

Studi Analisis Sambungan Balok-Kolom Dengan Sistem Pracetak Pada Gedung Dekanat
Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang

Arga Wiranata, Ristinah S, M. Taufik Hidayat
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail: gitarahmadhan053@gmail.com

ABSTRAK

Pembangunan tiada henti-hentinya untuk terus dikembangkan. Akan tetapi dengan Banyaknya gedung – gedung yang dibangun membuat lahan yang tersedia semakin lama semakin sempit. Oleh karena itu, banyak daerah yang mulai membangun gedung–gedung bertingkat untuk mengatasi kekurangan lahan yang semakin sempit. Pembangunan gedung bertingkat saat ini sebagian besar masih tetap menggunakan metode beton bertulang konvensional dengan menggunakan bekisting yang dicor di tempat yang akan menelan biaya lebih mahal karena membutuhkan banyak sekali bekisting. Akan tetapi sekarang ada terobosan baru untuk mengurangi penggunaan bekisting yang banyak, yaitu dengan menggunakan metode pracetak yang dibuat di pabrik atau di lokasi proyek kemudian dirakit. Konsep pembangunan mengacu ke dalam SNI 03-2847-2002 dan SNI 03-1726-2002 sehingga acuan kedua peraturan tersebut akan didapatkan struktur yang tahan gempa, efektif, dan efisien. Dalam studi ini merupakan analisis gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dengan zona gempa 4 yang di rencanakan kembali dengan menggunakan metode pracetak. Dari hasil studi didapatkan bahwa dimensi balok induk berukuran 40 cm x 60 cm dengan tulangan lentur digunakan D19 dan tulangan geser \emptyset 10 harus memenuhi syarat aman terhadap kapasitas momen yang ada. Untuk struktur kolom lantai 1 hingga lantai 4 berukuran 80cm x 100 cm dengan menggunakan tulangan lentur D29 dan tulangan geser \emptyset 10 dan lantai 5 hingga lantai 8 menggunakan dimensi 70 cm x 90 cm dengan menggunakan tulangan lentur D29 dan tulangan geser \emptyset 10 harus bisa menahan berat beban yang ada di atasnya.

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

Dengan mengacu kepada SNI 03-1726-2002 tentang konsep pembangunan

rumah tahan gempa dan SNI 03-2847-2002 tentang tata cara perhitungan struktur beton, 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.

Tujuan dari pembahasan tugas akhir ini adalah:

1. Untuk menganalisis sambungan balok-kolom sistem precetak 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.

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,

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 :

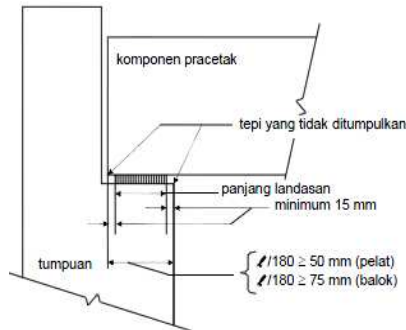
- Setiap komponen struktur dan system pendukungnya harus mempunyai dimensi rencana yang dipilih sedemikian hingga, setelah peninjauan toleransi, jarak dan tepi tumpuan ke ujung komponen struktur pracetak dalam arah bentang sedikitnya 1/180 kali bentang bersih , tetapi tidak boleh kurang dari :

→ Untuk pelat masif atau rongga 50 mm

→ Untuk balok 75 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.

- Untuk tulangan momen lentur positif pada komponen struktur pracetak statis tertentu, tetapi sedikitnya sepertiga dari tulangan tersebut harus dipanjangkan sampai ke tengah panjang landasan.



