

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Pada era global seperti ini pembangunan tidak ada henti-hentinya untuk terus dikembangkan, tetapi masalah yang terus dihadapi dari banyak konsultan dan kontraktor adalah mengenai lahan yang sekarang semakin sempit dan semakin mahal. Oleh karena itu banyak perencana yang sekarang membangun gedung dengan bangunan keatas (bangunan tinggi) karena di sebabkan oleh tanah yang semakin mahal tersebut. Pada pembangunan gedung yang bertingkat biasanya menggunakan dua metode, yaitu dengan metode beton bertulang konvensional dan beton bertulang pracetak. Pada penggunaan metode beton bertulang konvensional ini memerlukan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan metode beton bertulang pracetak yang memerlukan waktu pembangunan relatif lebih cepat. Penggunaan metode beton bertulang pracetak ini selain unggul di segi waktu juga unggul di kemudahan dalam pelaksanaan serta pemasangannya yang tentu menggunakan alat berat seperti crane, keseragaman mutu beton, penghematan lahan, keuntungan ekonomis pada pemakaian bahan dan tenaga kerja, dan lain-lain. Oleh karena itu dalam studi ini akan menganalisis bagian balok dan kolom gedung dekanat FT UB dengan menggunakan metode pracetak yang pada awalnya menggunakan metode cor di tempat atau metode konvensional dan kemudian di rencanakan ulang oleh saudara Gita Y.R yang menghasilkan momen ultimate pada salahsatu titik yaitu titik dengan nomer balok 5 dengan hasil daerah tumpuan sebesar 862.63 KNm dan tulangan daerah tekan sebesar 16-D22 dan tarik 8-D22 sedangkan pada daerah lapangan mendapatkan momen ultimate sebesar 40.981 KNm dan tulangan di daerah tekan sebanyak 2-D25 dan tarik 2-D25. Penggunaan beton pracetak sangatlah mendukung dalam pembangunan gedung-gedung tinggi di Indonesia karena akan menguntungkan juga dari segi lingkungan dalam pembangunan yang dikarenakan pengurangan dalam penggunaan bekisting sehingga dalam lingkungan kerja tidak terlalu kumuh atau kotor di sebabkan tidak rapinya dalam pembangunan.

Dengan maraknya bangunan yang berbasis tahanan gempa, yang sekarang lagi tren di Indonesia dikarenakan banyak gempa yang melanda Indonesia mendorong timbulnya inovasi

terhadap pembangunan yang tahan gempa namun pengerjaannya tidak membutuhkan waktu yang lama dan secara ekonomi bisa dihitung murah namun tidak mengurangi mutu dari beton bertulang tersebut. Beberapa konsep pembangunan gedung tahan gempa mengacu dalam SNI 03-1726-2012 dan tata cara perhitungan struktur beton yang sering kita gunakan SNI 03-2847-2002, sehingga didapatkan struktur bangunan yang cepat dan ekonomis

Penggunaan beton bertulang pracetak dalam pembangunan gedung menimbulkan semakin banyaknya tipe sambungan muncul antara lain sambungan balok-balok,kolom-kolom,balok-kolom, balok- pelat serta kolom dan pondasi yang dianggap sangat menentukan awet dan tidaknya dari bangunan tersebut dalam konstruksi beton pracetak. Dari berbagai jenis sambungan tersebut, sambungan balok-kolom memiliki fungsi yang penting dalam perancangan sebuah bangunan, karena disitulah sebuah bangunan dapat difungsikan secara maksimal oleh penggunanya

Pada bangunan,dekanat yang saya analisis ini berkaitan dengan elemen pracetak yang di analisis berdasarkan kemampuan elemen pracetak ketika terjadi pengangkatan terhadap beban sendiri balok dalam kondisi sebagian yang sudah di cor di awal sebelum disatukan dengan elemen yang lain yang harus mampu untuk di angkat dengan bantuan crane pada titik-titik tertentu dan penganalisisan dilanjutkan ketika setelah semua komponen pracetak sudah disatukan semua, sehingga aman untuk dilaksanakan di lapangan.

1.2. Perumusan Masalah

1. Bagaimana menganalisis sambungan balok-kolom sistem precetak ketika sebelum komposit pada gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang ?
2. Bagaimana menganalisis hubungan balok-kolom sistim pracetak ketika antar elemen praetak telah mengalami komposit pada gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang?

1.3 Tujuan

1. Untuk menganalisis sambungan balok-kolom sistem pracetak ketika sebelum komposit pada gedung Dekanat Teknik Universitas Brawijaya Malang.
2. Untuk Menganalisis hubungan pada balok-kolom sistem pracetak ketika antar elemen pracetak telah mengalami komposit pada gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

1.4 Batasan Masalah

1. Beton yang akan di gunakan menggunakan mutu tinggi dengan nilai tegangan karakteristik lebih dari $f'c$ 25 MPa dan f_y 400 MPa
2. Bahan baja tulangan menggunakan yang ada di Indonesia
3. Menggunakan satu tipe sambungan basah pada perencanaan struktur
4. Beton pracetak yang di analisa adalah beton pracetak biasa (non- prestressed)
5. Analisa tangga dan lift tidak diperhitungkan
6. Penganalisan balok anak tidak dihitung
7. Menggunakan software alat bantu STAAD Pro 2008
8. Analisis terhadap pondasi tidak di perhitungkan
9. Tidak menggunakan analisa numeric sambungan precast
10. Penganalisan biaya yang tidak disertakan
11. Penganalisan ulang hanya dilakukan pada balok,kolom dan plat saja

1.5 Manfaat

Dengan disusunnya tugas akhir ini, diharapkan akan memberikan sedikit tambahan inovasi yang berguna bagi bangunan yang menggunakan precast yang prospek ke depannya akan memegang peranan yang semakin besar di dunia konstruksi Indonesia dan bisa dimanfaatkan sebaik-baiknya oleh pihak yang terkait, sehingga terwujudnya pembangunan yang ramah terhadap lingkungan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Ilmu Beton Pracetak

Sebagai dasar ilmu untuk merancang gedung dekanat menggunakan desain sambungan pracetak haruslah memenuhi syarat yang harus ditetapkan oleh SNI-03-2847-2002 yang secara umum menegaskan bahwa :

- 1) Perencanaan komponen struktur beton pracetak dan sambungannya harus mempertimbangkan semua kondisi pembebanan dan kekangan deformasi mulai dari saat pabrikasi awal, hingga selesainya pelaksanaan struktur, termasuk pembongkaran cetakan, penyimpanan, pengangkutan dan pemasangan
- 2) Apabila komponen struktur pracetak dimasukkan kedalam system structural, maka gaya dan deformasi yang terjadi dan dekat sambungan harus diperhitungkan dalam perencanaan
- 3) Toleransi untuk komponen struktur pracetak dan elemen penghubungnya harus dicantumkan dalam spesifikasi. Perencanaan komponen pracetak dan sambungannya harus memperhitungkan pengaruh toleransi tersebut.

Dari syarat diatas sebuah bangunan pracetak harus memenuhi kriteria yang disyaratkan agar bangunan tersebut bisa dikatakan aman. Beton pracetak pula pada dasarnya memiliki tahap pengerjaan, yaitu tahap pembuatan (pabrikasi), pengangkutan, dan pemasangan (perakitan).

Distribusi gaya diantara komponen struktur yang tegak lurus maupun sejajar bidang komponen struktur harus ditetapkan dengan analisis agar data yang didapatkan dalam perencanaan tersebut dapat dikatakan valid. Desain komponen tiap struktur baik sambungan maupun tumpuan pracetak haruslah diperhatikan agar setiap komponen tersebut mampu menahan tegangan lentur yang terjadi, baik transversal maupun longitudinal. Apabila perilaku system membutuhkan gaya-gaya sebidang yang disalurkan antara komponen-komponen struktur pada system dinding atau lantai pracetak, maka ketentuan berikut berlaku :

- a. Lintasan gaya bidang harus menerus melalui sambungan-sambungan dan komponen-komponen struktur.

- b. Lintasan menerus dan baja atau tulangan baja harus disediakan di daerah dimana terjadi gaya tarik.

2.2 Syarat-Syarat Awal yang Harus Dipenuhi

Agar dalam perencanaan beton pracetak ini sesuai dengan standar yang ada pada peraturan kita, maka semua hal yang sudah di rencanakan haruslah sesuai dengan syarat yang ada, sehingga konstruksi tersebut bisa dikatakan aman. Menurut SNI 03-2847-2002, beton pracetak memiliki kriteria tersendiri didalam penentuan tebal selimut betonnya agar aman dalam pelaksanaannya dan sesuai dengan kebutuhan letak dimana beton pracetak itu akan dipasang, yaitu :

Tabel 2.1 SNI 03-2847-2002 selimut meton minimal

	Tebal selimut minimum (mm)
a) Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca:	
<u>Panel dinding:</u>	
Batang D-44 dan batang D-56	40
Batang D-36 dan batang yang lebih kecil	20
<u>Komponen struktur lainnya:</u>	
Batang D-44 dan batang D-56	50
Batang D-19 sampai batang D-36	40
Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau ulir D16 dan yang lebih kecil	30
b) Beton yang tidak langsung berhubungan dengan cuaca atau tanah:	
<u>Pelat, dinding, pelat berusuk:</u>	
Batang D-44 dan batang D-56	30
Batang D-36 dan batang yang lebih kecil	15
<u>Balok, kolom:</u>	
Tulangan utama	^a
Senggang pengikat, sengkang, lilitan spiral	10
<u>Komponen cangkang, pelat lipat:</u>	
Batang D-19 dan batang yang lebih besar	15
Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau kawat ulir D16 dan yang lebih kecil	10
^a d_b (tetapi tidak kurang dari 15 dan tidak perlu lebih dari 40)	

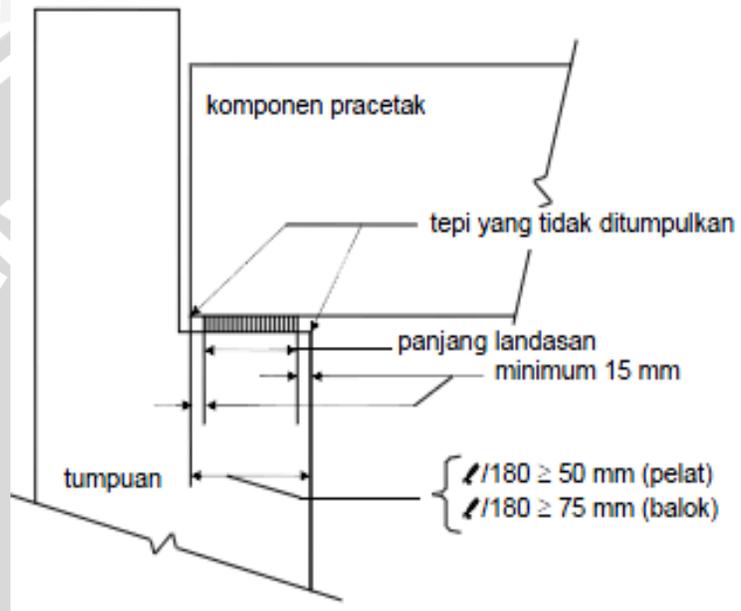
Sumber : SNI 03-2847-2002

2.3 Analisis Terhadap Balok Precetak

Analisa terhadap sambungan dan tumpuannya perlu kita lakukan, karena pada dasarnya bangunan menggunakan system pracetak merupakan sebuah struktur dimana semua elemen utamanya dirakit terlebih dahulu dan bukan kesatuan yang monolit, sehingga perencana harus benar-benar mendisain agar elemen tersebut menjadi satu kesatuan yang utuh dan mampu menahan semua beban yang bisa di teriama oleh beton yang langsung dibuat atau di cor di tempat (bukan Pabrikasi). Maka dari itu hal-hal yang harus diperhatikan dalam penyambungan dan tumpuan yaitu :

1. Gaya-gaya boleh disalurkan antara komponen-komponen struktur dengan menggunakan sambungan *grouting*, kunci geser, sambungan mekanis, sambungan baja tulangan, pelapisan dengan beton bertulang cor ditempat, atau kombinasi dari cara-cara tersebut.
2. Tumpuan untuk komponen lantai dan atap pracetak diatas perletakan sederhana harus memenuhi ketentuan berikut :
 - a. Tegangan tumpu izin di permukaan kontak antara komponen yang didukung dan mendukung antara elemen pendukung tidak boleh melebihi kekuatan tumpu untuk masing-masing permukaan dan elemen pendukung.
 - b. Pernyataan diatas maka perlulah dilakukan penganalisisan bahwa kemampuan strukturnya tidak berkurang, maka persyaratan minimum berikut harus dipenuhi :
 - Setiap komponen struktur dan system pendukungnya harus mempunyai dimensi rencana yang dipilih sedemikian hingga, setelah peninjauan toleransi, jarak dan tepi tumpuan ke ujung komponen struktur pracetak dalam arah bentang sedikitnya $1/180$ kali bentang bersih , tetapi tidak boleh kurang dari :
 - ➔ Untuk pelat masif atau rongga.....50 mm
 - ➔ Untuk balok75 mm

- Pelat landasan di tepi yang tidak ditumpukan harus mempunyai celah sedikitnya 15 mm dari permukaan, atau sedikitnya sama dengan dimensi penumpukan pada tepi yang ditumpukan.
3. Untuk tulangan momen lentur positif pada komponen struktur pracetak statis tertentu, tetapi sedikitnya sepertiga dari tulangan tersebut harus dipanjangkan sampai ke tengah panajang landasan.



Gambar 2.1 Panjang landasan

Sumber: SNI 7833-2012

Dalam menganalisa balok pracetak ini menggunakan analisa elastis dari referensi PBI 1971 dengan kuat rencana yang ditentukan dari tegangan ijin bahan, yaitu :

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

Dimana ; $f_{c_{ijin}}$ = tegangan ijin beton (Mpa)

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

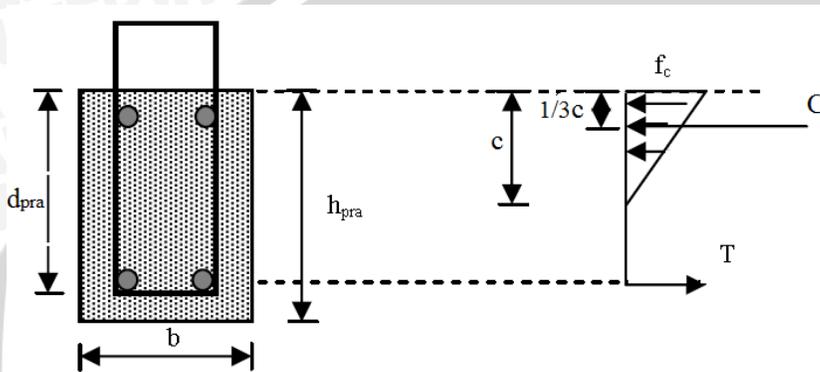
$f_{s_{ijin}}$ = tegangan ijin tulangan (Mpa)

f_y = tegangan leleh tulangan (Mpa)

dalam proses perhitungan perencanaan elemen balok pracetak ini meliputi analisa balok pracetak saat pengangkatan dan pemasangan.

→ Penentuan dimensi balok pracetak sebelum komposit

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



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

$$T = A_s \cdot f_s$$

Dimana : f_c = tegangan ijin beton ($0.33 \cdot f'_c$) (Mpa)

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

b = lebar penampang balok (mm)

A_s = luas tulangan tarik

Dengan persamaan keseimbangan penampang, dapat dicari nilai c :

$$C = T$$

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

sehingga kaspasitas momen penampang beton :

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

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

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

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

dimana : M_n = momen kapasitas penampang (Nmm)

M_u = momen terhadap load factor penampang (Nmm)

d_{min} = tebal efektif minimal (mm)

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

- untuk balok anak :

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

- untuk balok induk arah x :

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

- untuk balok induk arah y :

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

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

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

Dimana ; p = selimut beton (mm)

Φ_s = diameter tulangan sengkang (mm)

ϕ_{tul} = diameter tulangan pokok (mm)

Syarat : $d \geq d_{min}$

Cek terhadap momen nominal penampang :

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

Dengan syarat : $M_n \geq M_u$

Cek terhadap kelendutan saat pelaksanaan :

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

Dimana : δ = lendutan yang terjadi (mm)

P = beban terpusat yang bekerja pada penampang (N)

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

L = bentang elemen pracetak (mm)

E = modulus elastisitas bahan beton pracetak (MPa)

I = momen inersia penampang balok pracetak (mm⁴)

Lendutan ijin :

- Untuk balok anak :

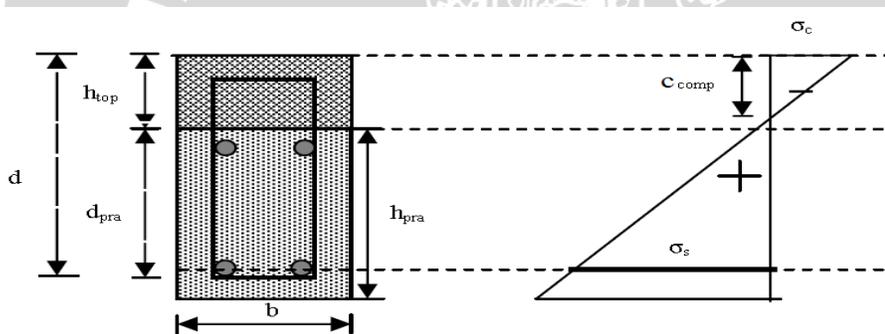
$$\delta = \frac{L}{240} \text{ (mm)}$$

- Untuk balok induk:

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

➔ Tegangan setelah terjadi komposit

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



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

$$n = \frac{Es}{Ec} \rightarrow bc \cdot 0.5c - nAs(d-c) = 0$$

dimana : Es = modulus elastisitas baja tulangan (2*10⁵)(Mpa)

Ec = modulus elastisitas beton (2.1*10⁵)(Mpa)

Sehingga tegangan dipenampang dirumuskan sebagai berikut :

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

Dimana : σ_c = tegangan pada serat beton mengalami tekan(Mpa)

σ_s = tegangan pada serat tulangan mengalami tarik (Mpa)

Mu = momen eksternal yang terjadi pada penampang (Mpa)

d = tebal efektif balok (mm)

y = tebal area penampang tertekan (mm)

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

f_c = tegangan ijin beton = $0,33 \cdot f'_c$ (Mpa)

f_s = tegangan ijin tulangan = $0,58 \cdot f_y$ (Mpa)

2.4 Analisa Terhadap Plat Pracetak

Pada perencanaan plat yang akan digunakan yaitu menggunakan solid flat slab, karena harapannya mendapatkan tebal plat yang relatif tipis dengan lendutan yang dapat dikontrol. Dalam pendesainan tebal dan jumlah tulangan yang dipakai adalah desain yang mampu menahan beban kombinasi yang bekerja dalam kondisi yang terbesar.

Penentuan tebal plat beton dapat ditentukan dari tebal minimum pelat dalam kondisi utuh, yaitu dengan rumus :

$$h \geq \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1500})}{36 + 9\beta} \quad \text{syarat : tebal plat tidak boleh kurang dari 90 mm}$$

$$\beta = L_y/L_x$$

dimana : L_n = panjang plat

Berdasarkan tebal minimum plat, ditentukan tebal plat pracetak dengan persyaratan, bahwa :

$$h_{top} \geq 50\text{mm}, \text{ dimana } h_{top} = \text{tebal beton topping (mm)}$$

Sehingga tebal pelat pracetak adalah :

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

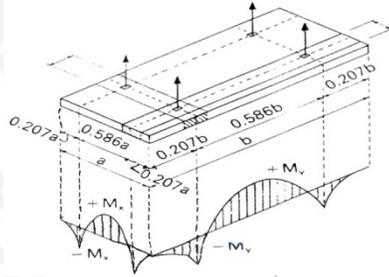
dalam perencanaan ini, gaya harus ditentukan terlebih dahulu sebesar P (kN) yang bekerja di setiap meter penampang, dengan ketentuan plat yang diangkat berumur tidak kurang dari 28 hari.

- Analisa penampang saat di angkat

Didalam penanganan material pracetak, yang perlu diperhatikan adalah pada saat proses pengangkatan dan penyimpanan material. Dalam buku *PCI Design Handbook 7th Edition Precast and Prestressed Concrete Chapter 5* telah dijelaskan bagaimana cara – cara untuk menjamin bahwa material pracetak tidak mengalami kerusakan.

Hal yang perlu diperhatikan untuk elemen beton pracetak adalah:

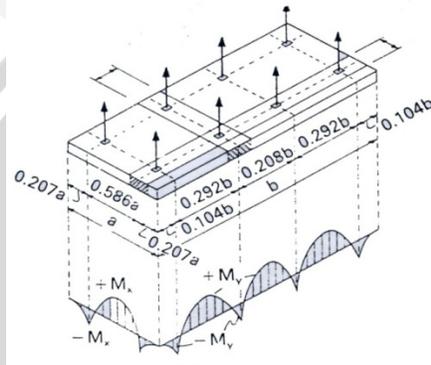
1. Titik angkat dan sokongan untuk pelat pracetak



(a)

$$- M_x = + M_x = 0,0107 wba^2$$

$$- M_y = + M_y = 0,0107 wab^2$$



(b)

$$- M_x = + M_x = 0,0054 wba^2$$

$$- M_y = + M_y = 0,0107 wab^2$$

Gambar 2.2 (a) dan (b) Titik Angkat dan sokongan untuk pelat pracetak

Sumber: Dokumen presentasi Ir. Makno Basoeki, *Precast Building Component Construction for Samarinda Condotel*

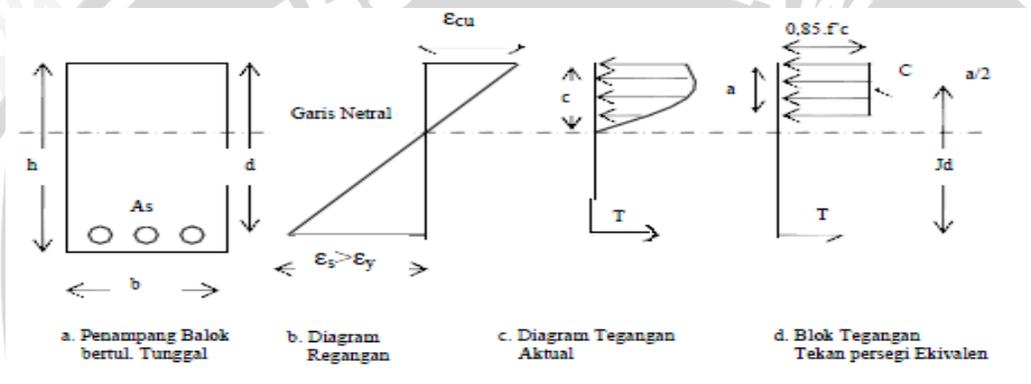
(*PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete, Fourth Edition, 1992*)

2.5 Penampang Prismatis

Penganalisisan struktur pracetak (balok) harus di lakukan agar asumsi-asumsi awal dalam pelaksanaan tidak terjadi kesalahan dalam perencanaan

1. Analisis balok persegi tulangan tunggal

Analisis penampang adalah menghitung kapasitas/kekuatan penampang berdasarkan data-data penampang seperti : Dimensi, luas tulangan, mutu beton ($f'c$), mutu baja (f_y) dan letak tulangan. Untuk menganalisisnya kita bisa menggunakan dasar konsep seperti balok konvensional biasa :



Gambar 2.3 Analisa Penampang tulangan tunggal

Sumber : praktiktoo.fiks.wordpress.com

pada gambar diatas, gaya tekan pada beton (C) adalah :

$$C = 0.85 * f'c * a * b$$

Dan gaya tarik pada baja (T) adalah :

$$T = As * f_y$$

Keseimbangan gaya horizontal :

$$T = C \rightarrow As * f_y = 0.85 * f'c * a * b$$

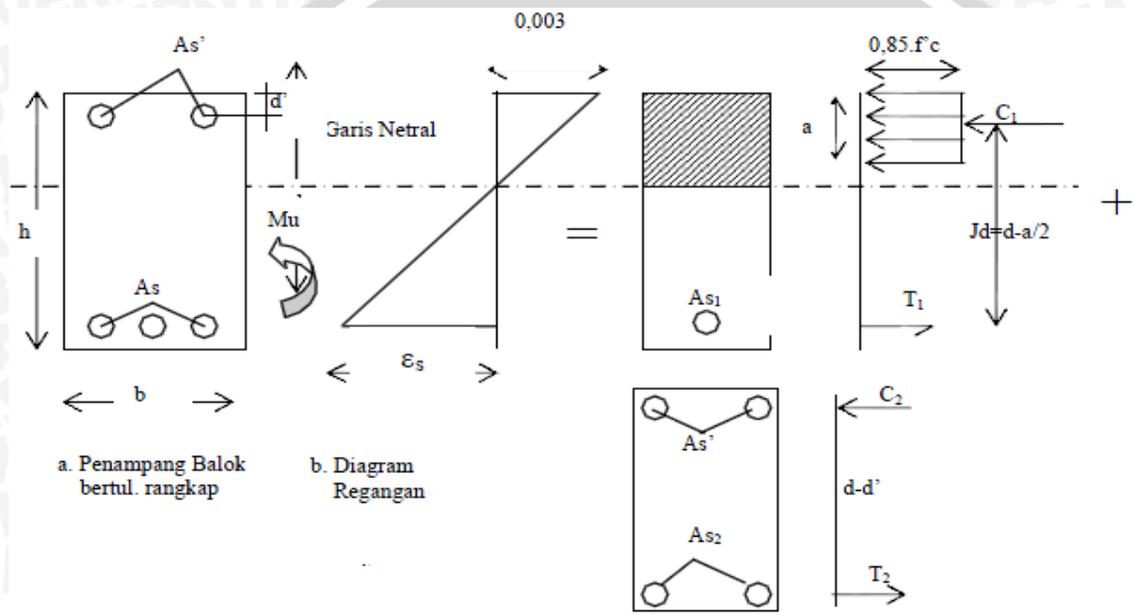
Maka momen nominal penampang adalah :

$$M_n : T * Jd \rightarrow (A_s * f_y) * (d - 0.5 * a)$$

Jadi momen nominal penampang adalah :

$$M_u < \phi M_n \rightarrow M_u = 0.8 * M_n$$

2. Analisis balok persegi tulangan rangkap



Gambar 2.4 Analisa Penampang tulangan ganda

Sumber : praktiktoo.fiks.wordpress.com

→ Tulangan tekan sudah leleh

Apabila tulangan sudah leleh, maka $f_s' = f_y$

$$T_1 = A_{s1} * f_y = C_1$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \rightarrow A_{s2} = A_s - A_{s1}$$

$$A_{s1} = A_s - A_{s2}$$

$$M_{n1} = T_1 * (d - 0.5 * a)$$

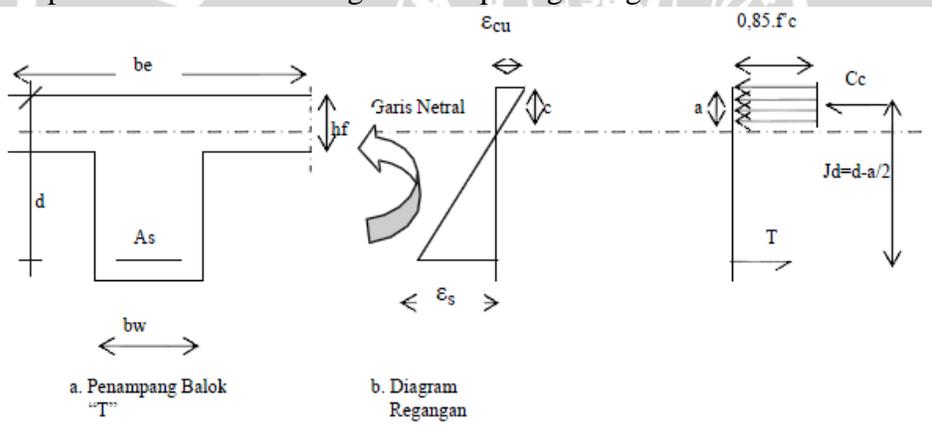
$$\text{Sehingga : } M_{n1} = (A_s - A_{s2}) * f_y * (d - 0.5 * a) + A_{s2} * f_y * (d - d')$$

Persamaan diatas adalah untuk kondisi tulangan tekan leleh. Untuk mengetahui tulangan tekan leleh atau tidak perlu dilakuakn pemeriksaan kompatibilitas regangan. Tulangan tekan leleh (A_s') apabila $\epsilon_s > \epsilon_y \rightarrow \epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{f_y}{2 \cdot 10^5}$

2.6 Penampang Tidak Prismatis

Balok T merupakan kombinasi dai balok yang berda di bawah dan plat yang berada pada bagian atas yang di gabung menjadi 1 menjadi kesatuan yang monolit yang berperilaku menahan momen positif dan akan berperilaku menjadi balok persegi biasa apabila menaha momen negative.

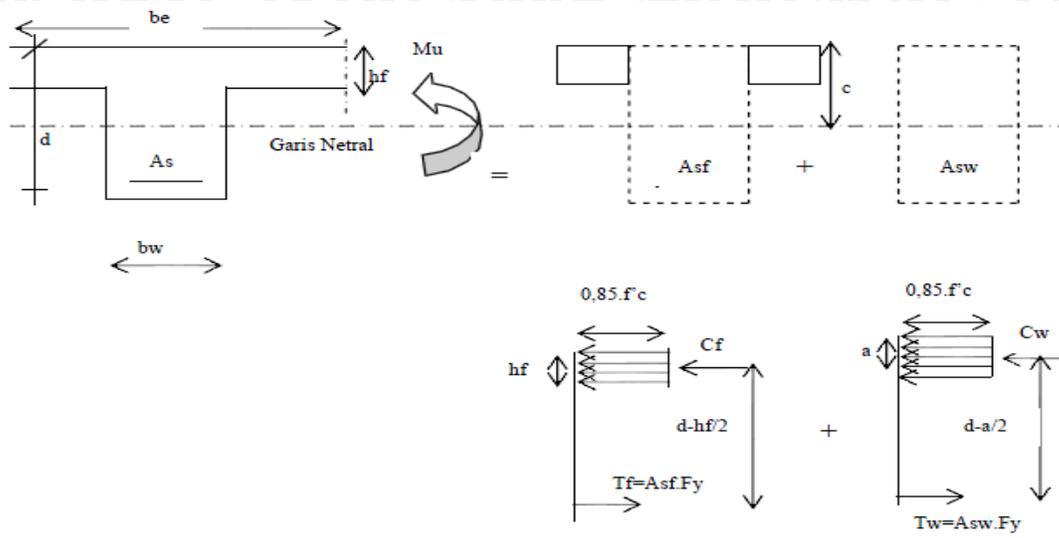
- a. Kondisi bila garis netral terletak dalam flens (sayap) $c < hf$, maka analisa penampang dapat dilakukan sama dengan balok persegi dengan lebar balok = lebar efektif (b_e)



Gambar 2.5 Diagram tegangan regangan Balok bersayap dengan tulangan tunggal

Sumber : praktiktoo.fiks.wordpress.com

- b. Kondisi ketika garis netral memotong bada, $c > hf$, maka balok diperlakukan sebagai balok T murni.



Gambar 2.6 Diagram tegangan regangan Balok bersayap dengan tulangan ganda

Sumber : praktiktoo.fiks.wordpress.com

2.7 Sambungan pada Beton Pracetak

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

Walaupun pada tahun 2012 telah keluar SNI 7833 2012 tentang tata cara perancangan beton pracetak dan beton prategang untuk bangunan gedung. Sambungan merupakan bagian struktur pracetak yang paling penting dalam mentransfer gaya dan berperilaku sebagai penghubung disipasi energi (Castro, dalam Adimas Bagus I, 1992).

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

Menurut Priestley dalam Adimas Bagus I (1996), prinsip perencanaan sambungan dikelompokkan menjadi dua kategori, yaitu:

1. Sambungan kuat, jika sambungan di antara elemen pracetak berperilaku elastis pada saat terjadi gempa yang sangat kuat. Sistem sambungan harus terbukti secara teori dan eksperimen memiliki kekuatan dan ketegaran minimal sama dengan struktur sambungan beton monolit.
2. Sambungan daktail, jika sambungan memungkinkan terjadi deformasi inelastis. Sistem sambungan harus terbukti secara teori dan eksperimen memenuhi persyaratan kehandalan dan kekakuan struktur tahan gempa.

Pada umumnya sambungan dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- a. Sambungan yang pada pemasangan harus langsung menerima beban (biasanya beban vertical) akibat berat sendiri dan komponen
- b. Sambungan yang pada keadaan akhir akan harus menerima beban yang selama pemasangan ditterima oleh pendukung pembantu
- c. Sambungan dimana tidak ada persyaratan-persyaratan ilmu gaya, tetapi harus bisa memenuhi persyaratan-persyaratan lai, seperti kekedapan terhadap air, suara dll
- d. Sambungan-sambungan tanpa persyaratan konstruktif dan semata-mata menyediakan ruang gerak untuk pemasangan.

Kebanyakan konstruksi pracetak memiliki kekurangan dalam menerima joint, sehingga terjadi kelemahan terhadap beban lateral khususnya ketika menahan beban gempa. Maka dari itu sambungan antar elemen pracetak harus memiliki ketelitian dalam pemasangan, sehingga hasilnya akan menjadi sebuah sambungan yang monolit antar sambungan seperti halnya sambungan yang menggunakan metode konvensional atau cast in place.

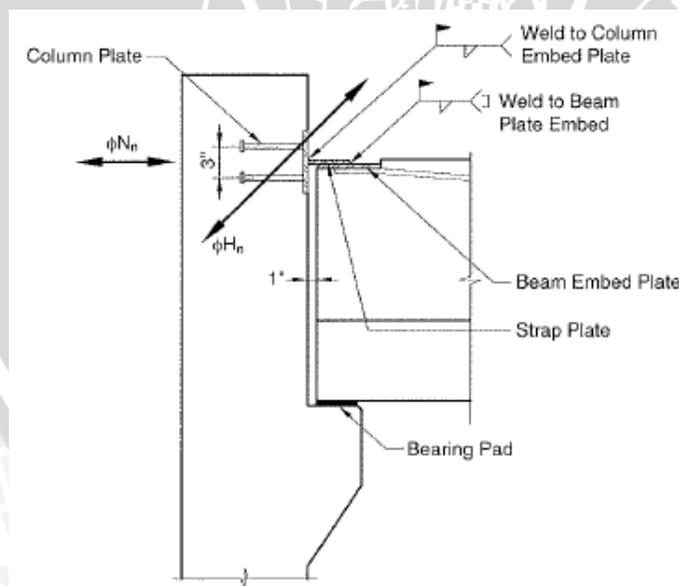
Didalam pendetailan sambungan sudah dibahas didalam penelitian yang dilakukan oleh Bogazici dan kocaeli university (Ductile Connection in Precast Concrete Momen redidting Frames,PCI juranal,may-june 2006), yang menyatakan bahwa tipe sambungan pracetak jenis

HCC (Hybrid Concrete Construction) sesuai untuk membangun konstruksi precast yang tahan terhadap gempa.

