

LENDUTAN PELAT LANTAI GEDUNG REKTORAT UNIVERSITAS ISLAM “45” BEKASI

FLOOR PLATES DEFLECTION OF A RECTORATE BUILDING AT ISLAMIC UNIVERSITY "45" BEKASI

Galih Sendiko Haryanto¹, Eko Darma², Fajar Prihesnanto³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam '45 Bekasi
Jl. Cut Meutia No. 83 Bekasi

Korespondensi: galih.sendiko@gmail.com

ABSTRAK

Seiring dengan bertambahnya usia bangunan maka ada penurunan dari kapasitas struktur sehingga dimungkinkan lendutan dan retak pada komponen struktur bertambah besar. Begitu pula permasalahan lendutan pelat lantai yang terjadi pada gedung Rektorat Universitas Islam “45” Bekasi menyebabkan pengguna bangunan menjadi tidak nyaman. Agar besar lendutan yang terjadi tidak bertambah parah maka perlu adanya solusi perbaikan. Pemecahan permasalahan yang terjadi dilakukan melalui survei lapangan untuk mengetahui besarnya lendutan yang terjadi, melakukan analisis kekuatan pelat dalam menahan beban dengan program SAP2000 berdasarkan peraturan SNI 03-2847-2002 dan menghitung perkuatan struktur lentur yang diperlukan oleh pelat dan balok berdasarkan metode LRFD yang berpedoman pada peraturan SNI 03-1729-2002.

Hasil perhitungan terdapat 5 lokasi pelat yang mengalami penurunan dengan besar masing-masing pelat yaitu 5,3 cm; 6,8 cm; 8 cm; 6,9 cm dan 10,9 cm. Kemudian besar beban maksimal yang masih dapat bekerja untuk pelat II yaitu 350 kg, untuk pelat IV yaitu 300 kg, untuk pelat V yaitu < 240 kg. Jenis dan dimensi perkuatan yang digunakan pada pelat adalah profil baja WF 125 x 60 BJ 37, sedangkan pada balok yaitu profil baja WF 150 x 150 BJ 37.

Kata Kunci: lendutan, beban maksimal, perkuatan struktur.

ABSTRACT

Along with the age of a building increased then there is a decrease in the structure capacity so that deflection and crack on a structural components became larger. So does the floor plates deflection problem that occurred in the Rectorate building of Islamic University “45” Bekasi causes discomfort to the building users. In order for the deflection does not get worse the need for repair solutions is a must. Problem solving is done through a field survey to determine the size of the deflection, analyze the strength of the plate in holding the load by using SAP2000 program based on the SNI 03-2847-2002 regulation and calculate the reinforcement of the bending structure required by the plate and beam based on the LRFD method based on the regulations SNI 03-1729-2002.

Based on calculation results, there are 5 plate location that decreasing its structural capacity with each size of the plate are 5.3 cm; 6.8 cm; 8 cm; 6.9 cm and 10.9 cm. The maximum load that can still work for plate II is 350 kg, for plate IV is 300 kg, for plate V is <240 kg. Type and dimensions of a reinforcement used on the plate is a WF 125 x 60 BJ 37 steel profile, while on the beam is WF 150 x 150 BJ 37 steel profile.

Keywords: deflection, maximum load, structural reinforcement.

1. PENDAHULUAN

Masa layan struktur sebuah bangunan beton bertulang sangat ditentukan oleh besarnya lendutan yang di alami oleh struktur tersebut. Sistem pengerjaan yang salah dalam hal perencanaan dan pelaksanaan di lapangan dapat mengakibatkan struktur beton melendut melebihi apa yang diperkirakan semula dan mengakibatkan retak pada beton. Seiring dengan bertambahnya usia bangunan maka ada penurunan dari kapasitas struktur sehingga dimungkinkan lendutan dan retak pada komponen struktur bertambah besar.

Padahal faktor lendutan memegang peranan yang amat penting baik dalam hal keamanan maupun kenyamanan pengguna bangunan tersebut kelak. Lendutan yang tidak diperhitungkan dengan baik pada saat pembangunan sebuah struktur akan menyebabkan struktur mengalami lendutan yang melebihi batas toleransi sehingga menyebabkan bukan hanya kekurangnyamanan penggunaannya kelak tetapi juga mengakibatkan retak yang lebih banyak dan lebih lebar dari yang diizinkan (Christiawan, 2011), (Rosyidah, Wiratenaya, & Pattisia, 2010), (Triwiyono, A., 2006).

Penelitian ini mengkaji tentang permasalahan yang terjadi pada pelat lantai ke-3 di gedung Rektorat Universitas Islam '45. Dimana pada 3 ruangan utama terjadi defleksi/lendutan pada struktur lantainya. Seringkali terjadi kekhawatiran oleh para pengguna bangunan gedung Rektorat Universitas Islam '45 ketika bekerja di atas permukaan lantai yang melendut dikarenakan timbulnya getaran yang cukup besar. Maka dari itu penulis akan menganalisa besar lendutan yang terjadi pada gedung tersebut dengan melakukan beberapa percobaan untuk melihat besarnya kekuatan struktur serta mencari solusi yang tepat agar lendutan yang terjadi tidak bertambah besar.

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui besarnya lendutan yang terjadi.
2. Menghitung besar beban maksimum yang masih bisa bekerja di atas pelat.
3. Mencari jenis dan dimensi perkuatan yang dapat dilakukan untuk mendukung pelat.

Batasan Masalah

Agar penulisan sesuai dengan pokok pembahasan, maka permasalahan dibatasi pada:

1. Struktur yang akan dianalisa hanya bagian eksisting balok dan pelat lantai.
2. Analisis struktur mengacu pada SNI-03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung serta SNI-03-1729-2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung.
3. Laporan ini hanya mengkaji tentang perhitungan perkuatan secara teknis tanpa menghitung jumlah biaya yang dibutuhkan.
4. Analisis struktur menggunakan program SAP 2000 dan perhitungan perkuatan struktur menggunakan metode LRFD (*Load Resistance and Factor Design*) (Setiawan, 2013).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Di bawah ini akan diuraikan penjelasan tentang setiap tahapan dalam penelitian.

- Tahap Persiapan

Tahap persiapan meliputi kegiatan orientasi dalam mengenal situasi/kondisi di lokasi survei, mengurus perizinan kegiatan survei dengan pihak yang berwenang serta mempersiapkan peralatan yang dibutuhkan dalam kegiatan survei. Peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini diantaranya yaitu *waterpass*, *hammer test*, meteran, kamera, alat tulis dan alat bantu lainnya.

- Tahap Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan mengadakan observasi langsung di lapangan untuk mencari data-data primer diantaranya akan dijelaskan pada halaman berikutnya.