Gambar 2.1 Panjang landasan

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 :

$$h \geq \frac{\ln(0,8 + \frac{fy}{1500})}{36 + 9\beta} \quad \text{syarat : tebal}$$

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 :

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

Sehingga tebal plat pracetak adalah :

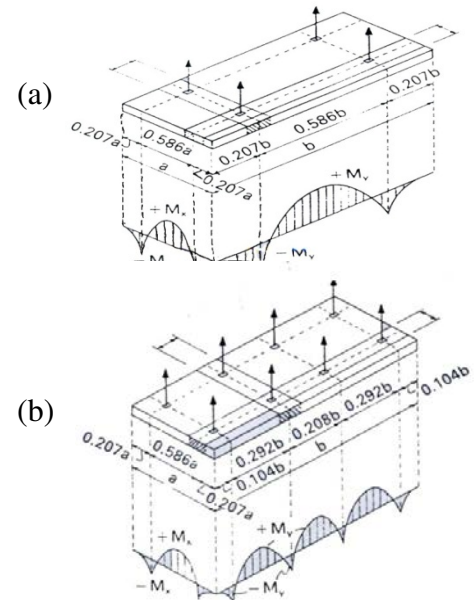
$$h'_{plat} = h_{plat} - h_{top}$$

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.

Hal yang perlu diperhatikan untuk elemen beton pracetak adalah:

- Titik angkat dan sokongan untuk pelat pracetak



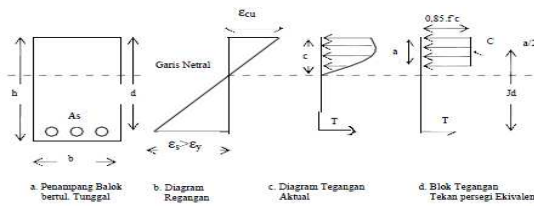
Gambar 2.2 (a) dan (b) Titik Angkat dan sokongan untuk pelat pracetak

2.5 Penampang Prismatis

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

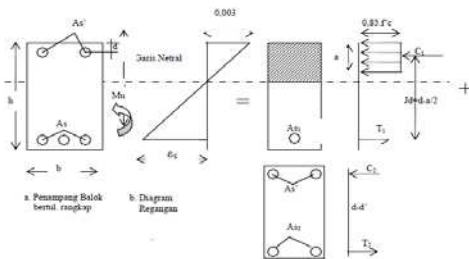
- Analisis balok persegi tulangan tunggal
Analisis penampang adalah menghitung kapasitas/kekuatan penampang berdasarkan data-data penampang seperti : Dimensi, luas tulangan, mutu beton (f'_c), mutu baja (f_y) dan letak tulangan. Untuk menganalisisnya kita bisa

menggunakan dasar konsep seperti balok konvensional biasa :



Gambar 2.3 Analisa Penampang tulangan tunggal

2. Analisis balok persegi tulangan rangkap

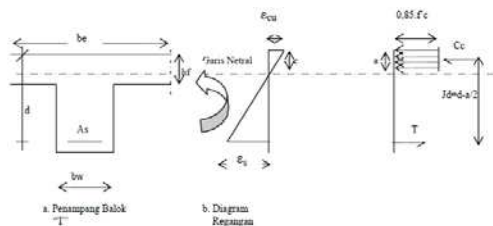


Gambar 2.4 Analisa Penampang tulangan ganda

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.

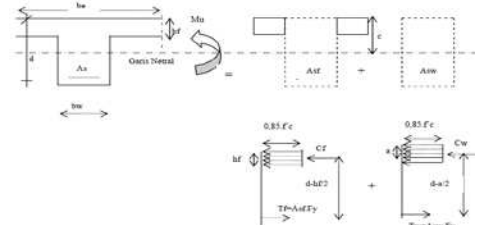
- a. Kondisi bila garis netral terletak dalam flens (sayap) $c < hf$, maka analisa penampang dapat dilakukan sama dengan balok persegi dengan lebar balok = lebar efektif (b_e)



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

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.

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.