Dalam tugas akhir ini akan secara langsung membahas mengenai pendetailan sambungan berdasarkan aturan yang mengacu pada ACI 318M-05. Dan disini tidak membahas mengenai analisa dan perilaku pada sambungan.

Untuk menghasilkan sambungan yang bersifat kaku, monolit, dan terintegrasi pada plat dan balok pracetak, maka gaya-gaya yang bekerja pada plat harus tersalurkan ke balok dengan memenuhi :

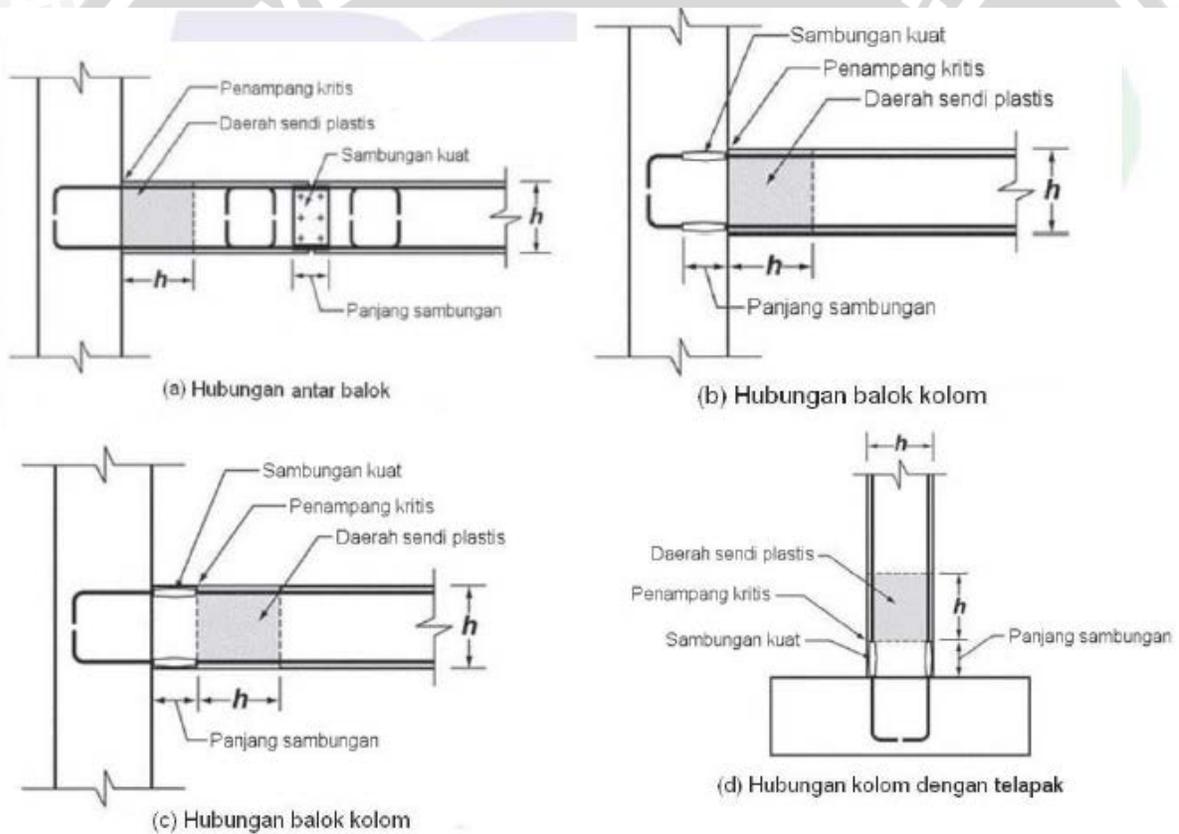
- Kombinasi beton cor ditempat (topping), dimana permukaan pada pelat dan beton pracetak harus memenuhi amplitude 5mm
- Pendetailan tulangan sambungan yang dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan, sesuai dengan aturan yang terdapat pada SK SNI 03-1726-2002 pasal 9.13
- Grouting dapat dilakukan untuk menutupi celah yang terjadi dalam sambungan antara plat dan balok pracetak.



Gambar 2.7 Sambungan balok kolom dengan bantuan anchor

Sumber : PCI Connection Manual

Sistim portal beton pracetak yang disusun dari elemen-elemen yang dihubungkan menggunakan sambungan kuat adalah dimaksudkan mengalami leleh lentur diluar sambungan. Sambungan kuat mencakup panjang dari perangkat coupler seperti dalam gambar 8. Teknik desain kapasitas yang digunakan untuk memastikan sambungan kuat tetap elastic pembentukan dari sendi plastis. Persyaratan kolom tambahan diberikan untuk menghindari sendi dan penurunan kekuatan dari sambungan kolom-kolom. Lokasi penyambungan harus dipilih secara hati-hati atau ukuran lain harus diambil, misalnya debonding dari penguatan batang tulangan pada daerah ditegangan tinggi, untuk menghindari pemusatan regangan yang dapat menghasilkan retak premature tulangan



Gambar 2.8 Letak sambungan kuat terletak di sendi plastis

Sumber : SNI 7833-2012

2.8 Beban Gempa (*Earthquake Load/ EL*)

Gempa bumi adalah fenomena getaran yang dikaitkan dengan kejutan pada kerak bumi. Beban kejut ini dapat disebabkan oleh banyak hal, tetapi salah satu faktor yang utama adalah benturan pergesekan kerak bumi yang mempengaruhi permukaan bumi. Lokasi gesekan ini terjadi disebut *fault zone*. Kejutan yang berkaitan dengan benturan tersebut akan menjalar dalam bentuk gelombang. Gelombang ini menyebabkan permukaan bumi dan bangunan di atasnya bergetar. Pada saat bangunan bergetar, timbul gaya-gaya pada struktur bangunan karena adanya kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya dan gerakan. Gaya yang timbul disebut gaya inersia. Besar gaya tersebut bergantung pada banyak faktor yaitu:

- Massa bangunan
- Pendistribusian massa bangunan
- Kekakuan struktur
- Jenis tanah
- Mekanisme redaman dan struktur
- Perilaku dan besar alami getaran itu sendiri
- Wilayah kegempaan
- Periode getar alami

Besarnya Beban Gempa Dasar Nominal horizontal akibat gempa menurut Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung, dinyatakan sebagai berikut :

$$V = \frac{C * I}{R} * Wt$$

dimana :

V = Beban Gempa Dasar Nominal

C = Faktor Respon Gempa

I = Faktor Keutamaan Struktur

R = Faktor Reduksi Gempa

Wt = Berat Bangunan (beban mati dan hidup yang direduksi)

Untuk berbagai kategori gedung, bergantung pada probabilitas terjadinya keruntuhan struktur gedung selama umur gedung dan umur gedung tersebut yang diharapkan, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu Faktor Keutamaan I menurut persamaan :

$$I = I_1 * I_2$$

Dimana I_1 adalah Faktor Keutamaan untuk menyesuaikan periode ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa itu selama umur gedung berkaitan dengan penyesuaian umur gedung tersebut. Faktor Keutamaan I_1 , I_2 dan I ditetapkan menurut Tabel 1.

Tabel 2.2 Faktor Keutamaan I untuk berbagai kategori gedung dan Bangunan

Kategori gedung	Faktor keutamaan		
	I_1	I_2	I_3
Gedung umum seperti untuk perumahan, perniagaan dan perkantoran	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5

Faktor Reduksi Gempa ditentukan berdasarkan perencanaan kinerja suatu gedung yaitu apakah gedung direncanakan berperilaku elastik penuh, daktilitas terbatas atau daktilitas penuh. Nilai dari faktor reduksi gempa ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Nilai faktor daktilitas struktur gedung μ di dalam perencanaan struktur gedung dapat dipilih menurut kebutuhan, tetapi tidak boleh diambil lebih besar dari nilai faktor daktilitas maksimum μ_m yang dapat dikerahkan oleh masing-masing sistem atau subsistem struktur gedung. Dalam Tabel 2 SNI 1726-2002 ditetapkan nilai μ_m yang dapat dikerahkan oleh beberapa jenis sistem dan subsistem struktur gedung, berikut faktor reduksi maksimum R_m yang bersangkutan.

Table 2.3 Parameter Daktilitas Struktur Gedung

Taraf kinerja struktur gedung	μ	R
Elastik penuh	1,0	1,6
Daktail parsial	1,5	2,4
	2,0	3,2
	2,5	4,0
	3,0	4,8
	3,5	5,6
	4,0	6,4
	4,5	7,2
	5,0	8,0
Daktail penuh	5,3	8,5

Untuk menentukan harga C harus diketahui terlebih dahulu jenis tanah tempat struktur bangunan itu berdiri. Jenis tanah ditetapkan sebagai tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak apabila untuk lapisan setebal maksimum 30 meter paling atas dipenuhi syarat-syarat yang tercantum dalam tabel 4, SNI 03-1726- 2002, halaman 26.

Tabel 2.4 Jenis-Jenis Tanah (SNI 03-1726-2002)

Jenis Tanah	Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata V_s (m/dt)	Nilai hasil Test Penetrasi Standart rata-rata N	Kuat geser niralir rata-rata S_u (kPa)
Tanah Keras	$V_s \geq 350$	$N \geq 50$	$S_u \geq 100$
Tanah Sedang	$175 \leq V_s < 350$	$15 \leq N < 50$	$50 \leq S_u < 100$
Tanah Lunak	$V_s < 175$	$N < 15$	$S_u < 50$
	Atau, setiap profil dengan tanah lunak yang tebal total lebih dari 3 m dengan $P_l > 20$, $W_n \geq 40\%$ dan $S_u < 25$ kPa		
Tanah Khusus	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi		

2.8.1 Metode Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa

Metode analisis yang dapat digunakan untuk memperhitungkan pengaruh beban gempa terhadap struktur adalah sebagai berikut:

1. Metode Analisis Statis

Merupakan analisis sederhana untuk menentukan pengaruh gempa tetapi hanya digunakan pada bangunan sederhana dan simetris, penyebaran kekakuan massa menerus, dan ketinggian tingkat kurang dari 40 meter. Analisis statis prinsipnya menggantikan beban gempa dengan gaya - gaya statis ekuivalen bertujuan menyederhanakan dan memudahkan perhitungan, dan disebut Metode Gaya Lateral Ekuivalen (*Equivalent Lateral Force Method*), yang mengasumsikan gaya gempa besarnya berdasar hasil perkalian suatu konstanta /massa dan elemen struktur tersebut.

2. Metode Analisis Dinamis

Analisis Dinamis dilakukan untuk evaluasi yang akurat dan mengetahui perilaku struktur akibat pengaruh gempa yang sifatnya berulang. Analisis dinamik perlu dilakukan pada struktur-struktur bangunan dengan karakteristik sebagai berikut:

- ✓ Gedung - gedung dengan konfigurasi struktur sangat tidak beraturan
- ✓ Gedung - gedung dengan loncatan - loncatan bidang muka yang besar
- ✓ Gedung - gedung dengan kekakuan tingkat yang tidak merata
- ✓ Gedung - gedung dengan yang tingginya lebih dan 40 meter

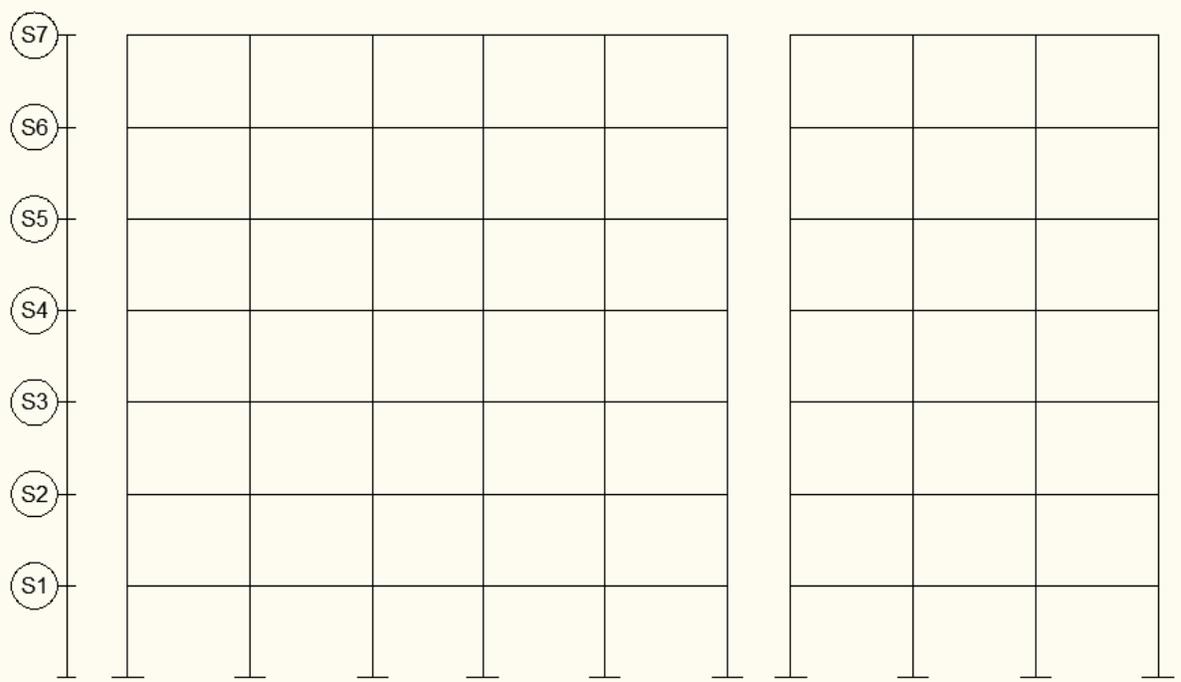
Metode ini ada dua jenis yaitu Analisis Respon Dinamik Riwayat Waktu (*Time History Analysis*) yang memerlukan rekaman percepatan gempa rencana dan Analisis Ragam Spektrum Respon (*Spectrum Modal Analysis*) dimana respon maksimum dan tiap ragam getar yang terjadi didapat dari Spektrum Respon Rencana (*Design Spectra*).

2.8.2 Pemilihan Cara Analisis

Pemilihan metode analisis untuk perencanaan struktur ditentukan berdasarkan konfigurasi struktur dan fungsi bangunan berkaitan dengan tanah dasar dan wilayah kegempaan. Untuk struktur bangunan kecil dan tidak bertingkat, elemen struktural dan non struktural tidak perlu didesain khusus terhadap gempa, tetapi diperlukan detail struktural yang baik. Untuk struktur bangunan sedang digunakan metode Analisis Beban Statik Ekuivalen, sebaiknya memeriksa gaya gempa yang bekerja dengan menggunakan Spektrum Respon Gempa Rencana sesuai kondisi

struktur. Untuk struktur bangunan yang cukup besar menggunakan analisis dinamik, metode Analisis Ragam Spektrum respon. Sedang untuk struktur bangunan tidak merata ke arah vertikal dengan menggunakan Analisis Modal. Untuk analisis dinamis biasanya struktur dimodelkan sebagai suatu sistem dengan massa - massa terpusat (*Lumped Mass Model*) untuk mengurangi jumlah derajat kebebasan pada struktur.

Semua analisis tersebut pada dasarnya untuk memperoleh respon maksimum yang terjadi akibat pengaruh percepatan gempa yang dinyatakan dengan besaran perpindahan (*Displacement*) sehingga besarnya gaya - gaya dalam yang terjadi pada struktur dapat ditentukan lebih lanjut untuk keperluan perencanaan.



Gambar 2.9 Pemodelan struktur

2.8.3. Material Struktur

Penggunaan bahan – bahan secara tepat dan efisien membutuhkan pengetahuan yang luas akan sifat – sifat mekanisnya. Diantara sifat – sifat ini yang paling penting adalah kekuatan, kekakuan dan elastisitas. Secara umum ada 4 bahan struktur utama, yaitu : pasangan bata, kayu, baja, dan beton bertulang. Berikut ini akan dijelaskan jenis-jenis material struktur :

1. Struttur Baja (*Steel Structure*)

Struktur baja sangat tepat digunakan untuk bangunan bertingkat tinggi, karena material baja mempunyai kekuatan serta daktilitas yang tinggi apabila dibandingkan dengan material-material strutur lainnya. Di beberapa negara, struktur baja tidak banyak dipergunakan untuk struktur bangunan rendah dan menengah, karena ditinjau dari segi biaya, penggunaan material baja untuk bangunan ini dianggap tidak ekonomis.

2. Struktur Komposit (*Composite Structure*)

Struktur komposit merupakan struktur gabungan yang terdiri dari dua jenis material atau lebih. Umumnya strutur komposit yang sering dipergunakan adalah kombinasi antara baja struktural dengan beton bertulang. Struktur komposit ini memiliki perilaku diantara struktur baja dan struktur beton bertulang, digunakan untuk struktur bangunan menengah sampai tinggi .

3. Struktur Kayu (*Wooden Stucture*)

Struktur kayu merupakan struktur dengan ketahanan cukup baik terhadap pengaruh gempa, dan mempunyai harga yang ekonomis. Kelemahan daripada struktur kayu ini adalah tidak tahan terhadap kebakaran dan digunakan pada struktur bangunan tingkat rendah.

4. Struktur Beton Bertulang Cor Di Tempat (*Cast In Situ reinforced Concrete structure*)

Struktur beton bertulang ini banyak digunakan untuk struktur bangunan tingkat menengah sampai tinggi. Struktur ini paling banyak digunakan dibandingkan dengan struktur lainnya.

5. Struktur Beton Pracetak (*Precast Concrete Structure*)

Merupakan struktur beton yang dibuat dengan elemen-elemen struktural yang terbuat dari elemen pracetak. Umumnya digunakan pada struktur bangunan tingkat rendah sampai menengah. Kelemahan struktur ini adalah kurang monolit, sehingga ketahanannya terhadap gempa kurang baik.

6. Struktur Beton Prategang (*Prestress Concrete Structure*)

Penggunaan sistem prategang pada elemen sturktural akan berakibat kurang menguntungkan pada kemampuan berdeformasi daripada struktur dan akan mempengaruhi karakteristik respon terhadap gempa. Struktur ini digunakan pada bangunan tingkat rendah sampai menengah. Sistem prategang yang digunakan ada dua cara, yaitu :

- Sistem *Post-Tensioning*

Pada sistem ini beton dicor ditempat, kemudian setelah mencapai kekuatan 80% f_c diberi gaya prategang. Biasanya untuk lantai dan balok.

➤ Sistem *Pre-Tensioning*

Pada sistem ini beton telah dicetak dan sebelumnya diberi gaya prategang di pabrik dan kemudian dipasang di lokasi. Sistem ini biasa digunakan untuk komponen balok, pelat dan tangga.

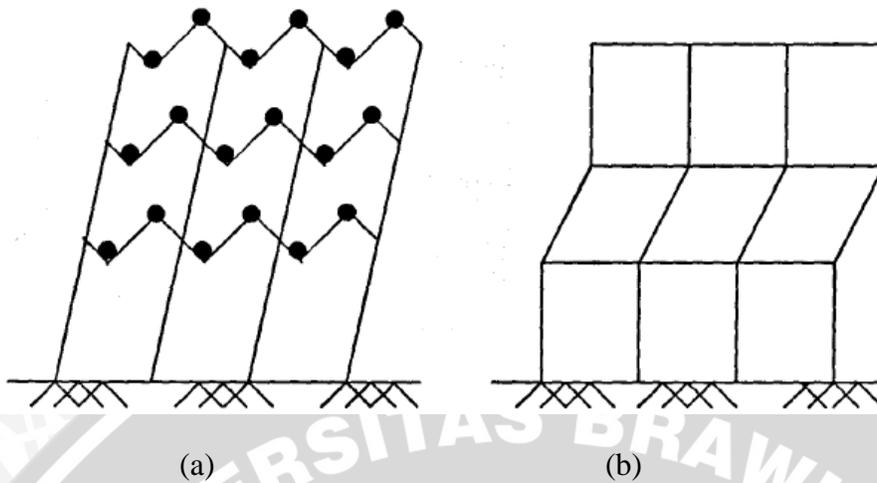
2.8.4. Perinsip Dasar Kapasitas

Dalam Konsep Desain Kapasitas, untuk menghadapi gempa kuat yang mungkin terjadi dalam periode waktu tertentu, maka mekanisme keruntuhan suatu portal dipilih sedemikian rupa, sehingga pemencaran energi gempa terjadi secara memuaskan dan keruntuhan yang terjadi secara katastrofik dapat dihindarkan. Gambar 2.11. memperlihatkan dua mekanisme khas yang dapat terjadi pada portal-portal rangka. Mekanisme goyang dengan pembentukan sebagian besar sendi plastis pada balok-balok lebih dikehendaki daripada mekanisme dengan pembentukan sendi plastis yang terpusat hanya pada ujung-ujung kolom suatu lantai, karena:

1. Pada mekanisme pertama (Gambar 2.11 a) penyebaran energi gempa terjadi dalam banyak unsur, sedangkan pada mekanisme kedua (Gambar 2.11 b) penyebaran energi terpusat pada sejumlah kecil kolom-kolom struktur.

2. Daktilitas kurvatur yang dituntut dari balok untuk menghasilkan daktilitas struktur tertentu, pada umumnya jauh lebih mudah dipenuhi daripada kolom yang seringkali tidak memiliki cukup daktilitas akibat gaya aksial tekan yang bekerja.

Guna menjamin terjadinya mekanisme goyang dengan pembentukan sebagian besar sendi plastis pada balok, *Konsep Desain Kapasitas* diterapkan untuk merencanakan agar kolom-kolom lebih kuat dari balok-balok portal (*Strong Column-Weak Beam*). Keruntuhan geser balok yang bersifat getas juga diusahakan agar tidak terjadi lebih dahulu dari kegagalan akibat beban lentur pada sendi-sendi plastis balok setelah mengalami rotasi-rotasi plastis yang cukup besar. Pada prinsipnya, dengan *Konsep Desain Kapasitas* elemen-elemen utama penahan beban gempa dapat dipilih, direncanakan dan didetail sedemikian rupa, sehingga mampu memencarkan energi gempa dengan deformasi inelastisitas yang cukup besar tanpa runtuh, sedangkan elemen-elemen lainnya diberi kekuatan yang cukup, sehingga mekanisme yang telah dipilih dapat dipertahankan pada saat terjadi gempa kuat.



Mekanisme keruntuhan yang dikehendaki

Mekanisme keruntuhan yang tidak dikehendaki

Gambar2.10 Mekanisme yang terjadi pada kebiasaan portal

2.9 Desain Kapasitas

Prinsip desain kapasitas pada dasarnya adalah pemeliharaan elemen penahan gempa yang utama. Elemen tersebut direncanakan dan didetail sehingga dapat memancarkan energy gempa dengan deformasi elastic yang cukup besar tanpa runtuh, sedangkan untuk elemen lain mempunyai kekuatan yang cukup.

Factor-faktor yang menjamin terjadinya mekanisme tersebut adalah :

1. peningkatan kuat lentur balok sebagai elemen utama pemancar energy gempa
2. pengaruh beban dinamis pada kolom

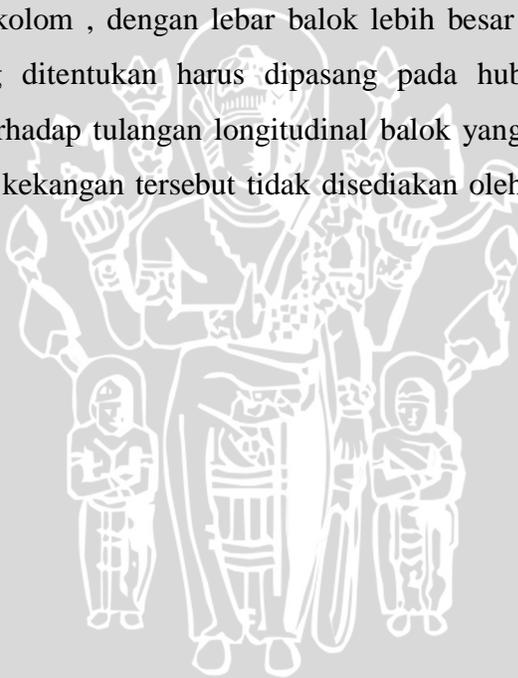
pendekatan desain kapasitas ditujukan untuk ;

1. merencanakan force inelastic deformation
2. melindungi elemen-elemen pracetak

konsep desain kapasitas direncanakan terhadap beban gempa ringan namun dengan strategi dan rincian penulangan yang mampu menahan gempakuat dalam arti boleh rusak tetapi tidak runtuh karena mengasumsi prinsip strong column-weak beam.

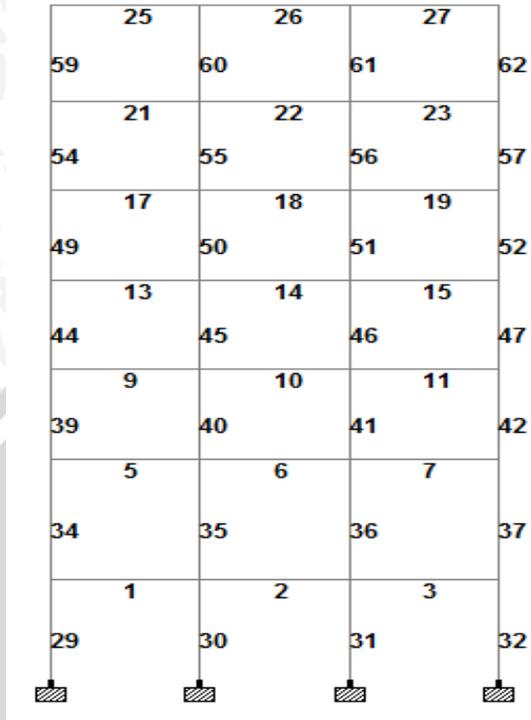
2.10 Tulangan Transversal

1. Tulangan transversal berbentuk sengkang tertutup harus dipasang di dalam daerah hubungan balok - kolom, kecuali bila hubungan balok – kolom tersebut dikekang oleh komponen – komponen struktur.
2. Pada hubungan balok – kolom dimana balok – balok, dengan lebar setidaknya sebesar tiga per empat lebar kolom, merangka pada keempat sisinya, harus dipasang tulangan transversal setidaknya sejumlah setengah dari yang ditentukan. Tulangan transversal ini dipasang di daerah hubungan balok – kolom di setinggi balok terendah yang merangka ke hubungan tersebut. Pada daerah tersebut, spasi tulangan transversal dapat diperbesar menjadi 150 mm.
3. Pada hubungan balok – kolom , dengan lebar balok lebih besar daripada lebar kolom, tulangan transversal yang ditentukan harus dipasang pada hubungan tersebut untuk memberikan kekangan terhadap tulangan longitudinal balok yang berada di luar daerah inti kolom, terutama bila kekangan tersebut tidak disediakan oleh balok yang merangka pada hubungan tersebut.

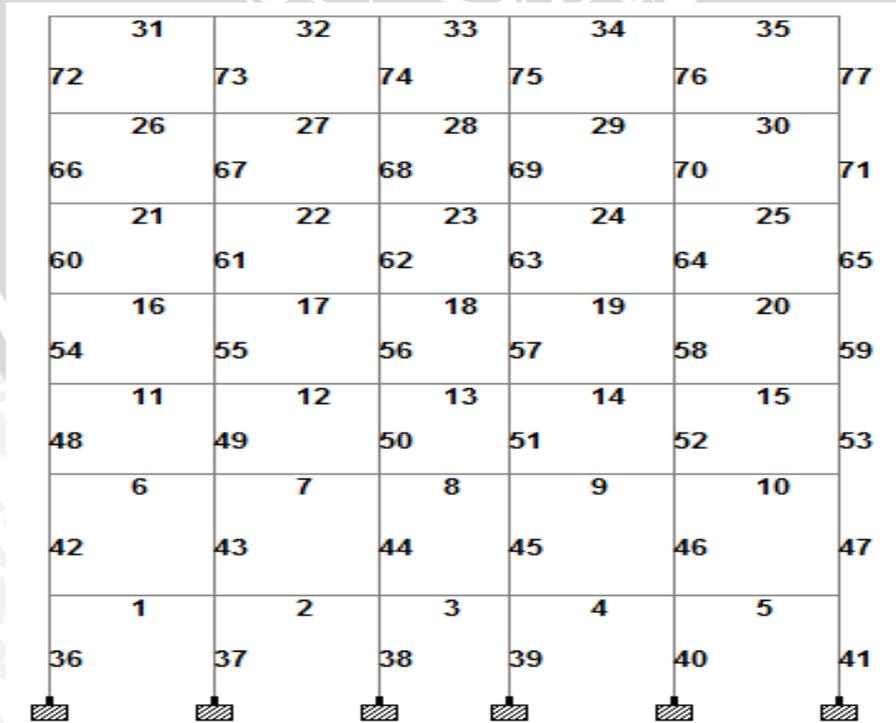


2.11 Rekapitulasi tulangan Balok

portal melintang



Portal memanjang























2.12 Tulangan Lentur

Pamungkas, A dan Erny H (13:2009) mengatakan bahwa tiap komponen lentur harus cukup daktail dan cukup efisien mentransfer momen ke kolom. Kolom – kolom yang terkena momen dan hanya terkena beban aksial terfaktor $< 0,10 f'c \times Ag$ boleh didesain sebagai komponen lentur.

Untuk perhitungan komponen lentur yang berada di wilayah gempa 4 harus memenuhi persyaratan pada SNI 03-2847-2002 pasal 9, 12, 23.8, dan 23.10 (Pamungkas, A dan Erny H 13:2009).

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 12.3, untuk komponen non prategang dengan tulangan sengkang pengikat, kuat tekan aksial terfaktor ϕP_n tidak boleh diambil lebih dari:

$$\phi P_{n(\max)} = 0,80 \cdot \phi \cdot [0,85 \cdot f'c (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y]$$

Sedangkan dari SNI 03 2847-2002 pasal 23.10, bila beban aksial terfaktor $\phi P_n \leq 0,10 \cdot f'c \cdot A_g$. Maka persyaratan pSyada pasal 23.10.5 harus dipenuhi kecuali bila dipasang tulangan spiral. Pasal 23.10.5 adalah mengenai persyaratan jarak tulangan sengkang yang akan dibahas pada pendetailan tulangan geser.

Didalam pasal 23.10.4 yang tercantum seperti didalam SNI 03-2847-2002 kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari 1/3 kuat lentur negatifnya pada muka tersebut.

Bila kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari 1/5 kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka – muka kolom di kedua ujung komponen struktur tersebut.

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 12.5, tulangan lentur A_s minimum tidak boleh kurang dari:

$$A_s \min = \frac{\sqrt{f'c}}{4f_y} b \cdot d$$

dan tidak lebih kecil dari:

$$A_s \min = \frac{1,4 \cdot b \cdot d}{f_y}$$

Dimana:

- b = adalah lebar balok
 d = tinggi efektif balok (tinggi balok – selimut beton)
 $f'c$ = kuat tekan beton
 f_y = tegangan leleh baja

2.13 Tulangan Geser

Menurut Pamungkas, A dan Erny H (14:2009) tulangan geser harus didesain sedemikian rupa sehingga tidak terjadi kegagalan getas oleh geser mendahului kegagalan oleh lentur. Kebutuhan tulangan geser harus dibandingkan dengan kebutuhan tulangan pengekangan untuk dipakai yang lebih banyak agar memenuhi kebutuhan keduanya.

Perhitungan tulangan untuk tulangan geser yang berada pada wilayah gempa 4 harus memenuhi persyaratan pada SNI 03-2847-2002 pasal 13 dan 23.10. Di dalam SNI 03-2847-2002 dikatakan bahwa perencanaan penampang untuk menahan geser:

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$\phi(V_c + V_s) \geq V_u$$

Dimana:

ϕ = faktor reduksi kuat geser senilai 0,75

V_u = gaya geser terfaktor

V_n = kuat geser nominal

V_c = kuat geser nominal yang disumbangkan beton

V_s = kuat geser nominal yang disumbangkan tulangan geser

Kuat geser V_c dihitung sesuai pasal 13.3.1:

1. Untuk komponen struktur yang hanya dibebani oleh geser dan lentur:

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f'c}}{6} \right) b_w d$$

Dimana:

V_c = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton

f'_c = kuat tekan beton yang disyaratkan

b_w = lebar badan balok

d = jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tarik longitudinal, tidak perlu kurang dari 0,8 h

2. Untuk komponen struktur yang dibebani tekan aksial

$$V_c = \left(1 + \frac{Nu}{14Ag}\right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6}\right) b_w d$$

Dimana:

v_c = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton

f'_c = kuat tekan beton yang disyaratkan

nu = beban aksial terfaktor

ag = luas bruto penampang

b_w = lebar badan balok

d = jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tarik longitudinal, tidak perlu kurang dari 0,8 h

V_c boleh dihitung dengan perhitungan yang lebih rinci berdasarkan pasal 13.3.2.1. Untuk komponen struktur yang hanya dibebani oleh geser dan lentur saja:

$$V_c = \left(\sqrt{f'_c} + 120 \times \frac{A_s}{b_w \cdot d} \times \frac{V_u \cdot d}{M_u}\right) \frac{b_w \cdot d}{7}$$

Tetapi tidak boleh lebih dari $0,3\sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$

Dimana:

V_c = kuat geser nominal yang disumbangkan beton

f'_c = kuat tekan beton yang disyaratkan

V_u = gaya geser terfaktor

A_s = luas tulangan tarik

M_u = momen terfaktor

b_w = lebar badan balok

d = jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tarik longitudinal, tidak perlu kurang dari 0,8 h

SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.3 mengatakan bahwa kuat rencana yang memikul beban gempa tidak boleh kurang dari:

$$1. V = \frac{Mnl + Mnr}{\lambda n} + \frac{Wu \lambda n}{2} \text{ untuk balok}$$

Dimana:

Mnl, Mnr = momen nominal di kedua ujung balok

λn = bentang bersih balok

wu = beban terfaktor

Mnl dan Mnr dihitung dari tulangan lentur terpasang

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

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

$$V = \frac{Mnt + Mnb}{h_n} \text{ untuk kolom}$$

Dimana:

Mnt, Mnb = momen nominal di kedua ujung kolom

H_n = tinggi bersih kolom

2. Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk pengaruh beban gempa E, dimana nilai E diambil sebesar dua kali nilai yang ditentukan dalam perencanaan tahap gempa.

