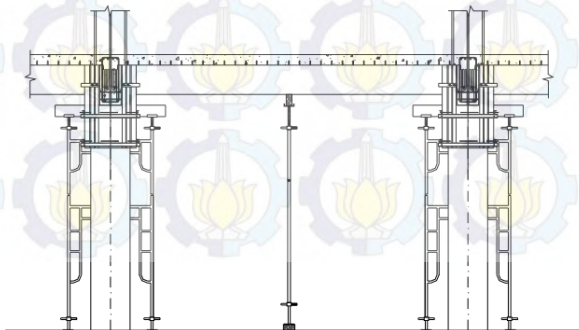
10.1.5 Pemasangan Elemen Pelat

Pemasangan pelat pracetak di atas balok induk dan balok anak sesuai dengan dimensi pelat yang sudah ditentukan. Pemasangan tulangan bagian atas, baik tulangan tumpuan maupun tulangan lapangan untuk pelat, balok anak dan balok induk.



Gambar 10.4 Pemasangan Tulangan Atas

Setelah semua tulangan terpasang, kemudian dilakukan pengecoran pada bagian atas pelat, balok anak, dan balok induk yang berfungsi sebagai topping atau penutup bagian atas. Selain itu topping juga berfungsi untuk merekatkan komponen pelat, balok anak, dan balok induk agar menjadi satu kesatuan (komposit). Hal ini diperkuat dengan adanya tulangan panjang penyaluran pada masing – masing komponen pelat, balok anak, dan balok induk. Topping digunakan setinggi 8 cm.



Gambar 10.5 Pengecoran Topping

Untuk pekerjaan lantai berikutnya dilakukan sama dengan urutan pelaksanaan di atas sampai semua elemen pracetak terpasang.

10.1.6 Transportasi Elemen Beton Pracetak

Sistem transportasi disini meliputi :

1. Pemindahan beton pracetak di areal pabrik
2. Pemindahan dari pabrik ke tempat penampungan di proyek
3. Pemindahan dari penampungan sementara di proyek ke posisi akhir

Tahap pemindahan komponen beton pracetak dari lokasi pabrikasi ke areal proyek diperlukan sarana angkut seperti truk tunggal, tandem, atau temple. Truk yang biasa digunakan untuk pengangkutan berukuran lebar 2,4 m x 16 m atau 2,4 m x 18 m dengan kapasitas angkut kurang lebih 50 ton. Untuk komponen tertentu dimana panjangnya cukup panjang hingga 30 m dapat dipergunakan truk temel dimana kapasitasnya dapat mencapai 80 ton. Di areal lokasi proyek diperlukan sarana untuk pemindahan komponen beton pracetak mempergunakan tower crane.

10.2 Metode Pelaksanaan Basement

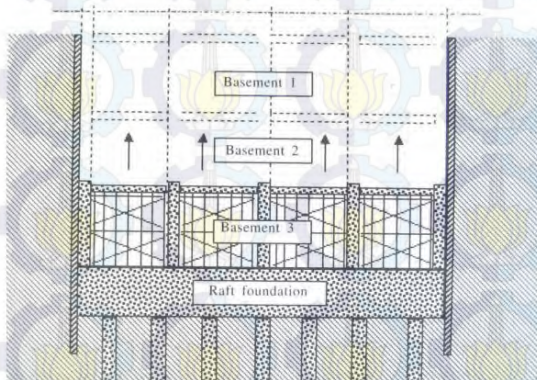
Pada sistem ini, sheet pile dipasang terlebih dahulu sebelum pelaksanaan galian. Struktur basement dilaksanakan setelah seluruh pekerjaan galian selesai mencapai galian elevasi rencana (sistem konvensional). Pelat basement paling bawah dicor terlebih dahulu, kemudian basement diselesaikan dari bawah keatas, dengan menggunakan scaffolding. Kolom, balok dan slab dicor ditempat (*cast in place*).