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 $< 0,10 f'c \times A_g$ 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:

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

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:

2.14 Kuat Geser

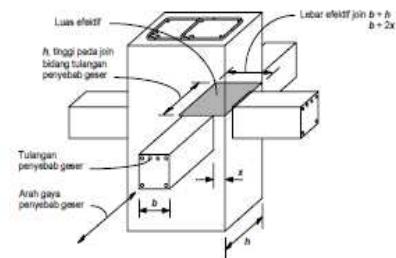
1. Kuat geser nominal V_n hubungan balok – kolom tidak boleh lebih besar daripada:

- 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

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

$$\geq 8 db$$

$$\lambda dh \geq 150 mm$$

$$\lambda dh \geq \frac{fy \cdot db}{5,4 \sqrt{f'c}}$$

untuk d tulangan sebesar 10 mm – 36 mm

2. Untuk beton ringan

$$\geq 8 db$$

$$\lambda dh \geq 190 mm$$

$$\geq \frac{fy \cdot db}{5,4 \sqrt{f'c}}$$

3. Panjang penyaluran λdh tanpa kait:

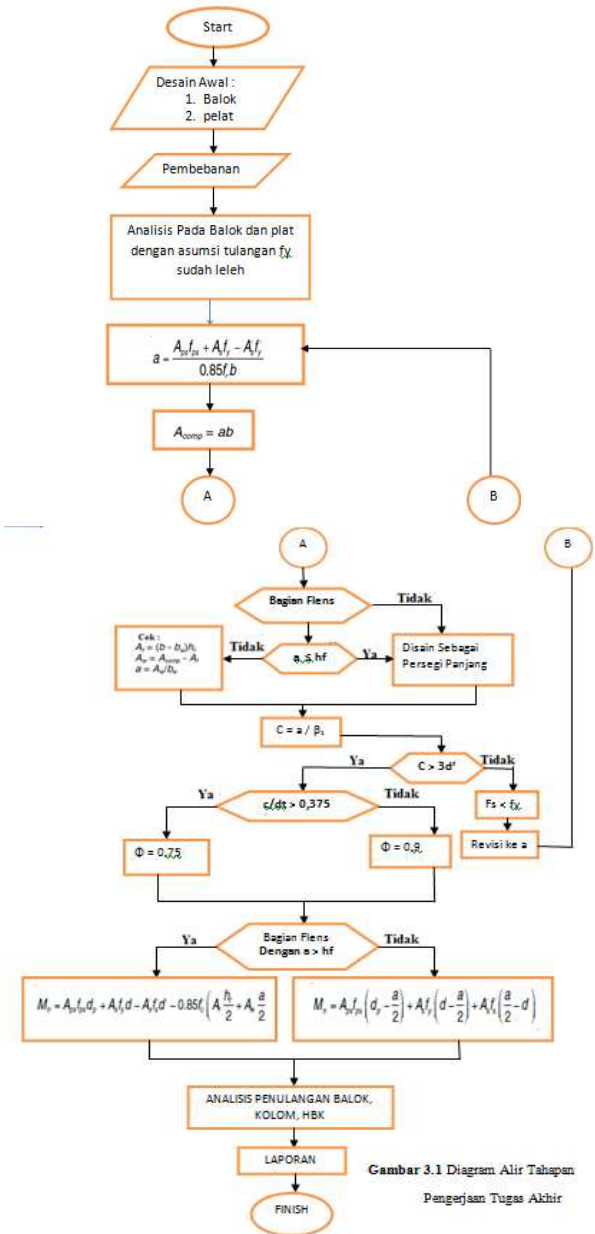
1. Bila ketebalan pengecoran beton dibawah tulangan tersebut kurang dari 300 mm, maka λdh 2,5 kali λdh yang telah ditentukan diatas.
2. Bila ketebalan pengecoran beton dibawah tulangan tersebut lebih daripada 300 mm, maka λdh 3,5 kali λdh yang telah ditentukan.