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.4.2, pada kedua ujung balok harus dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan sepanjang jarak $l_o = 2 \times$ tinggi balok diukur dari muka perletakan ke arah bentang.

Sengkang ini harus mempunyai spasi yang tidak lebih dari:

- $\frac{1}{4}$ tinggi efektif balok
- 8 x diameter efektif balok
- 24 x diameter sengkang

2.14 Kuat Geser

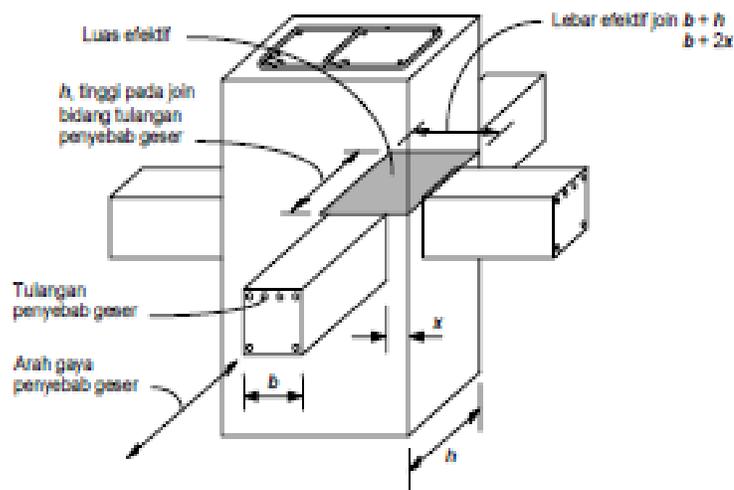
1. Kuat geser nominal V_n hubungan balok – kolom tidak boleh lebih besar daripada:

- Untuk hubungan balok – kolom yang terkekang keempat sisinya $1,7 \sqrt{f'c} A_j$.
- Untuk hubungan balok – kolom yang terkekang pada ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan $1,25 \sqrt{f'c} A_j$.
- Untuk hubungan lainnya $1,0 \sqrt{f'c} A_j$.

Untuk joint terkekang yang dipasang pada bagian lantai teratas, berlaku ketentuan sebagai berikut :

- untuk joint terkekang pada empat muka $1.25 \sqrt{f'c} A_j$.
- untuk joint terkekang pada tiga muka atau dua muka berlawanan $1.0 \sqrt{f'c} A_j$.
- untuk kondisi lainnya $0.75 \sqrt{f'c} A_j$.

Luas efektif hubungan balok – kolom A_j ditunjukkan pada gambar,



Gambar 2.11 Luas efektif hubungan balok – kolom

Sumber: SNI 03-2847-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Beton

Aj adalah luas penampang efektif dalam joint yang dihitung dari tinggi joint dikali lebar sambungan efektif. Suatu balok yang merangka pada hubungan balok – kolom dianggap memberikan kekangan bila setidaknya tiga per empat bidang muka hubungan balok – kolom tersebut tertutupi oleh balok yang merangka tersebut. Hubungan balok – kolom dapat dianggap terkekang bila ada empat balok yang merangka pada hubungan balok – kolom tersebut.

2. Untuk beton ringan, kuat geser nominal hubungan balok – kolom tidak boleh diambil lebih besar dari tiga per empat nilai yang diberikan.

2.15 Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

1. Panjang penyaluran λd_h untuk tulangan kait standar 90

1. Untuk beton normal

$$\geq 8 d_b$$

$$\lambda d_h \geq 150 \text{ mm}$$

$$\lambda d_h \geq \frac{f_y \cdot d_b}{5,4 \sqrt{f'c}}$$

untuk d tulangan sebesar 10 mm – 36 mm

2. Untuk beton ringan

$$\geq 8 d_b$$

$$\lambda d_h \geq 190 \text{ mm}$$

$$\geq \frac{f_y \cdot d_b}{5,4 \sqrt{f'c}}$$

3. Panjang penyaluran λd_h tanpa kait:

1. Bila ketebalan pengecoran beton dibawah tulangan tersebut kurang dari 300 mm, maka λd_h 2,5 kali λd_h yang telah ditentukan diatas.
2. Bila ketebalan pengecoran beton dibawah tulangan tersebut lebih daripada 300 mm, maka λd_h 3,5 kali λd_h yang telah ditentukan.

2.16 Hipotesis

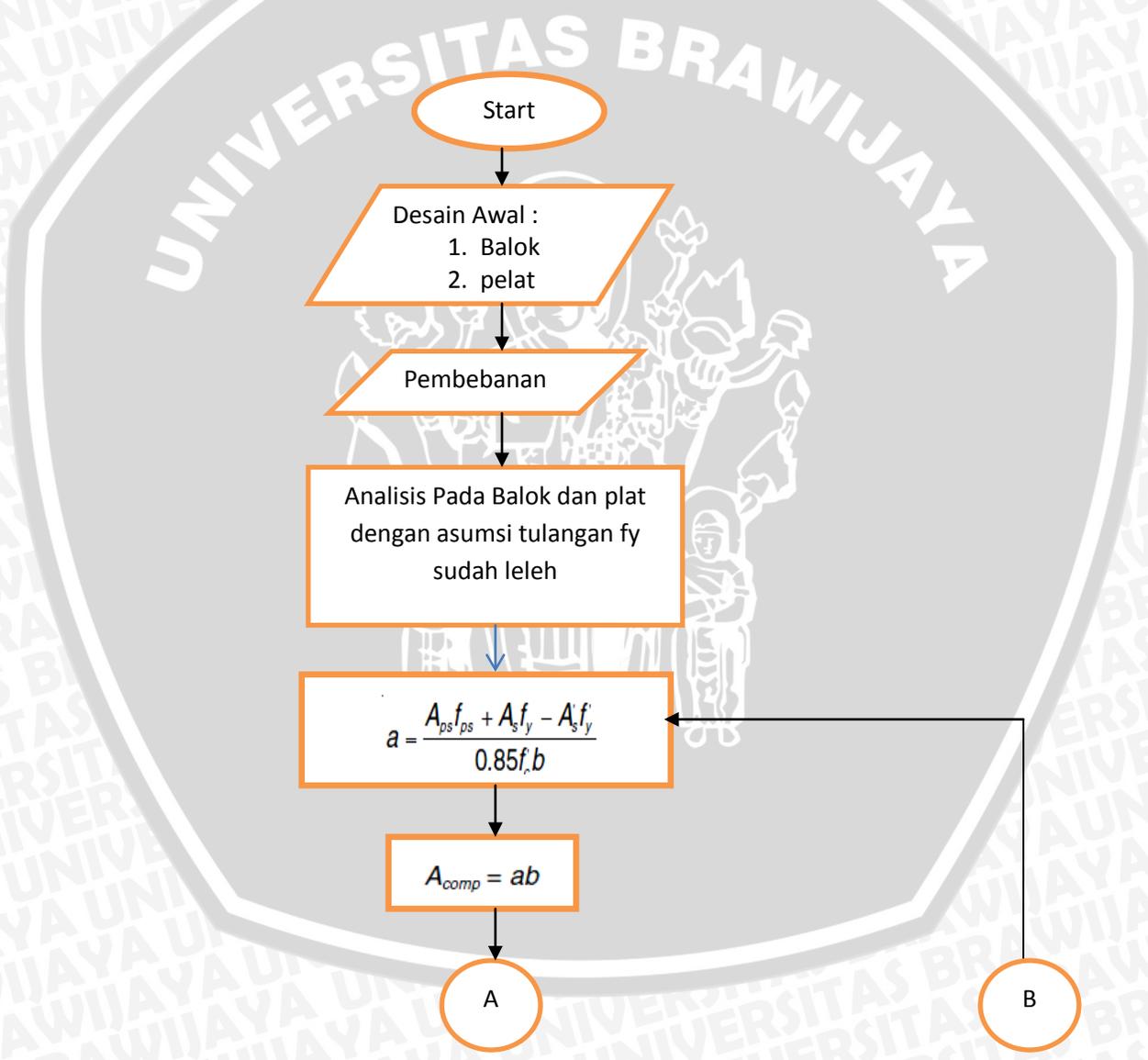
1. Penganalisisan sambungan balok-kolom sistem precetak sebelum komposit pada bangunan gedung Dekanat Teknik Universitas Brawijaya Malang kemungkinan ada atau tidaknya tulangan tambahan pada tulangan tekan transfersal agar aman terhadap beban sendiri saat pengangkatan perlu di perhitungkan
2. Penganalisisan terhadap hubungan balok-kolom pracetak ketika terjadi komposit pada bangunan gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang harus bisa menunjukkan momen kapasitas yang terjadi harus lebih besar daripada momen ultimate yang ada

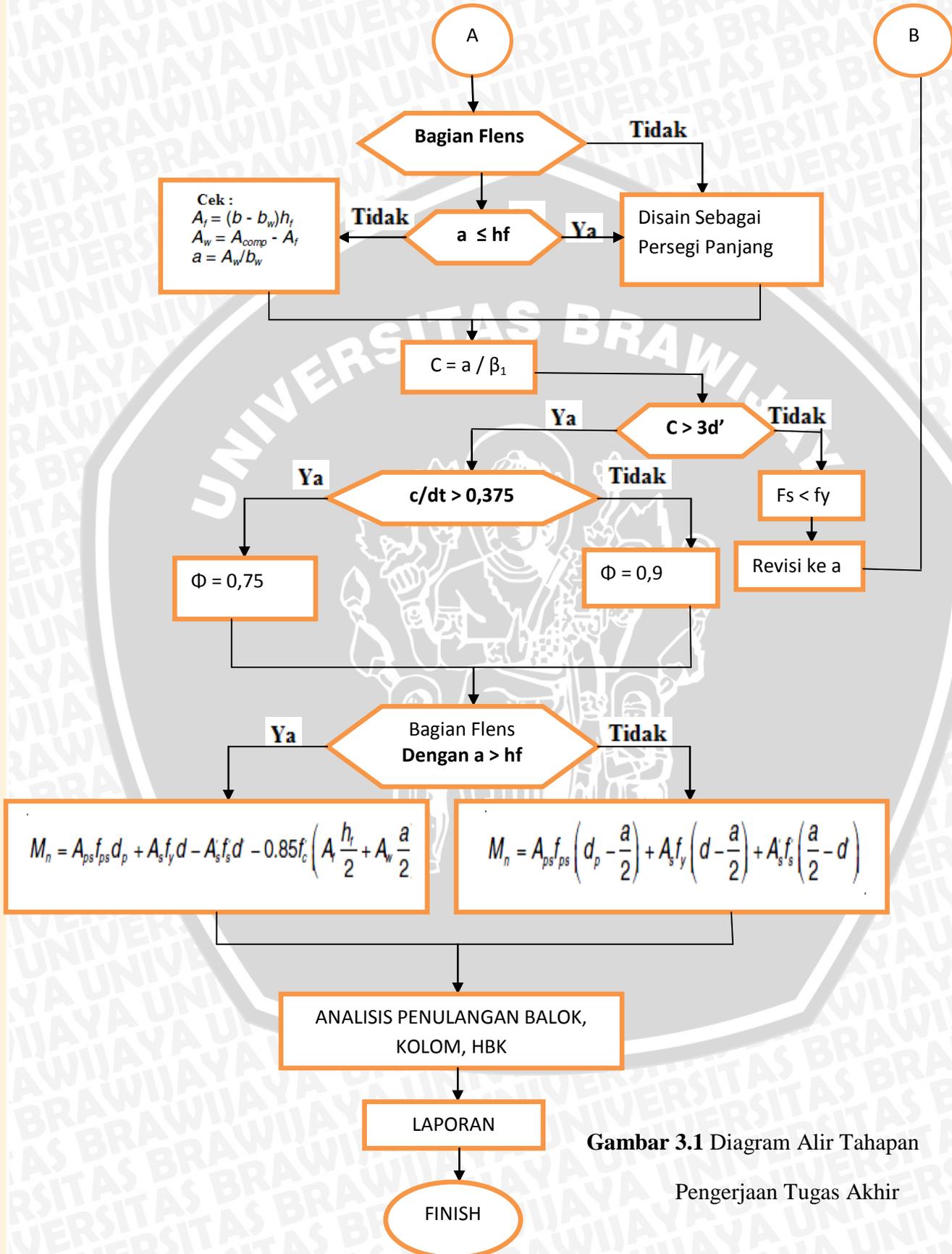


BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Dalam pengerjaan tugas akhir ini membahas tentang sambungan balok-plat untuk Gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dengan sistem pracetak. Dalam penghitungan dan pengecekan bahwa semua komponen beton pracetak sudah aman atau belum harus sesuai dengan diagram alir seperti berikut :





Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Pengerjaan Tugas Akhir

3.2 Langkah – Langkah Pengerjaan Tugas Akhir

3.2.1 Umum

Gedung yang dianalisa adalah Gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang yang terdiri atas 7 lantai. Sistem bangunan dianalisa dengan menggunakan program struktur teknik sipil *Staad. Pro V8i* untuk mengetahui gaya – gaya yang terjadi pada elemen struktur, kemudian pada langkah akhir dilakukan penggambaran struktur dengan menggunakan program *Autocad*.

3.2.2 Penjelasan Struktur

Gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang ini direncanakan menggunakan sistem portal balok, kolom, dan pelat pracetak oleh sodara Gita YR.

Struktur dan komponen sambungan dan balok dengan pemotongan $\frac{1}{4}$ bentang dianalisis hingga semua penampang mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu yang dihitung berdasarkan kombinasi beban dan gaya terfaktor yang sesuai dengan peraturan.

3.2.3 Peraturan yang Digunakan

Peraturan yang dipakai di dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah:

1. SNI 7833-2012 Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang Untuk Bangunan Gedung
2. Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI318M-05)
3. PCI design Handbook: Precast and Prestressed Concrete – 7th
4. PCI connection manual for precast and prestressed concrete construction

3.2.4 Pembebanan

Pembebanan yang dipikul oleh balok yang direncanakan adalah sebagai berikut:

1. Beban Mati (DL), menurut Pamungkas, A dan Erny H (4:2009) adalah beban yang berasal dari material yang digunakan pada struktur dan beban mati tambahan yang bekerja pada struktur. Pada perhitungan struktur menggunakan bantuan *software* *Staad Pro.V8i*, beban mati dari material yang digunakan dihitung secara otomatis berdasarkan input data material dan dimensi material yang digunakan.

2. Beban Hidup (LL), menurut Pamungkas, A dan Erny H (5:2009) didalam peraturan pembebanan telah ditetapkan bahwa fungsi suatu ruangan di dalam gedung akan membuat beban berbeda. Misal beban untuk perkantoran tentu berbeda dengan beban untuk gudang dan lainnya
3. Beban Gempa (E), menurut Bagus Indrayana, A (32:2013) beban gempa yang terjadi merupakan probablistik yang diperhitungkan pada pembebanan pada struktur. Sehingga diperlukan daktilitas yang cukup untuk menahan beban gempa yang terjadi.

3.2.5 Software yang Digunakan

Analisis struktur dilakukan dengan menggunakan *software* Staad. ProV8i untuk mengetahui gaya – gaya yang terjadi pada struktur dan penggambaran detail struktur dilakukan dengan *software* Autocad 2012.

3.2.6 Persyaratan Pendetailan

Penjelasan mengenai persyaratan pendetailan tulangan berdasarkan SNI 7833-2012 dan PCI connection manual. Pada bab ini dibatasi hanya membahas sambungan balok kolom dan desain balok pracetak ketika mengalami pemutusan di $M=0$ atau $\frac{1}{4}$ bentang.

3.3 Data – Data desain

Pada tahap input diperoleh dari perencanaan ulang desain precast yang dilakukan oleh sodara Gita YR terhadap Gedung dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dengan data -data perencanaan sebagai berikut:

1. Zona gempa : Zona gempa empat
2. Lebar bangunan : 2650 m
3. Panjang bangunan : 3853 m
4. Jumlah lantai : 8
5. Peruntukan : Kantor
6. Mutu bahan : beton:

$$F'c = 25 \text{ MPa}$$

$$Ec = 4700 \times \sqrt{f'c}$$

Baja:

Untuk besi tulangan $\phi \leq 12$ dipakai $f_y = 240 \text{ MPa}$

- Untuk besi tulangan $D \geq 13$ dipakai $f_y = 400$ MPa
7. Lokasi bangunan : Malang, Jawa Timur
8. Tinggi tiap lantai : Lantai satu ke lantai dua = 505 cm
Lantai dua ke lantai tiga = 595 cm
Lantai tiga hingga lantai tujuh = 450 cm
Lantai tujuh ke lantai delapan = 484 m
9. Beban – beban : Beban hidup:
- Lantai satu sampai delapan (perkantoran) = 250 kg/cm^2
- Lantai delapan (atap) = 100 kg/cm^2
Beban mati:
Berat sendiri komponen struktur (DL) sudah dihitung secara otomatis oleh Staad. ProV8i berdasarkan *output* data dimensi dan karakteristik material yang direncanakan.
Beban mati tambahan (DL) antara lain sebagai berikut:
- Dinding bata = 250 kg/m^2
- Keramik = 24 kg/m^2
- Plester (2,5cm) = 53 kg/cm^2
- Beban M/E = 25 kg/cm^2
- Beban plafond = 18 kg/cm^2
- *Water proofing* = 5 kg/cm^2
10. Denah gedung : Ada pada lampiran

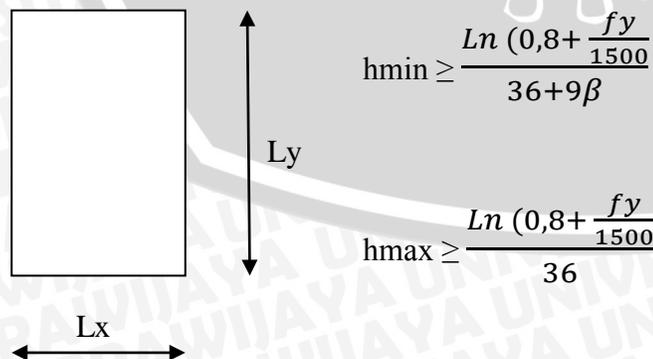
3.4 PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA

3.4.1 Perencanaan Pelat

3.4.1.1 Perencanaan Pelat Konvensional

Pelat adalah struktur planar kaku yang secara khas terbuat dari material monolit dengan tinggi yang kecil dibandingkan dengan dimensi struktur lainnya. Untuk merencanakan pelat beton bertulang yang perlu dipertimbangkan tidak hanya pembebanan, tetapi harus juga ukuran dan syarat-syarat dan peraturan yang ada. Pada perencanaan ini digunakan tumpuan terjepit penuh untuk mencegah pelat berotasi dan relatif sangat kaku terhadap momen puntir. Pelat merupakan panel-panel beton bertulang yang mungkin bertulangan dua atau satu arah saja tergantung sistem strukturnya. Apabila pada struktur pelat perbandingan bentang panjang terhadap bentang pendek > 3 , maka akan mengalami lendutan pada kedua arah sumbu. Beban pelat dipikul pada kedua arah oleh empat balok pendukung sekeliling panel pelat, dengan demikian pelat menjadi suatu pelat yang melentur pada kedua arah. Dengan sendirinya pula penulangan untuk pelat tersebut harus menyesuaikan. Apabila panjang pelat sama dengan lebarnya, perilaku keempat balok keliling dalam menopang pelat akan sama. Sedangkan apabila perbandingan bentang panjang terhadap bentang pendek > 3 , balok yang lebih panjang akan memikul beban yang lebih besar dari balok yang pendek (penulangan satu arah). Langkah-langkah perencanaan pelat adalah:

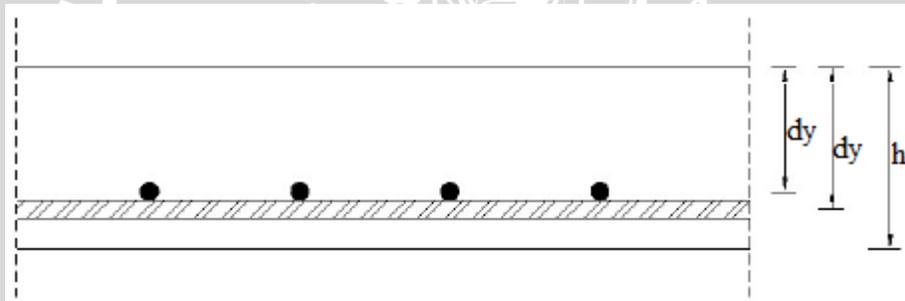
1. Menentukan syarat-syarat batas, tumpuan dan panjang bentang.
2. Menentukan beban-beban yang bekerja.
3. Menentukan tebal pelat.



dan tebal tidak boleh kurang dari 90 mm

Dimana: $\beta = L_y / L_x$,
 $\beta > 3$: one way slab
 $\beta \leq 3$: two way slab
 L_n = panjang sisi terpanjang

4. Menentukan momen yang bekerja pada pelat (berasal dari output SAP 2000)
5. Struktur beton tidak menahan tarik. Oleh sebab itu pada daerah tersebut dibutuhkan tulangan untuk menahan tarik. Cara-cara untuk menentukan tulangan pada daerah tarik :
 - a. Menetapkan tebal penutup beton
 - b. Menetapkan diameter tulangan utama yang direncanakan dalam arah x dan arah y.
 - c. Mencari tinggi efektif dalam arah x dan arah y.



Gambar 3.2 Tinggi Efektif Pelat

d. membagi M_u dengan $b \times d^2$

$$\frac{M_u}{b \cdot d^2}$$

→ dimana : b = lebar pelat per meter panjang

d = tinggi efektif pelat

e. mencari rasio penulangan (ρ) dengan persamaan :

$$\frac{M_u}{b \cdot d^2} = \rho \cdot \phi \cdot f_y \left(1 - (0,588 \cdot \rho \cdot \frac{f_y}{f'_c}) \right)$$

Memeriksa syarat rasio penulangan ($\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$)

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

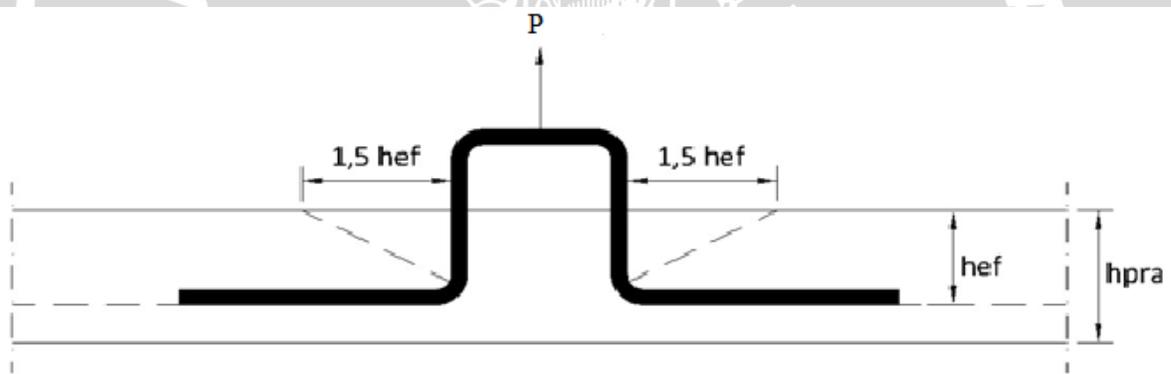
$$P_{max} = \frac{\beta * 450}{600 + f_y} * \frac{0,85 f'c}{f_y}$$

Mencari luas tulangan yang dibutuhkan : $A_s = \rho * b * d$

3.4.1.2 Perencanaan Pelat Pracetak

Dalam perencanaan pelat pracetak kita harus benar-benar memperhatikan kondisi dalam pemasangan dan kondisi didalam beban yang akan ditanggung dari tahun ke tahun. Baik kondisi awal dalam pengangkatan sampai terjadi joint antar komponen pracetak guna menahan beban yang bekerja yang terbesar yang akan ditahan oleh pelat tersebut.

Ukuran Tebal pelat dapat ditentukan dari analisa tebal pelat terhadap gaya geser pons akibat beban pengangkatan yang disalurkan melalui angkur pengangkatan.



Gambar 3.3 Bentuk angkur pengangkatan dan bidang geser kritis

Dimana :
 h_{pra} = tebal pelat pracetak (mm)
 h_{ef} = kedalaman efektif (mm)
 P = Gaya angkat (KN)

1. Untuk menghitung tebal pelat pracetak digunakan rumus :

$$h_{pra} = h_{total} - h_{topping}$$

dimana $h_{topping}$ minimum adalah 50 mm, sehingga

$$h_{ef} = h_{pra} - \text{selimut beton (diambil 20 mm)}$$

2. Sedangkan untuk menghitung gaya angkat digunakan rumus :

$$P = \frac{W_{\text{pelat}}}{n}$$

Dimana, P = Gaya angkat yang terjadi (KN)

W_{pelat} = Berat pelat (KN)

n = Jumlah titik angkat

3. Bila $V_n > V_c \rightarrow V_c = \frac{1}{6} * \sqrt{f'_c} * b_o * d$

Dimana, : V_n = Kekuatan nominal beton (KN)

V_c = Kekuatan yang disumbangkan oleh beton (KN)

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

b_o = Keliling daerah retak (mm)

d = tinggi efektif (mm)

4. Menghitung keliling retak (b_o) pada pelat digunakan rumus :

$$b_o = 2Lx' + 2Ly'$$

$$Lx' = (2 * 1,5 \cdot h_{ef}) + \text{panjang angkur (bagian atas arah x)}$$

$$Ly' = (2 * 1,5 \cdot h_{ef}) + \text{panjang angkur (bagian atas arah y)}$$

Dimana, Lx' , Ly' = panjang retak (mm)

3.4.1.3 Perencanaan Diameter Angkur

Gaya tarik nominal yang pada angkur harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

$$N_n \leq N_{sa}$$

$$N_n = n \cdot A_{sa} \cdot f_{uta} \quad (3.59)$$

$$f_{uta} = 1,9 f_{ya}$$

Dimana, N_n = Gaya tarik pada angkur (N)

N_{sa} = Kekuatan baja angkur (N)

n = Jumlah angkur yang ditanam, dalam satu titik pengangkatan

f_{uta} = Kekuatan tarik angkur baja (MPa)

f_{ya} = Kekuatan leleh tarik angkur baja (MPa)

3.5 Analisa Balok Pracetak

Sama halnya seperti pelat pracetak, balok pracetak juga dianalisa secara menyeluruh, yaitu dianalisa dalam kondisi pelaksanaan dan dalam kondisi beban layan. Dalam proses perhitungan perencanaan elemen balok pracetak ini meliputi analisa balok pracetak saat pemasangan dan analisa balok pracetak saat pengangkatan.

1. Penentuan Tebal Balok Pracetak

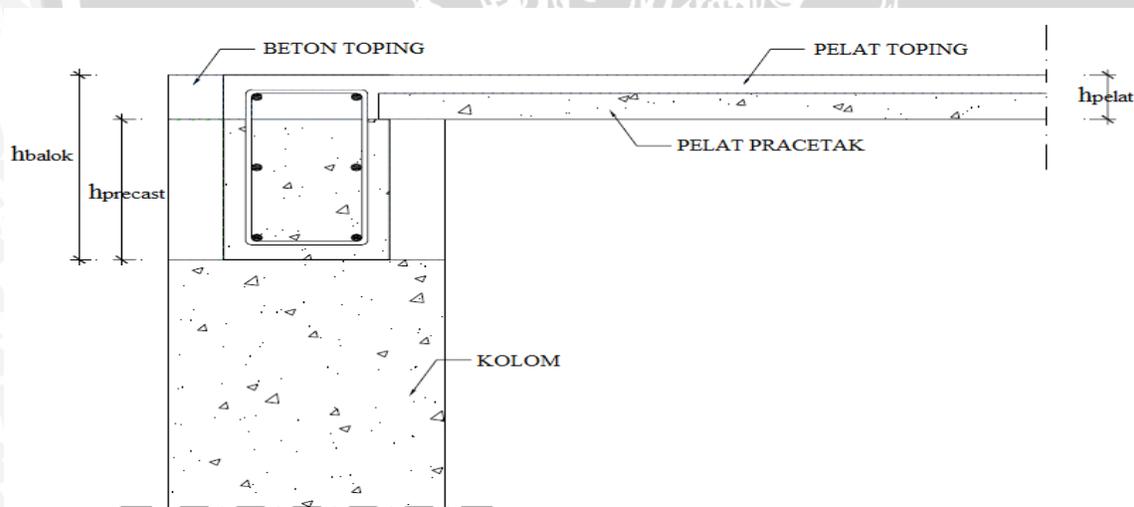
Penentuan tebal balok pracetak ditentukan berdasarkan analisa balok pracetak saat pelaksanaan konstruksi pemasangan elemen pracetak, karena dalam kondisi tersebut balok pracetak mengalami kombinasi beban yang terbesar selama proses konstruksi. Dimensi balok ($B \times H$) diasumsikan sebelumnya ($H = L/10 - L/15$, dan lebar balok diambil $1/2H - 2/3H$), sehingga tebal balok pracetak dapat dicari dengan rumus berikut :

$$h \text{ pracetak} = h \text{ total} - h \text{ pelat}$$

Dimana, h pracetak = tinggi balok pracetak

h total = tinggi total balok (penuh)

h pelat = tinggi pelat penuh

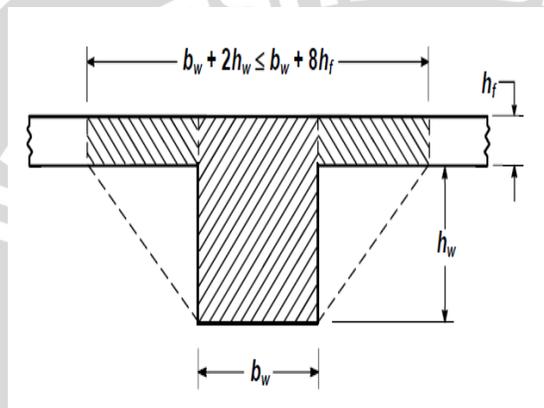


Gambar 3.4 Pemasangan kolom-balok-plat pracetak

Dalam pemasangan balok pracetak harus memenuhi pengawasan terhadap beberapa factor yang timbul akibat kesalahan pemasangan agar mendapatkan hasil pemasangan yang monolit, yaitu :

1. Berat sendiri balok pracetak, termasuk beton tuang di atasnya (*topping*).
2. Beban pelat pracetak yang menumpu pada balok, termasuk beton tuang di atasnya (*topping*).
3. Beban pekerja

Perencanaan pada balok yang dicetak menjadi satu kesatuan monolit dengan pelat lantai atau atap, didasarkan pada anggapan bahwa antara pelat dengan balok terjadi interaksi saat menahan momen lentur positif yang bekerja pada balok. Interaksi yang terjadi di antara pelat dan balok yang menjadi satu kesatuan membentuk huruf T tipikal, dan oleh karena itu dinamakan balok T



Gambar 3.5 Ukuran balok T

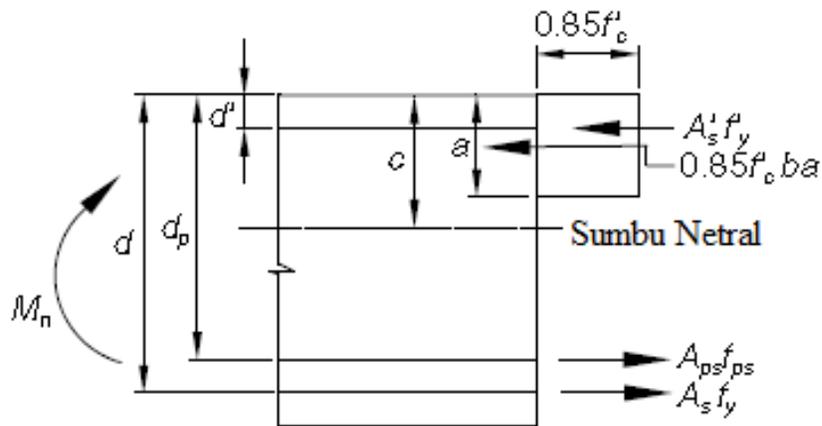
Sumber: SNI 03-2847-2002

Gambar 3.2 menunjukkan bahwa balok mencakup juga bagian pelat pada setiap sisi balok sebesar proyeksi balok yang berada di atas atau di bawah pelat sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 15.2.4.

$$B_e = 2H_w + B_w$$

SNI 03-2847-2002 pasal 10.10.2 menyatakan bahwa lebar efektif sayap (B_e) dari masing – masing sisi badan balok tidak boleh melebihi delapan kali tebal pelat.

Dalam penentuan kapasitas balok pada $\frac{1}{4}$ bentang perlu penganalisisan sebagai berikut :



persamaan kesetimbangan :

$$0.85f'_c ba = A_{ps}f_{ps} + A_s f_y - A'_s f_y$$

$$M_n = A_{ps}f_{ps}(d_p - a/2) + A_s f_y (d - a/2) + A'_s f_y (a/2 - d')$$

Gambar 3.6 Hubungan tegangan regangan balok pracetak

Sumber: PCI Design Handbook. 2010. *Precast and Prestressed Concrete 7th edition*

1. Perhitungan tinggi efektif balok

$$d = h - (p + \text{Øsenggang} + 1/2 \text{Ø tul.utama})$$

$$c = \frac{d * \epsilon c}{\epsilon c + \frac{f_y}{E_s}}$$

$$a = \beta_1 * c$$

2. Perhitungan ρ_{min} dan ρ_{max}

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

$$\rho_{max} = \frac{\beta_1 * 0,85 * f'_c}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} \rightarrow \text{Syarat rasio tulangan : } \rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

apabila syara ρ dipenuhi maka tulangan yang ditinjau aman, sehingga harus di cek lagi terhadap momen kapasitas :

$$M_n = A_s * (d - 0,5a)$$

Jadi syarat yang harus di penuhi menjadi :

$$M_n > M_u \dots\dots\dots \text{OK !!!}$$

3.5.1 Perencanaan Balok Pracetak

Dalam merencanakan balok pracetak, terlebih dahulu kita harus menentukan tebal balok pracetak yang akan kita rancang bersama dengan komponen sstruktur lainnya.