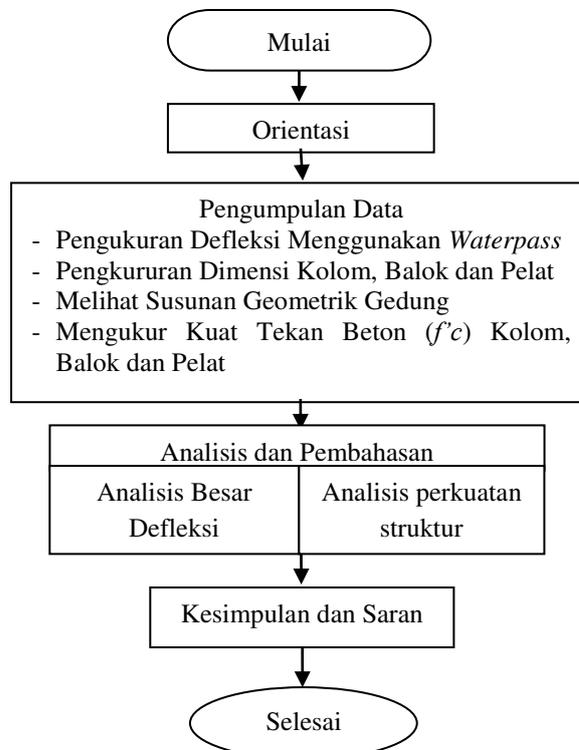
 - a. Pengamatan secara visual (*visual check*), melihat secara langsung dan dengan bantuan kamera untuk pemeriksaan susunan dan keadaan struktur, khususnya besarnya lendutan yang terjadi.
 - b. Pengukuran struktur bangunan dengan menggunakan alat meteran. Kegiatan pengukuran ini dilakukan pada dimensi struktur beton bertulang yang terpasang di lapangan. Sehingga didapatkan informasi yang akurat tentang kondisi eksisting struktur.
 - c. Pengukuran defleksi yang terjadi pada pelat lantai dengan menggunakan *waterpass*.
 - d. Pengujian kuat tekan beton eksisting menggunakan *hammer test*.
- Tahap Analisis Data

Garis besar tahap-tahap analisis data adalah sebagai berikut:

 - a. Menggambar Model Struktur.
 - b. Perhitungan Besar Lendutan Akibat Pembebanan Pada Struktur.
 - c. Perhitungan Perkuatan/Perbaikan Struktur.
 - d. Perhitungan Sambungan Perkuatan Struktur.

Bagan Alur Penelitian (*Flowchart*)

Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian (*Flowchart*)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Survei

Setelah menentukan metodologi penelitian dan melakukan survei langsung di lapangan maka didapatkan data primer diantaranya yaitu:

1. Besar dimensi penyusun struktur gedung Rektorat lantai ke-3 adalah:
 - a. Dimensi balok pada struktur gedung hanya menggunakan 1 jenis ukuran yaitu: tinggi (h_{balok}) = 40 cm ; lebar (b_{balok}) = 30 cm.
 - b. Dimensi kolom hanya menggunakan 1 jenis ukuran yaitu: panjang (l) = 40 cm ; lebar (b_{kolom}) = 30 cm.
 - c. Ketebalan pelat lantai (h_{lantai}) = 12 cm
2. Pada struktur penyusun gedung Rektorat lantai ke-3 tidak ditemui adanya balok anak.



Gambar 2. Susunan Struktur Pelat Lantai (As 2-3-A-B)

3. Hasil pengukuran besar lendutan yang terjadi dengan menggunakan *waterpass* pada lokasi yang telah ditetapkan pada Gambar 2 akan ditabelkan pada halaman berikutnya.

Selain menggunakan *waterpass*, pengamatan juga dilakukan menggunakan kamera untuk menggambarkan keadaan permukaan yang terjadi pada pelat yang melendut, sehingga didapatkan data bahwa pada tepian pelat I, II, III dan IV yang melendut (titik a dan titik c) sudah mengalami keretakan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Survei Lendutan Pelat Lantai ke-3

No.	Nama Pelat	Hasil Pengukuran Benang				
		Tengah <i>Waterpass</i>			ΔH_{ab} (m)	ΔH_{bc} (m)
		Titik a (m)	Titik b (m)	Titik c (m)		
1	Pelat I	1,349	1,402	1,357	-0,053	+0,045
2	Pelat II	1,353	1,410	1,342	-0,057	+0,068
3	Pelat III	1,452	1,522	1,442	-0,07	+0,080
4	Pelat IV	1,402	1,466	1,397	-0,064	+0,069
5	Pelat V	1,477	1,586	1,488	-0,109	+0,098



Gambar 3. Retakan pada Pelat yang Melendut

4. Setelah pengumpulan data mengenai lendutan selesai dilakukan maka dilanjutkan dengan pengumpulan data tentang besar kuat tekan beton pada kolom, balok dan pelat lantai gedung Rektorat dengan titik yang telah ditentukan.
 - a. Pengukuran kuat tekan beton pada kolom dilakukan dengan mengambil 3 sampel pada kolom yang berbeda, dengan hasil rata-rata tiap kolom:
 - Kolom as 4-C lt. 3, menghasilkan kuat tekan beton ($f'c$) sebesar 185,916 kg/cm².
 - Kolom as 3-C lt. 3, menghasilkan kuat tekan beton ($f'c$) sebesar 125,395 kg/cm².
 - Kolom as 2-C lt. 2, menghasilkan kuat tekan beton ($f'c$) sebesar 226,408 kg/cm².
 - b. Pengukuran kuat tekan beton pada balok juga dilakukan dengan mengambil 3 sampel pada balok yang berbeda pada daerah yang tidak mengalami lendutan, dengan hasil rata-rata tiap balok yaitu:
 - Balok as 2 (as C-D) lt. 3, menghasilkan kuat tekan beton ($f'c$) sebesar 300,861 kg/cm².
 - Balok as 2-3 (as C) lt. 3, menghasilkan kuat tekan beton ($f'c$) sebesar 203,985 kg/cm².
 - Balok as 2 (as A-B) lt. 3, menghasilkan kuat tekan beton ($f'c$) sebesar 210,081 kg/cm².

Terjadi perbedaan yang jauh antara balok as 2 (as C-D) dengan balok as 2-3 (as C) diperkirakan karena pelaksanaan pengadukan beton pada saat itu dilakukan secara manual sehingga pengadukan tidak tercampur secara merata.
 - c. Pengukuran kuat tekan beton pada lantai juga dilakukan dengan mengambil 3 sampel pada lantai yang berbeda pada daerah yang tidak mengalami lendutan, dengan hasil rata-rata tiap lantai yaitu:
 - Pelat lantai as 1-2-C-D (toilet) lt. 3, menghasilkan kuat tekan beton ($f'c$) sebesar 261,893 kg/cm².
 - Pelat lantai as 2-3-C-D lt. 3, menghasilkan kuat tekan beton ($f'c$) sebesar 319,475 kg/cm².
 - Pelat lantai as 2-3-A-B lt. 3, menghasilkan kuat tekan beton ($f'c$) sebesar 327,312 kg/cm².