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

III. LANGKAH PERENCANAAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Pengerjaan Tugas Akhir

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data – Data Perencanaan

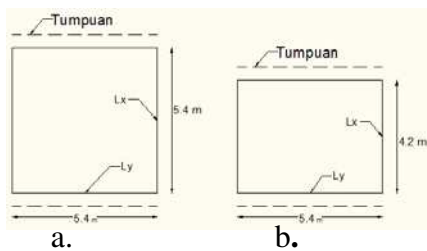
4.1 PERHITUNGAN STRUKTUR SEKUNDER (PLAT PRACETAK)

Elemen pelat direncanakan menggunakan solid flat slab dengan spesifikasi $f'c=25$ Mpa untuk beton pracetak dan baja tulangan dengan $fy = 400$ 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

~ Penulangan Arah x

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

~ Penulangan Arah y

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

Penulangan akibat pengangkatan berdasarkan PCI, dimana momen tumpuan sama dengan momen daerah lapangan, yaitu : $A_s = 0.0035 * 1000 * 35 = 122.5 \text{ mm}^2$

Sesudah komposit pelat a

1. Beban hidup = 250 kg/m² (ada beban hidup di atasnya)

2. Beban mati

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

Kombinasi pembebanan

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

~ Penulangan Arah x

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

~ Penulangan Arah y

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

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 Ly)

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

2. Beban mati

$$\text{Berat sendiri} = 0.07 * 2400 = 168 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat topping} = 0.05 * 2400 = 120 \text{ kg/m}^2$$

~ Penulangan Arah x

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

~ Penulangan Arah y

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

Sesudah komposit pelat b

3. Beban hidup = 250 kg/m² (ada beban hidup di atasnya)

4. Beban mati

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

Kombinasi pembebanan

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

~ Penulangan Arah x

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

~ Penulangan Arah y

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

4.1.3 Analisa Kekuatan Angkur Pengangkatan

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

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

4.1.4 Analisa Elemen Pelat Pracetak Saat Pongangkatan

digunakan tulangan dengan diameter 8mm
 $M_x = 0.0054 * w * a^2 * b$ (PCI design handbook)

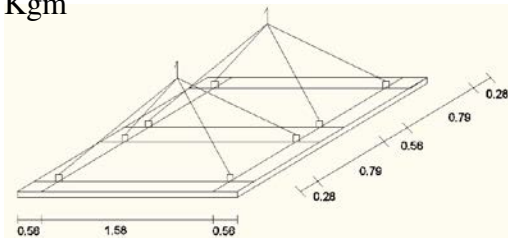
$$M_y = 0.0027 * w * a * b^2$$

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

Sehingga,

$$M_x = 0.0054 * 195.4 * 2.7^2 * 2.7 = 20.77 \text{ Kgm}$$

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



4.2 Perhitungan Balok Pracetak

4.2.1 Analisa Balok Pracetak Saat Pemasangan

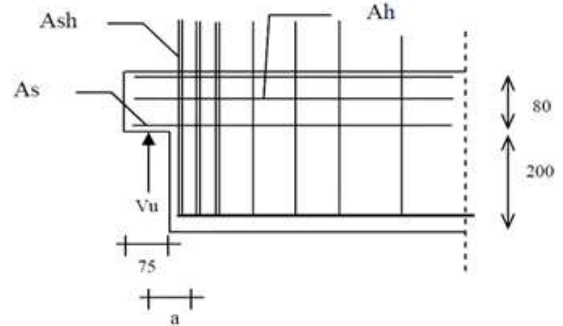
Tabel 4.1 Type balok pracetak

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

4.2.2 Perhitungan Balok Anak Precetak Bax1 (T10) dan Bay1 (T5)

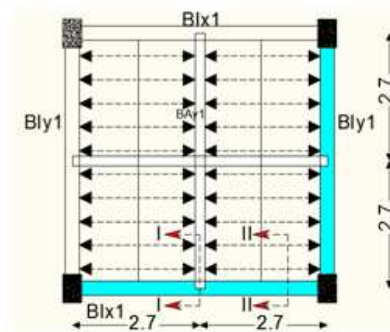
- Jadi berdasarkan analisa balok anak Ba pracetak saat pemasangan, didapat spesifikasi dimensi dan tulangan minimal sebagai berikut :