Secara garis besar kegiatan-kegiatan yang dilakukan pada pelaksanaan konstruksi basement dengan metode bottom up ialah sebagai berikut :

1. Mobilisasi peralatan
2. Pelaksanaan pondasi tiang pancang
3. Pelaksanaan dinding penahan tanah (sheet pile)

4. Penggalian dan pembuangan tanah
5. Dewatering
6. Poer pondasi
7. Waterproofing
8. Tie beam dan pondasi rakit
9. Dinding basement dan struktur bertahap keatas
10. Lantai basement bertahap keatas

Secara umum, kegiatan-kegiatan pekerjaan tersebut diatas adalah item pekerjaan utama yang hampir dapat selalu ditemukan dalam suatu pelaksanaan pekerjaan basement dengan metode konvensional. Berikut adalah gambaran pelaksanaan pekerjaan berdasarkan urutan pekerjaan yang mana harus dimulai dari lantai dasar basement.



Sumber : <http://dodybrahmantyo.dosen.narotama.ac.id/>

Gambar 10.6 Pelaksanaan Basement dengan Metode Konvensional

Kemungkinan lain dapat saja terjadi, tetapi pada umumnya tata cara pelaksanaan metode basement konvensional akan mengikuti pola demikian. Beberapa hal yang dapat disebut merupakan ciri-ciri pelaksanaan basement dengan metode konvensional yang lazim dilaksanakan dari jабaran di atas adalah:

1. Metode bottom up tidak memerlukan tata cara manajemen proyek secara khusus, karena umumnya sudah menjadi hal yang biasa dilaksanakan.

2. Diperlukan pengendalian muka air tanah sekeliling secara intensif
3. Dinding penahan tanah dapat tetap atau sementara, tetapi yang pasti untuk pelaksanaannya tidak dapat dilakukan simultan dengan pekerjaan lain, dinding penahan tanah adalah awal dari pekerjaan basement yang mutlak dilakukan sebelum pekerjaan lainnya dimulai kecuali tiang pondasi.
4. Setiap usaha mempercepat waktu pelaksanaan, pada umumnya menyebabkan penambahan sumber daya baik manusia maupun peralatan yang tidak sebanding dengan produksinya.
5. Semakin dalam (semakin banyak jumlah basement) metode pelaksanaan ini akan semakin sulit.
6. Diperlukan luas lahan yang cukup untuk mengendalikan transportasi galian tanah vertical.
7. Akibat proses penggalian dan kebutuhan akan konstruksi sementara yang banyak, maka kondisi lingkungan proyek akan padat dan kotor.
8. Kemungkinan melakukan kombinasi pelaksanaan secara simultan dengan kegiatan lainnya amat minim karena metode konstruksi memberikan urutan kegiatan demikian.
9. Biaya pelaksanaan sampai dengan kedalaman tertentu relatif lebih murah.

10.2.1 Pekerjaan Dewatering

Pekerjaan galian untuk basement, seringkali terganggu oleh adanya air tanah. Oleh karena itu sebelum galian tanah untuk basement dimulai sudah harus dipersiapkan pekerjaan pengeringan (dewatering) agar air tanah yang ada tidak mengganggu proses pelaksanaan basement. Masalah galian dalam lebih kritis bila kondisi tanah merupakan tanah lunak atau pasir lepas dalam kondisi muka air tanah yang tinggi.

Metode dewatering yang dipilih tergantung beberapa factor, antara lain :

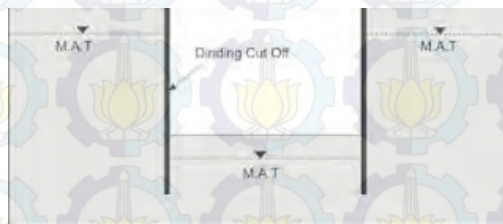
- Debit rembesan air
- Jenis tanah
- Kondisi lingkungan sekitarnya
- Sifat tanah
- Air tanah
- Ukuran dan dalam galian
- Daya dukung tanah
- Kedalam dan tipe pondasi
- Design dan fungsi dari struktur
- Rencana pekerjaan

Tujuan dari dewatering adalah :