Penentuan dimensi balok normal($b * h$) diasumsikan dengan rumus :

$h = \frac{1}{10} \sim \frac{1}{12} L \rightarrow$ diasumsikan seperti itu karena pada ukuran itu balok akan di rencanakan aman terhadap lentur

sedangkan untuk $b = \frac{1}{2} \sim \frac{2}{3} h$

Untuk tebal balok pracetak dapat diambil :

$h_{\text{pracetak}} = h_{\text{total}} - h_{\text{pelat}} \rightarrow$ dimana : h_{pracetak} = tinggi balok pracetak

h_{total} = tinggi total balok penuh

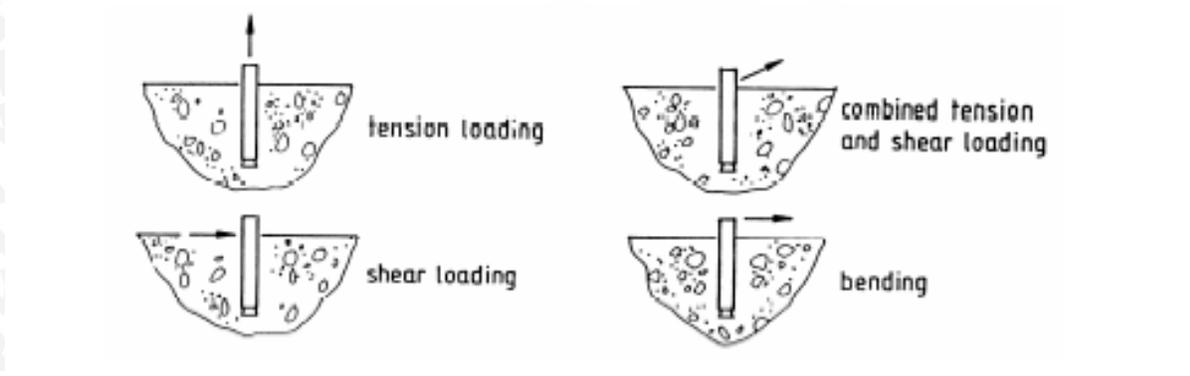
h_{pelat} = tinggi pelat penuh

3.6 Analisa Kolom Pracetak Saat Pemasangan

Saat pemasangan elemen pracetak ini, kolom pracetak mengalami kondisi pembebanan yang berasal dari pelat yang menumpu pada balok, dan balok yang menumpu pada kolom ditambah beban *topping* pada pelat dan balok serta berat beton *gouting* pada joint sambungan.

3.7 Analisa Strand

Beban yang bekerja pada strand adalah gaya tarik, gaya geser, kombinasi gaya tarik dan geser, serta momen lentur. Perhitungan *Strand* menggunakan *output* gaya-gaya (dari STAAD PRO 2008) tersebut.



Gambar. 3.7 Beban pada strand

3.8 Perhitungan Tumpuan

Pada saat balok pracetak maupun pelat pracetak diletakkan di atas tepi ujung tumpuan, ada kemungkinan terjadinya keretakan beton pada kolom akibat geser. Untuk itu diperlukan pengecekan terhadap kekuatan tumpuan dalam menahan gaya tekan maupun geser yang terjadi pada tumpuan. Tumpuan pelat pracetak ditinjau terhadap kekuatan nominal tumpuan dengan rumus dan persyaratan sebagai berikut :

1. Kekuatan Nominal Tumpuan (B_n) (SNI Beton 2002 pasal 12.17):

$$B_n = \phi * 0.85 * f'_c * A_t$$

Dimana : B_n = kekuatan nominal tumpuan terhadap tekan (N)

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

A_t = luas tumpuan (mm^2)

Besarnya gaya reaksi pada tumpuan harus lebih kecil daripada kekuatan nominal tumpuan ($V_u \leq B_n$).

2. Cek Tegangan Tumpuan

Berdasarkan SNI Beton 2002 Pasal 25.3, tegangan tumpu = $0,3.f'_c$

Tegangan yang terjadi pada daerah tumpuan (σ_t) = $\frac{V_u}{A_t} < 0.3 \cdot f'_c$

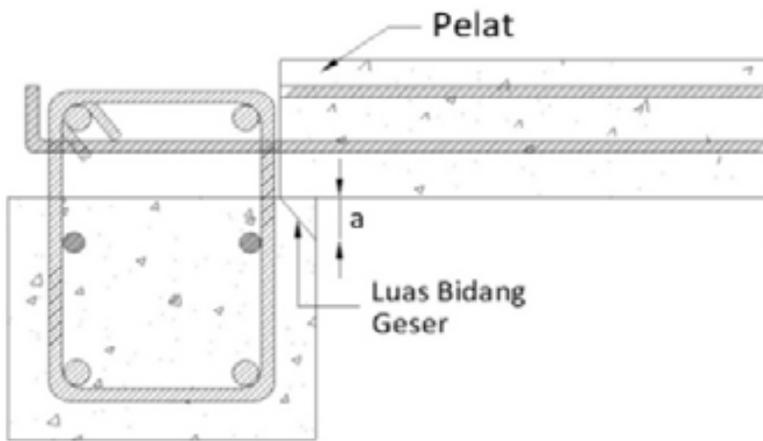
3. Cek Tegangan Geser Pada daerah Tumpuan

Luas bidang geser (m') = Tegangan geser ijin beton tanpa tulangan:

$$\tau_p = 0.65 \sqrt{f'_c}$$

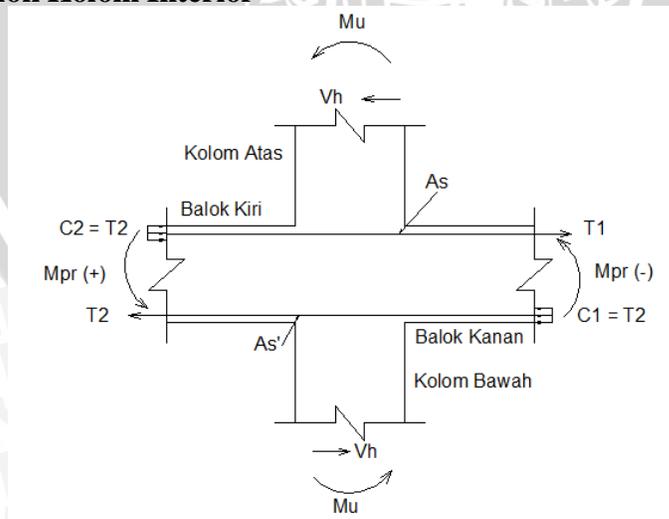
Tegangan geser pada tumpuan :

$$V = \frac{v_u}{A_{geser}} < \sigma_p$$



Gambar 3.8 Detail sambungan balok dan plat pracetak

3.9 Hubungan Balok Kolom Interior



Gambar 3.9 Analisis geser pada sambungan kolom balok interior

Sumber: SNI 03-2847-2002 pasal 23.4.4

Didalam hubungan balok kolom yang keempat mukanya terdapat balok – balok dengan lebar setidak – tidaknya selebar $\frac{3}{4}$ lebar kolom maka harus dipasang tulangan transversal sedikitnya setengah dari yang disyaratkan oleh pasal 23.4.4.1 dan $s < 0,25 h$ atau 150 mm.

3.10 Panjang Penyaluran Batang Tulangan Tarik

Menurut SNI 7833-2012 pasal 7.7.5.1, untuk batang tulangan berukuran 9,5 mm (No. 10) hingga 35,8 mm (No. 36) panjang penyaluran l_{dh} batang berkait siku standar dalam beton normal tidak boleh kurang dari nilai terbesar dari antara $8d_b$, 150mm, dan nilai yang disyaratkan oleh:

$$l_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4 \sqrt{f'_c}} w$$

Dimana:

l_{dh} = panjang penyaluran batang tulangan tarik ulir

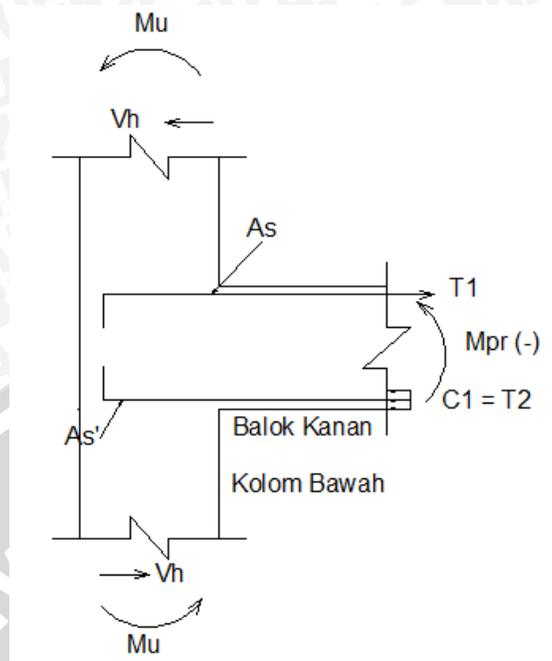
d_b = diameter nominal batang tulangan

f_y = kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan

f'_c = kekuatan tekan beton yang disyaratkan

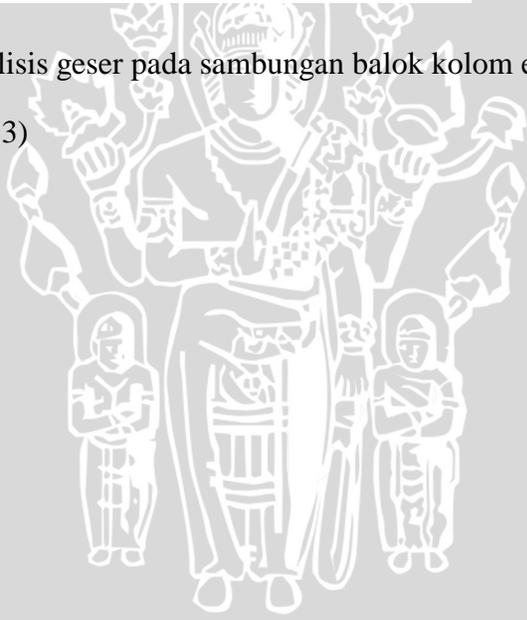
3.11 Hubungan Balok Kolom Eksterior

Untuk kuat geser hubungan balok kolom tepi pada kolom luar ini hanya dikekang oleh tiga balok, sehingga menurut SNI 03-2847-2002 pasal 23.5.2.2, tulangan transversal diujung kolom harus dipasang dalam hubungan balok kolom.



Gambar 3.10 Analisis geser pada sambungan balok kolom eksterior

Sumber: Adimas Bagus I (36:2013)



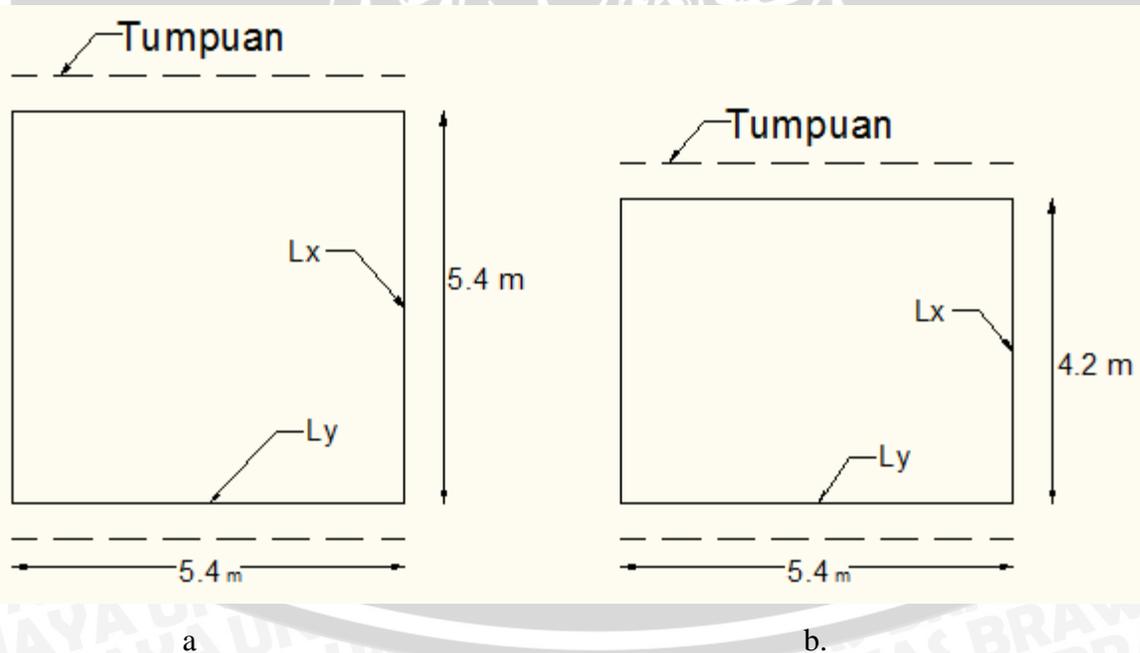
BAB IV PERHITUNGAN ELEMEN PRACETAK

4.1 PERHITUNGAN STRUKTUR SEKUNDER (PLAT PRACETAK)

Elemen pelat direncanakan menggunakan solid flat slab dengan spesifikasi $f'_c=25$ Mpa untuk beton pracetak dan baja tulangan dengan $f_y = 400$ MPa. Perhitungan elemen pelat pracetak dianalisis terhadap dua kondisi, yaitu pada saat proses ereksi yang meliputi pengangkatan dan pemasangan atau penuangan beton baru di atas elemen pracetak. Asumsi pembuatan elemen pracetak adalah di luar proyek. Dalam proses perhitungan perencanaan elemen pracetak ini meliputi analisa dan desain pelat dan analisa elemen pelat pracetak saat pengangkatan.

4.1.1. Analisa dan Desain Pelat Pracetak

Pelat pracetak diletakkan di atas dua tumpuan, yang menumpu pada sisi arah y (terpanjang), sehingga dalam analisa strukturnya pelat ini dianggap bekerja sebagai pelat satu arah (*one way slab*) saat pelaksanaan.



Gambar 4.1. Ukuran plat yang ditinjau (one way slab), a. ukuran 2.7/2.7, b. 2.7/2.1

4.1.2 Penulangan plat

Sebelum komposit pelat a

Tebal Total Pelat = 120 mm

Tebal HalfSlab = 70 mm

Tebal Topping = 50 mm

L (panjang bentang) = 2.7 m (kedua pelat di asumsi terhadap bentang terpanjang Ly)

1. Beban hidup = 0 kg/m² (karena tidak ada beban hidup di atasnya)

2. Beban mati

Berat sendiri = 0.07 * 2400 = 168 kg/m²

Berat topping = 0.05 * 2400 = 120 kg/m²

Superimposed load (PCI design handbook) = 113.1 kg/m²

Kombinasi pembebanan

→ Qu1(tidak ada beban bekerja) = 1.2*168 + 1.6 * 0 = 201.6 kg/m²

→ Qu2(topping mulai bekerja) = 1.2*(168*120*113.1) + 1.6 * 0 = 481.32 kg/m²



Gambar 4.2. Potongan pelat a

$$dx = 70 - 20 - 10 - \frac{10}{2} = 35 \text{ mm}$$

$$Qult = 201.6 \text{ kg/m}$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{400} = 0.0035$$

$$\rho_{max} = 0.75 * \frac{0.85 * 25}{400} * 0.85 * \frac{600}{600 + 400} = 0.02$$

$$\text{➤ } Mlx = \frac{Wul^2 n}{16} = \frac{201.6 * 2.7^2}{16} = 91.85 \text{ kgm}$$

$$\text{➤ } Mly = \frac{Wul^2 n}{11} = \frac{201.6 * 2.7^2}{11} = 133.61 \text{ kgm}$$

~ Penulangan Arah x

Tulangan lapangan

$$R_n = \frac{918500}{0.8 \cdot 1000 \cdot 35^2} = 0.94 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f'_c} = \frac{400}{0.85 \cdot 25} = 18.82$$

$$\rho = \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0.94}{400}} \right) = 0.002657$$

$$\rho_{\min} = 0.5 \cdot 0.0035 = 0.00175$$

$$A_s = 0.00175 \cdot 1000 \cdot 35 = 61.25 \text{ mm}^2$$

Penulangan akibat pengangkatan berdasarkan PCI, dimana momen tumpuan sama dengan momen daerah lapangan, yaitu :

$$M_x = 0.0054 \cdot w \cdot a^2 \cdot b = 0.0054 \cdot (0.07 \cdot 2400 + 200) \cdot 2.7^2 \cdot 2.7 = 39.11 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{391100}{0.8 \cdot 1000 \cdot 35^2} = 0.39 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f'_c} = \frac{400}{0.85 \cdot 25} = 18.82$$

$$\rho = \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0.39}{400}} \right) = 0.000984$$

$$\rho_{\min} = 0.5 \cdot 0.0035 = 0.00175$$

$$A_s = 0.00175 \cdot 1000 \cdot 35 = 61.25 \text{ mm}^2$$

~ Penulangan Arah y

Tulangan lapangan

$$R_n = \frac{1336100}{0.8 \cdot 1000 \cdot 35^2} = 1.36 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f'_c} = \frac{400}{0.85 \cdot 25} = 18.82$$

$$\rho = \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1.36}{400}} \right) = 0.003719$$

$$\rho_{\min} = 0.5 \cdot 0.002657 = 0.001328$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0.0035 < 0.003719 < 0.02$$

maka digunakan $\rho = 0.003719$

$$A_s = 0.003719 \cdot 1000 \cdot 35 = 130.17 \text{ mm}^2$$

Penulangan akibat pengangkatan berdasarkan PCI, dimana momen tumpuan sama dengan momen daerah lapangan, yaitu :

$$M_y = 0.0027 * w * a * b^2 = 0.0054 * (0.07 * 2400 + 200) * 2.7 * 2.7^2 = 19.56 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{195600}{0.8 * 1000 * 35^2} = 0.19 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 * f'_c} = \frac{400}{0.85 * 25} = 18.82$$

$$\rho = \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 18.82 * 0.19}{400}} \right) = 0.000477$$

$$\rho_{min} = 0.5 * 0.0035 = 0.00175$$

$$\rho_{min} > \rho = 0.0035 > 0.000477$$

maka dipakai $\rho_{min} = 0.0035$

$$A_s = 0.0035 * 1000 * 35 = 122.5 \text{ mm}^2$$

Sesudah komposit pelat a

1. Beban hidup = 250 kg/m^2 (ada beban hidup di atasnya)

2. Beban mati

$$\text{Berat sendiri} = 0.12 * 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$$

Kombinasi pembebanan

$$\rightarrow Q_{u3} \text{ (semua beban bekerja)} = 1.2 * 288 + 1.6 * 250 = 745.6 \text{ kg/m}^2$$

$$d_y = 120 - 20 - 8 - \frac{8}{2} = 88 \text{ mm}$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{240} = 0.0058$$

$$\rho_b = \frac{0.85 * 25}{400} * 0.85 * \frac{600}{600 + 400} = 0.027$$

$$\rho_{max} = 0.75 * \frac{0.85 * 25}{400} * 0.85 * \frac{600}{600 + 400} = 0.02$$

metode analisis koefisien momen positif pada ujung bentang sesuai SNI 03-2847-2002 10.3:

$$\text{struktur pendukung adalah balok sprendel} = \frac{W_{ul}^2 n}{24}$$

$$M_{lx} = \frac{W_{ul}^2 n}{24} = \frac{745.6 * 2.7^2 * 1}{24} = 2264800 \text{ Nmm}$$

~ Penulangan Arah x

Tulangan lapangan

$$R_n = \frac{2264800}{0.8 * 1000 * 88^2} = 0.36 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f'_c} = \frac{400}{0.85 \cdot 25} = 18.82$$

$$\rho = \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18.82 \cdot 0.36}{400}} \right) = 0.0009$$

$$\rho_{\min} > \rho = 0.0035 > 0.0009$$

maka digunakan $\rho = 0.0035$

tulangan X setelah komposit adalah ;

$$A_s = 0.0035 \cdot 1000 \cdot 88 = 308 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 9.6 (5) disebutkan bahwa, jarak tulangan utama $\leq 3 \cdot$ tebal plat (= 360 mm) ≤ 500 mm, digunakan tulangan lentur $\varnothing 8 - 100$ mm

$$\text{Asterpasang} = ((1000/100)+1) \cdot 1/4 \cdot 3,14 \cdot 8^2 = 553 \text{ mm}^2 > \text{Asperlu}$$

~ Penulangan Arah y

$$Mly = \frac{Wul^2 n}{24} = \frac{745.6 \cdot 2.7^2 \cdot 1}{24} = 226.48 \text{ Nmm}$$

Tulangan lapangan

$$R_n = \frac{2264800}{0.8 \cdot 1000 \cdot 88^2} = 0.36 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f'_c} = \frac{400}{0.85 \cdot 25} = 18.82$$

$$\rho = \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18.82 \cdot 0.36}{400}} \right) = 0.0009$$

$$\rho_{\min} > \rho = 0.0035 > 0.0009$$

maka digunakan $\rho = 0.0035$

tulangan X setelah komposit adalah ;

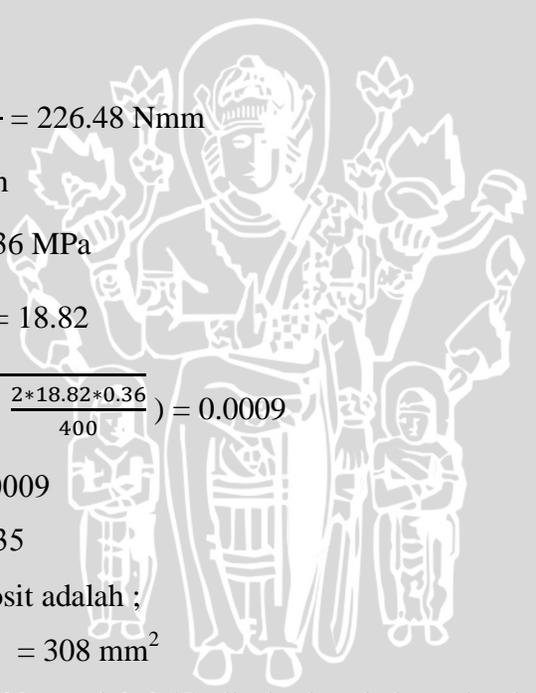
$$A_s = 0.0035 \cdot 1000 \cdot 88 = 308 \text{ mm}^2$$

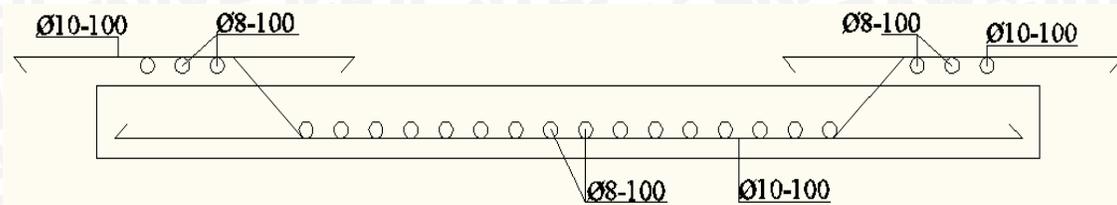
Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 9.6 (5) disebutkan bahwa, jarak tulangan utama $\leq 3 \cdot$ tebal plat (= 360 mm) ≤ 500 mm, digunakan tulangan lentur $\varnothing 8 - 100$ mm

$$\text{Asterpasang} = ((1000/100)+1) \cdot 1/4 \cdot 3,14 \cdot 8^2 = 553 \text{ mm}^2 > \text{Asperlu}$$

Tulangan pokok = $\varnothing 10 - 100 = 553$ mm

Tulangan bagi = $\varnothing 8 - 100 = 553$ mm





Gambar 4.3 Model plat yang ditinjau

Sebelum komposit pelat b

Tebal Total Pelat = 120 mm

Tebal HalfSlab = 70 mm

Tebal Topping = 50 mm

L (panjang bentang) = 2.7 * 2.1 m (kedua pelat di asumsi terhadap bentang terpanjang

L_y)

3. Beban hidup = 0 kg/m² (karena tidak ada beban hidup di atasnya)

4. Beban mati

Berat sendiri = 0.07 * 2400 = 168 kg/m²

Berat topping = 0.05 * 2400 = 120 kg/m²

Superimposed load (PCI design handbook) = 113.1 kg/m²

Kombinasi pembebanan

→ Qu1(tidak ada beban bekerja) = 1.2*168 + 1.6 * 0 = 201.6 kg/m²

→ Qu2(topping mulai bekerja) = 1.2*(168*120*113.1) + 1.6 * 0 = 481.32 kg/m²



Gambar 4.4. Potongan pelat b

$$dx = 70 - 20 - 10 - \frac{10}{2} = 35 \text{ mm}$$

$$Qult = 201.6 \text{ kg/m}$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{400} = 0.0035$$

$$\rho_{max} = 0.75 * \frac{0.85 * 25}{400} * 0.85 * \frac{600}{600 + 400} = 0.02$$

$$\text{➤ } M_{lx} = \frac{Wul^2n}{16} = \frac{201.6 \cdot 2.7^2}{16} = 91.85 \text{ kgm}$$

$$\text{➤ } M_{ly} = \frac{Wul^2n}{11} = \frac{201.6 \cdot 2.1^2}{11} = 80.82 \text{ kgm}$$

~ Penulangan Arah x

Tulangan lapangan

$$R_n = \frac{918500}{0.8 \cdot 1000 \cdot 35^2} = 0.94 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f'_c} = \frac{400}{0.85 \cdot 25} = 18.82$$

$$\rho = \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18.82 \cdot 0.94}{400}} \right) = 0.002657$$

$$\rho_{\min} = 0.5 \cdot 0.0035 = 0.00175$$

$$A_s = 0.00175 \cdot 1000 \cdot 35 = 61.25 \text{ mm}^2$$

Penulangan akibat pengangkatan berdasarkan PCI, dimana momen tumpuan sama dengan momen daerah lapangan, yaitu :

$$M_x = 0.0054 \cdot w \cdot a^2 \cdot b = 0.0054 \cdot (0.07 \cdot 2400 + 200) \cdot 2.7^2 \cdot 2.1 = 30.42 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{304200}{0.8 \cdot 1000 \cdot 35^2} = 0.31 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f'_c} = \frac{400}{0.85 \cdot 25} = 18.82$$

$$\rho = \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18.82 \cdot 0.31}{400}} \right) = 0.00078$$

$$\rho_{\min} = 0.5 \cdot 0.0035 = 0.00175$$

$$A_s = 0.00175 \cdot 1000 \cdot 35 = 61.25 \text{ mm}^2$$

~ Penulangan Arah y

Tulangan lapangan

$$R_n = \frac{808200}{0.8 \cdot 1000 \cdot 35^2} = 0.82 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f'_c} = \frac{400}{0.85 \cdot 25} = 18.82$$

$$\rho = \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18.82 \cdot 0.82}{400}} \right) = 0.002$$

$$\rho_{\min} = 0.5 * 0.002657 = 0.001328$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0.0013 < 0.002 < 0.02$$

maka digunakan $\rho = 0.002$

$$A_s = 0.002 * 1000 * 35 = 70 \text{ mm}^2$$

Penulangan akibat pengangkatan berdasarkan PCI, dimana momen tumpuan sama dengan momen daerah lapangan, yaitu :

$$M_y = 0.0027 * w * a * b^2 = 0.0054 * (0.07 * 2400 + 200) * 2.7 * 2.1^2 = 23.66 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{236600}{0.8 * 1000 * 35^2} = 0.24 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 * f'_c} = \frac{400}{0.85 * 25} = 18.82$$

$$\rho = \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 18.82 * 0.24}{400}} \right) = 0.0006$$

$$\rho_{\min} = 0.5 * 0.0035 = 0.00175$$

$$\rho_{\min} > \rho = 0.0035 > 0.0006$$

maka dipakai $\rho_{\min} = 0.0035$

$$A_s = 0.0035 * 1000 * 35 = 122.5 \text{ mm}^2$$

Sesudah komposit pelat b

3. Beban hidup = 250 kg/m^2 (ada beban hidup di atasnya)

4. Beban mati

$$\text{Berat sendiri} = 0.12 * 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$$

Kombinasi pembebanan

$$\rightarrow \text{Qu3 (semua beban bekerja)} = 1.2 * 288 + 1.6 * 250 = 745.6 \text{ kg/m}^2$$

$$d_y = 120 - 20 - 8 - \frac{8}{2} = 88 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{240} = 0.0058$$

$$\rho_b = \frac{0.85 * 25}{400} * 0.85 * \frac{600}{600 + 400} = 0.027$$

$$\rho_{\max} = 0.75 * \frac{0.85 * 25}{400} * 0.85 * \frac{600}{600 + 400} = 0.02$$

metode analisis koefisien momen positif pada ujung bentang sesuai SNI 03-2847-2002 10.3:

$$\text{struktur pendukung adalah balok sprendel} = \frac{W_{ul}^2 n}{24}$$

$$Mlx = \frac{Wul^2n}{24} = \frac{745.6 \cdot 2.7^2 \cdot 1}{24} = 2264800 \text{ Nmm}$$

~ Penulangan Arah x

Tulangan lapangan

$$Rn = \frac{2264800}{0.8 \cdot 1000 \cdot 88^2} = 0.36 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{fy}{0.85 \cdot f'c} = \frac{400}{0.85 \cdot 25} = 18.82$$

$$\rho = \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18.82 \cdot 0.36}{400}} \right) = 0.0009$$

$$\rho_{min} > \rho = 0.0035 > 0.0009$$

maka digunakan $\rho = 0.0035$

tulangan X setelah komposit adalah ;

$$As = 0.0035 \cdot 1000 \cdot 88 = 308 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 9.6 (5) disebutkan bahwa, jarak tulangan utama $\leq 3 \cdot$ tebal plat ($= 360 \text{ mm}$) $\leq 500 \text{ mm}$, digunakan tulangan lentur $\varnothing 8 - 100 \text{ mm}$

$$\text{Asterpasang} = ((1000/100)+1) \cdot 1/4 \cdot 3,14 \cdot 8^2 = 553 \text{ mm}^2 > \text{Asperlu}$$

~ Penulangan Arah y

$$Mly = \frac{Wul^2n}{24} = \frac{745.6 \cdot 2.1^2 \cdot 1}{24} = 137 \text{ Nmm}$$

Tulangan lapangan

$$Rn = \frac{1374800}{0.8 \cdot 1000 \cdot 88^2} = 0.22 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{fy}{0.85 \cdot f'c} = \frac{400}{0.85 \cdot 25} = 18.82$$

$$\rho = \frac{1}{18.82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18.82 \cdot 0.22}{400}} \right) = 0.00055$$

$$\rho_{min} > \rho = 0.0035 > 0.00055$$

maka digunakan $\rho_{min} = 0.0035$

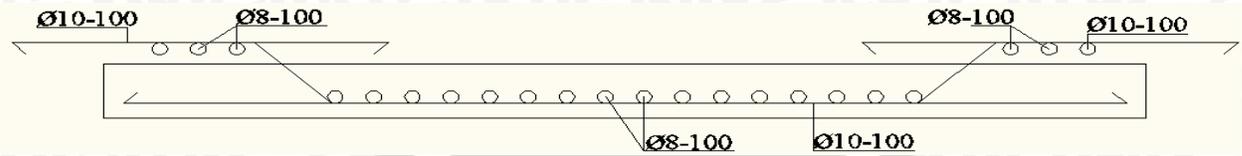
tulangan X setelah komposit adalah ;

$$As = 0.0035 \cdot 1000 \cdot 88 = 308 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 9.6 (5) disebutkan bahwa, jarak tulangan utama $\leq 3 \cdot$ tebal plat ($= 360 \text{ mm}$) $\leq 500 \text{ mm}$, digunakan tulangan lentur $\varnothing 8 - 100 \text{ mm}$

$$\text{Asterpasang} = ((1000/100)+1) \cdot 1/4 \cdot 3,14 \cdot 8^2 = 553 \text{ mm}^2 > \text{Asperlu}$$

Tulangan pokok = $\varnothing 10 - 100 = 553 \text{ mm}$
 Tulangan bagi = $\varnothing 8 - 100 = 553 \text{ mm}$

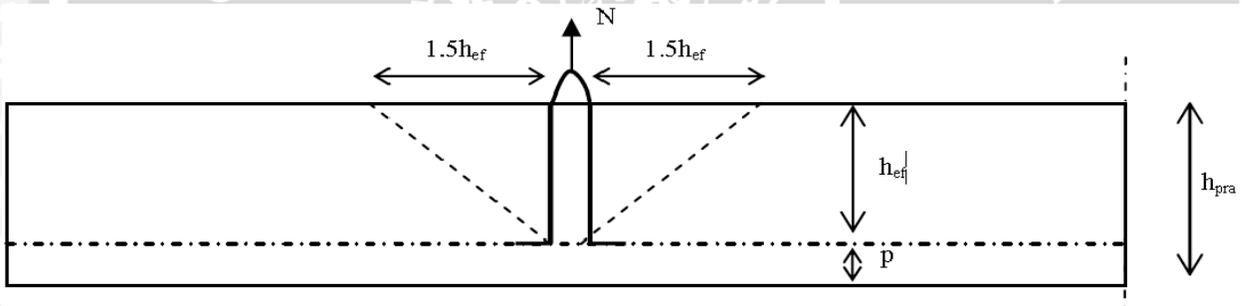


Gambar 4.5 Model plat yang ditinjau ukuran 2.7 / 2.1

4.1.3 Analisa Kekuatan Angkur Pengangkatan

Direncanakan angkur dengan Baja Polos $f_y = 40$ (400 Mpa)

Untuk angkur digunakan tulangan baja polos yang dibengkokkan bagian ujungnya seperti yang terlihat pada sketsa gambar dibawah ini



Gambar 4.6 Pengangkatan plat beton pracetak

Gaya tarik nominal yang bekerja pada angkur harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- Kekuatan baja angkur (N_{sa})

$$N_n \leq N_{sa}$$

$$N_{sa} = n \cdot A_{se} \cdot f_{uta}, \text{ dan } f_{uta} = 1.9 \cdot f_y$$

$$f_{uta} \leq 860 \text{ MPa}$$

Dimana: N_n = gaya tarik pada angkur (N)

N_{sa} = kekuatan baja angkur (N)

n = jumlah angkur yang ditanam

- Ase = luas tulangan angkur (mm^2)
- futa = kekuatan tarik angkur baja (MPa)
- fya = kekuatan leleh tarik angkur baja (MPa)

- Kekuatan pecah beton dari angkur tunggal terhadap gaya tarik (N_b)

$$N_n \leq N_b$$

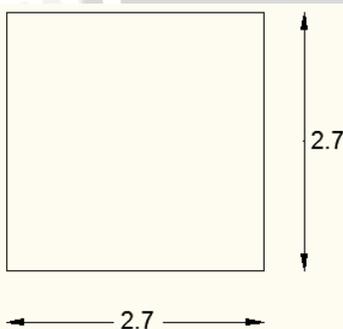
$$N_b = kc \sqrt{f'c} * hef^{1.5}$$

- Dimana :
- N_n = gaya tarik pada angkur (N)
 - N_b = kekuatan pecah beton dari angkur tunggal (N)
 - kc = 10 (*cast-in anchor*)
 - $f'c$ = kuat tekan beton (MPa)
 - hef = tinggi efektif atau kedalaman angkur (mm)

Jika $N_n = N_b$ diketahui, maka dapat dicari kedalaman angkur minimal, dengan rumus sebagai berikut:

$$hef^{1.5} = \frac{N_n}{kc * \sqrt{f'c}} \rightarrow hef = \sqrt[3]{\left(\frac{N_n}{kc * \sqrt{f'c}}\right)^2}$$

Contoh perhitungan tebal minimum pada



- Asumsi $h_{pracetak} = 70 \text{ mm}$
- Berat $h_{pracetak}$:
 $w = 2.7 * 2.7 * 0.07 * 2.4 = 1.22 \text{ ton}$
- Berat pelat pracetak terfaktor (1.2)
 $wd = 1,2 * 1.22 = 1.464 \text{ ton}$
- Gaya angkat (4 titik angkat) N_n :
 $N_n = 1.464 / 4 = 0.366 \text{ ton} = 3660 \text{ N}$

- Penentuan diameter angkur berdasarkan analisa kekuatan baja angkur :

Dengan $f_{ya} = 240 \text{ MPa} \rightarrow futa = 1.9 * 240 = 456 \text{ MPa} (< 860 \text{ MPa})$

$$N_{sa} = N_n$$

$$3660 = 2 * \frac{\pi * d^2}{4} * 456$$

$$d^2 = \frac{3660 * 2}{3.14 * 456}$$

$$d = \sqrt{5.11} = 2.26 \text{ mm}$$

Ditentukan diameter tulangan angkur polos untuk pengangkatan pelat adalah $\Phi 6$

- Penentuan kedalaman angkur berdasarkan analisa kekuatan pecah beton dari angkur terhadap gaya tarik.