- Dimensi :- BA pracetak, bba = 300 mm, hba' = 280 mm, hdap = 80 mm
- BA total, bba = 300 mm, hba = 400 mm
- Tulangan lentur lapangan minimal 4D19, As min= 1133.54 mm²
- Tulangan lentur tumpuan (tulangan double) :
 Asatas = 1135 mm² (4 D 19)
 Asbawah = 851 mm² (3 D 19)



Gambar 4.14 Tulangan dapped-end beam

4.2.3. Perhitungan Balok Induk Precetak Bix1 (T5) dan Biy1 (T10)



Gambar 4.15 Distibusi beban pelat dan balok saat pemasangan

(T5 → Mu = 40981000 Nmm)

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

Φ Mutu besi f_s yang dipaki adalah 400 Mpa

- jadi berdasarkan analisa penampang balok induk Biy1 saat pemasangan, didapatkan spesifikasi sebagai berikut :
 - Dimensi : Bi pracetak, bBiy1 = 400 mm, hBiy1 (T5) = 337.5 mm
 Bi total, bBiy1 = 400 mm, hBiy1(T5) = 600 mm

- Tulangan lentur lapangan min D22-4, A_s minimal = 1520.54 mm^2
- Tulangan lentur tumpuan (tulangan Double) :

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

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

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

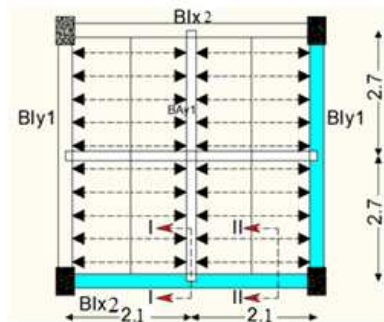
• jadi berdasarkan analisa penampang balok induk Biy1 saat pemasangan, didapatkan spesifikasi sebagai berikut :

- 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)



Gambar 4.18. Distriusi Beban Pelat dan Balok Saat Pemasangan

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

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

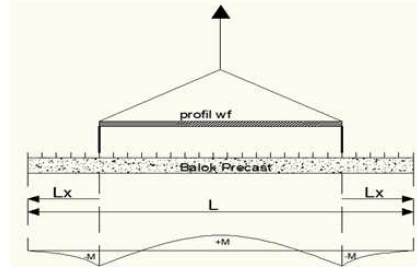
- Dimensi : Bi pracetak, $b_{Biy1} = 400 \text{ mm}$, $h_{Biy1}(T8) = 337.5 \text{ mm}$
Bi total, $b_{Biy1} = 400 \text{ mm}$, $h_{Biy1} = 600 \text{ mm}$
- Tulangan lentur lapangan min D22-4, A_s minimal = 1520.53 mm^2

- 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 Precetak Saat Pengangkatan Bix1 dan Biy1



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

4.3.1 Analisa Balok Precetak Saat Pengangkatan Bix1 (T10) dan Biy1 (T5) Dimensi (40/40)

$L = 5.4 \text{ m}$

Untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan factor akibat pengangkatan sebesar 1.2 :