1. Menjaga agar dasar galian tetap kering. Untuk mencapai tujuan tersebut biasanya air tanah diturunkan elevasinya 0,5 – 1 m dibawah dasar galian.
2. Mencegah erosi buluh. Pada galian tanah pasir (terutama pasir halus dibawah muka air tanah) rembesan air kedalam galian dapat mengakibatkan tergerusnya tanah pasir akibat aliran air.
3. Mencegah resiko sand boil. Pada saat dilaksanakan galian, maka perbedaan elevasi air didalam dan diluar galian semakin tinggi.
4. Mencegah resiko terjadinya kegagalan upheave. Bila tekanan air dibawah lapisan tanah lebih besar daripada berat lapisan tanah tersebut maka lapisan tanah tersebut dapat terangkat atau mengalami failure
5. Menjaga gaya uplift terhadap bangunan sebelum mencapai bobot tertentu. Pada bangunan-bangunan yang memiliki basement, maka pada saat bobot bangunan masih lebih kecil daripada gaya uplift dari tekanan air, dewatering harus tetap dijalankan hingga bobot mati dari bangunan melebihi gaya uplift tersebut.
6. Mencegah rembesan
7. Memperbaiki kestabilan tanah
8. Mencegah pengembungan tanah

9. Memperbaiki karakteristik dan kompaksi tanah terutama dasar
10. Pengeringan lubang galian
11. Mengurangi tekanan lateral

Metode dewatering yang dipilih adalah cut off. Prinsip cut off adalah memotong aliran bidang air tanah melalui cara mengurung daerah galian dengan dinding. Ditinjau dari pergerakan air tanah. Metode dewatering cut off ini paling baik, karena tidak terjadi aliran air tanah, dan tidak terjadi penurunan muka air tanah di sekeliling luar daerah galian. Metode ini perlu memperhitungkan dalamnya “D” tertentu agar tidak terjadi rembesan air masuk ke dalam daerah galian.

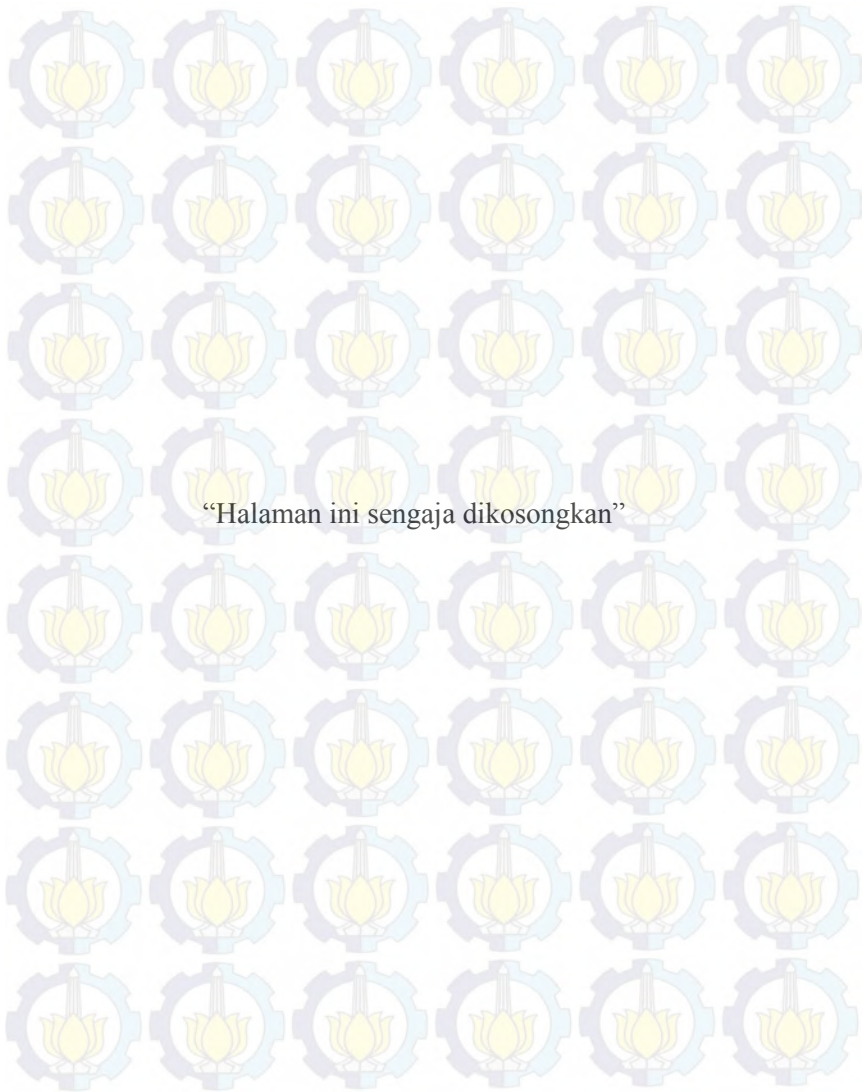


Gambar 10.7 Potongan Metode Cut Off

Dinding cut off dapat menggunakan :