Pada tahun 2014 pernah dilakukan uji kuat tekan beton pada lantai 3 oleh pihak laboratorium sipil Universitas Islam '45 Bekasi, dengan hasil data yaitu Pelat

lantai as 6-7-A-B (ruang keuangan) lt. 3, menghasilkan kuat tekan beton ($f'c$) 162,190 kg/cm².

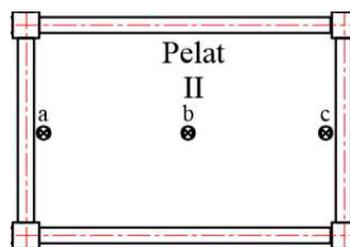
Analisis Besar Defleksi

Langkah selanjutnya yang dilakukan setelah didapatkan data-data primer di lapangan adalah proses analisis besar defleksi. Tahap ini bertujuan untuk melihat besar beban maksimum yang masih bisa bekerja diatas pelat yang melendut. Terdapat tiga area pelat yang akan dilakukan percobaan, karena langkah pengujian percobaan pada tiap pelat adalah sama, maka hanya akan diuraikan percobaan pada salah satu pelat saja yaitu sebagai berikut:

1. Lendutan pada pelat II (as 4-5-C-D)

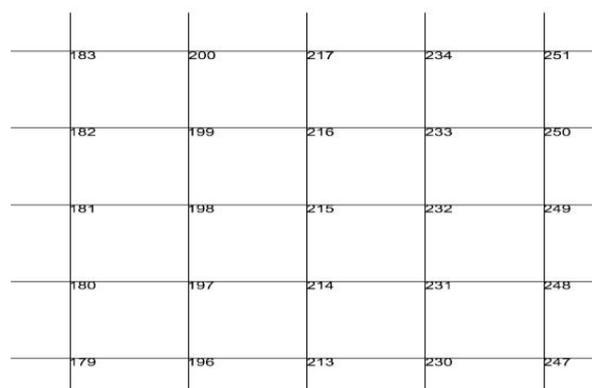
Data spesifikasi:

- Pelat II berfungsi sebagai ruang *lobby*.
- Ukuran dimensi pada pelat II yaitu: panjang (l) = 6,00 m; lebar (b) = 4,00 m; tebal (h_{pelat}) = 0,12 m.
- Pelat II dijepit oleh kolom pada tiap ujungnya.
- Lendutan terbesar terjadi pada area tengah pelat (titik b) yaitu 0,07 m.
- Kuat tekan beton ($f'c$) = 181,077 kg/cm² = 18,1077 MPa



Gambar 4. Tampak Atas Pelat II

Pada Gambar 4 sudah ditampilkan pemodelan struktur untuk tipe pelat II. Area percobaan terletak di dalam garis kotak hitam dengan luas 1 m², susunan titik-titik join yang terletak di dalam kotak akan digambarkan sebagai berikut seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Susunan Titik Join pada Area Tengah Pelat II

Selanjutnya akan dilakukan beberapa percobaan pembebanan pada pelat II untuk melihat besar lendutan yang terjadi dengan uraian sebagai berikut:

1.a Percobaan ke-1

Beban diletakkan pada semua titik dalam luasan 1 m² di area tengah pelat (yang mengalami lendutan terbesar) dengan besar 60 kg, 65 kg, 70 kg, 75 kg, 80 kg, 85 kg dan 90 kg. Titik-titik join yang dikenai beban pada percobaan ke-1 seperti pada Gambar 5. Besar lendutan titik-titik join yang dikenai beban pada percobaan ke-1 pelat II sebagai berikut:

- a. Pada pembebanan seluruh titik dalam luasan 1 m² mulai dari beban 60 kg hingga 90 kg didapatkan lendutan terbesar pada join 215 as 9-M (titik tengah).
- b. Kenaikan besar lendutan mulai dari pembebanan 60 kg hingga 90 kg relatif kecil yaitu antara $\pm 0,032$ cm.
- c. Besar lendutan maksimal tiap pembebanan pada percobaan ke-1 (25 titik) pelat II yaitu:
 - Untuk beban 60 kg = 1,537 cm
 - Untuk beban 65 kg = 1,570 cm
 - Untuk beban 70 kg = 1,604 cm
 - Untuk beban 75 kg = 1,638 cm
 - Untuk beban 80 kg = 1,671 cm
 - Untuk beban 85 kg = 1,705 cm
 - Untuk beban 90 kg = 1,739 cm

1.b Percobaan ke-2

Dalam percobaan ke-2, beban titik hanya diletakkan pada keliling luasan 1 m² tiap 0,25 m di area tengah pelat dengan kenaikan besar beban yaitu 60 kg, 65 kg, 70 kg, 75 kg, 80 kg, 85 kg dan 90 kg. Titik-titik join yang dikenai beban pada percobaan ke-2 seperti pada Gambar 6. Besar lendutan titik-titik join yang dikenai beban pada percobaan ke-2 pelat II sebagai berikut:

183	200	217	234	251
182				250
181				249
180				248
179	196	213	230	247

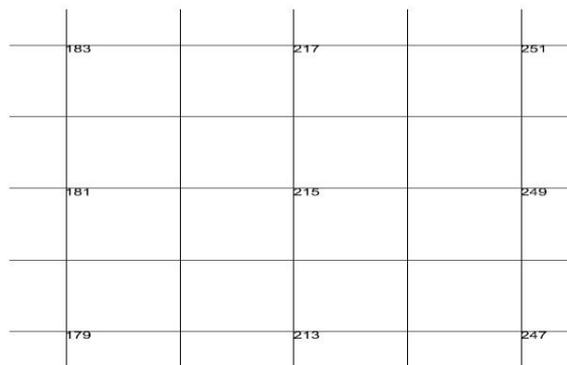
Gambar 6. Titik Join yang Dikenai Beban Percobaan ke-2 Pelat II

- a. Pada pembebanan keliling luasan 1 m² tiap 0,25 m mulai dari beban 60 kg hingga 90 kg didapatkan lendutan terbesar pada join 215 as 9-M (titik tengah).
- b. Kenaikan besar lendutan mulai dari pembebanan 60 kg hingga 90 kg relatif kecil yaitu $\pm 0,02$ cm.