➤ Momen lapangan yang terjadi

$$+M = \frac{WL^2}{8} * (1 - 4X + \frac{4*Yc}{L*tg\theta}) * 1.2$$

$$= \frac{401.2 * 5.4^2}{8} * (1 - 4 * 0.24 + \frac{4 * 0.2}{5.4 * tg 45}) * 1.2$$

$$= 434.16 \text{ kgm}$$

Tegangan yang terjadi

$$F = \frac{M}{Wt} = \frac{4341600}{\frac{1}{6} * 40 * 40^2} = 0.41 \text{ Mpa}$$

$$F_r = 0.7 * \sqrt{f'c} = 3.5$$

$0.41 \text{ Mpa} < 3.5 \text{ Mpa} \dots \dots \dots \text{Ok}$

> Momen tumpuan yang terjadi

$$-M = \frac{W * X^2 * L^2}{2} * 1.2$$

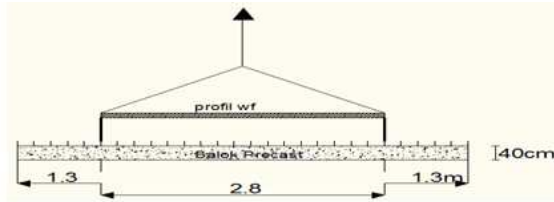
$$-M = \frac{401.2 * 5.4^2 * 0.24^2}{2} * 1.2 = 404.32 \text{ kg.m}$$

Tegangan yang terjadi

$$F = \frac{M}{Wt} = \frac{3301700}{\frac{1}{6} * 40 * 40^2} = 0.38 \text{ Mpa}$$

$0.38 \text{ Mpa} < 3.5 \text{ Mpa} \dots \dots \dots \text{Ok}$

4.3.2 Analisa Balok Precetak Saat Pengangkatan Bix2 (40/40) $L = 4.2 \text{ m}$ Dimana :



Gambar 4.24 Jarak tulangan angkat

Untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan factor akibat pengangkatan sebesar 1.2 :

➤ Momen lapangan yang terjadi

$$+M = \frac{W \cdot L^2}{8} \cdot \left(1 - 4X + \frac{4 \cdot Yc}{L \cdot tg \theta}\right) \cdot 1.2$$

$$= \frac{401.2 \cdot 5.4^2}{8} \cdot \left(1 - 4 \cdot 0.24 + \frac{4 \cdot 0.2}{5.4 \cdot tg 45}\right) \cdot 1.2$$

$$= 434.16 \text{ kgm}$$

Tegangan yang terjadi

$$F = \frac{M}{Wt} = \frac{4341600}{\frac{1}{6} \cdot 40 \cdot 40^2} = 0.41 \text{ Mpa}$$

$$Fr = 0.7 \cdot \sqrt{f'c} = 3.5$$

0.41 Mpa < 3.5 Mpa.....Ok

> Momen tumpuan yang terjadi

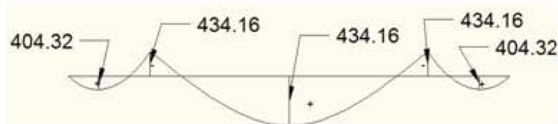
$$-M = \frac{WX^2 \cdot L^2}{2} \cdot 1.2$$

$$-M = \frac{401.2 \cdot 5.4^2 \cdot 0.24^2}{2} \cdot 1.2 = 404.32 \text{ kg.m}$$

Tegangan yang terjadi

$$F = \frac{M}{Wt} = \frac{3301700}{\frac{1}{6} \cdot 40 \cdot 40^2} = 0.38 \text{ Mpa}$$

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 $\Phi 8$.

- menentukan ld (tulangan dalam kondisi tarik)

$$Ld = \frac{12 \cdot fy \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \lambda}{25 \cdot \sqrt{f'c}} \cdot db$$

$$Ld = \frac{12 \cdot 400 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.8 \cdot 1 \cdot 8}{25 \cdot \sqrt{25}}$$

$$Ld = \frac{30720}{125} = 245.76 \text{ mm}$$

Syarat : $Ld \geq 300 \text{ mm}$

- menentukan Ld (tulangan dalam kondisi tekan)

$$Ldb = \frac{db \cdot fy}{4 \cdot \sqrt{f'c}}$$

$$Ldb = \frac{8 \cdot 400}{4 \cdot \sqrt{25}} = 160 \text{ mm}$$

Syarat : $Ldb \geq 200 \text{ mm}$

Jadi, panjang penyaluran tulangan tekan (bawah) untuk sambungan lewatan pelat pracetak adalah $Ldb = 200 \text{ mm}$.