- Sheet pile (tidak dipakai sebagai struktur dinding permanen)
- Concrete diaphragm wall (sebagai struktur dinding permanen)
- Concrete secant pile (dapat dipakai sebagai dinding permanen)

Metode cut off dipilih karena kondisi sama dengan pemilihan predrainage, dinding cut off difungsikan juga sebagai penahan tanah atau sebagai dinding basement, dan penurunan MAT akan mengganggu / merugikan lingkungan sekitarnya.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB XI PENUTUP

11.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan struktur yang dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir “ Modifikasi Gedung Perkantoran MNC Tower Surabaya dengan Menggunakan Metode Precetak (*Precast*)” maka dapat ditarik beberapa poin kesimpulan diantaranya sebagai berikut :

1. Berdasarkan perancangan struktur yang dilakukan dalam Dimensi struktur utama didapatkan dari SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.2. Yang meliputi ketentuan tebal minimum balok non prategang dapat disesuaikan pada table 9.5(a) dan dimensi kolom yang didapat dari perhitungan sebesar 100/100 cm. Dimensi struktur sekunder didapatkan dari SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.2. Yang meliputi ketentuan tebal minimum balok non prategang dapat disesuaikan pada table 9.5(a). Sedangkan untuk dimensi pelat digunakan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.2 dengan melihat tabel 9.5(c). adapun hasil modifikasi sebagai berikut :
 - a. Struktur Sekunder
 - Dimensi balok anak = 35/50 cm
 - Dimensi balok bordes = 30/45 cm
 - Dimensi balok lift = 30/40 cm
 - Tebal pelat = 14 cm
 - b. Struktur Primer
 - Dimensi balok induk = 60/80 cm
 - Dimensi kolom = 100x100 cm
 - Pile cap = 3,5x3,5x,1,2 m
 - Tiang pancang = D60, H=22m
 - Tebal shear wall = 40 cm
2. Komponen pracetak disambung dengan menggunakan sambungan basah dan konsol pendek agar bangunan tersebut menjadi bangunan pracetak yang monolit. Ukuran konsol pendek kolom adalah 500x400 mm.

3. Detailing sambungan pracetak dirancang bersifat monolit antar elemennya dengan tulangan-tulangan dan shear connector yang muncul dari setiap elemen pracetak untuk menyatukan dengan elemen cor di tempat. Sambungan didesain sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
4. Menganalisa gaya-gaya dalam struktur gedung menggunakan program SAP2000 dengan memasukkan gaya-gaya yang bekerja pada pelat serta beban vertical dan horizontal.
5. Elemen dari basement tidak menggunakan pracetak, melainkan dengan menggunakan metode *cast in situ*. Adapun hasil dari perencanaan basement :
 - Dimensi balok induk basement 2 = 65/85 cm
 - Dinding basement = 25 cm
 - Tebal pelat lantai basement = 40 cm
6. Pondasi direncanakan sesuai dengan ketentuan yang berlaku dan menerima beban dari atas melalui pile cap.
7. Hasil analisa struktur yang telah dilakukan pada modifikasi gedung perkantoran MNC Tower Surabaya akan dituangkan pada gambar teknik yang ada pada lampiran.