- c. Besar lendutan maksimal tiap pembebanan pada percobaan ke-2 (16 titik) pelat II yaitu:
- Untuk beban 60 kg = 1,387 cm
 - Untuk beban 65 kg = 1,409 cm
 - Untuk beban 70 kg = 1,430 cm
 - Untuk beban 75 kg = 1,451 cm
 - Untuk beban 80 kg = 1,473 cm
 - Untuk beban 85 kg = 1,494 cm
 - Untuk beban 90 kg = 1,515 cm

1.c Percobaan ke-3

Dalam percobaan ke-3, beban berjumlah 9 titik diletakkan pada luasan 1 m² dengan jarak tiap titik 0,5 m di area tengah pelat dengan kenaikan besar beban yaitu 60 kg, 65 kg, 70 kg, 75 kg, 80 kg, 85 kg dan 90 kg. Titik-titik join yang dikenai beban pada percobaan ke-3 seperti pada Gambar 7. Besar lendutan titik-titik join yang dikenai beban pada percobaan ke-3 pelat II sebagai berikut:

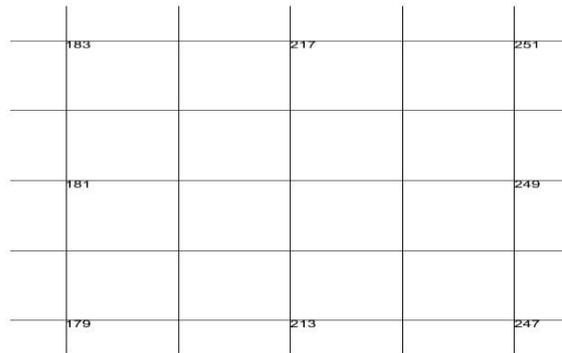


Gambar 7. Titik Join yang Dikenai Beban Percobaan ke-3 Pelat II

Hasil percobaan ke-3 pelat II yaitu:

- a. Pada pembebanan 9 titik dalam luasan 1 m² didapatkan lendutan terbesar pada join 215 as 9-M (titik tengah).
- b. Kenaikan besar lendutan mulai dari pembebanan 60 kg hingga 90 kg relatif kecil yaitu $\pm 0,012$ cm.
- c. Besar lendutan maksimal tiap pembebanan pada percobaan ke-3 (9 titik) pelat II yaitu:
 - Untuk beban 60 kg = 1,276 cm
 - Untuk beban 65 kg = 1,288 cm
 - Untuk beban 70 kg = 1,300 cm
 - Untuk beban 75 kg = 1,312 cm
 - Untuk beban 80 kg = 1,324 cm
 - Untuk beban 85 kg = 1,336 cm
 - Untuk beban 90 kg = 1,348 cm

1.d Percobaan ke-4



Gambar 8. Titik Join yang Dikenai Beban Percobaan ke-4 Pelat II

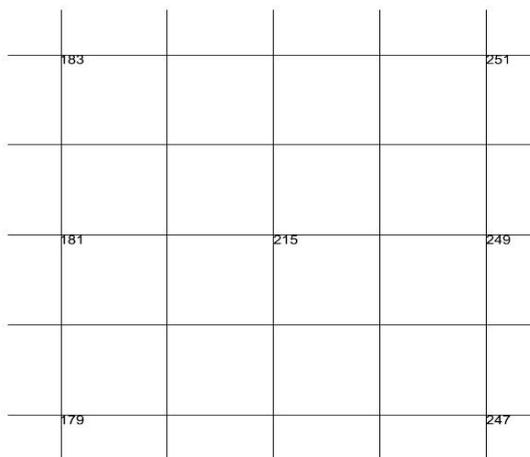
Dalam percobaan ke-4, beban berjumlah 8 titik diletakkan pada keliling luasan 1 m^2 dengan jarak tiap titik $0,5 \text{ m}$ di area tengah pelat dengan kenaikan besar beban yaitu 60 kg , 65 kg , 70 kg , 75 kg , 80 kg , 85 kg dan 90 kg . Titik-titik join yang dikenai beban pada percobaan ke-4 seperti pada Gambar 8. Besar lendutan titik-titik join yang dikenai beban pada percobaan ke-4 pelat II sebagai berikut:

- Pada pembebanan 8 titik keliling 1 m^2 didapatkan lendutan terbesar pada join 215 as 9-M (titik tengah).
- Kenaikan besar lendutan mulai dari pembebanan 60 kg hingga 90 kg relatif kecil yaitu $\pm 0,01 \text{ cm}$.
- Besar lendutan maksimal tiap pembebanan pada percobaan ke-4 (8 titik) pelat II yaitu:
 - Untuk beban $60 \text{ kg} = 1,259 \text{ cm}$
 - Untuk beban $65 \text{ kg} = 1,270 \text{ cm}$
 - Untuk beban $70 \text{ kg} = 1,280 \text{ cm}$
 - Untuk beban $75 \text{ kg} = 1,291 \text{ cm}$
 - Untuk beban $80 \text{ kg} = 1,301 \text{ cm}$
 - Untuk beban $85 \text{ kg} = 1,312 \text{ cm}$
 - Untuk beban $90 \text{ kg} = 1,323 \text{ cm}$

1.e Percobaan ke-5

Dalam percobaan ke-5, beban berjumlah 7 titik diletakkan pada luasan 1 m^2 di area tengah pelat dengan kenaikan besar beban yaitu 60 kg , 65 kg , 70 kg , 75 kg , 80 kg , 85 kg dan 90 kg . Hasil besar lendutan titik-titik join pada percobaan ke-5 pelat II (Gambar 5) sebagai berikut:

- Pada pembebanan 7 titik dalam luasan 1 m^2 didapatkan lendutan terbesar pada join 215 as 9-M (titik tengah).
- Kenaikan besar lendutan mulai dari pembebanan 60 kg hingga 90 kg relatif kecil yaitu $\pm 0,009 \text{ cm}$.
- Besar lendutan maksimal tiap pembebanan pada percobaan ke-5 (7 titik) yaitu:
 - Untuk beban $60 \text{ kg} = 1,243 \text{ cm}$
 - Untuk beban $65 \text{ kg} = 1,252 \text{ cm}$
 - Untuk beban $70 \text{ kg} = 1,262 \text{ cm}$
 - Untuk beban $75 \text{ kg} = 1,271 \text{ cm}$
 - Untuk beban $80 \text{ kg} = 1,280 \text{ cm}$
 - Untuk beban $85 \text{ kg} = 1,290 \text{ cm}$
 - Untuk beban $90 \text{ kg} = 1,299 \text{ cm}$

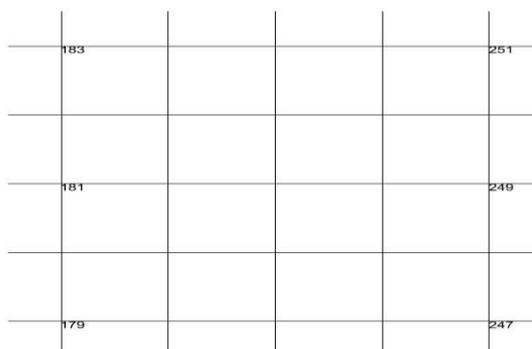


Gambar 9. Titik Join yang Dikenai Beban Percobaan ke-5 Pelat II

1.f Percobaan ke-6

Dalam percobaan ke-6, beban berjumlah 6 titik diletakkan saling berhadapan pada luasan 1 m² di area tengah pelat dengan kenaikan besar beban yaitu 60 kg, 65 kg, 70 kg, 75 kg, 80 kg, 85 kg dan 90 kg. Hasil besar lendutan titik-titik join pada percobaan ke-6 pelat II (Gambar 10) sebagai berikut:

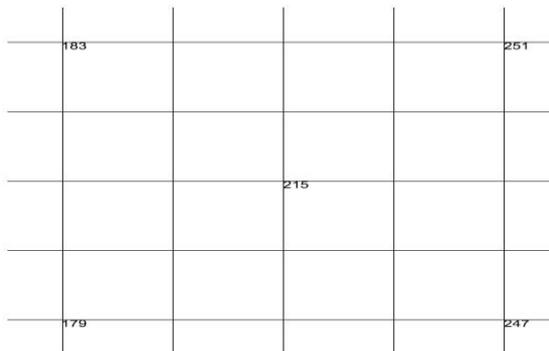
- a. Pada pembebanan 6 titik dalam luasan 1 m² didapatkan lendutan terbesar pada join 215 as 9-M (titik tengah).
- b. Kenaikan besar lendutan mulai dari pembebanan 60 kg hingga 90 kg relatif kecil yaitu $\pm 0,008$ cm.
- c. Besar lendutan maksimal tiap pembebanan pada percobaan ke-6 (6 titik) pelat II yaitu:
 - Untuk beban 60 kg = 1,226 cm
 - Untuk beban 65 kg = 1,234 cm
 - Untuk beban 70 kg = 1,242 cm
 - Untuk beban 75 kg = 1,250 cm
 - Untuk beban 80 kg = 1,258 cm
 - Untuk beban 85 kg = 1,266 cm
 - Untuk beban 90 kg = 1,274 cm



Gambar 10. Titik Join yang Dikenai Beban Percobaan ke-6 Pelat II

1.g Percobaan ke-7

Dalam percobaan ke-7, beban berjumlah 5 titik diletakkan pada luasan 1 m² di area tengah pelat dengan kenaikan besar beban yaitu 60 kg, 65 kg, 70 kg, 75 kg, 80 kg, 85 kg dan 90 kg. Hasil besar lendutan titik-titik join pada percobaan ke-7 pelat II (Gambar 11) sebagai berikut:

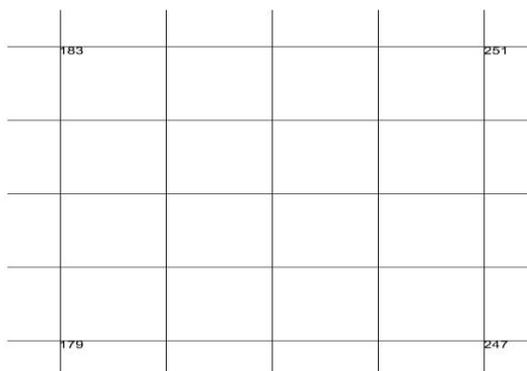


Gambar 11. Titik Join yang Dikenai Beban Percobaan ke-7 Pelat II

- a. Pada pembebanan 5 titik dalam luasan 1 m² didapatkan lendutan terbesar pada join 215 as 9-M (titik tengah).
- b. Kenaikan besar lendutan mulai dari pembebanan 60 kg hingga 90 kg relatif kecil yaitu $\pm 0,006$ cm.
- c. Besar lendutan maksimal tiap pembebanan pada percobaan ke-7 (5 titik) pelat II yaitu
 - Untuk beban 60 kg = 1,211 cm
 - Untuk beban 65 kg = 1,218 cm
 - Untuk beban 70 kg = 1,224 cm
 - Untuk beban 75 kg = 1,231 cm
 - Untuk beban 80 kg = 1,238 cm
 - Untuk beban 85 kg = 1,244 cm
 - Untuk beban 90 kg = 1,251 cm

1.h Percobaan ke-8

Dalam percobaan ke-8, beban berjumlah 4 titik diletakkan pada luasan 1 m² di area tengah pelat dengan kenaikan besar beban yaitu 60 kg, 65 kg, 70 kg, 75 kg, 80 kg, 85 kg dan 90 kg. Hasil besar lendutan titik-titik join pada percobaan ke-8 pelat II (Gambar 12) sebagai berikut:



Gambar 12. Titik Join yang Dikenai Beban Percobaan ke-8 Pelat II

- a. Pada pembebanan 4 titik dalam luasan 1 m² didapatkan lendutan terbesar pada join 215 as 9-M (titik tengah).
- b. Kenaikan besar lendutan mulai dari pembebanan 60 kg hingga 90 kg relatif kecil yaitu $\pm 0,005$ cm.
- c. Besar lendutan maksimal tiap pembebanan pada percobaan ke-8 (4 titik) pelat II yaitu:
 - Untuk beban 60 kg = 1,194 cm
 - Untuk beban 65 kg = 1,200 cm
 - Untuk beban 70 kg = 1,205 cm
 - Untuk beban 75 kg = 1,210 cm
 - Untuk beban 80 kg = 1,215 cm
 - Untuk beban 85 kg = 1,220 cm
 - Untuk beban 90 kg = 1,226 cm

Hasil keseluruhan percobaan pelat II (as 4-5-C-D) lantai ke-3 gedung Rektorat Universitas Islam "45" dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Hasil Percobaan Pelat II (As 4-5-C-D)

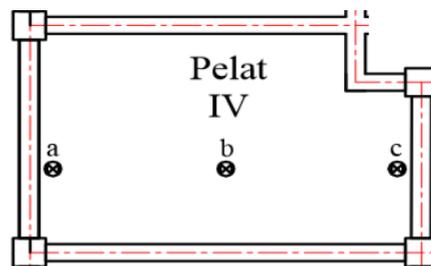
No.	Jenis Pembebanan	Besar Lendutan yang Terjadi dengan Beban (cm)						
		60 kg	65kg	70 kg	75 kg	80 kg	85 kg	90 kg
1	Percobaan 1 (25 titik)	1,537	1,570	1,604	1,638	1,671	1,705	1,739
2	Percobaan 2 (16 titik)	1,387	1,409	1,430	1,451	1,473	1,494	1,515
3	Percobaan 3 (9 titik)	1,276	1,288	1,300	1,312	1,324	1,336	1,348
4	Percobaan 4 (8 titik)	1,259	1,270	1,280	1,291	1,301	1,312	1,323
5	Percobaan 5 (7 titik)	1,243	1,252	1,262	1,271	1,280	1,290	1,299
6	Percobaan 6 (6 titik)	1,226	1,234	1,242	1,250	1,258	1,266	1,274
7	Percobaan 7 (5 titik)	1,211	1,218	1,224	1,231	1,238	1,244	1,251
8	Percobaan 8 (4 titik)	1,194	1,200	1,205	1,210	1,215	1,220	1,226

Setelah melihat hasil lendutan awal dan hasil percobaan pembebanan pada pelat II maka besar beban maksimal yang masih bisa bekerja di area tengah pelat II yaitu 5 titik dengan berat 70 kg (setara 350 kg) yang menghasilkan besar lendutan 1,224 cm.