- menentukan ldh (tulangan berkait dalam kondisi tarik)

$$Ldh = (100 \cdot db) / \sqrt{f'c}$$

$$Ldh = (100 \cdot 8) / \sqrt{25} = 160 \text{ mm}$$

- ldh harus dikalikan faktor-faktor sebagai berikut

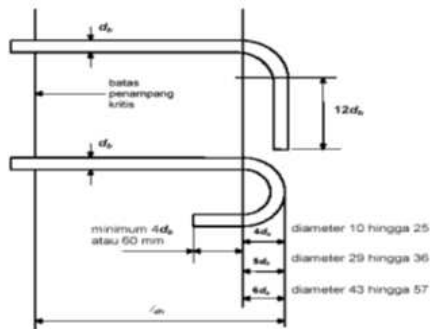
- selimut beton = 0.7

- sengkang atau sengkang ikat = 0.8

$$Ldh = 160 \cdot 0.7 \cdot 0.8 = 89.60 \text{ mm}$$

Syarat : $Ldh \geq 150 \text{ mm}$

Jadi, panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik untuk ujung tidak menerus adalah $l_{dh} = 150 \text{ mm}$

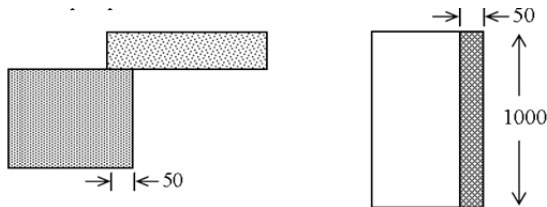


Gambar 4.26 Penyaluran tulangan pada ujung tidak menerus

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



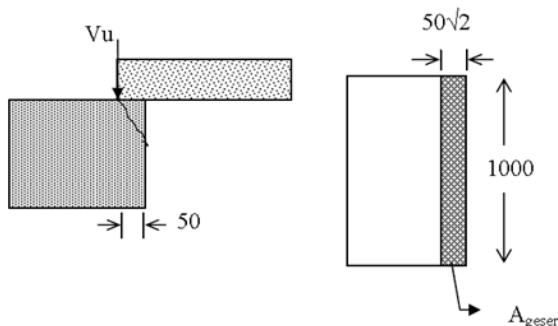
- Cek Tegangan tumpu.

$$\text{Syarat } \sigma_c < 0.3 f'_c = 0.3 * 25 = 7.5 \text{ Mpa}$$

Tegangan tumpu

$$\sigma = B_u / A_1 = 3900 / 50000 = 0.08 < \sigma_c$$

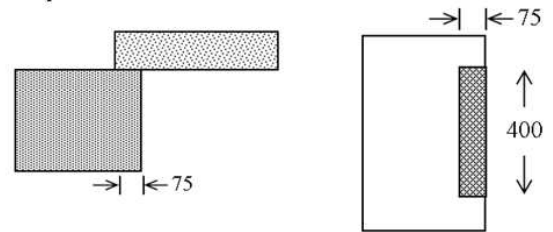
- Cek Tegangan geser pada tumpuan



Tegangan geser pada tumpuan :

$$V = V_u / A_{geser} = 3900 / (1000 * 50 \sqrt{2}) = 0.06 \text{ Mpa} < \tau_p \dots \text{Ok}$$

b. Tumpuan balok induk x1 ke kolom



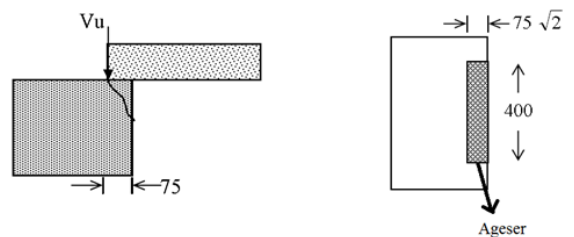
- Cek Tegangan tumpu.