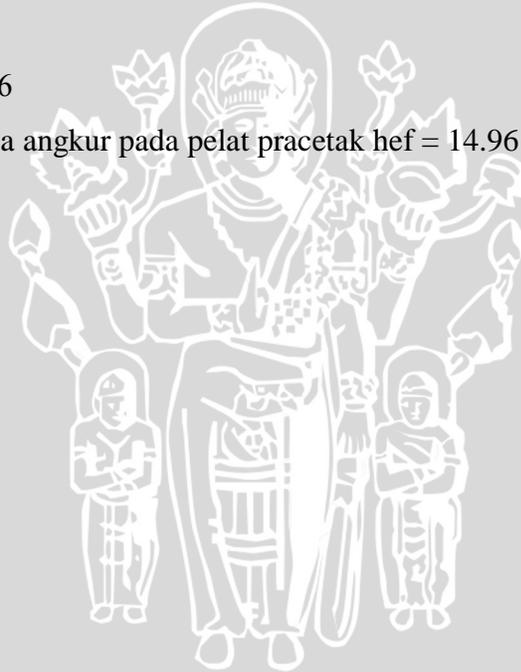
$N_b = N_n = 3660 \text{ N}$, dimana $f'c = 40 \text{ MPa}$, maka kedalaman angkur efektif minimal (hef) :

$$h_{ef} = \sqrt[3]{\left(\frac{3660}{10 * \sqrt{40}}\right)^2}$$

$$h_{ef} = 14.96 \text{ mm}$$

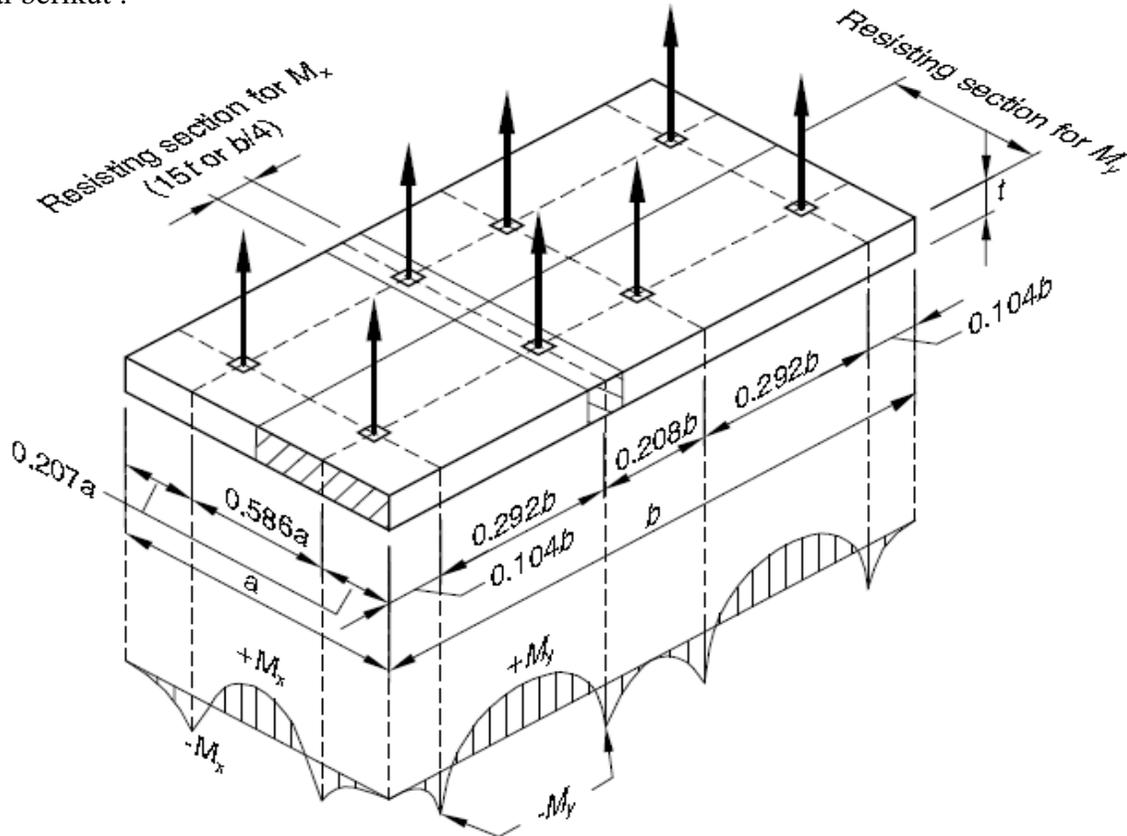
Berdasarkan analisa kekuatan baja angkur dan kekuatan pecah beton terhadap angkur, maka ditentukan :

- diameter baja polos angkur $\Phi 6$
- kedalaman efektif minimal baja angkur pada pelat pracetak hef = 14.96 mm



4.1.4 Analisa Elemen Pelat Pracetak Saat Pengangkatan

Dalam kondisi sebelum komposit kita juga perlu memperkirakan bahwa plat yang ada tersebut harus di angkat dan aman terhadap pengangkatan tersebut. Dengan memanfaatkan perhitungan yang ada pada PCI maka plat yang berukuran 2,7 * 2,7 m memiliki perhitungan sebagai berikut :



Gambar 4.7 Jarak tulangan angkat menurut PCI-7th, figure 8.3.2

Gaya akibat pengangkatan akan ditransformasikan ke dua arah, yaitu i dan j . Untuk tinggi pengangkatan dari muka pelat diambil 75mm. Pada perhitungan beban ultimate ditambahkan koefisien kejut ($k = 1.2$) pada saat pengangkatan.

$$DL = 0.07 * 2.7 * 2.7 * 2400 = 1224.72 \text{ kg}$$

Menurut SNI 03-1727-2002 bahwa beban 1 orang pekerja adalah 100 kg. Dalam hal ini pengangkatan dilakukan oleh 2 orang pekerja diatanya sebagai pengatur posisi plat pracetak, maka $LL = 200 \text{ kg}$.

$$Qult = 1.2 * 1.2 * 1224.72 + 1.6 * 1.2 * 200 = 2147.6 \text{ kg}$$

$$\text{Gaya angkat (Tu) setiap tulangan} = 2147.6/4 = 536.9 \text{ kg}$$

Tegangan tarik ijin baja :

$$\delta_{tarikijin} = f_y/1.5 = 4000/1.5 = 2666.65 \text{ kg/cm}^2$$

maka diameter tulangan angkat = $\phi_{tulangan \text{ angkat}} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 536.9}{\pi \cdot 2666.65}} = 0.5 \text{ cm}$, maka

digunakan tulangan dengan diameter 8mm

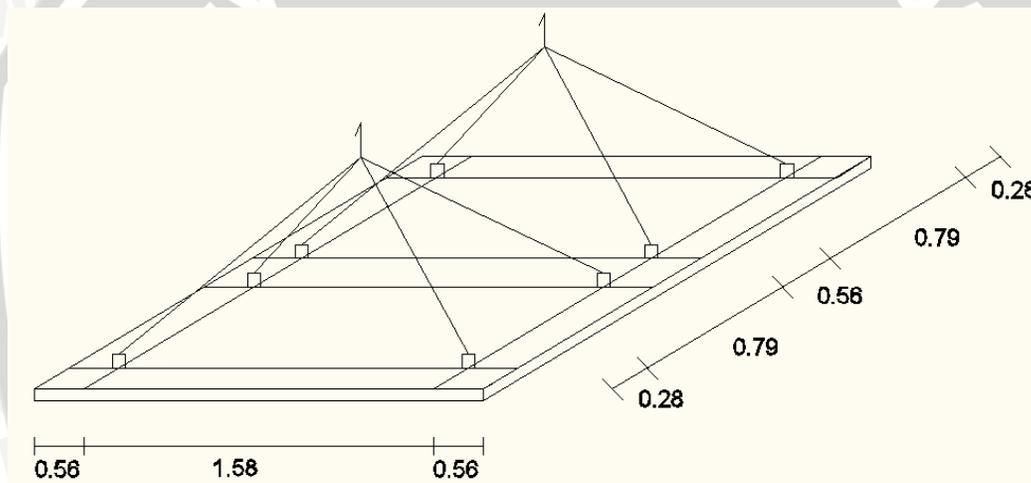
$$M_x = 0.0054 \cdot w \cdot a^2 \cdot b \text{ (PCI design handbook)}$$

$$M_y = 0.0027 \cdot w \cdot a \cdot b^2$$

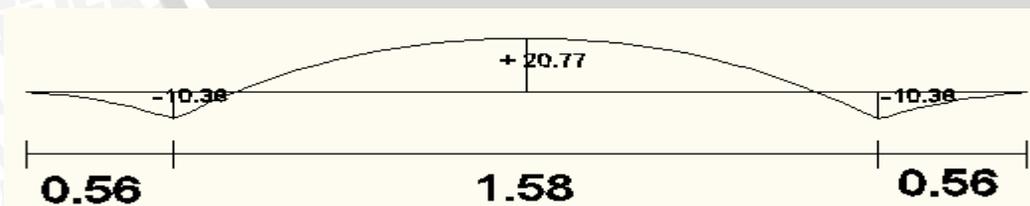
Ukuran plat 2.7 * 2.7, maka $w = 0.07 \cdot 2400 \cdot 200 / (2.7 \cdot 2.7) = 195.4 \text{ kg/m}^2$

Sehingga, $M_x = 0.0054 \cdot 195.4 \cdot 2.7^2 \cdot 2.7 = 20.77 \text{ Kgm}$

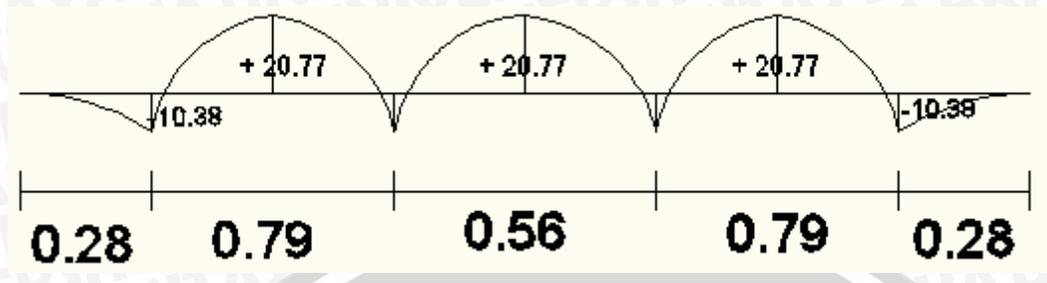
$$M_y = 0.0027 \cdot 195.4 \cdot 2.7 \cdot 2.7^2 = 10.38 \text{ Kgm}$$



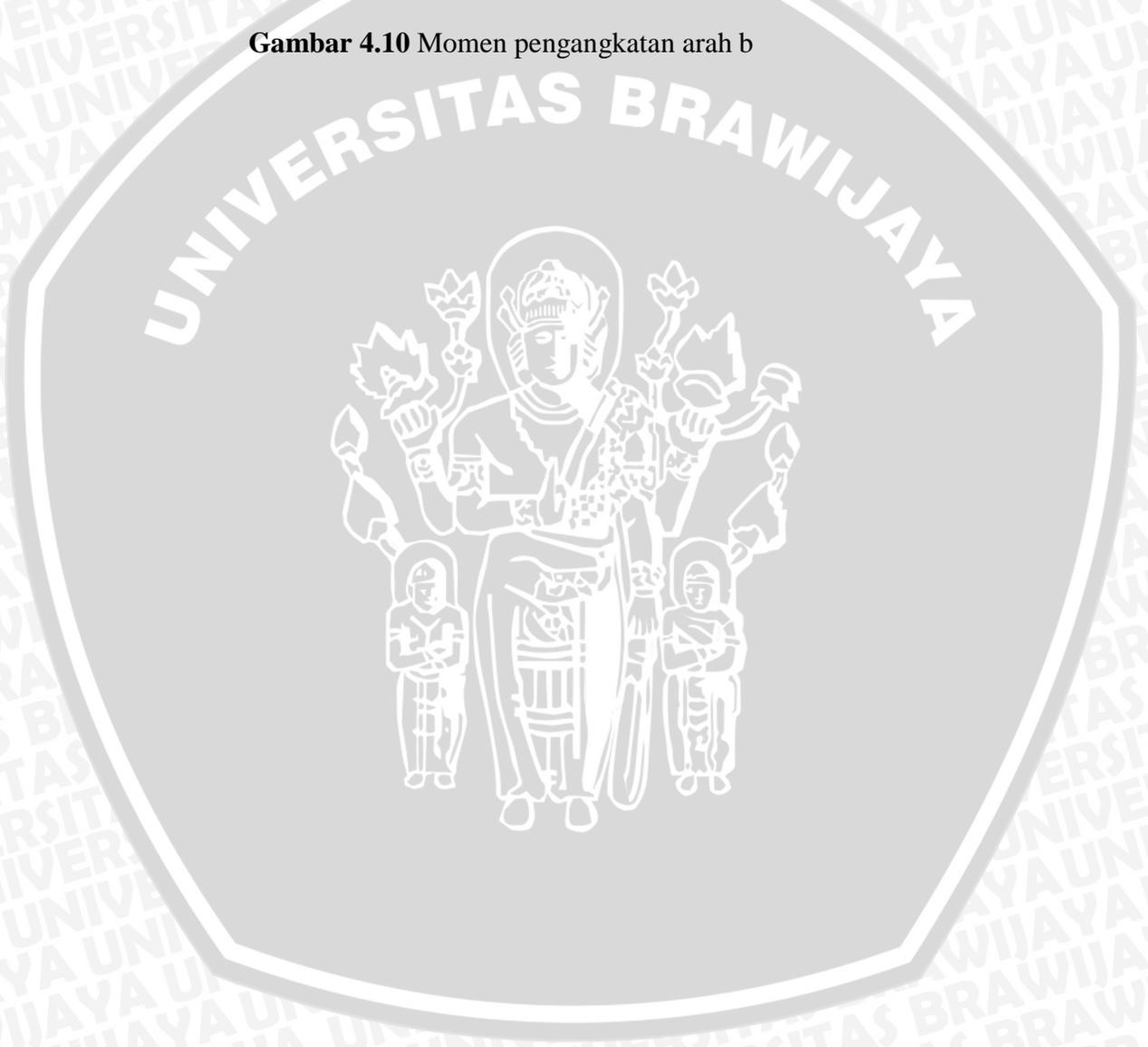
Gambar 4.8 Pengangkatan pelat ukuran 2,7 / 2,7m



Gambar 4.9 Momen pengangkatan arah a



Gambar 4.10 Momen pengangkatan arah b



4.2 Perhitungan Balok Pracetak

Elemen balok pracetak menggunakan material beton dengan spesifikasi $f'c = 25$ Mpa, dan baja tulangan dengan $f_y = 400$ Mpa. Perhitungan elemen pelat pracetak dianalisis terhadap dua kondisi, yaitu pada saat proses ereksi yang meliputi pengangkatan dan pemasangan atau penuangan beton baru di atas elemen pracetak. Pembuatan elemen pracetak dilakukan diluar proyek dan menggunakan crane dalam proses ereksi.

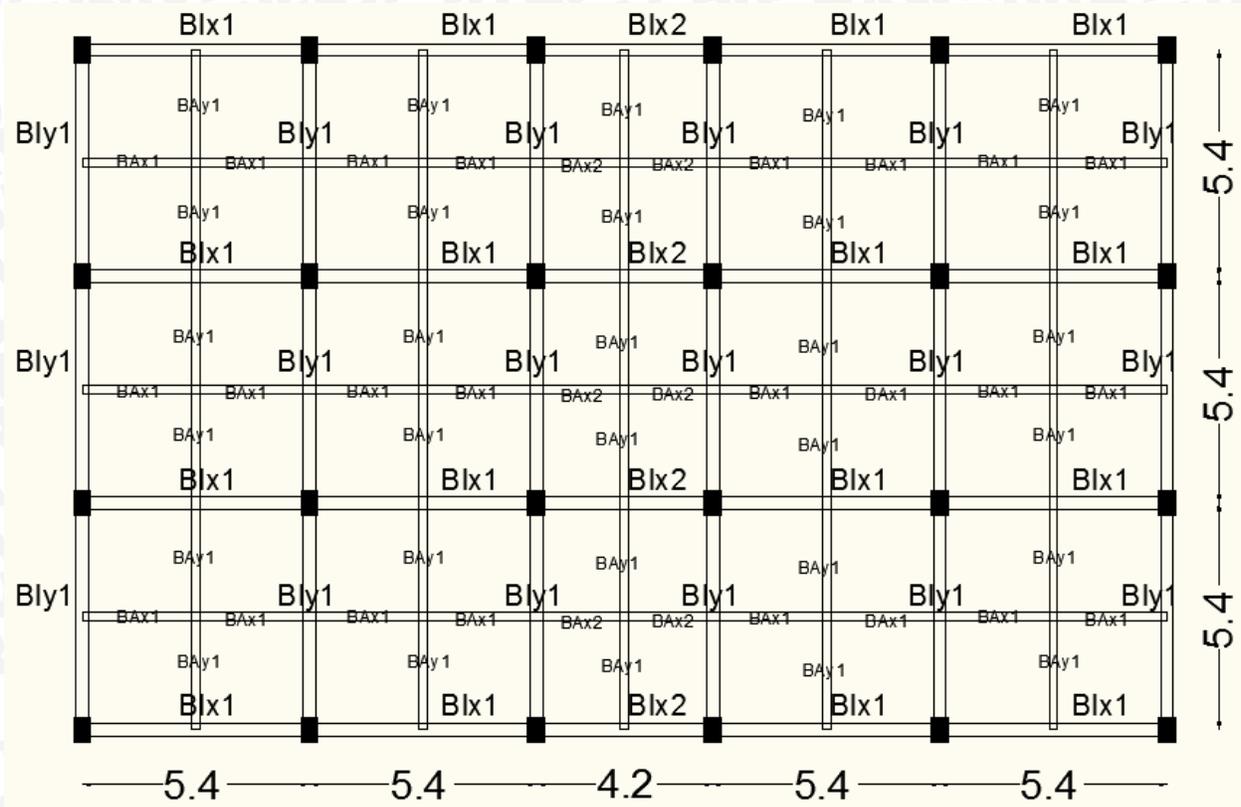
Dalam proses perhitungan perencanaan elemen balok pracetak ini meliputi analisa balok pracetak saat pemasangan dan analisa balok pracetak saat pengangkatan. Penentuan tebal balok pracetak ditentukan berdasarkan analisa balok pracetak saat pemasangan, karena dalam kondisi tersebut balok pracetak mengalami kombinasi beban yang terbesar selama proses konstruksi.

4.2.1 Analisa Balok Pracetak Saat Pemasangan

Ada beberapa jenis elemen balok pracetak yang harus dianalisa dan didesain kekuatannya, yaitu sebagai berikut :

Tabel 4.1 Type balok pracetak

Type	Keterangan
BIx1	Balok Induk arah-x ukuran 5.4 m
BIx2	Balok Induk arah-x ukuran 5.4 m
BIy1	Balok Induk arah-x ukuran 5.4 m
BAx1	Balok Anak arah-x ukuran 2.7 m
BAx2	Balok Anak arah-x ukuran 2.1 m
BAy1	Balok Anak arah-x ukuran 2.7 m



Gambar 4.11 Denah type balok pracetak saat pemasangan

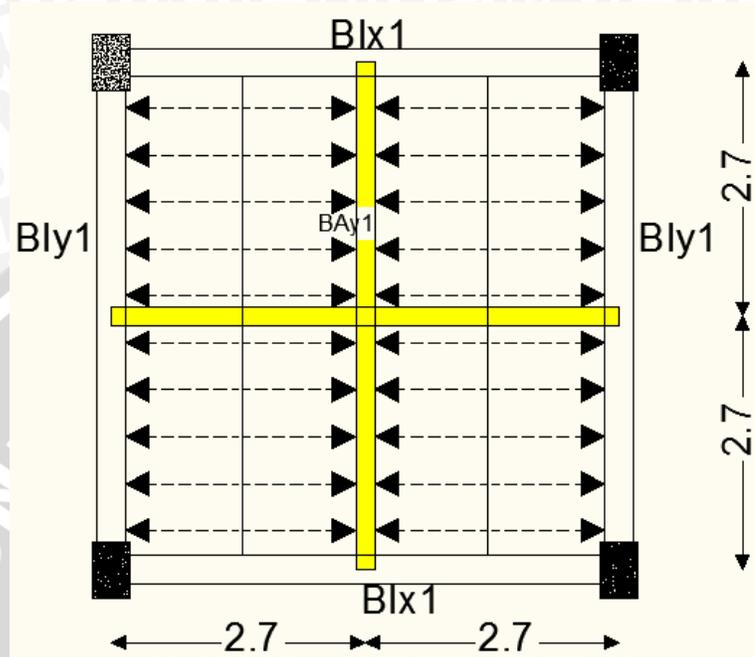
Saat pemasangan elemen pracetak ini, balok pracetak mengalami kondisi pembebanan sebagai berikut :

1. Berat sendiri balok pracetak (anak/induk), termasuk beton tuang di atasnya (*topping*).
2. Beban akibat pelat pracetak yang menumpu pada balok (anak/induk), termasuk beton tuang di atasnya (*topping*).

Balok dimodelkan menumpu pada kedua ujung bentang kolom.

4.2.2 Perhitungan Balok Anak Precetak BAx1 (T10) dan BAy1 (T5)

Asumsi awal dimensi balok anak BAx1 dan BAy1 adalah 200/300



Gambar 4.12 Distribusi beban plat pada balok pracetak

Beban yang bekerja pada balok anak

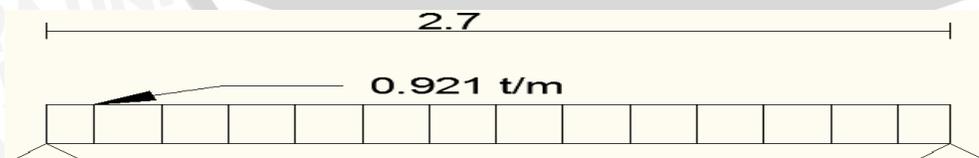
1. Berat sendiri balok anak pracetak (tebal penuh)

$$q_{BA} = 2.4 * 0.20 * 0.30 = 0.14 \text{ t/m}$$

2. Beban pelat pracetak dan beton di atasnya (tebal penuh)

$$q_{plat} = 2.4 * 0.120 * 0.5 * 2.7 * 2 = 0.777 \text{ t/m}$$

$$q_d = 0.14 + 0.777 = 0.921 \text{ t/m}$$



Gambar 4.13 Pemodelan beban balok anak x1 dan y1

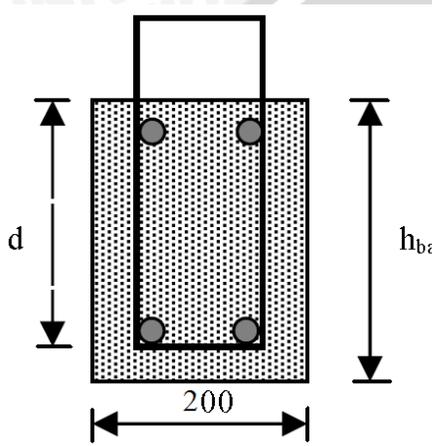
- Momen maksimal yang terjadi pada balok anak pracetak saat pemasangan, dimana bentang

$$L = 2.7 \text{ m} :$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= 1/8 * qd * L^2 \\ &= 1/8 * 0.921 * 2.7^2 \\ &= 0.839 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$Mu = 8390000 \text{ Nmm}$$

- Penentuan tebal minimum balok anak pracetak BAx1 (T10)



Asumsi tulangan lentur balok BAx1

$$4D - 19, A_{stot} = 1133.54 \text{ mm}^2$$

$$T = C$$

$$A_s * f_y * = f_c * 1/2 * b * y$$

$$1133.54 * 400 = 25 * 1/2 * 270 * y$$

$$Y = 134.35 \text{ mm}$$

Kapasitas momen lapangan nominal (M_n)

$M_n = T (d - y/3)$, tebal efektif minimum balok induk pracetak diperoleh jika:

$$8390000 = 262981.28 (d - \frac{y}{2})$$

$$d = 99.08 \text{ mm}$$

Tebal efektif minimal penampang balok anak pracetak, $d_{\min} = 99.08 \text{ mm}$

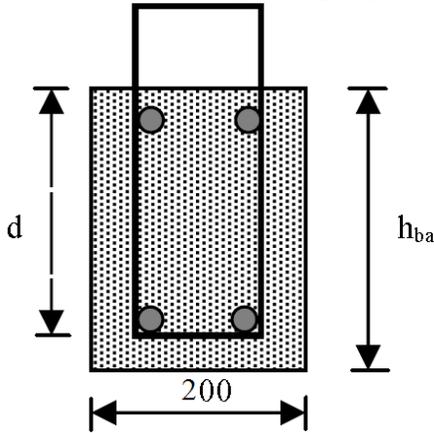
Tebal penampang balok anak pracetak, ditentukan $h = 400 \text{ mm}$

$$h_{ba}' = h_{ba} + h_{plat} = 400 - 120 = 280 \text{ mm}$$

cek tebal efektif :

$$d = 280 - 40 - 10 - 1/2 * 19 = 220.5 \text{ mm} > d_{\min} \dots \dots \text{ok!}$$

- Analisa dan desain penampang balok anak pracetak Ba 300/280 saat pemasangan



Asumsi luasan tulangan lentur balok anak
BAx1 dan BAy1, 4D19, $A_s = 1133.54 \text{ mm}^2$

Kapasitas momen penampang (Mn)

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

$$M_n = 262981.28 * (220.5 - \frac{132.82}{2})$$

$$M_n = 46344417.08 \text{ Nmm}$$

Syarat kekuatan : $\mu_u < M_n$

$$: 8390000 < 46344417.08, \dots \text{ok!}$$

Cek kelendutan (dlm mm)

$$\delta = \frac{5 * Q * l^4}{384 EI}$$

$$\delta = \frac{5 * 11.52 * (\frac{N}{mm}) * 2700^4}{384 * 17075.948 * (\frac{1}{12} * 200 * 280^3)}$$

$$\delta = 10.004 \text{ mm}$$

Syarat Kelendutan :

$$\delta \leq \delta_{ijin}, \text{ dimana : } \delta_{ijin} = \frac{l}{240} = \frac{2700}{240} = 11.25$$

$$\delta = 10 \text{ mm} < \delta_{ijin} \dots \text{ok!!}$$

- Analisa Tegangan Penampang

Dimana nilai tegangan ijin bahan:

$$f_c = 0.33 * f'c = 0.33 * 40 = 13.2 \text{ MPa}$$

$$f_s = 0.58 * f_y = 0.58 * 400 = 232 \text{ MPa}$$

- balok sebelum aksi komposit terjadi

Beban yang bekerja = berat sendiri $BA_{pracetak}$ + berat plat_{pracetak} + topping

$$\mu_u = 8390000 \text{ Nmm}$$

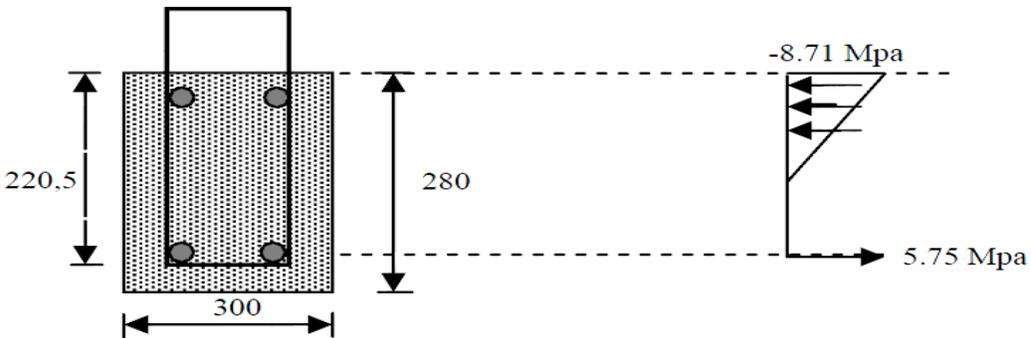
$$\sigma = \pm \mu_u * \frac{y}{I_{pracetak}}$$

$$\sigma_c = - \frac{8390000 * 134.35}{\frac{1}{12} * 300 * 280^3} = - 8.71 \text{ MPa} < f_c \dots \text{ok!}$$



$$\sigma_s = \frac{8390000 \cdot (220.5 - 132.82)}{\frac{1}{12} \cdot 300 \cdot 280^3} = 5.75 \text{ MPa} < f_s \dots\dots\text{ok!}$$

Diagram tegangan (sebelum aksi komposit terjadi)



- Balok setelah aksi komposit terjadi :

Momen Positif pada tengah bentang (hasil analisa staad pro)

$$M_u = 1.88 \text{ ton m } 18800000 \text{ Nmm}$$

$$I_{comp} = 1600000000 \text{ mm}^4$$

- Menghitung nilai y

Dimana, $b = 300$, $A_s = 1133.540 \text{ mm}^2$, $d = 340.5 \text{ mm}$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$C_c = 0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a$$

Sehingga persamaan menjadi :

$$A_s \cdot f_y = 0.85 \cdot f'_c \cdot \frac{1}{2} b \cdot a$$

$$1133.54 \cdot 400 = 0.85 \cdot 25 \cdot \frac{1}{2} \cdot 300 \cdot a$$

$$y = \frac{1133.54 \cdot 400}{0.85 \cdot 25 \cdot 150} = 142.25 \text{ mm}$$

- Menghitung tegangan pada penampang komposit (tengah bentang)

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

$$\sigma'_c = - \frac{18800000 \cdot 142.25}{1600000000} = - 1.6 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_s = \frac{18800000 \cdot (340.5 - 142.25)}{1600000000} = 2.3 \text{ MPa}$$

Tegangan pada titik A

$$\frac{f_{top}}{f_A} = \frac{y}{y - 120}$$

$$f_A = \frac{142.25 - 120}{142.25} * 0.8 = 0.15 \text{ MPa (tekan)}$$

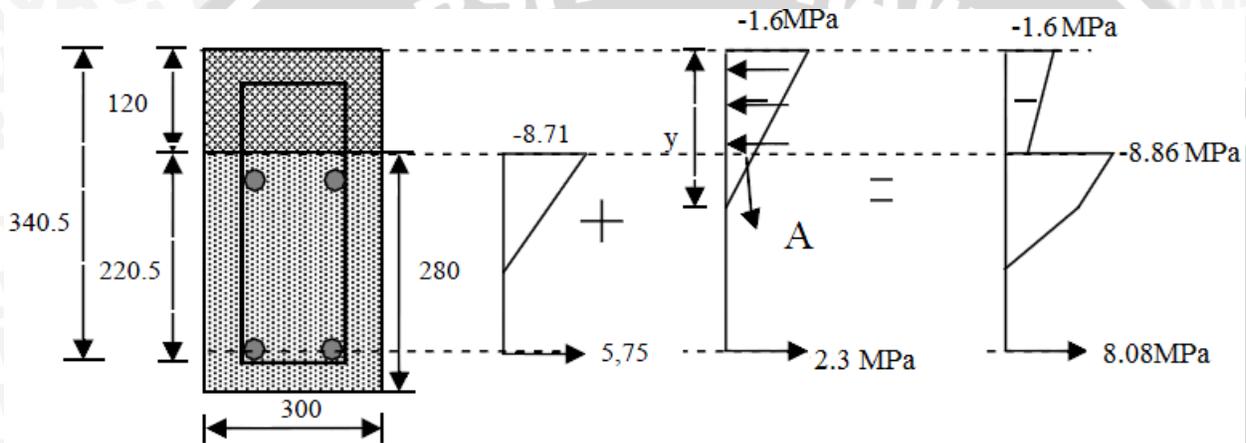
- Resultan tegangan :

$$f_{top} = -1.6 \text{ MPa (tekan)} < f_{c_{ijin}} \dots\dots\dots \text{ok}$$

$$f_A = -8.71 - 0.15 = -8.86 < f_{c_{ijin}} \dots\dots\dots \text{ok}$$

$$f_s = 5.75 + 2.3 = 8.08 < f_{s_{ijin}} \dots\dots\dots \text{ok}$$

- Diagram tegangan saat terjadi aksi komposit pada tengah bentang :