2. Lendutan pada pelat IV (as 5-6-A-B)

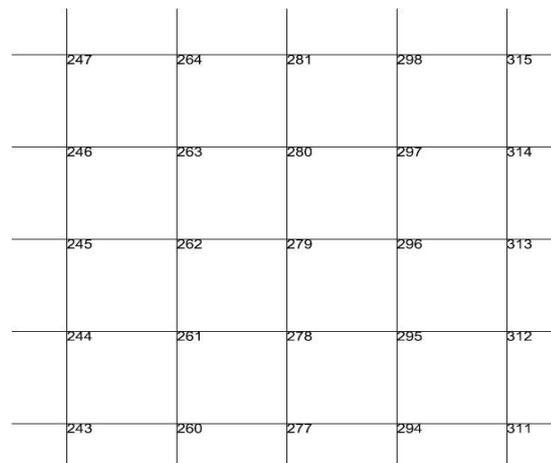
Data spesifikasi:

- a. Pelat IV berfungsi sebagai ruang rapat.
- b. Ukuran dimensi pada pelat II yaitu: panjang (l) = 6,00 m; lebar (b) = 4,00 m; tebal (h_{pelat}) = 0,12 m.
- c. Pelat IV dijepit oleh kolom pada ketiga ujungnya dan pada ujung lainnya merupakan perpotongan balok.
- d. Besar lendutan yang terjadi (Δ_{awal}) pada area tengah pelat (titik b) yaitu 0,07 m.
- e. Kuat tekan beton ($f'c$) = 181,077 kg/cm² = 18,1077 Mpa
- f. Modulus elastisitas (E) = 20.000 MPa = 2,0 . 10⁵ kg/cm²



Gambar 13. Tampak Atas Pelat IV

Pada Gambar 13 sudah ditampilkan pemodelan struktur untuk tipe pelat IV. Area percobaan terletak di dalam kotak dengan luas 1 m², susunan titik-titik join yang terletak di dalam kotak akan digambarkan sebagai berikut:



Gambar 14. Susunan Titik Join pada Area Tengah Pelat IV

Percobaan pembebanan yang dilakukan pada pelat IV bertujuan untuk mengetahui besar beban maksimum yang masih bisa bekerja di tengah pelat IV secara aman.

Hasil keseluruhan percobaan pelat IV (as 5-6-A-B) lantai ke-3 gedung Rektorat Universitas Islam '45 dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini:

Tabel 3. Hasil Percobaan Pelat IV (As 5-6-A-B)

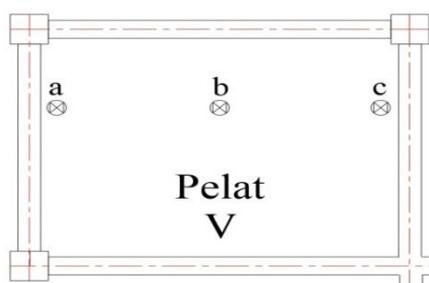
No.	Jenis Pembebanan	Besarnya Lendutan yang Terjadi dengan Beban (cm)						
		60 kg	65kg	70 kg	75 kg	80 kg	85 kg	90 kg
1	Percobaan 1 (25 titik)	0,883	0,903	0,923	0,943	0,962	0,982	1,002
2	Percobaan 2 (16 titik)	0,795	0,808	0,820	0,833	0,846	0,858	0,871
3	Percobaan 3 (9 titik)	0,729	0,736	0,743	0,750	0,758	0,765	0,772
4	Percobaan 4 (8 titik)	0,719	0,726	0,732	0,738	0,744	0,751	0,757
5	Percobaan 5 (7 titik)	0,710	0,715	0,721	0,726	0,732	0,737	0,743
6	Percobaan 6 (6 titik)	0,700	0,705	0,709	0,714	0,719	0,723	0,728
7	Percobaan 7 (5 titik)	0,691	0,695	0,699	0,703	0,707	0,711	0,714
8	Percobaan 8 (4 titik)	0,681	0,684	0,687	0,690	0,694	0,697	0,700

Setelah melihat hasil lendutan awal dan hasil percobaan pembebanan pada pelat IV (as 5-6-A-B) maka beban maksimal yang masih bisa bekerja di area tengah pelat IV yaitu 5 titik dengan berat 60 kg (setara 300 kg) dengan besar lendutan 0,691 cm

3. Lendutan pada pelat V (as 6-7-A-B)

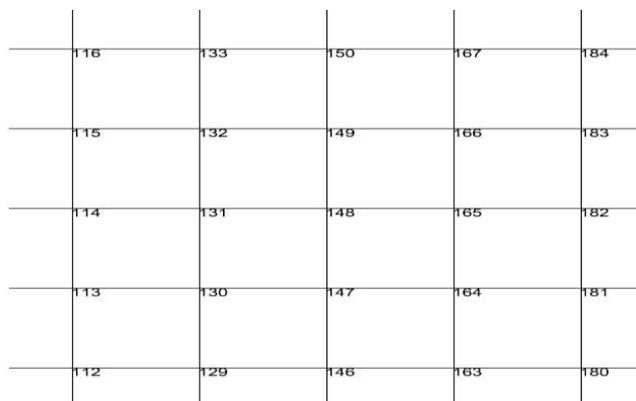
Data spesifikasi:

- Pelat V berfungsi sebagai ruang keuangan.
- Ukuran dimensi pada pelat V yaitu: panjang (l) = 5,00 m; lebar (b) = 4,00 m; tebal (h_{pelat}) = 0,12 m.
- Pelat V dijepit oleh kolom pada ketiga ujungnya dan pada ujung lainnya merupakan perpotongan balok.
- Besar lendutan yang terjadi (Δ_{awal}) pada area tengah pelat (titik b) (2,0 m ;1,75 m) yaitu 0,109 m.



Gambar 15. Tampak Atas Pelat V

Pada Gambar 15 sudah ditampilkan pemodelan struktur untuk tipe pelat V. Area percobaan terletak di dalam kotak dengan luas 1 m² dengan susunan titik-titik join akan ditampilkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Susunan Titik Join pada Area Tengah Pelat V

Sama seperti pelat II dan pelat IV, pada pelat V juga akan dilakukan percobaan pembebanan untuk mengetahui besar beban maksimum yang masih bisa bekerja di tengah pelat V secara aman. Besar lendutan titik-titik join pada setiap percobaan pelat IV dapat dilihat pada lampiran 2.