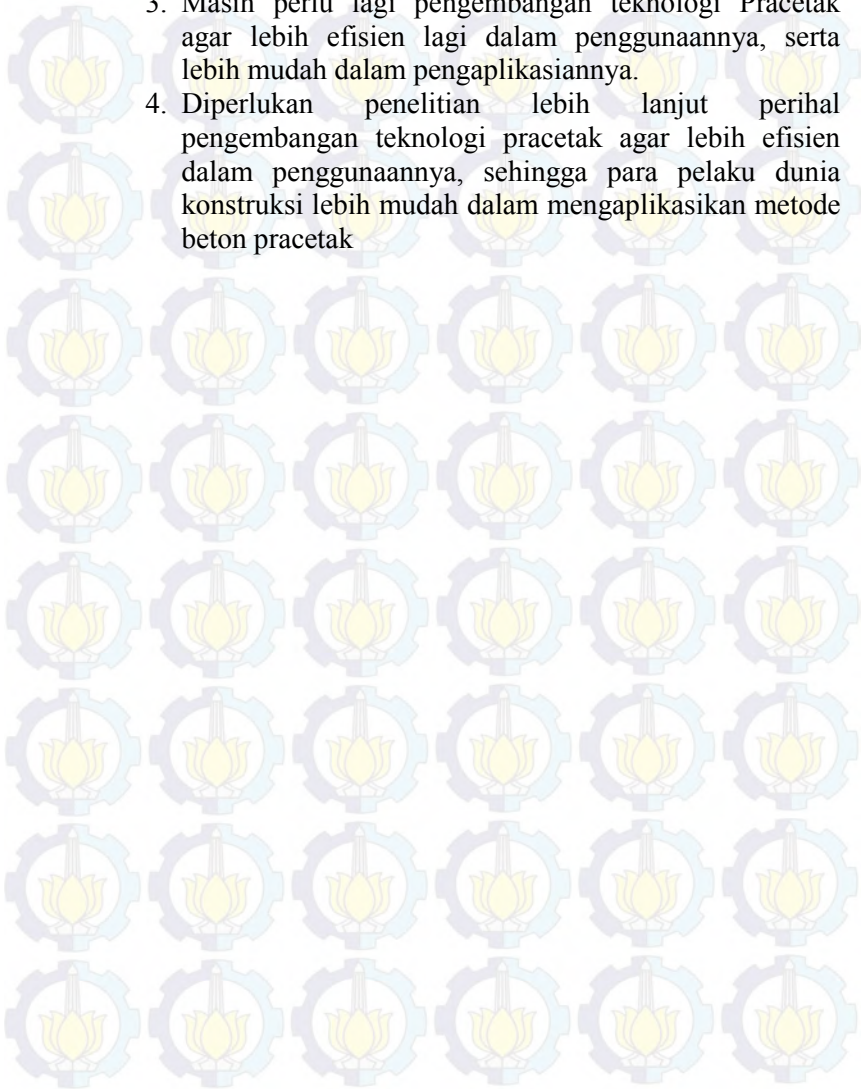
11.2 Saran

Bedasarkan analisa selama proses penyusunan tugas akhir ini, beberapa saran yang dapat penulis sampaikan adalah diantaranya :

1. Perlu pengawasan dengan baik pada saat pelaksanaan sambungan antar elemen beton pracetak karena sambungan beton pracetak tentu tidak semonolit seperti pada sambungan dengan cor setempat agar nantinya pada saat memikul beban tidak terjadi gaya-gaya tambahan yang tidak diinginkan pada daerah sambungan akibat dari kurang sempurnanya pengerjaan sambungan
2. Sambungan tipe elemen pracetak sedapat mungkin dibuat seminal mungkin untuk lebih menyeragamkan bentuk cetakan dan detail tulangan tulangan sehingga

tujuan dari konstruksi dengan metode pracetak dapat terlaksana

3. Masih perlu lagi pengembangan teknologi Pracetak agar lebih efisien lagi dalam penggunaannya, serta lebih mudah dalam pengaplikasiannya.
4. Diperlukan penelitian lebih lanjut perihal pengembangan teknologi pracetak agar lebih efisien dalam penggunaannya, sehingga para pelaku dunia konstruksi lebih mudah dalam mengaplikasikan metode beton pracetak





DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. 2013. **SNI 03-2847-2013 Tata cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional

Badan Standarisasi Nasional. 2012. **SNI 03-1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional

Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 03-2847-201X Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional

Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 03-1727-2012 Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional

Purwono, Rachmat . 2006. **Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa**. Surabaya : ITS Press