- menghitung tegangan pada penampang komposit (tumpuan)

Momen negatif pada ujung tumpuan balok :

$$Mu = 2.92 \text{ tonm} = 29200000 \text{ Nmm}$$

- Menghitung nilai y

Dimana, $b = 300$, $A_s = 1133.540 \text{ mm}^2$, $d = 340.5 \text{ mm}$

$$T = A_s * f_y$$

$$C_c = 0.85 * f'_c * b * a$$

Sehingga persamaan menjadi :

$$A_s * f_y = 0.85 * f'_c * b * a$$

$$1133.54 * 400 = 0.85 * 25 * \frac{1}{2} * 300 * a$$

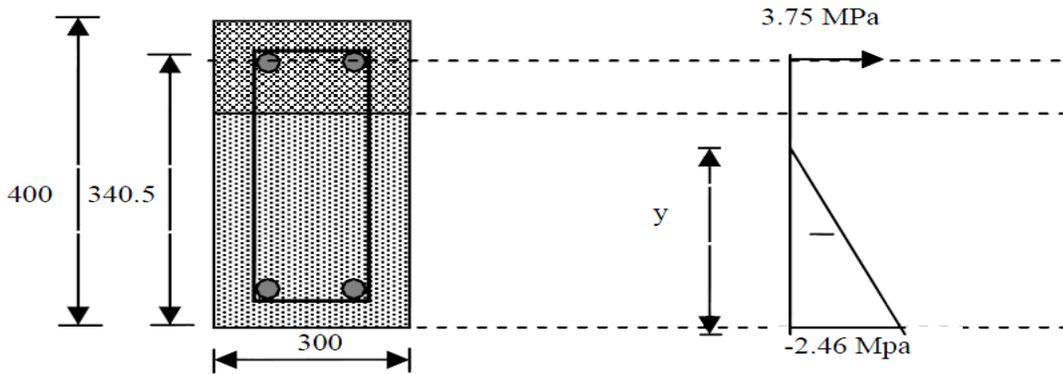
$$y = \frac{1133.54 * 400}{0.85 * 25 * 150} = 142.25 \text{ mm}$$

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

$$\sigma_c' = -\frac{29200000 * 142.25}{1600000000} = -2.46 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s' = \frac{18800000 * (340.5 - 142.25)}{1600000000} = 3.75 \text{ MPa}$$

- Diagram tegangan saat terjadi aksi komposit pada tumpuan :



• Perhitungan Tulangan tumpuan (negatif)

$$f_c' [\text{kg/cm}^2] = 250$$

$$f_y [\text{kg/cm}^2] = 4000$$

$$b [\text{cm}] = 30$$

$$h [\text{cm}] = 20$$

$$\text{Selimut beton [cv]} = 3 \text{ cm}$$

$$\text{diameter. SK [mm]} = 8$$

$$\text{Jika } f_c' > 300 \text{ kg/cm}^2, \text{ maka } B1 = 0.85 - 0.0008 * (f_c' - 300)$$

$$\text{Sehingga untuk } f_c' = 400 \text{ kg/cm}^2, \text{ didapatkan } B1 = 0.77$$

$$\rho_{\text{max}} = \frac{0.85 * f_c' * \beta_1}{f_y} * \frac{4500}{6000 + f_y} = 0.0295$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1.4}{f_y} = 0.0035$$

- Tulangan atas (tarik)

$$\text{Tul As}_{\text{terpasang}} = 4 \text{ D } 19 \text{ (} 11.35 \text{ cm}^2 \text{)}$$

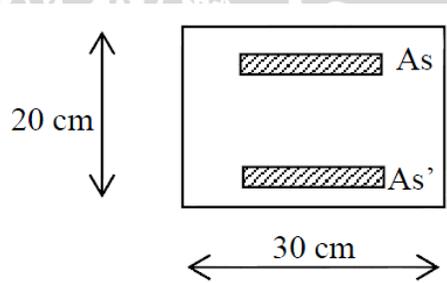
$$\text{Jml_baris Tul As}_{\text{terpasang}} = 1$$

$$\text{Jarak antar baris tulangan} = 2.5 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak antar tulangan dalam satu baris min. } 2.5 \text{ cm}$$

$$d = h - cv - \text{dia.SK}/10 - [\text{dia.tul}/10 * \text{jml_baris} + 2.5 * (\text{jml_baris} - 1)]/2$$

$$15.25 \text{ cm}$$



- Tulangan bawah (tekan)

$$\text{Tul As}'_{\text{terpasang}} = 3 \text{ D } 19 \text{ (} 8.51 \text{ cm}^2 \text{)}$$

$$\text{Jml_baris Tul As}'_{\text{terpasang}} = 1$$

$$\text{Jarak antar baris tulangan} = 2.5 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak antar tulangan dalam satu baris min. } 2.5 \text{ cm}$$

$$d' = cv + \text{dia.SK}/10 + [\text{dia.tul}/10 * \text{jml_baris} + 2.5 * (\text{jml_baris} - 1)]/2$$

$$4.75 \text{ cm}$$

$$\text{Ratio As}'/\text{As} = 0.75$$

$$\rho = \frac{A_{stps}}{b*d} = \frac{11.35}{30*15.25} = 0.025$$

$$\rho' = \frac{A_{s'tps}}{b*d} = \frac{8.51}{30*15.25} = 0.019$$

$\rho > \rho_{\min}$, berarti penampang mencukupi, sehingga $\rho - \rho' = 0.006$

$$\rho - \rho' < \frac{0.85 * \beta_1 * f'_c * d'}{f_y * d} * \frac{600}{6000 - f_y} = 0.061$$

dan $\rho < \rho_{\max}$ maka,

$$F = \frac{\rho * f_y}{0.85 * f'_c} = 0.2941$$

$$K = F * (1 - F / 2) = 0.25086$$

$$M_n = K * b * d^2 * 0.85 * f'_c$$

$$M_n = 0.25086 * 30 * 15.25^2 * 0.85 * 400 = 595086 \text{ kgcm}$$

$$\text{Maka besarnya } \mu = 0.8 * M_n = 476069 \text{ kg.cm .-}$$

$\mu_{\text{penampang}} > \mu_{\text{hasil analisis struktur}} (=466000 \text{ kg.cm}) \dots \text{OK}$

• Jadi berdasarkan analisa balok anak Ba pracetak saat pemasangan,

didapat spesifikasi dimensi dan tulangan minimal sebagai berikut :

- Dimensi :- BA pracetak, $b_{ba} = 300 \text{ mm}$, $h_{ba}' = 280 \text{ mm}$,

$$h_{dap} = 80 \text{ mm}$$

- BA total, $b_{ba} = 300 \text{ mm}$, $h_{ba} = 400 \text{ mm}$

- Tulangan lentur lapangan minimal 4D19, $A_s \text{ min} = 1133.54 \text{ mm}^2$

- Tulangan lentur tumpuan (tulangan double) :

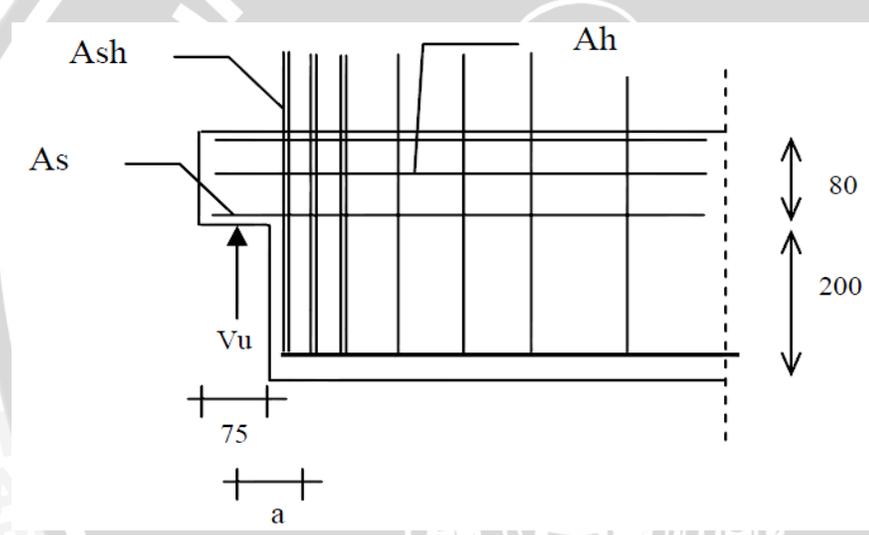
$$A_{s\text{atas}} = 1135 \text{ mm}^2 \text{ (} 4 \text{ D } 19 \text{)}$$

$$A_{s\text{bawah}} = 851 \text{ mm}^2 \text{ (} 3 \text{ D } 19 \text{)}$$

• Desain sambungan *Dapped-end* pada balok anak

Diketahui :

- BEAM (B x D) = 300 mm x 400 mm
- DEP.OF BRACKET(h) = 80 mm x 400 mm
- LEN. OF BRACKET = 75 mm x 400 mm
- PAD SIZE(A) = 75 mm x 300 mm
- SHEAR SPAN(a) = 75 mm x 300 mm
- Vu = 29,300 Newton
- fck (P.C) = 13.2 MPa
- fs = 232 MPa (elastic design)
- SLAB THK(t) = 120 mm x 300 mm



Gambar 4.14 Tulangan dapped-end beam

• Menentukan luasan *bearing pad*

$$Vu < Pnb = 0.85 * fc * A_{perlu}$$

$$A_{perlu} = \frac{Vu}{0.85 * fc} = \frac{29300}{0.85 * 250} = 3481.9 \text{ mm}^2$$

$$A_{real} = 75 * 300 = 22500 \text{ mm}^2 > A_{perlu} \dots \dots \dots \text{ok}$$

• Chek kedalaman yang dibutuhkan (hdap = 80 mm)

$$Vn = 0.2 * fs * B * d = 0.75 * 0.2 * 13.2 * 300 * (80 - 20)$$

$$Vn = 35640 \text{ Newton} > Vu \dots \dots \dots \text{ok}$$

- Tulangan Lentur pada ujung perpanjangan

$$A_f = \frac{V_u * a + N_u * (h - d)}{f_s * j d}$$

$$A_f = \frac{29300 * 75 + 0.2 * 29300 * 20}{232 * 0.875 * (80 - 20)}$$

$$A_f = 190.04$$

- Tulangan Tarik pada ujung perpanjangan

$$A_n = \frac{N_u}{f_s} = \frac{0.2 * 29300}{232} = 25.26 \text{ mm}^2$$

- Tulangan Geser Friksi

$$A_{vf} = \frac{V_u}{f_s * \mu} = \frac{29300}{232 * 4} = 37.15 \text{ mm}^2$$

$$A_{s1} = A_f + A_n = 190.04 + 25.26 = 215.30 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 2/3 * A_{vf} + A_n = 2/3 * 37.15 + 25.26 = 50.03 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = 0.04 * (f_c / f_s) * B * d = 0.04 * (13.2 / 232) * 300 * 60 = 40.96 \text{ mm}^2$$

Luasan yang dipakai adalah yang terbesar :

$$A_s = 215.30 \text{ mm}^2$$

Menggunakan tulangan Ø8-5, → $A_{st} = 251.2 \text{ mm}^2$

- Tulangan Geser Langsung

$$A_h = 0.5 * (A_s - A_n) = 0.5 * (215.30 - 25.26) = 95.02 \text{ mm}^2$$

Menggunakan tulangan Ø6 - 4 → $A_{st} = 113 \text{ mm}^2$

Tulangan Tarik diagonal pada ujung *reentrant*

$$A_{sh} = \frac{V_u}{f_s} = \frac{29300}{232} = 126.3 \text{ mm}^2$$

Menggunakan tulangan Ø6- 5, $A_{st} = 141.30 \text{ mm}^2$

- Tulangan Tarik diagonal pada ujung perpanjangan

$$A_f = \frac{V_u - 0.53 * \sqrt{f_c} * b * d}{2 * f_s}$$

$$A_f = \frac{29300 - 0.53 * \sqrt{13.2} * 300 * 60}{2 * 232} = -11.55 \text{ mm}^2$$

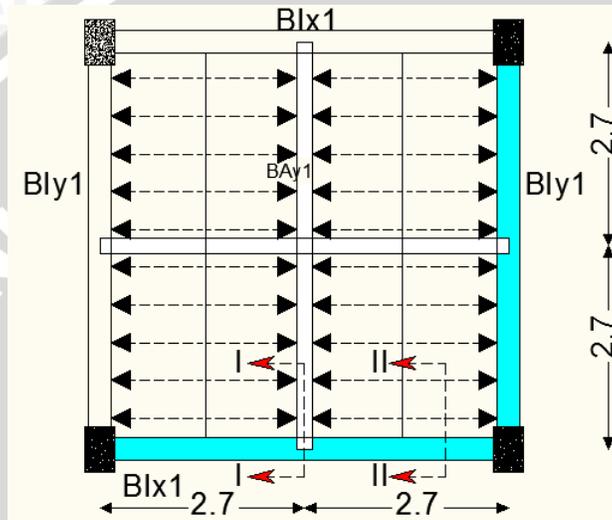
Tidak memerlukan tulangan tarik diagonal pada ujung perpanjangan

- Cek kuat geser

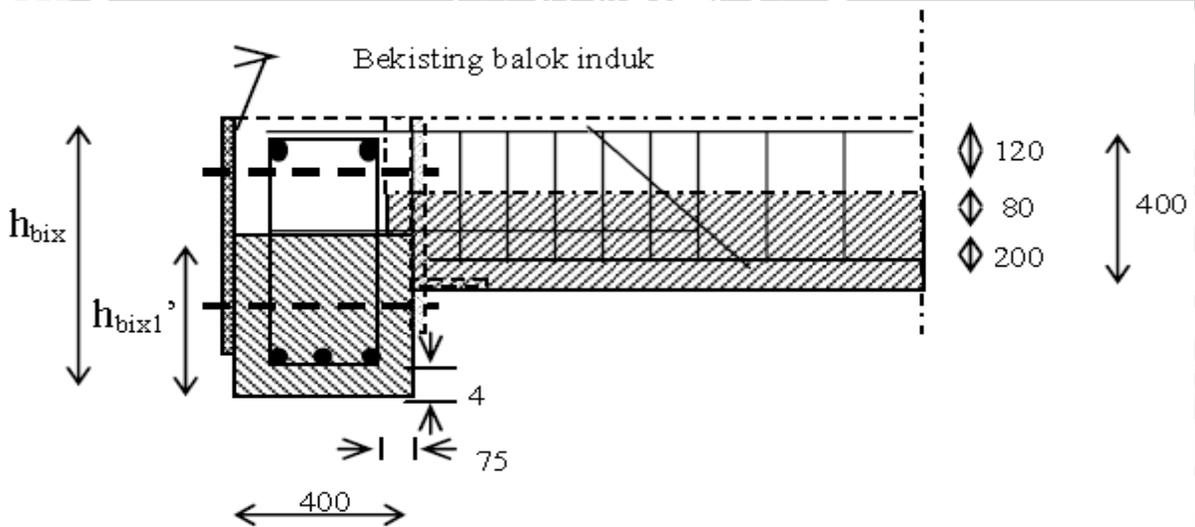
$$V_n = (A_h * f_s + 0.53 * \sqrt{f_c} * b * d) = 56705,2 \text{ N} > 29300 \text{ N} \dots \dots \dots \text{ok}$$

4.2.3. Perhitungan Balok Induk Precetak BIy1 (T5) dan BIx1 (T10)

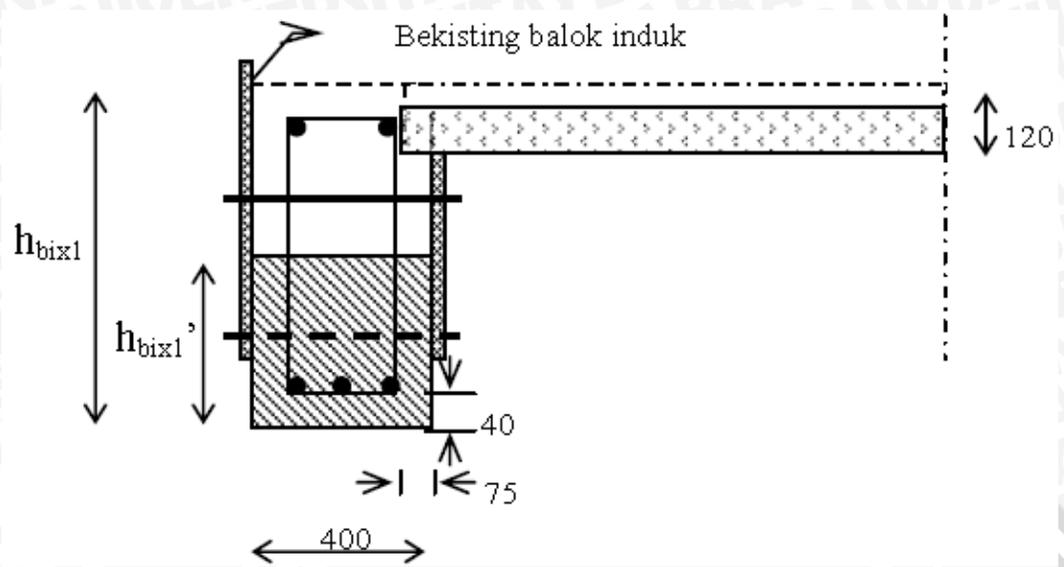
Saat pemasangan balok induk Bix1, pelat pracetak menumpu pada balok anak pracetak Ba, dan balok induk Biy, sehingga beban pelat terdistribusi menjadi dua bagian ke arah balok anak Ba dan balok induk Biy. Sedangkan balok induk pada arah x, Bix hanya menderita beban akibat berat sendiri, berat beton tuang di atasnya, dan beban terpusat oleh balok anak Ba. Model distribusi beban dapat dilihat pada gambar 4.8. Dimensi balok induk Bix1 direncanakan sebesar 400/600.



Gambar 4.15 Distriusi beban pelat dan balok saat pemasangan



Gambar 4.16 Potongan I – I



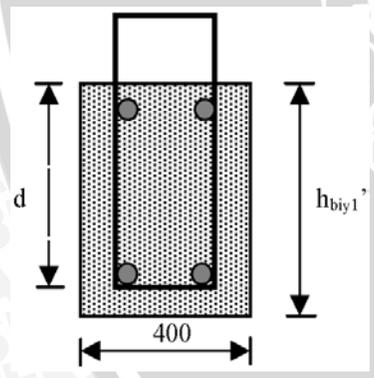
Gambar 4.17 Potongan II – II

$M_u = 40981000 \text{ Nmm (T5)}$

Φ Mutu beton f'_c yang dipakai adalah 25 Mpa (asumsi umur 28 hari)

Φ Mutu besi f_s yang dipakai adalah 400 Mpa

- Pengecekan tebal minimum balok Induk Pracetak 1 (40/60)



Asumsi tulangan lentur balok melintang 1 lapangan

4 – D22, $A_s = 1520.54 \text{ mm}^2$

$T = C$

$$A_s * f_s = f_c * 0.85 * b * a$$

$$1520.54 * 400 = 25 * 0.85 * 400 * a$$

$$a = 92.35 \text{ mm}$$

Kapasitas momen lapangan nominal (M_n)

$$M_n = T * (d - \frac{a}{3})$$

$$M_u = M_n$$

$$40981000 = 785000 * (d - \frac{92.35}{3})$$

$$d = 80.45 \text{ mm}$$

tebal efektif minimal penampang balok anak pracetak, $d_{min} = 80.45 \text{ mm}$

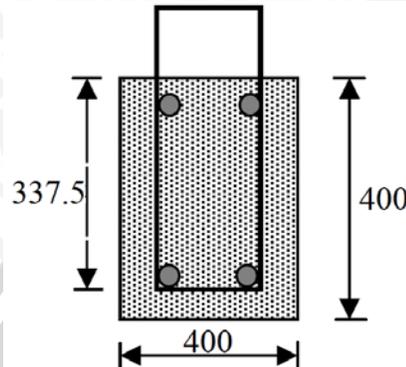
Tebal penampang balok induk pracetak,

$$H_{biy1}' = h_{biy1} - h_{ba} = 600 - (120 + 80) = 400 \text{ mm}$$

cek tebal efektif : (tebal balok pracetak – tebal selimut – sengkang – ½ jari2 tul.)

$$d = 400 - 40 - 10 - \frac{1}{2} * 25 = 337.5 \text{ mm} > d_{min} (80.45 \text{ mm}) \dots \dots \text{Ok !!!}$$

- Analisa balok Induk Pracetak 1 (40/40) saat pemasangan



Asumsi luasan tulangan lentur balok induk

$$Biy1, D22 - 4, A_s = 1520.54 \text{ mm}^2$$

$$d = 337.5 \text{ mm}$$

Kapasitas momen penampang (M_n)

$$M_n = T * (d - \frac{a}{3})$$

$$M_n = (1520.54 * 400) * (337.5 - \frac{92.35}{3})$$

$$M_n = 186549984.1 \text{ Nmm}$$

$$\text{Syarat : } M_u < M_n \rightarrow 40981000 < 186549984.1 \text{ Nmm} \dots \dots \text{Ok !!}$$

- Analisa tegangan penampang

Balok sebelum aksi komposit terjadi :

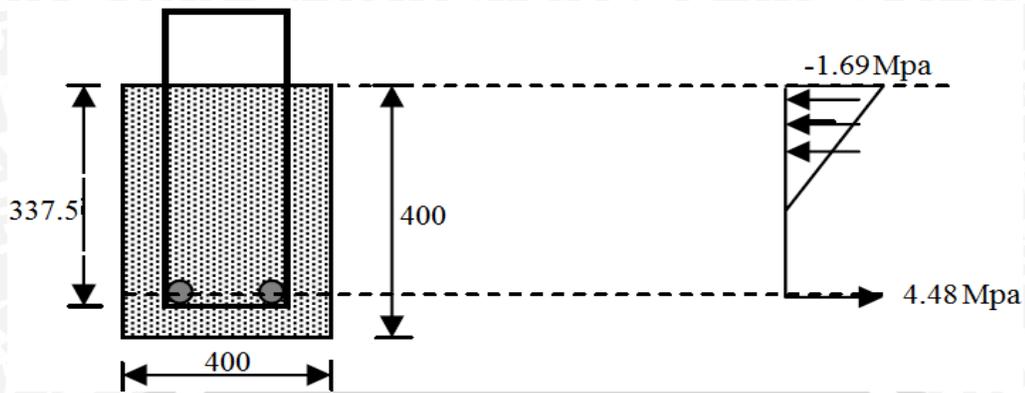
Beban yang bekerja

$$M_u = 40981000 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = \pm \frac{M_u * a}{I_{pracetak}}$$

$$\sigma_c = - \frac{40981000 * 92.35}{\frac{1}{12} * 400 * 400^3} = -1.69 < f_c \dots \dots \dots \text{aman thd tekan}$$

$$\sigma_s = \frac{40981000 * (337.5 - 92.35)}{\frac{1}{12} * 400 * 400^3} = 4.48 < f_s \dots \dots \dots \text{aman thd tarik}$$



- Balok setelah aksi komposit terjadi :

$$M_{lap} = 40981000 \text{ Nmm}$$

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

- Menghitung nilai y

$$\text{Dimana, } b = 400, A_s = 1520.53 \text{ mm}^2, d = 337.5 + 200 = 537.5 \text{ mm}$$

$$T = A_s * f_y$$

$$C_c = 0.85 * f'_c * b * a$$

Sehingga persamaan menjadi :

$$A_s * f_y = 0.85 * f'_c * b * a$$

$$1520.53 * 400 = 0.85 * 25 * \frac{1}{2} * 400 * a$$

$$y = \frac{1520.53 * 400}{0.85 * 25 * 200} = 143.08 \text{ mm}$$

$y = 143.08 \text{ mm} < 200 \text{ mm} \rightarrow$ tidak ada superposisi pada bidang pertemuan balok pracetak dan topping.

$$\sigma = \pm \frac{M_u * a}{I_{pracetak}}$$

$$\sigma_c = - \frac{40981000 * 143.08}{7200000000} = -1 < f_c \dots \dots \dots \text{aman thd tekan}$$

$$\sigma_s = \frac{40981000 * (337.5 - 143.08)}{\frac{1}{12} * 400 * 400^3} = 3.15 < f_s \dots \dots \dots \text{aman thd tarik}$$

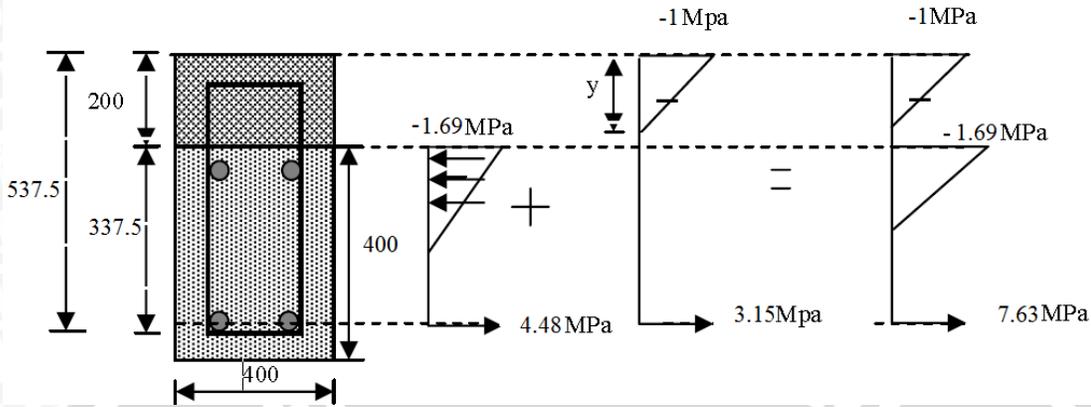
- resultan tegangan :

$$f'_c = -1 \text{ Mpa (tekan)} < \text{fijin} \dots \dots \dots \text{ok}$$

$$f_A = -1.69 \text{ Mpa (tekan)} < \text{fijin} \dots \dots \dots \text{ok}$$

$$f's = 4.48 + 3.15 = 7.63 \text{ Mpa (tarik)} < f_s \dots \dots \dots \text{ok}$$

- diagram tegangan saat terjadi aksi komposit :



- Menghitung tegangan pada penampang komposit (tumpuan)

Momen negatif pada ujung tumpuan balok :

$$M_{tumpuan} = 862.63 \text{ KNm} = 86263000 \text{ Nmm}$$

■ Menghitung nilai y

Dimana, $b = 400$, $A_s = 6082.12 \text{ mm}^2$, $d = 337.5 + 200 = 537.5 \text{ mm}$

$$T = A_s * f_y$$

$$C_c = 0.85 * f'_c * b * a$$

Sehingga persamaan menjadi :

$$A_s * f_y = 0.85 * f'_c * b * a$$

$$6082.12 * 400 = 0.85 * 25 * 400 * a$$

$$y = \frac{6082.12 * 400}{0.85 * 25 * 400} = 143.1 \text{ mm}$$

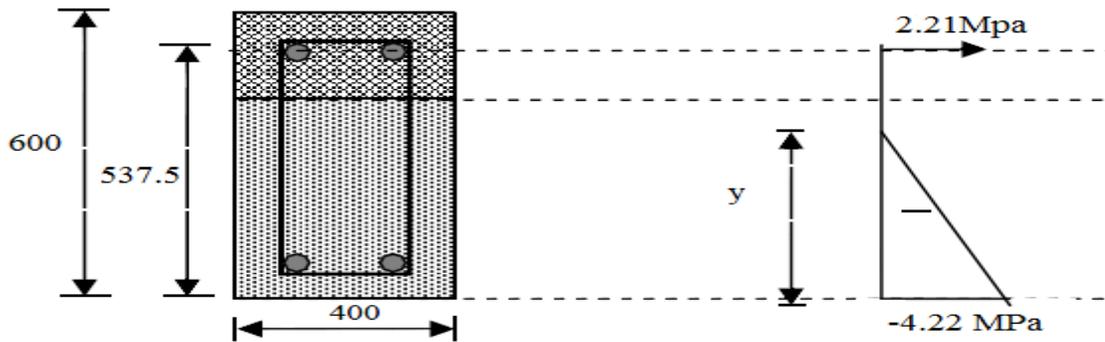
Tegangan pada penampang :

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

$$\sigma_c = - \frac{86263000 * 143.1}{7200000000} = -2.21 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_s = \frac{86263000 * (537.5 - 143.1)}{\frac{1}{12} * 400 * 400^3} = 4.22 \text{ Mpa}$$

- Diagram tegangan saat terjadi aksi komposit pada tumpuan :



• Perhitungan tulangan tumpuan (negatif)

$$f'c = 25 \text{ Mpa}$$

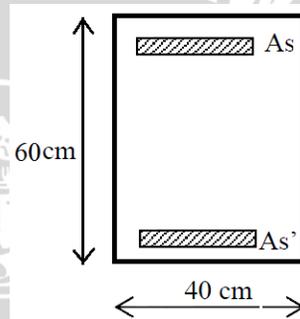
$$fy = 400 \text{ Mpa}$$

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

$$h = 60 \text{ cm}$$

$$\text{selimut beton} = 4 \text{ cm}$$

$$\text{diameter sengkang} = 8 \text{ mm}$$



$$\rho_{\max} = \frac{(0.85 \cdot 25 + 0.85)}{400} * \frac{600}{600 + 400} = 0.03$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{fy} = 0.0035$$

- Tulangan atas (tarik)

Tul As terpasang 16 – D22 (6082.12)

Jumlah baris tualngan As terpasang = 2

Jarak antar baris tualngan = 2.5 cm

Jarak antar tualngan antar baris min = 2.5 cm

$$d = 53.75 \text{ cm}$$

- Tulangan bawah (tekan)

Tul As' terpasang 8 – D22 (3041.06)

Jumlah baris tualngan As terpasang = 1

Jarak antar baris tualngan = 2.5 cm

Jarak antar tulangan antar baris min = 2.5 cm

$d' = 6.25 \text{ cm}$

ratio $A_s'/A_s = 0.5$

$$\rho = \frac{A_{s\text{terpasang}}}{b*d} = \frac{60.8212}{40*53.75} = 0.03$$

$$\rho' = \frac{A_{s'\text{terpasang}}}{b*d} = \frac{30.4106}{40*53.75} = 0.01$$

$\rho > \rho_{\text{min}}$, penampang cukup

$$\rho - \rho' = 0.02$$

$$\rho - \rho' < \frac{(0.85*B'f'c)}{f_y} * \frac{600}{600+f_y} = 0.03$$

dan $\rho \leq \rho_{\text{max}}$ maka,

$$F = \frac{\rho*f_y}{0.85*f'c} = 0.56$$

$$K = F * (1 - F/2) = 0.45$$

$$M_n = K * b * d^2 * 0.85 * f'c$$

$$= 0.45 * 40 * 53.75^2 * 0.85 * 250 = 11050664.06 \text{ kgcm}$$

$$M_k = 0.8 * 11050664.06 = 8840531.25 \text{ kgcm}$$

$M_k \text{ penampang} > M_u \text{ hasil analisis struktur } 86263000 \text{ kg.cm ...Ok}$

• jadi berdasarkan analisa penampang balok induk Biy1 saat pemasangan, didapatkan spesifikasi sebagai berikut :

- Dimensi : Bi pracetak, $b_{\text{Biy1}} = 400 \text{ mm}$, $h_{\text{Biy1}} (T5) = 337.5 \text{ mm}$

Bi total, $b_{\text{Biy1}} = 400 \text{ mm}$, $h_{\text{Biy1}}(T5) = 600 \text{ mm}$

- Tulangan lentur lapangan min D22-4, $A_s \text{ minimal} = 1520.54 \text{ mm}^2$

- Tulangan lentur tumpuan (tulangan Double) :

$$A_s = D22 - 16 = 5890.49 \text{ mm}^2$$

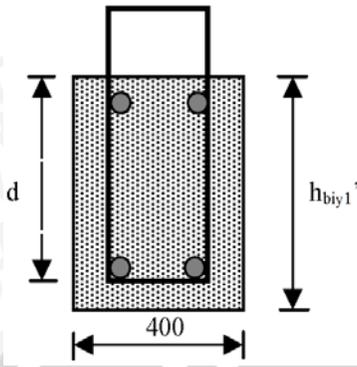
$$A_{s'} = D22 - 8 = 2945.24 \text{ mm}^2$$

$M_u = 41034000 \text{ Nmm (T10)}$

Φ Mutu beton f'_c yang dipakai adalah 25 Mpa (asumsi umur 28 hari)

Φ Mutu besi f_s yang dipaki adalah 400 Mpa

- Pengecekan tebal minimum balok Induk Pracetak 1 (40/60)



Asumsi tulangan lentur balok melintang 1 lapangan

4 – D22, $A_s = 1520.54 \text{ mm}^2$

$T = C$

$A_s * f_s = f_c * 0.85 * b * a$

$1520.54 * 400 = 25 * 0.85 * 400 * a$

$a = 92.35 \text{ mm}$

Kapasitas momen lapangan nominal (M_n)

$M_n = T * (d - \frac{a}{3})$

$M_u = M_n$

$41034000 = 785000 * (d - \frac{92.35}{3})$

$d = 83.06 \text{ mm}$

tebal efektif minimal penampang balok anak pracetak, $d_{min} = 83.06 \text{ mm}$

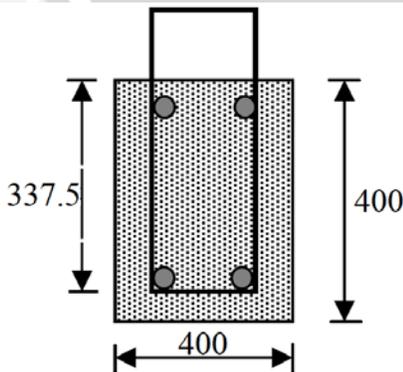
Tebal penampang balok induk pracetak,

$H_{biy1}' = h_{biy1} - h_{ba} = 600 - (120 + 80) = 400\text{mm}$

cek tebal efektif : (tebal balok pracetak – tebal selimut – sengkang – $\frac{1}{2}$ jari2 tul.)