Hasil keseluruhan percobaan pelat V (as 6-7-A-B) lantai ke-3 gedung Rektorat Universitas Islam '45 dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Hasil Percobaan Pelat V (As 6-7-A-B)

No.	Jenis Pembebanan	Besarnya Lendutan yang Terjadi dengan Beban (cm)						
		60 kg	65kg	70 kg	75 kg	80 kg	85 kg	90 kg
1	Percobaan 1 (9 titik)	0,889	0,898	0,907	0,916	0,925	0,933	0,942
2	Percobaan 2 (8 titik)	0,877	0,885	0,893	0,900	0,908	0,916	0,924
3	Percobaan 3 (7 titik)	0,865	0,872	0,879	0,886	0,893	0,900	0,906
4	Percobaan 4 (6 titik)	0,853	0,859	0,865	0,871	0,876	0,882	0,888
5	Percobaan 5 (5 titik)	0,842	0,847	0,852	0,856	0,861	0,866	0,871
6	Percobaan 6 (4 titik)	0,830	0,833	0,837	0,841	0,845	0,849	0,853

Setelah melihat hasil lendutan awal dan hasil percobaan pembebanan pada pelat V (as 6-7-A-B) maka beban maksimal yang masih bisa bekerja di area tengah pelat V yaitu besarnya harus lebih kecil dari 240 kg (4 titik dengan berat 60 kg) mengingat besar lendutan awal sudah mencapai > 10 cm.

❖ ANALISIS PERKUATAN STRUKTUR

Komponen struktur pada lantai ke-3 gedung Rektorat Universitas Islam '45 yang akan diperkuat ialah struktur pelat lantai dan balok. Dibawah ini akan diuraikan proses perhitungan perkuatan pada kedua komponen struktur tersebut.

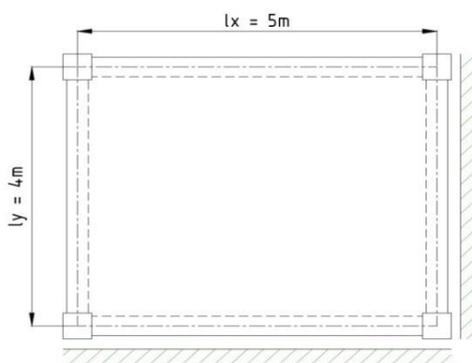
❖ Perhitungan Perkuatan Struktur Pelat Lantai

Pada lantai ke-3 gedung Rektorat Universitas Islam '45 terdapat 5 lokasi pelat yang mengalami lendutan sehingga perlu dilakukan penambahan perkuatan. Namun hanya akan dianalisis 2 lokasi sebagai perwakilan untuk mencari dimensi perkuatan yang efektif dan efisien. Berikut akan diuraikan perhitungan perkuatan pada 2 lokasi yang dipilih.

A. Perkuatan pelat V lantai ke-3 gedung Rektorat Universitas Islam '45 (as 6-7-A-B).

Diketahui:

Tebal pelat (t_b)	= 12 cm
Bentang panjang pelat	= 5,0 m
Bentang pendek pelat	= 4,0 m
Kuat tekan beton (f'_c)	= 162,19 kg/cm ² = 16,219 MPa
Modulus elastisitas (E_c)	= 18.928,225 Mpa



Gambar 17. Denah Pelat V (As 6-7-A-B)

- Perhitungan pembebanan (dihitung tiap 1 m')

a. Akibat beban mati (Q_D)

$$\text{Beban pelat sendiri} = 0,12 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 288 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban keramik (1 cm)} = 1 \times 24 \text{ kg/m}^2 = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban spesi (2 cm)} = 2 \times 21 \text{ kg/m}^2 = 42 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban plafon + penggantung} = (11 + 7) \text{ kg/m}^2 = 18 \text{ kg/m}^2$$

$$Q_D = 372 \text{ kg/m}^2$$

b. Akibat beban hidup (Q_L)

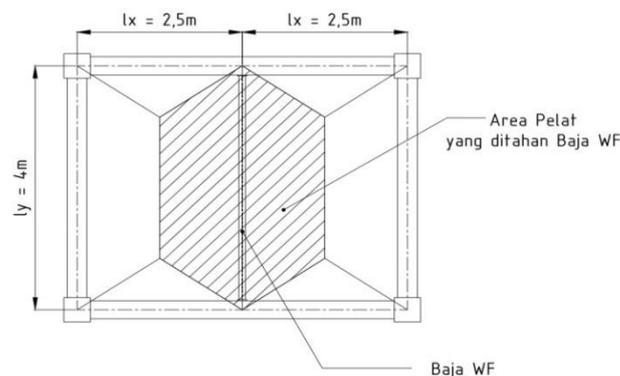
Berdasarkan Peraturan Pembangunan Indonesia Untuk Gedung, 1983 yaitu:

Beban hidup untuk gedung kantor adalah 250 kg/m^2 (dihitung tiap 1 m')

c. Menghitung beban ultimate (Q_U)

$$Q_U = 1,2 Q_D + 1,6 Q_L$$

$$= 1,2 (372) + 1,6 (250) = 846,4 \text{ kg/m}^2$$



Gambar 18. Denah Pembagian Beban Pelat V (As 6-7-A-B)

- Pelat mengalami lendutan di area tengah sebesar 0,1 m maka direncanakan perkuatan menggunakan baja WF sebagai balok penguat di bagian tengah pelat.
- Mengubah beban trapesium dari pelat menjadi beban merata (beban ekuivalen) pada bagian balok.

$$Q_{eq} = \frac{1}{2} \cdot Q_U \cdot \left(\frac{l_x}{l_y}\right) \cdot \left(l_y^2 - \frac{1}{3} l_x^2\right) \cdot 2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 846,4 \cdot \left(\frac{2,5}{4}\right) \cdot \left(4^2 - \frac{2,5^2}{3}\right) \cdot 2$$

$$= 1840,4792 \text{ kg/m}$$

- Mengukur panjang bentang balok (baja WF).

$$l_{WF} = l_y - 2 \cdot \left(\frac{1}{2} b_{balok}\right) = 4 - 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 0,3\right) = 3,7 \text{ m}$$

- Mencari dimensi profil baja WF yang memadai

Setelah dilakukan beberapa percobaan maka didapatkan bahwa profil baja WF 125x60 BJ 37 merupakan dimensi paling efektif dan efisien yang layak digunakan

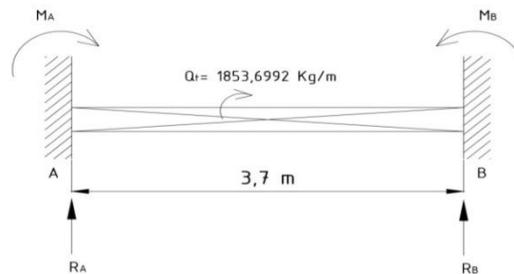
sebagai perkuatan pelat V. Berikut uraian perhitungan profil baja WF 125x60 BJ 37 yaitu:

1. Profil baja WF 125 x 60 dengan BJ 37.

Data profil:

$$\begin{array}{lll}
 d & = & 125 \text{ mm} & w & = & 13,22 \text{ kg/m} & a_s & = & 16,84 \text{ cm}^2 \\
 b_f & = & 60 \text{ mm} & I_x & = & 413 \text{ cm}^4 \\
 t_w & = & 6 \text{ mm} & S_x & = & 66 \text{ cm}^3 \\
 t_f & = & 8 \text{ mm} & S_y & = & 10 \text{ cm}^3 \\
 r & = & 9 \text{ mm} & Z_x & = & 74 \text{ cm}^3 \\
 H_2 & = & 91 \text{ mm} & Z_y & = & 15 \text{ cm}^3
 \end{array}$$