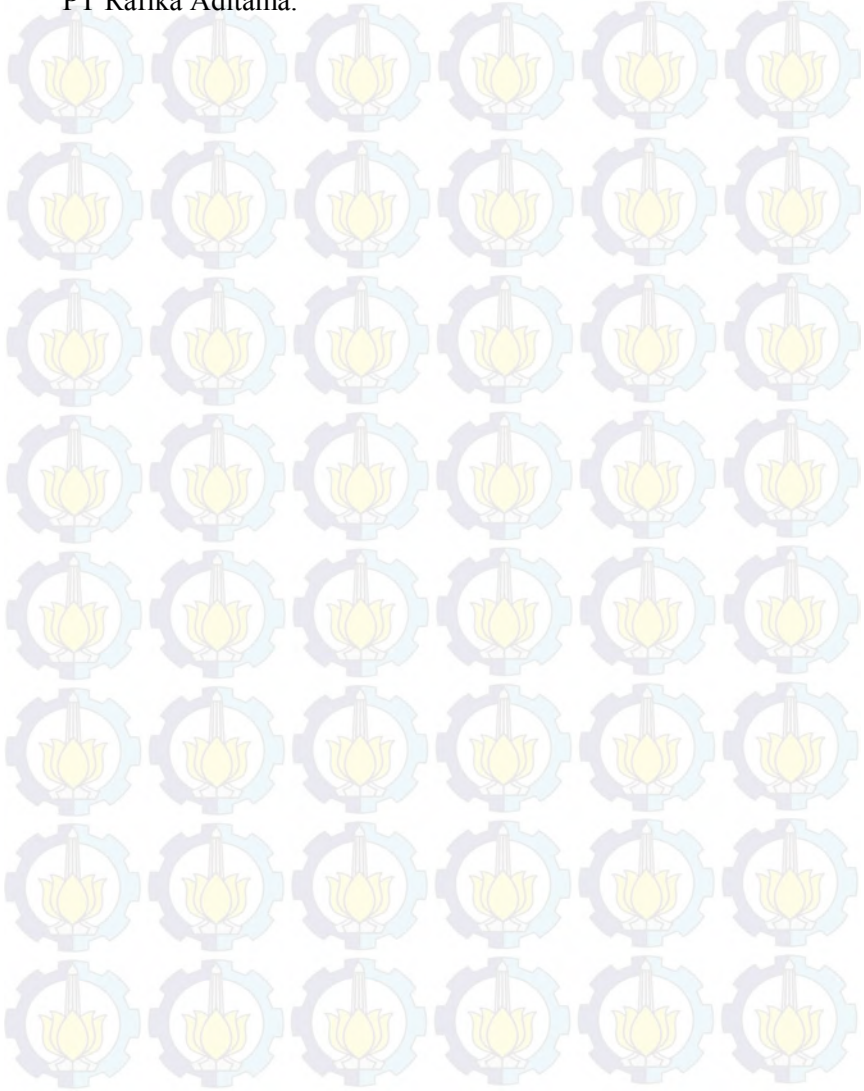
Ervianto, Wulfram. 2006. **Teknologi Pracetak dan Bekisting**. Bandung

PCI. Fourth Edition. **PCI Design Handbook Precast and Prestressed Concrete**. Chicago : PCI Industry Handbook Committee.

Elliot, Kim S. 2002. **Precast Concrete Structure**. India : Butterworth Heinemann.

Wahyudi, Herman. 1999. **Daya Dukung Pondasi Dalam**, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Nawy, Erdward G. 1998. **Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar** Diterjemahkan : Bambang Suryoatmono. Bandung : PT Rafika Aditama.



BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama lengkap Citra Putri Kalingga ini dilahirkan di kota Surabaya pada tanggal 13 Juni 1993. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN MA II 615 Surabaya, SMPN 35 Surabaya, SMAN 1 Glenmore. Lulus dari SMA, penulis kemudian melanjutkan pendidikan program sarjana (S1) di Jurusan Teknik Sipil ITS pada tahun 2011 melalui jalur SNMPTN Tulis dan terdaftar dengan NRP 3111100078.

Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan Seminar yang diselenggarakan oleh Jurusan, Himpunan Mahasiswa Sipil (HMS) dan beberapa kegiatan lain di kampus ITS. Penulis sangat berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta bagi penulis sendiri. Apabila pembaca ingin berkorespondensi dengan penulis, dapat melalui email:

kalinggacitra@gmail.com