$d = 400 - 40 - 10 - \frac{1}{2} * 25 = 337.5 \text{ mm} > d_{min} (83.06 \text{ mm}) \dots \dots \text{Ok !!!}$

- Analisa balok Induk Pracetak 1 (40/40) saat pemasangan



Asumsi luasan tulangan lentur balok induk

$Biy1, D22 - 4, A_s = 1520.54 \text{ mm}^2$

$d = 337.5 \text{ mm}$

Kapasitas momen penampang (Mn)

$$M_n = T * (d - \frac{\square}{3})$$

$$M_n = (1520.54 * 400) * (337.5 - \frac{92.35}{3})$$

$$M_n = 184549984.1 \text{ Nmm}$$

Syarat : $M_u < M_n \rightarrow 41043000 < 186549984.1 \text{ Nmm} \dots\dots\text{Ok !!}$

- Analisa tegangan penampang

Balok sebelum aksi komposit terjadi :

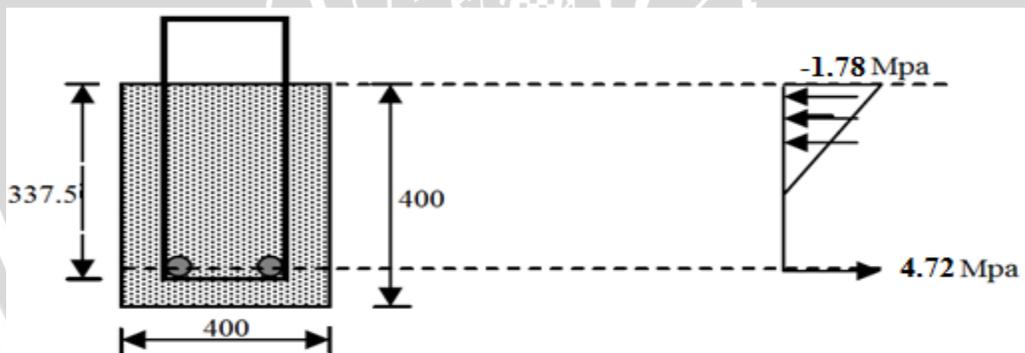
Beban yang bekerja

$$M_u = 41034000 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_c = - \frac{41034000 * 92.35}{\frac{1}{12} * 400 * 400^3} = -1.78 < f_c \dots\dots\text{aman thd tekan}$$

$$\sigma_s = \frac{41034000 * (337.5 - 92.35)}{\frac{1}{12} * 400 * 400^3} = 4.72 < f_s \dots\dots\text{aman thd tarik}$$



- Balok setelah aksi komposit terjadi :

$$M_{lap} = 41034000 \text{ Nmm}$$

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

- Menghitung nilai y

Dimana, $b = 400$, $A_s = 1520.53 \text{ mm}^2$, $d = 337.5 + 200 = 537.5 \text{ mm}$

$$T = A_s * f_y$$

$$C_c = 0.85 * f'_c * b * a$$

Sehingga persamaan menjadi :

$$A_s * f_y = 0.85 * f'_c * b * a$$

$$1520.53 * 400 = 0.85 * 25 * \frac{1}{2} * 400 * a$$

$$y = \frac{1520.53 * 400}{0.85 * 25 * 200} = 143.09 \text{ mm}$$

$y = 143.09 \text{ mm} < 200 \text{ mm} \rightarrow$ tidak ada superposisi pada bidang pertemuan balok pracetak dan topping.

$$\sigma = \pm \frac{M_u * y}{I_{composit}}$$

$$\sigma_c = - \frac{41034000 * 143.09}{7200000000} = -1 < f_c \dots\dots\dots \text{aman thd tekan}$$

$$\sigma_s = \frac{41034000 * (337.5 - 143.09)}{\frac{1}{12} * 400 * 400^3} = 3.15 < f_s \dots\dots\dots \text{aman thd tarik}$$

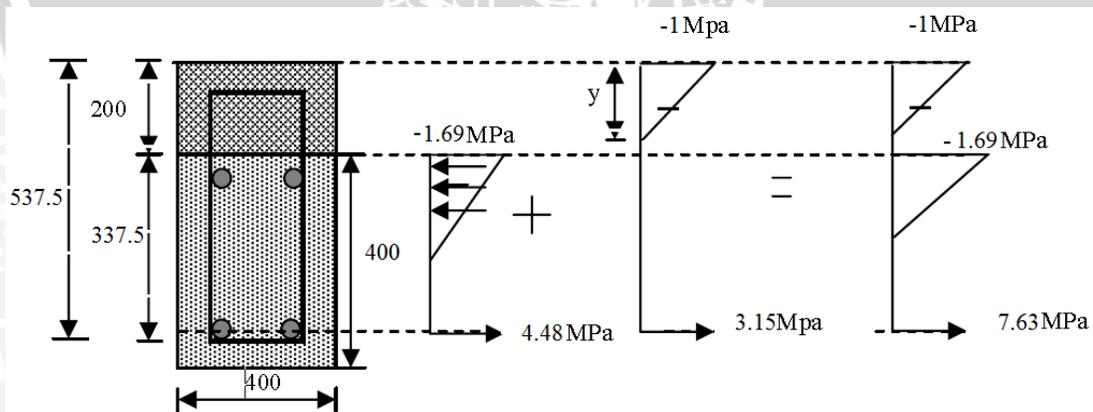
- resultan tegangan :

$$f'_c = -1 \text{ Mpa (tekan)} < \text{fijin} \dots\dots\dots \text{ok}$$

$$f_A = -1.69 \text{ Mpa (tekan)} < \text{fijin} \dots\dots\dots \text{ok}$$

$$f'_s = 4.48 + 3.15 = 7.63 \text{ Mpa (tarik)} < f_s \dots\dots\dots \text{ok}$$

- diagram tegangan saat terjadi aksi komposit :



- Menghitung tegangan pada penampang komposit (tumpuan)

Momen negatif pada ujung tumpuan balok :

$$M_{tump} = 402.99 \text{ KNm} = 40299000 \text{ Nmm}$$

■ Menghitung nilai y

Dimana, $b = 400$, $A_s = 2660.93 \text{ mm}^2$, $d = 337.5 + 200 = 537.5 \text{ mm}$

$$T = A_s * f_y$$

$$C_c = 0.85 * f'_c * b * a$$

Sehingga persamaan menjadi :

$$A_s * f_y = 0.85 * f'_c * b * a$$

$$2660.93 * 400 = 0.85 * 25 * 400 * a$$

$$y = \frac{1520.53 * 400}{0.85 * 25 * 200} = 125.22 \text{ mm}$$

$y = 125.22 \text{ mm} < 200 \text{ mm} \rightarrow$ tidak ada superposisi pada bidang pertemuan

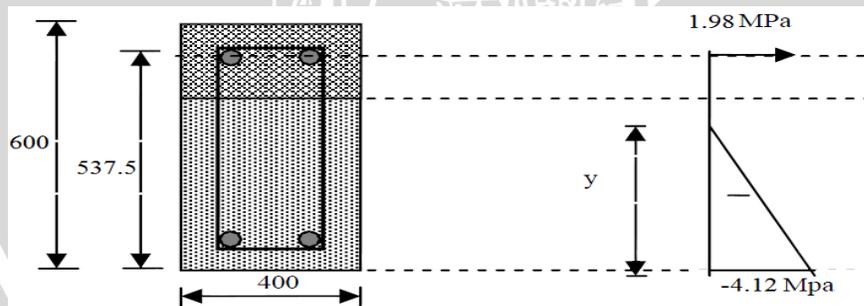
Tegangan pada penampang :

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

$$\sigma_c = - \frac{40299000 * 125.22}{7200000000} = -1.98 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_s = \frac{40299000 * (537.5 - 125.22)}{\frac{1}{12} * 400 * 400^3} = 4.12 \text{ Mpa}$$

- Diagram tegangan saat terjadi aksi komposit pada tumpuan :



• Perhitungan tulangan tumpuan (negatif)

$$f'_c = 25 \text{ Mpa}$$

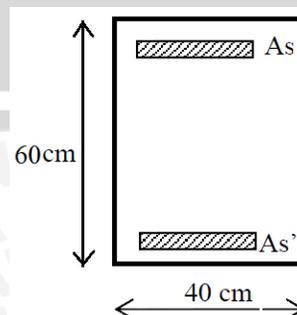
$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

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

$$h = 60 \text{ cm}$$

selimut beton = 4 cm

diameter sengkang = 8 mm



$$\delta \max = \frac{(0.85 * f'c * B1)}{f_y} * \frac{600}{600 + f_y} = 0.03$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = 0.0035$$

- Tulangan atas (tarik)

Tul As terpasang 7 – D22 (2660.93)

Jumlah baris tualngan As terpasang = 2

Jarak antar baris tulangan = 2.5 cm

Jarak antar tulangan antar baris min = 2.5 cm

d = 53.75 cm

- Tulangan bawah (tekan)

Tul As' terpasang 4 – D22 (1520.53)

Jumlah baris tualngan As terpasang = 1

Jarak antar baris tulangan = 2.5 cm

Jarak antar tulangan antar baris min = 2.5 cm

d' = 6.25 cm

ratio As'/As = 0.5

$$\rho = \frac{As \text{ terpasang}}{b * d} = \frac{26.6093}{40 * 53.75} = 0.01$$

$$\rho' = \frac{As' \text{ terpasang}}{b * d} = \frac{15.20}{40 * 53.75} = 0.007$$

$\rho > \rho_{\min}$, penampang cukup

$$\rho - \rho' = 0.02$$

$$\rho - \rho' < \frac{(0.85 * B1 * f'c)}{f_y} * \frac{600}{600 + f_y} = 0.03$$

dan $\rho \leq \rho_{\max}$ maka,

$$F = \frac{\rho * f_y}{0.85 * f'c} = 1.88$$

$$K = F * (1 - F/2) = 0.11$$

$$M_n = K * b * d^2 * 0.85 * f'c$$

$$= 0.11 * 40 * 53.75^2 * 0.85 * 250 = 5401273.44 \text{ kgcm}$$

$$M_k = 0.8 * 5401273.44 = 4461018.75 \text{ kgcm}$$

M_k penampang > M_u hasil analisis struktur (4103400 kg. cm)...Ok

• jadi berdasarkan analisa penampang balok induk Biy1 saat pemasangan, didapatkan spesifikasi sebagai berikut :

- Dimensi : Bi pracetak, $b_{Biy1} = 400 \text{ mm}$, $h_{Biy1} (T10) = 337.5 \text{ mm}$

Bi total, $b_{Biy1} = 400 \text{ mm}$, $h_{Biy1}(T10) = 600 \text{ mm}$

- Tulangan lentur lapangan min D22-4, A_s minimal = 1520.54 mm^2

- Tulangan lentur tumpuan (tulangan Double) :

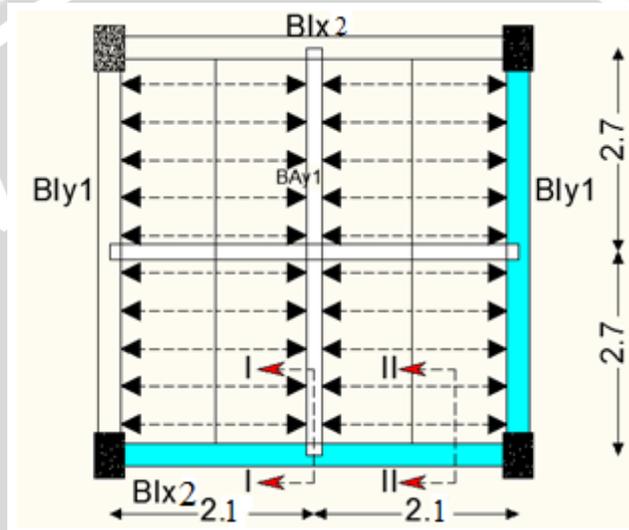
$$A_s = D22 - 7 = 2660.93 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = D22 - 4 = 1520.53 \text{ mm}^2$$

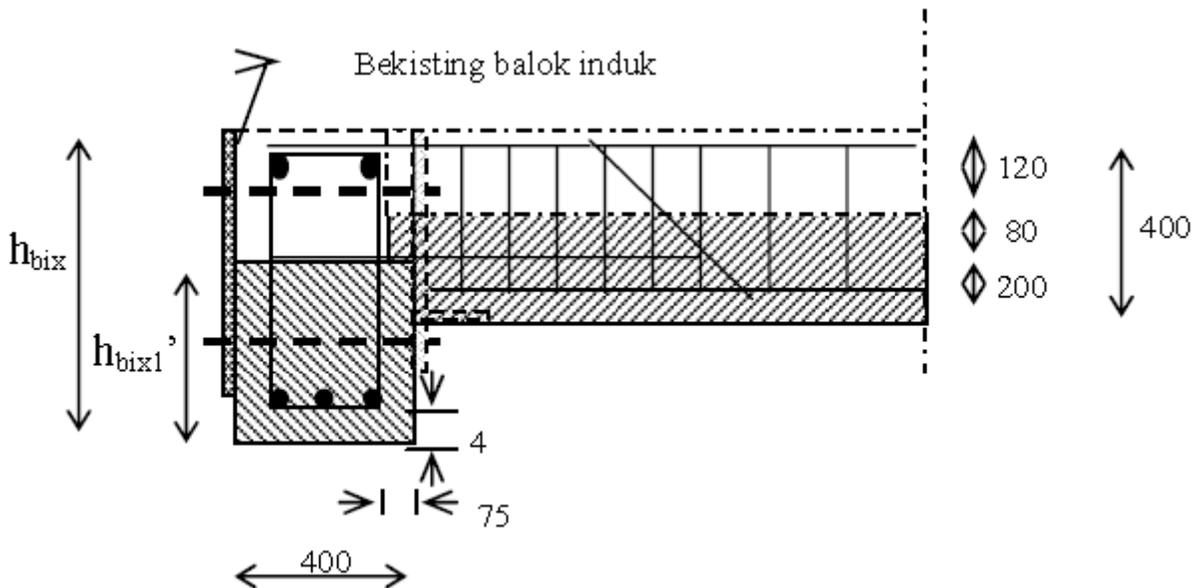


4.2.4. Perhitungan Balok Induk Precetak BIx2 (T8) dan BIy1 (T7)

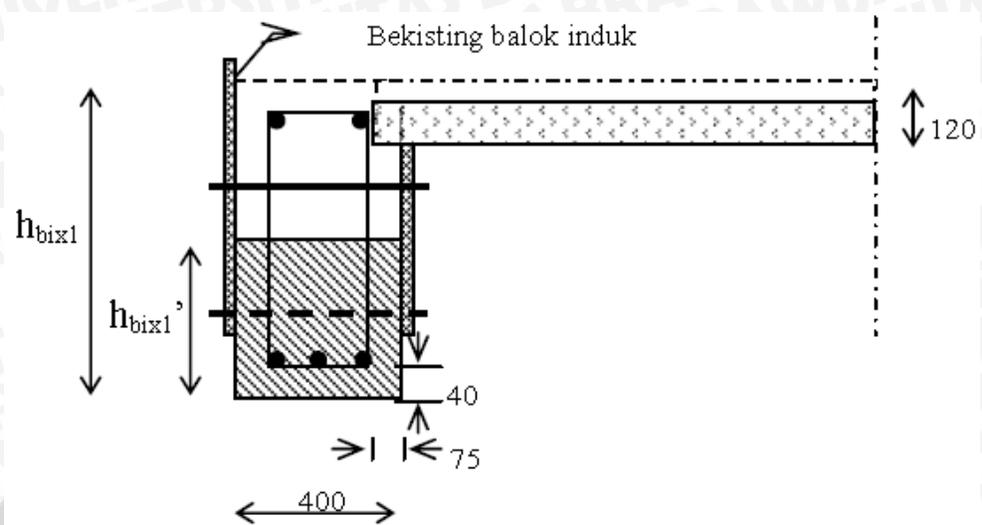
Saat pemasangan balok induk Bix2, pelat pracetak menumpu pada balok anak pracetak Ba, dan balok induk Biy, sehingga beban pelat terdistribusi menjadi dua bagian ke arah balok anak Ba dan balok induk Biy. Sedangkan balok induk pada arah x, Bix hanya menderita beban akibat berat sendiri, berat beton tuang di atasnya, dan beban terpusat oleh balok anak Ba. Model distribusi beban dapat dilihat pada gambar 4.13. Dimensi balok induk Bix1 direncanakan sebesar 400/600.



Gambar 4.18. Distriusi Beban Pelat dan Balok Saat Pemasangan



Gambar 4.19 Potongan I - I



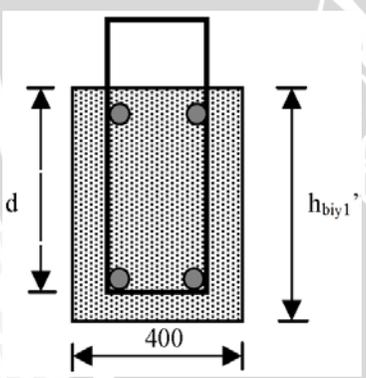
Gambar 4.20 Potongan II – II

$M_u = 19174000 \text{ Nmm (T8)}$

Φ Mutu beton f'_c yang dipakai adalah 25 Mpa (asumsi umur 28 hari)

Φ Mutu besi f_s yang dipakai adalah 400 Mpa

- Pengecekan tebal minimum balok Induk Pracetak 1 (40/60)



Asumsi tulangan lentur balok melintang 1 lapangan

D22 - 4, $A_s = 1520.53 \text{ mm}^2$

$T = C$

$A_s * f_s = f_c * 0.85 * b * a$

$1520.53 * 400 = 25 * 0.85 * 400 * a$

$a = 71.55 \text{ mm}$

Kapasitas momen lapangan nominal (M_n)

$M_n = T * (d - \frac{a}{3})$

$M_u = M_n$

$19174000 = 785000 * (d - \frac{71.55}{3})$

$d = 55.21 \text{ mm}$

tebal efektif minimal penampang balok anak pracetak, $d_{min} = 55.21 \text{ mm}$

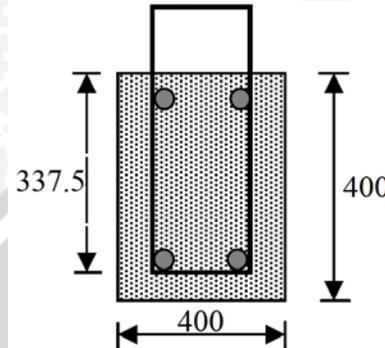
Tebal penampang balok induk pracetak,

$$h_{biy1}' = h_{biy1} - h_{ba} = 600 - (120 + 80) = 400 \text{ mm}$$

cek tebal efektif : (tebal balok pracetak – tebal selimut – sengkang – ½ jari2 tul.)

$$d = 400 - 40 - 10 - \frac{1}{2} * 25 = 337.5 \text{ mm} > d_{min} (55.21 \text{ mm}) \dots\dots \text{Ok !!!}$$

- Analisa balok Induk Pracetak 1 (40/40) saat pemasangan



Asumsi luasan tulangan lentur balok induk

$$Biy1, D22 - 4 = 1520.53 \text{ mm}^2$$

$$d = 337.5 \text{ mm}$$

Kapasitas momen penampang (M_n)

$$M_n = T * (d - \frac{y}{3})$$

$$M_n = (1520.53 * 400) * (337.5 - \frac{71.55}{3})$$

$$M_n = 199765693.4 \text{ Nmm}$$

$$\text{Syarat : } M_u < M_n \rightarrow 19174000 < 199765693.4 \text{ Nmm} \dots\dots \text{Ok !!}$$

- Analisa tegangan penampang

Balok sebelum aksi komposit terjadi :

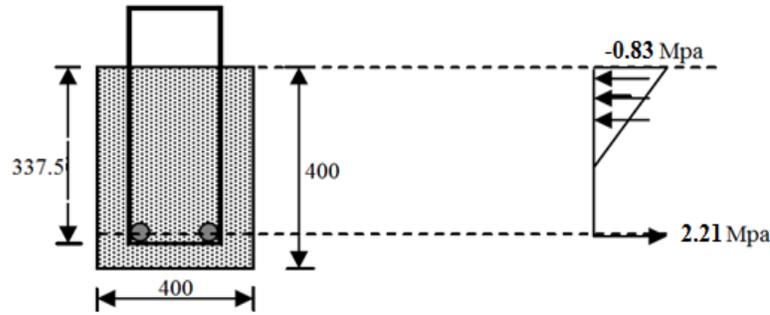
Beban yang bekerja

$$M_u = 19174000 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_c = - \frac{19174000 * 71.55}{\frac{1}{12} * 400 * 400^3} = -0.83 < f_c \dots\dots \text{aman thd tekan}$$

$$\sigma_s = \frac{19174000 * (337.5 - 71.55)}{\frac{1}{12} * 400 * 400^3} = 2.21 < f_s \dots\dots \text{aman thd tarik}$$



➤ Balok setelah aksi komposit terjadi :

$$M_{lap} = 19174000 \text{ Nmm}$$

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

- Menghitung nilai y

$$\text{Dimana, } b = 400, A_s = 1520.53 \text{ mm}^2, d = 337.5 + 200 = 537.5 \text{ mm}$$

$$T = A_s * f_y$$

$$C_c = 0.85 * f'_c * b * a$$

Sehingga persamaan menjadi :

$$A_s * f_y = 0.85 * f'_c * b * a$$

$$1520.53 * 400 = 0.85 * 25 * \frac{1}{2} * 400 * a$$

$$y = \frac{1520.53 * 400}{0.85 * 25 * 200} = 143.09 \text{ mm}$$

$y = 143.09 \text{ mm} < 200 \text{ mm} \rightarrow$ tidak ada superposisi pada bidang pertemuan balok pracetak dan topping.

$$\sigma = \pm \frac{M_u * y}{I_{composit}}$$

$$\sigma_c = - \frac{19174000 * 143.09}{7200000000} = -1 < f_c \dots \dots \dots \text{aman thd tekan}$$

$$\sigma_s = \frac{19174000 * (337.5 - 143.03)}{\frac{1}{12} * 400 * 400^3} = 3.15 < f_s \dots \dots \dots \text{aman thd tarik}$$

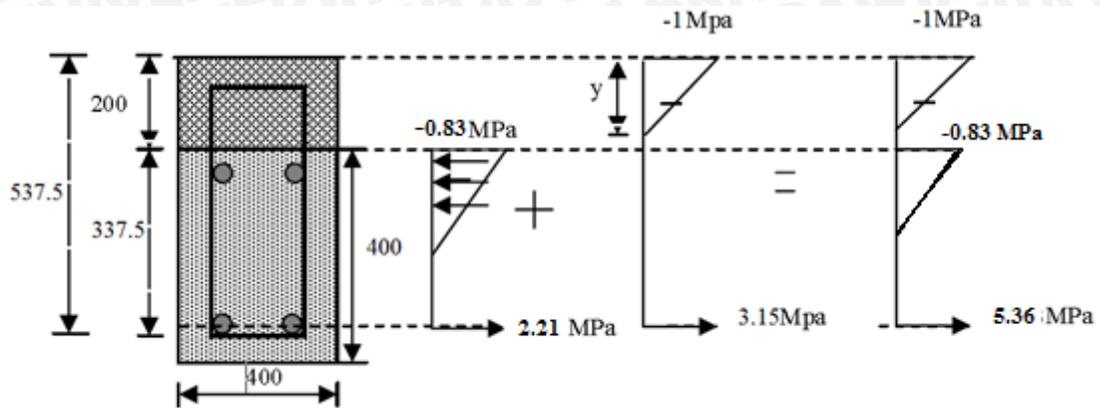
- resultan tegangan :

$$f'_c = -1 \text{ Mpa (tekan)} < \text{fijin} \dots \dots \dots \text{ok}$$

$$f_A = -0.83 \text{ Mpa (tekan)} < \text{fijin} \dots \dots \dots \text{ok}$$

$$f'_s = 2.21 + 3.15 = 5.36 \text{ Mpa (tarik)} < f_s \dots \dots \dots \text{ok}$$

- diagram tegangan saat terjadi aksi komposit :



- Menghitung tegangan pada penampang komposit (tumpuan)

Momen negatif pada ujung tumpuan balok :

Mutump = 418.13 kNm = 41813000 Nmm

■ Menghitung nilai y

Dimana, $b = 400$, $A_s = 2660.93 \text{ mm}^2$, $d = 337.5 + 200 = 537.5 \text{ mm}$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$C_c = 0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a$$

Sehingga persamaan menjadi :

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

$$2660.93 \cdot 400 = 0.85 \cdot 25 \cdot \frac{1}{2} \cdot 400 \cdot a$$

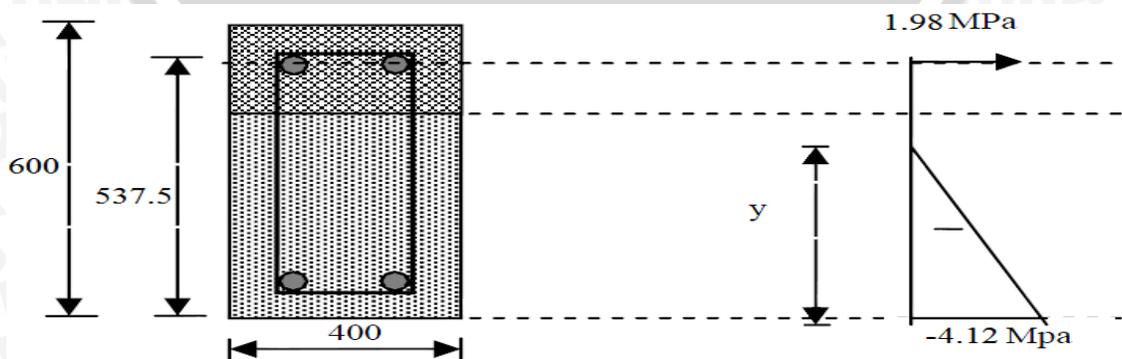
$$y = \frac{1520.53 \cdot 400}{0.85 \cdot 25 \cdot 200} = 125.22 \text{ mm}$$

$$\sigma = \pm \frac{M_u \cdot y}{I_{\text{composit}}}$$

$$\sigma_c = - \frac{41813000 \cdot 125.22}{7200000000} = -1.98 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_s = \frac{41813000 \cdot (537.5 - 125.22)}{\frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 400^3} = 4.12 \text{ Mpa}$$

- Diagram tegangan saat terjadi aksi komposit pada tumpuan :



- Perhitungan tulangan tumpuan (negatif)

$$f'c = 25 \text{ Mpa}$$

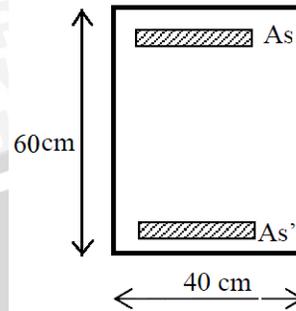
$$fy = 400 \text{ Mpa}$$

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

$$h = 60 \text{ cm}$$

$$\text{selimut beton} = 4 \text{ cm}$$

$$\text{diameter sengkang} = 8 \text{ mm}$$



$$\delta_{\max} = \frac{(0.85 \cdot f'c \cdot B1)}{fy} * \frac{600}{600 + fy} = 0.03$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{fy} = 0.0035$$

- Tulangan atas (tarik)

$$\text{Tul As terpasang } 7 - D22 \text{ (} 2660.93 \text{)}$$

$$\text{Jumlah baris tualngan As terpasang} = 2$$

$$\text{Jarak antar baris tualngan} = 2.5 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak antar tualngan antar baris min} = 2.5 \text{ cm}$$

$$d = 53.75 \text{ cm}$$

- Tulangan bawah (tekan)

$$\text{Tul As' terpasang } 4 - D25 \text{ (} 1520.53 \text{)}$$

$$\text{Jumlah baris tualngan As terpasang} = 1$$

$$\text{Jarak antar baris tualngan} = 2.5 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak antar tualngan antar baris min} = 2.5 \text{ cm}$$

$$d' = 6.25 \text{ cm}$$

$$\text{ratio As' / As} = 0.5$$

$$\rho = \frac{\text{As terpasang}}{b * d} = \frac{26.6093}{40 * 53.75} = 0.01$$

$$\rho' = \frac{\text{Asterpasang}}{b * d} = \frac{15.2053}{40 * 53.75} = 0.007$$

$$\rho > \rho_{\min} \text{ , penampang cukup}$$

$$\rho - \rho' = 0.02$$

$$\rho - \rho' < \frac{(0.85 \cdot f'c \cdot B1)}{f_y} * \frac{600}{600 + f_y} = 0.03$$

dan $\rho \leq \rho_{max}$ maka,

$$F = \frac{\rho \cdot f_y}{0.85 \cdot f'c} = 0.19$$

$$K = F * (1 - F/2) = 0.017$$

$$M_n = K * b * d^2 * 0.85 * f'c$$

$$= 0.17 * 40 * 53.75^2 * 0.85 * 250 = 10883362 \text{ kgcm}$$

$$M_k = 0.8 * 10883362 = 8706689.59 \text{ kgcm}$$

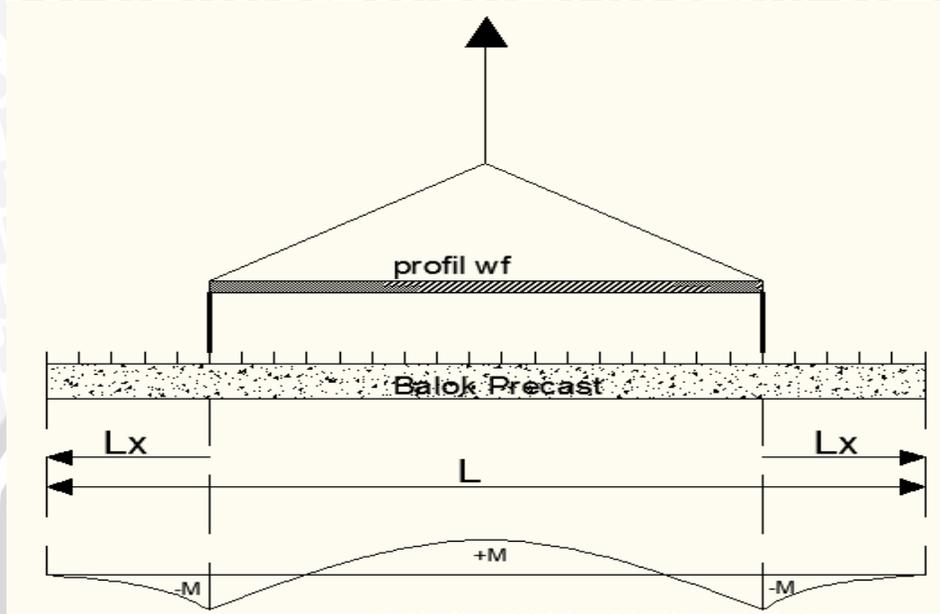
$M_k \text{ penampang} > M_u \text{ hasil analisis struktur (4263739.4 kg.cm)} \dots \text{Ok}$

• jadi berdasarkan analisa penampang balok induk Biy1 saat pemasangan, didapatkan spesifikasi sebagai berikut :

- Dimensi : Bi pracetak, $b_{Biy1} = 400 \text{ mm}$, $h_{Biy1}(T8) = 337.5 \text{ mm}$
Bi total, $b_{Biy1} = 400 \text{ mm}$, $h_{Biy1} = 600 \text{ mm}$
- Tulangan lentur lapangan min D22-4, $A_s \text{ minimal} = 1520.53 \text{ mm}^2$
- Tulangan lentur tumpuan (tulangan Double) :
 $A_s = D22 - 7 = 2660.93 \text{ mm}^2$
 $A_s' = D22 - 4 = 1520.53 \text{ mm}^2$

4.3. Analisa Balok Pracetak Saat Pengangkatan B1x1 dan BIy1

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



Gambar 4.21 Model struktur balok pracetak saat pengangkatan dari PCI Design Handbook

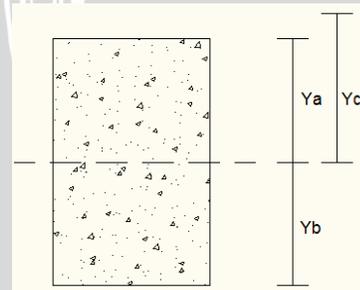
4.3.1 Analisa Balok Pracetak Saat Pengangkatan B1x1 (T10) dan BIy1 (T5) Dimensi (40/40)

$$L = 5.4 \text{ m}$$

Dimana :

$$+ M = \frac{WL^2}{8} * \left(I - 4X + \frac{4Yc}{L*tg\phi} \right)$$

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



$$X = \left(I + \frac{4Yc}{L*tg\phi} \right) / \left(2 * \left(I + \sqrt{I + \frac{Ya}{Yb} \left(I + \frac{4Yc}{L*tg\phi} \right)} \right) \right)$$

Balok induk 40/40 dengan bentang 5.4m

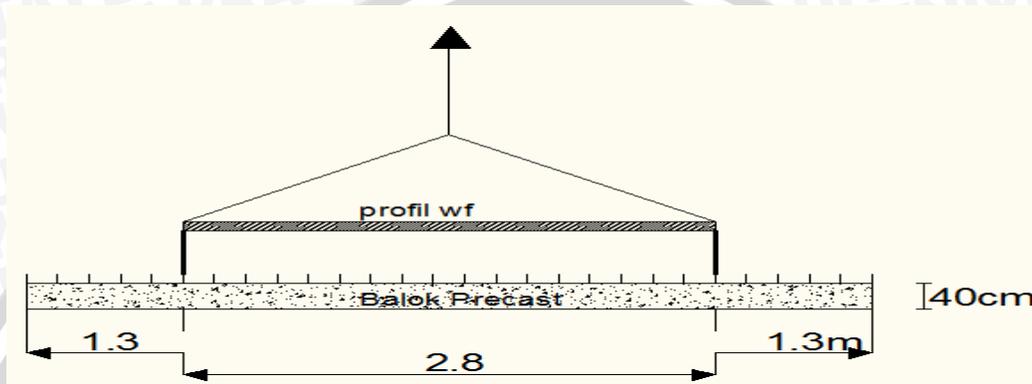
$$Yt = Yb = 40/2 = 20$$

$$I = \frac{1}{12} * 40 * 40^3 = 213333.33 \text{ cm}^4$$

$$Y_c = Y_a + 8 = 28$$

$$X = \frac{1 + \frac{4*28}{540 * \sin 45^\circ}}{2 * (1 + \sqrt{1 + \frac{20}{20} * (1 + \frac{4*28}{540 \text{ tg} 5^\circ})})} = 0.24$$

$$X * L = 0.24 * 5.4 = 1.3 \text{ cm}$$



Gambar 4.22 Jarak tulangan angkat

Paanjang tekuk = 214.4 cm

Mutu profil BJ 37 fy 2400 kg/m

Profil WF 100 x 100 x 6 x 8

$$A = 21.9 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 4.18 \text{ cm}$$

$$I_y = 2.47 \text{ cm}$$

$$w = 17.2 \text{ kg/m}$$

Pembebanan

$$\text{Balok} = 0.4 * 0.4 * 5.4 * 2400 = 2073.6 \text{ kg}$$

$$\text{Balok Profil} = 20 * 5.4 = 108 \text{ kg} \quad +$$

$$\text{Wt} = 2181.6 \text{ kg}$$

$$T \sin \Theta = P = \frac{1.2 * K * Wt}{2} = \frac{1.2 * 2 * 2181.6}{2} = 1570.75 \text{ kg}$$