$$\text{Syarat } \sigma_c < 0.3 f'_c = 0.3 * 25 = 7.5 \text{ Mpa}$$

Tegangan tumpu

$$\sigma = B_u / A_1 = 99600 / 30000 = 3.32 < \sigma_c \dots \text{Ok}$$

- 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 :

$$V = V_u / A_{geser} = 99600 / (400 * 75 \sqrt{2}) = 2.35 \text{ Mpa} < \tau_p \dots \text{Ok}$$

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 (-)

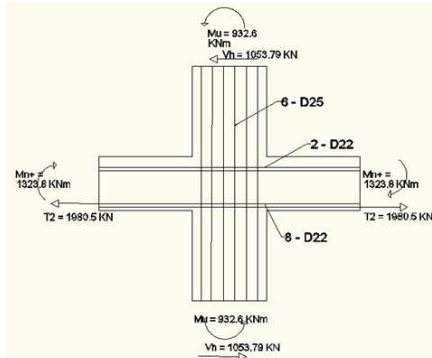
$$8\text{-D22} = 3041.06 \text{ mm}^2$$

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

$\phi V_c = 0.75 * 1.7 * A_j * \sqrt{f'c} = 0.75 * 1.7$
 $* (800*1000) * \sqrt{25} = 5100 \text{ KN}$
 jadi $\phi V_c (5355.05) > V (1296.43)$
Ok
 Sambungan Aman



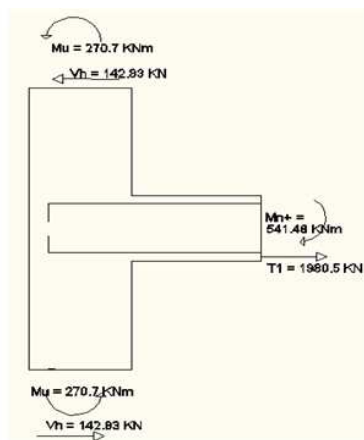
Gambar 4.27 Gaya-gaya dalam pada hubungan balok-kolom interior

Untuk hubungan balok-kolom pinggir

➤ Jumlah tulangan yang mengalami tekan (-)
 $4\text{-D22} = 1520.53 \text{ mm}^2$

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 $\phi V_c (5100) > V (1207.7)$
Ok
 Sambungan Aman



Gambar 4.27 Gaya-gaya dalam pada hubungan balok-kolom exterior

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 :

- 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 transversal sebesar 2-D22, sengkang dengan diameter 10mm menghasilkan momen nominal 8840531.25 Kgcmm dan momen ultimate yang terjadi sebesar 86263000 Kgcmm. Sehingga perhitungan dapat dikatakan aman.
- 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

- 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.
- Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah, Badan Penelitian Dan Pengembangan Permukiman Dan Prasarana Wilayah, Pusat Penelitian Dan Pengembangan Teknologi Permukiman. 2002. *SNI 03-1726-2002 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*. Bandung.
- Gibb,A.G.F. 1999.*Off-Site fabrication*. John Wiley and Son. New York. USA dalam Abduh, M. 2007. *Inovasi Teknologi dan Sistem Beton Pracetak di Indonesia :Sebuah Analisa Rantai Nilai*. Seminar dan Pameran HAKI 2007.
- 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.
- Simanjuntak, J. H, dkk. 2001. *Sistem Pracetak Beton di Indonesia*. Trend Teknik Sipil Menuju Era Milenium Baru. 355-415
- Central Java Province Using Precast Concrete*). Tesis tidak dipublikasikan. Semarang: Universtas Diponegoro