Dimana k adalah factor kejut = 1.2

$$T = \frac{1570.75}{\sin 45} = 2221.38$$

Tulangan Angkat Balok Melintang

$$P_u = 2221.38$$

$$F_y / 1.5$$

$$\sigma_{tarik\ ijin} = 4000/1.5 = 2666.67\ \text{kg/m}^2$$

$$\phi_{tulangan\ angkat} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\delta i_{jin} * \pi}}$$

$$\phi_{tulangan\ angkat} \geq 0.52$$

Digunakan Tulangan $\phi 13$

Momen yang terjadi

Pembebanan :

- Balok = $0.4 * 0.4 * 2400 = 384\ \text{kg/m}$
- Balok Profil = $17.2 = 17.2\ \text{kg/m} +$
 $\frac{W}{= 401.2\ \text{kg/m}}$

Untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan factor akibat pengangkatan sebesar 1.2 :

- Momen lapangan yang terjadi

$$+M = \frac{WL^2}{8} * (1 - 4X + \frac{4*Yc}{L*tg\phi}) * 1.2$$

$$= \frac{401.2 * 5.4^2}{8} * (1 - 4 * 0.24 + \frac{4 * 0.2}{5.4 * tg\ 45}) * 1.2$$

$$= 434.16\ \text{kgm}$$

Tegangan yang terjadi

$$F = \frac{M}{Wt} = \frac{4341600}{\frac{1}{6} * 40 * 40^2} = 0.41\ \text{Mpa}$$

$$F_r = 0.7 * \sqrt{f'c} = 3.5$$

0.41 Mpa < 3.5 Mpa.....Ok

- > Momen tumpuan yang terjadi

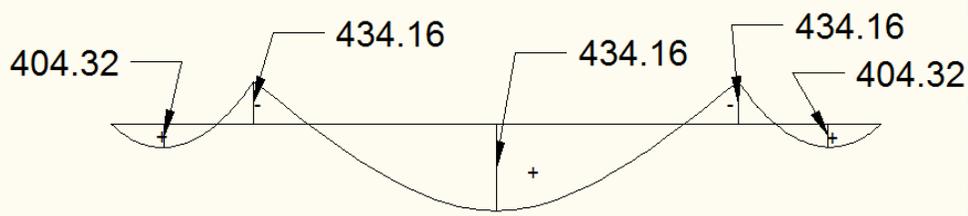
$$-M = \frac{W * X^2 * L^2}{2} * 1.2$$

$$-M = \frac{401.2 * 5.4^2 * 0.24^2}{2} * 1.2 = 404.32\ \text{kg.m}$$

Tegangan yang terjadi

$$F = \frac{M}{Wt} = \frac{3301700}{\frac{1}{6} * 40 * 40^2} = 0.38\ \text{Mpa}$$

0.38 Mpa < 3.5 Mpa.....Ok



Gambar 4.23 Jarak tulangan angkat

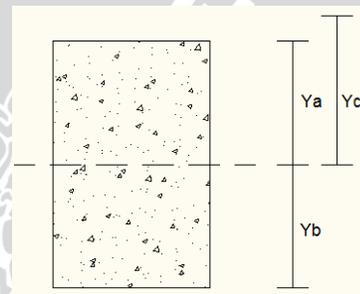
4.3.2 Analisa Balok Pracetak Saat Pengangkatan B1x2 (40/40) L = 4.2 m

Dimana :

$$+ M = \frac{WL^2}{8} * (1 - 4X + \frac{4Yc}{L*tg\phi})$$

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

$$X = (1 + \frac{4Yc}{L*tg\phi}) / (2 * (1 + \sqrt{1 + \frac{Ya}{Yb} * (1 + \frac{4Yc}{L*tg\phi})}))$$



Balok induk 40/40 dengan bentang 5.4m

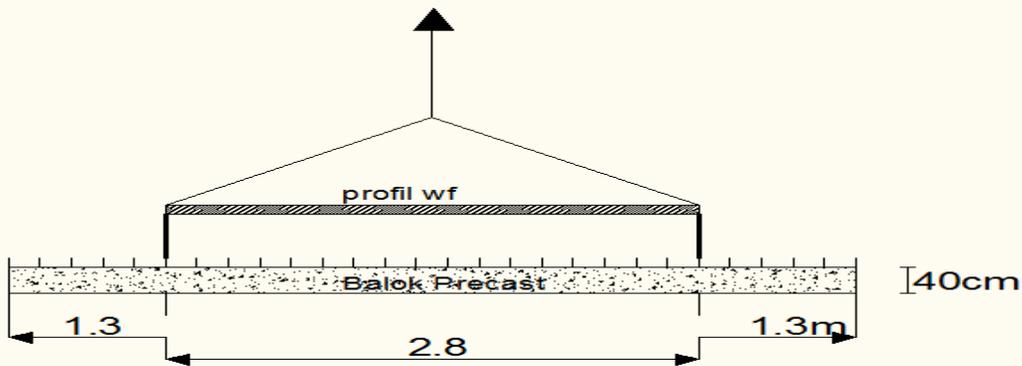
$$Yt = Yb = 40/2 = 20$$

$$I = \frac{1}{12} * 40 * 40^3 = 213333.33 \text{ cm}^4$$

$$Yc = Ya + 8 = 28$$

$$X = \frac{1 + \frac{4*28}{540 * \sin 45^\circ}}{2 * (1 + \sqrt{1 + \frac{20}{20} * (1 + \frac{4*28}{540 * \sin 45^\circ})})} = 0.24$$

$$X * L = 0.24 * 5.4 = 1.3 \text{ cm}$$



Gambar 4.24 Jarak tulangan angkat

Paanjang tekuk = 214.4 cm

Mutu profil BJ 37 fy 2400 kg/m

Profil WF 100 x 100 x 6 x 8

$A = 21.9 \text{ cm}^2$

$I_x = 4.18 \text{ cm}$

$I_y = 2.47 \text{ cm}$

$w = 17.2 \text{ kg/m}$

Pembebanan

Balok = $0.4 * 0.4 * 5.4 * 2400 = 2073.6 \text{ kg}$

Balok Profil = $20 * 5.4 = 108 \text{ kg}$ +

$Wt = 2181.6 \text{ kg}$

$$T \sin \Theta = P = \frac{1.2 * k * Wt}{2} = \frac{1.2 * 1.2 * 2181.6}{2} = 1570.75 \text{ kg}$$

Dimana k adalah factor kejut = 1.2

$$T = \frac{1570.75}{\sin 45} = 2221.38$$

Tulangan Angkat Balok Melintang

$P_u = 2221.38$

$F_y / 1.5$

tarik ijin = $4000 / 1.5 = 2666.67 \text{ kg/m}^2$

$$\phi \text{tulangan angkat} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\delta i \text{jin} * \pi}}$$

$\phi \text{tulangan angkat} \geq 0.52$

Digunakan Tulangan $\phi 13$

Momen yang terjadi

Pembebanan :

- Balok = $0.4 * 0.4 * 2400 = 384 \text{ kg/m}$
 - Balok Profil = $17.2 = 17.2 \text{ kg/m} +$
-
- $W = 401.2 \text{ kg/m}$

Untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan factor akibat pengangkatan sebesar 1.2 :

➤ Momen lapangan yang terjadi

$$+M = \frac{W * L^2}{8} * \left(1 - 4X + \frac{4 * Yc}{L * tg \theta} \right) * 1.2$$

$$= \frac{401.2 * 5.4^2}{8} * \left(1 - 4 * 0.24 + \frac{4 * 0.2}{5.4 * tg 45} \right) * 1.2$$

$$= 434.16 \text{ kgm}$$

Tegangan yang terjadi

$$F = \frac{M}{Wt} = \frac{4341600}{\frac{1}{6} * 40 * 40^2} = 0.41 \text{ Mpa}$$

$$Fr = 0.7 * \sqrt{f'c} = 3.5$$

0.41 Mpa < 3.5 Mpa.....Ok

> Momen tumpuan yang terjadi

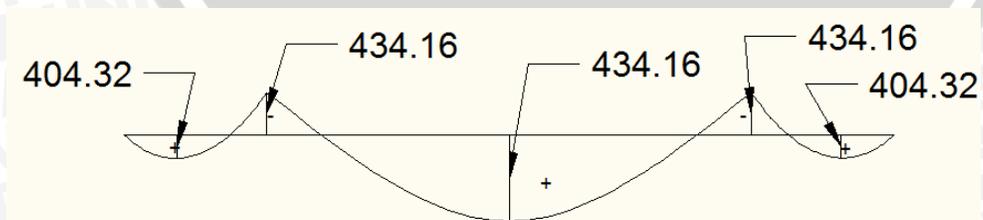
$$-M = \frac{WX^2 * L^2}{2} * 1.2$$

$$-M = \frac{401.2 * 5.4^2 * 0.24^2}{2} * 1.2 = 404.32 \text{ kg.m}$$

Tegangan yang terjadi

$$F = \frac{M}{Wt} = \frac{3301700}{\frac{1}{6} * 40 * 40^2} = 0.38 \text{ Mpa}$$

0.38 Mpa < 3.5 Mpa.....Ok



Gambar 4.25. Jarak tulangan angkat

4.4. PERENCANAAN SAMBUNGAN ELEMEN PRACETAK

Sambungan elemen pracetak meliputi sambungan pelat pracetak dengan balok balok pracetak, dan sambungan balok pracetak dengan kolom.

4.4.1. Pendetailan Sambungan

Sesuai dengan ketentuan SNI 03 – 2847 – 2002 Bab 15.3(8(5)):

- Tulangan pelat yang menerus pada tumpuan balok, harus disambung dengan sambungan lewatan 1,0ld.
- Tulangan dalam kondisi tekan (bawah) yang menerus pada tumpuan, disambung diatas tumpuan balok.
- Tulangan dalam kondisi tarik (atas) yang menerus pada tumpuan, disambung pada tengah bentang pelat.
- Tulangan dalam kondisi tarik (atas) yang berhenti pada balok tepi harus memakai kait standar dengan panjang ldh.

Contoh perhitungan pelat 2700/2700 menerus pada balok dengan diameter tulangan Φ 8.

- menentukan ld (tulangan dalam kondisi tarik)

$$Ld = \frac{12 * f_y * \alpha * \beta * \gamma * \lambda}{25 * \sqrt{f'c}} * d_b$$

dimana :

ld = panjang penyaluran (mm)

f_y = tegangan leleh baja (400 MPa)

f'c = kuat tekan beton (30 MPa)

α = faktor lokasi penulangan = 1.0

β = faktor pelapis = 1.0

γ = faktor ukuran batang tulangan = 0.8

λ = faktor berat beton = 1.0

d_b = diameter tulangan = 8 mm

$$Ld = \frac{12 * 400 * 1 * 1 * 0.8 * 1 * 8}{25 * \sqrt{30}}$$

$$Ld = \frac{30720}{125} = 245.76 \text{ mm}$$

Syarat : Ld ≥ 300 mm

Jadi panjang penyaluran tulangan tarik untuk sambungan lewatan pelat lantai pracetak adalah $l_d = 300$ mm

- menentukan L_d (tulangan dalam kondisi tekan)

$$L_{db} = \frac{db \cdot f_y}{4 \cdot \sqrt{f'_c}}$$

$$L_{db} = \frac{8 \cdot 400}{4 \cdot \sqrt{25}} = 160 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat : } L_{db} \geq 200 \text{ mm}$$

Jadi, panjang penyaluran tulangan tekan (bawah) untuk sambungan lewatan pelat pracetak adalah $l_{db} = 200$ mm.

- menentukan l_{dh} (tulangan berkait dalam kondisi tarik)

$$L_{dh} = (100 \cdot db) / \sqrt{f'_c}$$

$$L_{dh} = (100 \cdot 8) / \sqrt{25} = 160 \text{ mm}$$

- l_{dh} harus dikalikan faktor-faktor sebagai berikut

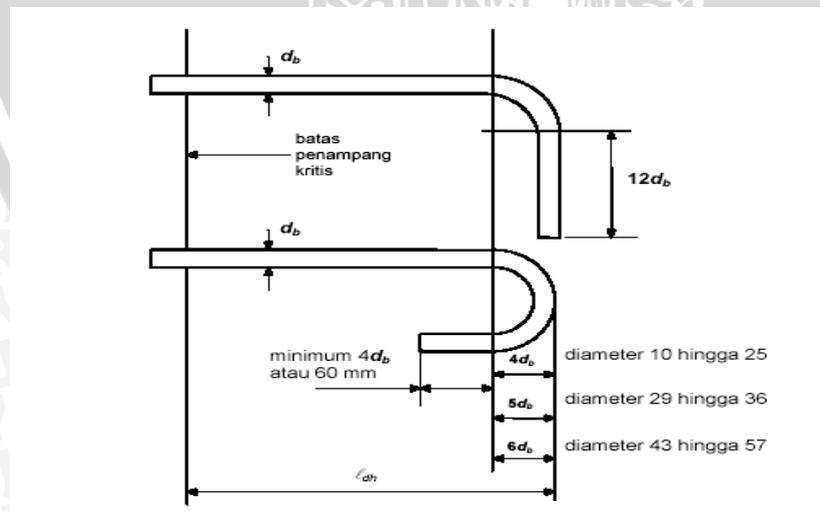
- selimut beton = 0.7

- sengkang atau sengkang ikat = 0.8

$$L_{dh} = 160 \cdot 0.7 \cdot 0.8 = 89.60 \text{ mm}$$

Syarat : $L_{dh} \geq 150$ mm

Jadi, panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik untuk ujung tidak menerus adalah $l_{dh} = 150$ mm

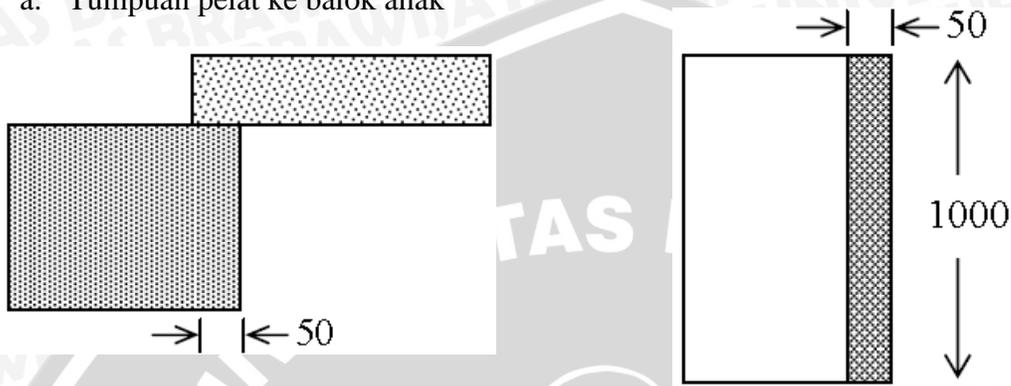


Gambar 4.26 Penyaluran tulangan pada ujung tidak menerus

4.4.2. Perencanaan Tumpuan

Perencanaan tumpuan didasarkan pada analisa kekuatan tekan beton dalam menahan beban tumpuan dan analisa tegangan material beton dalam menahan tegangan geser yang terjadi pada tumpuan

a. Tumpuan pelat ke balok anak



- Luasan tumpuan (per meter panjang tumpuan pada balok)

$$A1 = 1000 * 50 = 50000 \text{ mm}^2$$

- Kekuatan nominal tumpuan (per meter panjang)

$$Bn = 0.85 * f'c * A1$$

$$Bn = 0.85 * 25 * 50000 = 1062500 \text{ N}$$

- Beban tumpuan terfaktor (per meter panjang)

$$Vu = 2.4 * 0.12 * 0.5 * 2.7 = 0.39 \text{ ton/m}$$

$$Bu = Vu = 0.39 \text{ ton} = 3900 \text{ N} < Bn \dots \dots \dots \text{Ok}$$

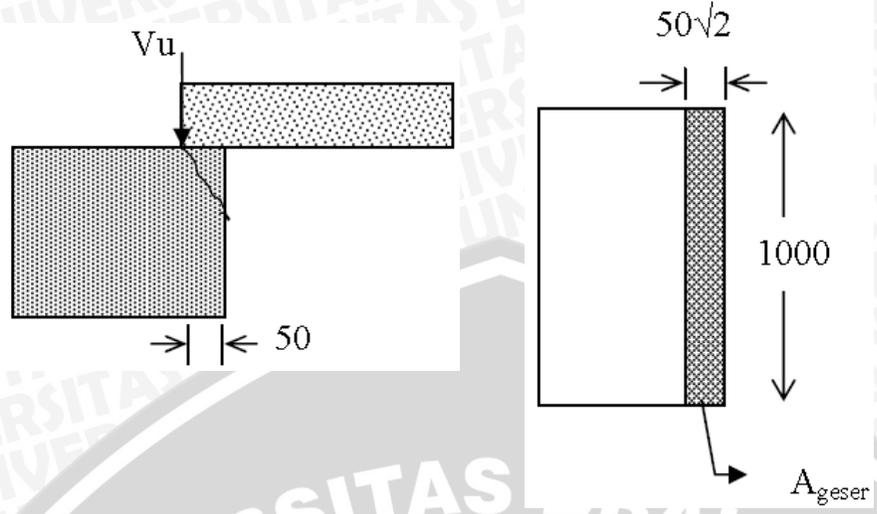
- Cek Tegangan tumpu.

$$\text{Syarat } \sigma_c < 0.3 f'c = 0.3 * 25 = 7.5 \text{ Mpa}$$

Tegangan tumpu

$$\sigma = Bu / A1 = 3900 / 50000 = 0.08 < \sigma_c$$

- Cek Tegangan geser pada tumpuan



Tegangan geser ijin pons beton tanpa tulangan

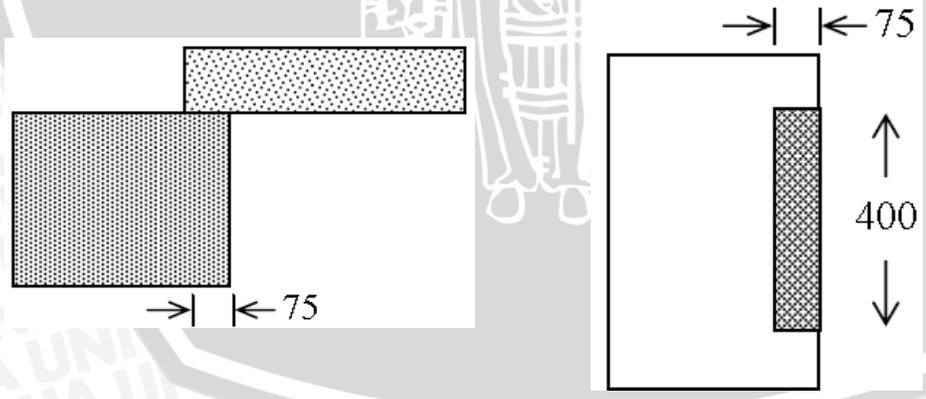
$$\tau_p = 0.65 \sqrt{f'_c}$$

$$\tau_p = 0.65 \sqrt{25} = 3.25 \text{ Mpa}$$

Tegangan geser pada tumpuan :

$$V = Vu/A_{geser} = 3900 / (1000 * 50 \sqrt{2}) = 0.06 \text{ Mpa} < \tau_p \dots \dots \dots \text{Ok}$$

b. Tumpuan balok induk x1 ke kolom



- Luasan tumpuan (per meter panjang tumpuan pada balok)

$$A_1 = 400 * 75 = 30000 \text{ mm}^2$$

- Kekuatan nominal tumpuan

$$B_n = 0.85 * f'_c * A_1$$

$$B_n = 0.85 * 25 * 30000 = 637500 \text{ N}$$

- Beban tumpuan

$$V_u = 2.4 * 0.4 * 0.6 * 0.5 * 5.4 + 2 * V_{\text{ubalok anak}}$$

$$= 1.56 + 2 * 4.2 = 9.96 \text{ ton/m}$$

$$B_u = V_u = 9.96 \text{ ton} = 99600 \text{ N} < B_n \dots \dots \dots \text{Ok}$$

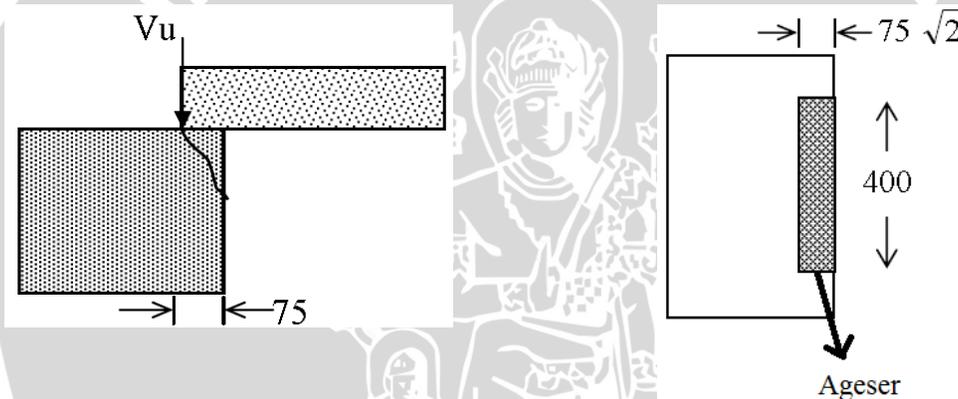
- Cek Tegangan tumpu.

$$\text{Syarat } \sigma_c < 0.3 f'_c = 0.3 * 25 = 7.5 \text{ Mpa}$$

Tegangan tumpu

$$\sigma = B_u / A_1 = 99600 / 30000 = 3.32 < \sigma_c \dots \dots \dots \text{Ok}$$

- Cek Tegangan geser pada tumpuan



Tegangan geser ijin beton tanpa tulangan

$$\tau_p = 0.65 \sqrt{f'_c}$$

$$\tau_p = 0.65 \sqrt{25} = 3.25 \text{ Mpa}$$

Tegangan geser pada tumpuan :

$$V = V_u / \text{Ageser} = 99600 / (400 * 75 \sqrt{2}) = 2.35 \text{ Mpa} < \tau_p \dots \dots \dots \text{Ok}$$

4.5. Analisa Hubungan Balok-Kolom Pracetak

4.5.1 Analisa Hubungan Balok-Kolom Pracetak

Hubungan balok kolom menganalisa balok-kolom pada punggir struktur dan pada tengah struktur

Untuk hubungan balok-kolom tengah

- Jumlah tulangan yang mengalami tekan (-)

$$8-D22 = 3041.06 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{Ag * 1.25 * fy}{0.85 * fc * b} = \frac{3041.06 * 1.25 * 400}{0.85 * 25 * 800} = 93.40 \text{ mm}$$

$$Mn^- = As * fy * (d - a/2) \\ = 3041.06 * 400 * (400 - 116.5/2) = 541483737 \text{ Nmm} = 541.4 \text{ KNm}$$

- Jumlah tulangan yang mengalami tarik (+)

$$16-D22 = 6082.12 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{As * 1.25 * fy}{0.85 * fc * b} = \frac{6082.12 * 1.25 * 400}{0.85 * 25 * 1000} = 116.50 \text{ mm}$$

$$Mn^+ = As * fy * (d - a/2) \\ = 6082.12 * 400 * (400 - 93.20/2) = 1323286510 \text{ Nmm} = 1323.8 \text{ KNm}$$

$$Mu = \frac{Mprnegatif + Mpr positif}{2} = \frac{541.4 + 1323.8}{2} = 932.6 \text{ kN}$$

$$Mu < Mn \text{ max } (1323.8 \text{ KNm})$$

$$Vh = \frac{2 * Mu}{(3.53)/2} = 1053.79 \text{ kN}$$

$$\text{Panjang bersih kolom } (4 - 0.47 = 3.53)$$

$$T1 (6-D25) = As1 * 1.25 * fy = 3961.11 * 1.25 * 400 = 1980.5 \text{ kN}$$

$$T2 (6-D25) = As1 * 1.25 * fy = 3961.11 * 1.25 * 400 = 1980.5 \text{ kN}$$

Gaya geser yang terjadi

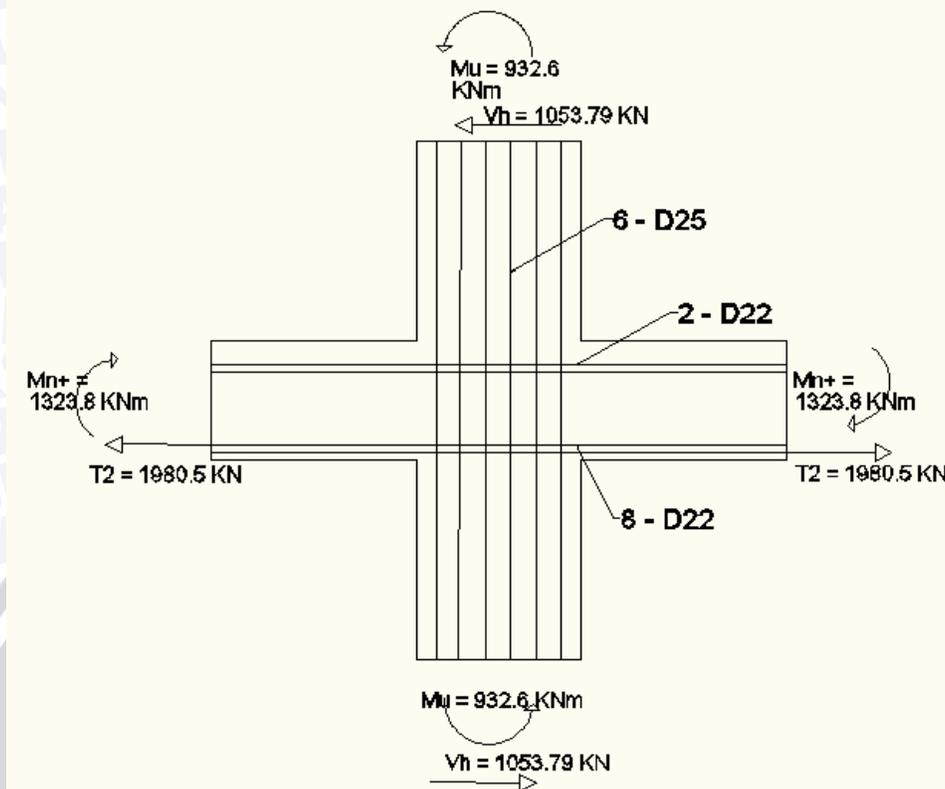
$$V = 1980.5 + 1980.5 - 2664.57 = 1296.43 \text{ Kn}$$

Untuk HBK yang terkekang pada keempat sisinya berlaku kuat geser nominal

$$\phi Vc = 0.75 * 1.7 * Aj * \sqrt{f'c} = 0.75 * 1.7 * (800 * 1000) * \sqrt{25} = 5100 \text{ KN}$$

$$\text{jadi } \phi Vc (5355.05) > V (1296.43) \dots\dots\dots \text{Ok}$$

Sambungan Aman



Gambar 4.27 Gaya-gaya dalam pada hubungan balok-kolom interior

Untuk hubungan balok-kolom pinggir

- Jumlah tulangan yang mengalami tekan (-)

$$4\text{-D22} = 1520.53 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_g * 1.25 * f_y}{0.85 * f'_c * b} = \frac{1520.53 * 1.25 * 400}{0.85 * 25 * 800} = 85.63 \text{ mm}$$

$$Mn^- = A_s * f_y (d - a/2) \\ = 1520.53 * 400 * (400 - 85.63/2) = 541483737 \text{ Nmm} = 541.48 \text{ KNm}$$

$$Mu = \frac{M_{prnegatif}}{2} = \frac{541.4}{2} = 270.7 \text{ kN}$$

$$Mu < Mn (541.4 \text{ KNm})$$

$$V_h = \frac{2 * Mu}{(5.4 - 4)/2} = 142.83 \text{ kN}$$

Panjang bersih kolom

$$T1 (6\text{-D25}) = A_{s1} * 1.25 * f_y = 3961.1 * 1.25 * 400 = 1980.5 \text{ kN}$$

Gaya geser yang terjadi

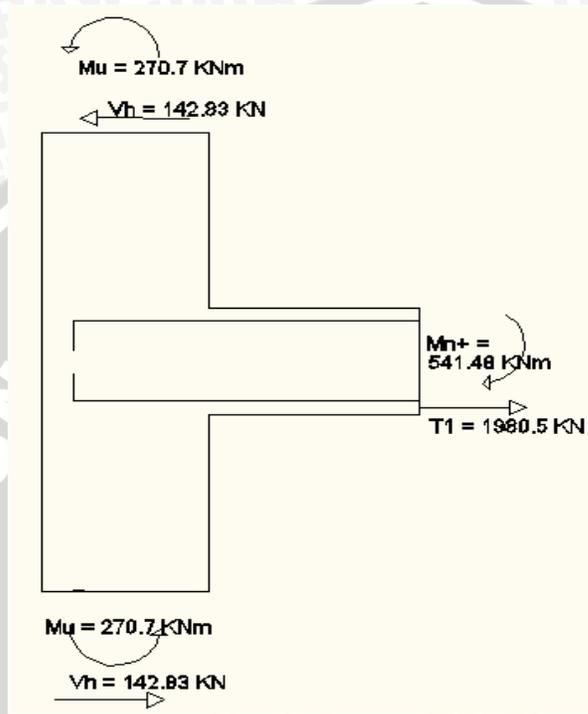
$$V = 1980.5 - 773.43 = 1207.7 \text{ Kn}$$

Untuk HBK yang terkekang pada keempat sisinya berlaku kuat geser nominal

$$\phi V_c = 0.75 * 1.25 * A_j * \sqrt{f'_c} = 0.75 * 1.25 * (800 * 1000) * \sqrt{25} = 5100 \text{ KN}$$

jadi $\phi V_c (5100) > V (1207.7) \dots\dots\dots \text{Ok}$

Sambungan Aman



Gambar 4.27 Gaya-gaya dalam pada hubungan balok-kolom exterior

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dalam analisis perencanaan gedung dekanat Universitas Brawijaya ini dilakukan secara manual dengan program bantu STAAD PRO didapatkan tulangan pada balok-kolom sebesar D22, dengan hasil sebagai berikut :

1. Hasil dari analisa balok-kolom pracetak sebelum komposit dengan beban yang dipikul oleh balok adalah beban sendiri balok saat pengangkatan menunjukkan bahwa, balok induk pracetak yang berukuran 40/40cm dengan tulangan lentur yang mengalami tarik sebesar 16-D22 dan tulangan tambahan pada daerah tekan tulangan transfersal sebesar 2-D22, sengkang dengan diameter 10mm menghasilkan momen nominal 8840531.25 Kgcm dan momen ultimate yang terjadi sebesar 86263000 Kgcm. Sehingga perhitungan dapat dikatakan aman.
2. Hasil dari analisis hubungan balok kolom setelah terjadi komposit dengan beban yang bekerja di atasnya seperti beban hidup, plat dan atap, baik di tengah dan dipinggir struktur, aman terhadap lentur dan geser. Hal ini dibuktikan dengan analisis kapasitas momen pada daerah tengah menghasilkan momen nominal sebesar 1323,9 KNm lebih besar dari momen ultimate yang terjadi sebesar 932,6 KN dan pada daerah pinggir menghasilkan momen nominal sebesar 541,4 KNm dan momen ultimatnya sebesar 270,7 KN. Sehingga perhitungan dapat dikatakan aman.

5.2 Saran

1. Perlunya pengembangan teknologi dan pengembangan SDM untuk meningkatkan kualitas dan mutu beton precast di Indonesia ini.
2. Pemerintah harus membuat SNI pracetak lebih detail lagi sebagai standarisasi yang ada, sehingga didalam lapangan semua pihak mengerti dan bisa melaksanakan sesuai dengan prosedur yang ada.
3. Seiring dengan perkembangan pembangunan yang semakin meningkat alangkah baiknya apabila bangunan di Indonesia ini menggunakan Pracetak agar lebih efisien didalam pembangunan, baik dari segi kebersihan dan kecepatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. 2009. *Standar Nasional Indonesia 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (Beta Version)*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. *SNI 7833 2012 Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Budianto. 2010. *Perilaku dan Perancangan Sambungan Balok Kolom Beton Pracetak untuk Rumah Sederhana Cepat Bangun Tahan Gempa dengan Sistem Rangka Berdinding Pengisi (Infilled-Frame)*. Tesis tidak dipublikasikan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Building Code Requirements For Structural Concrete And Commentary (ACI 318m-05). 2005. *Structural Building Code*. American Concrete Institut.
- Ervianto, Wulfram I. 2006: *Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi: Beton Pracetak & Bekisting*. Yogyakarta: Andi Offset.
- G. Toscas, James. *Designing with Precast and Prestressed Concrete*
- Indrayana, Adimas Bagus. 2013. *Analisis Desain Sambungan Balok – Kolom Sistem Pracetak untuk Ruko Tiga Lantai*. Skripsi tidak dipublikasikan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Pamungkas, Anugrah & Erny Harianti. 2009. *Gedung Bertulang Tahan Gempa*. Surabaya: itspress.
- PCI Design Handbook. 2010. *Precast and Prestressed Concrete 7th edition*. USA: Precast/Prestressed Institut.
- Poegoeh, Charles Arista. 2010. *Studi Analisis Sambungan Balok-Kolom Beton Pracetak Dengan Program Bantu Lusas (London University Stress Analysis System)*. Tesis tidak dipublikasikan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- PCI Connection Manual. *Precast and Prestressed Concrete construction*. First edition