- Menghitung momen *ultimate* balok perkuatan akibat pembebanan (M_u)
Balok dijepit pada kedua ujung dengan pembebanan merata diseluruh bentang, maka momen *ultimate* terletak pada area tengah bentang.
- a. Menghitung beban yang bekerja pada balok:
Beban equivalen pada pelat = 1840,4792 kg/m
Berat sendiri balok (w_{baja}) = 13,22 kg/m
+
 $Q_t = 1853,6992 \text{ kg/m}$



Gambar 19. Struktur Statis Tak Tentu Perkuatan WF 125 x 60 pada Pelat V (As 6-7-A-B)

- b. Menghitung reaksi perletakan:

$$\begin{aligned}
 R_A &= \frac{1}{2} \cdot Q_t \cdot l \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1853,6992 \cdot 3,7 = 3429,3435 \text{ kg () } \uparrow
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_B &= \frac{1}{2} \cdot Q_t \cdot l \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1853,6992 \cdot 3,7 = 3429,3435 \text{ kg () } \uparrow
 \end{aligned}$$

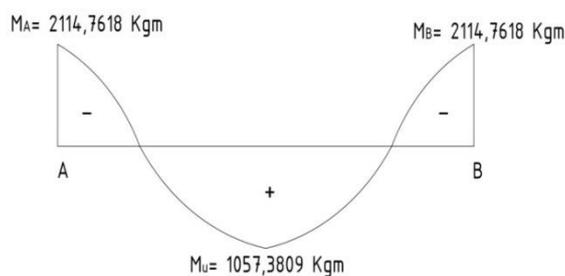
Karena beban yang bekerja di balok adalah beban merata di seluruh bentang balok maka $R_A = R_B$.

c. Menghitung momen pada tiap ujung jepit:

$$\begin{aligned}
 M_A &= \frac{1}{12} \cdot Q_t \cdot l^2 \\
 &= \frac{1}{12} \cdot 1853,6992 \cdot 3,7^2 = 2114,7618 \text{ kgm} \\
 M_B &= \frac{1}{12} \cdot Q_t \cdot l^2 \\
 &= \frac{1}{12} \cdot 1853,6992 \cdot 3,7^2 = 2114,7618 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

d. Menghitung momen *ultimate*:

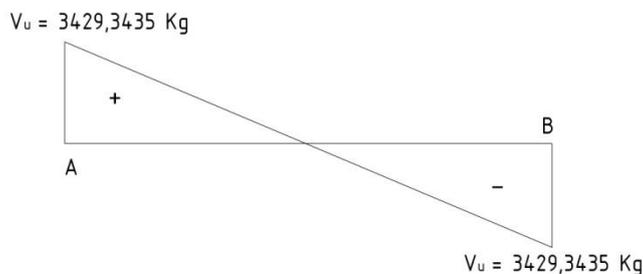
$$\begin{aligned}
 M_u &= (R_A \cdot \frac{1}{2} l) - (Q_t \cdot \frac{1}{2} l \cdot \frac{1}{4} l) - M_A \\
 &= (3429,344 \times 1,85) - (1853,699 \times 1,85 \times 0,925) - 2114,7618 \\
 &= 1057,3809 \text{ kgm} \approx 105.738,09 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$



Gambar 20. Diagram Bidang Momen Perkuatan
WF 125 x 60 pada Pelat V (As 6-7-A-B)

e. Menghitung gaya geser yang terjadi:

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{1}{2} Q_t \cdot l \\
 &= 0,5 \cdot 1853,6992 \cdot 3,7 = 3429,3435 \text{ kg}
 \end{aligned}$$



Gambar 21. Diagram Gaya Geser Perkuatan
WF 125 x 60 pada Pelat V (As 6-7-A-B)

- Kontrol kriteria penampang

Untuk sayap (*flens*)

$$\lambda_f \leq \lambda_p$$

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{170}{\sqrt{f_y}}$$

$$\frac{60}{2(8)} \leq \frac{170}{\sqrt{240}}$$

$$3,75 \leq 10,973 \text{ (oke)}$$

Untuk Badan (*web*)

$$\lambda_w \leq \lambda_p$$

$$\frac{H_2}{t_w} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$$

$$\frac{91}{6} \leq \frac{1680}{\sqrt{240}}$$

$$15,167 \leq 108,4435 \text{ (oke)}$$

Karena $\lambda_f \leq \lambda_p$ dan $\lambda_w \leq \lambda_p$ maka penampang dinyatakan kompak.

- Menghitung tahanan momen nominal/tahanan momen plastis

$$\frac{M_u}{\phi_b} = \frac{1057,3809}{0,9} = 1174,8677 \text{ kgm}$$

Tahanan momen plastis untuk balok dengan penampang kompak yaitu:

$$M_n = M_p = Z_x \cdot f_y$$

Modulus plastis terhadap sumbu x (Z_x):

$$Z_x = b_f \cdot t_f (d - t_f) + \frac{1}{4} t_w (d - 2t_f)^2$$

$$= 6 \cdot 0,8 \cdot (12,5 - 0,8) + \frac{1}{4} \cdot 0,6 \cdot (12,5 - 1,6)^2$$

$$= 73,9815 \text{ cm}^3 \approx 74 \text{ cm}^3$$

$$M_n = Z_x \cdot f_y$$

$$= 74 \cdot 2400 = 177.600 \text{ kgcm} = 1776 \text{ kgm}$$

Persyaratan:

$$M_n > \frac{M_u}{\phi_b} = 1776 \text{ kgm} > 1181,5669 \text{ kgm} \text{ (oke)}$$

- Menghitung distribusi tegangan geser elastis dan besar gaya geser pada penampang gilas

- a. Perhitungan tegangan pada pertemuan antara *flens* dan *web*:

$$V = 3429,3435 \text{ kg}$$

$$Q = b_f \cdot t_f \left(\frac{1}{2} d - \frac{1}{2} t_f \right)$$

$$= 6 \cdot 0,8 (6,25 - 0,4) = 28,08 \text{ cm}^3$$

$$v_{web} = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t_w} = \frac{3429,344 \cdot 28,08}{413 \cdot 0,6} = 388,6036 \text{ kg/cm}^2$$

$$v_{flens} = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b_f} = \frac{3429,344 \cdot 28,08}{413 \cdot 6} = 38,8604 \text{ kg/cm}^2$$

- b. Tegangan pada sumbu netral:

$$Q = b_f \cdot t_f \left(\frac{1}{2} d - \frac{1}{2} t_f \right) + \left[t_w \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{2} d - t_f \right)^2 \right]$$

$$= 28,08 + \left[0,6 \cdot \frac{1}{2} \cdot (6,25 - 0,8)^2\right] = 36,9908 \text{ cm}^3$$

$$v = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t}$$

$$= \frac{3429,3435 \cdot 36,9908}{413 \cdot 0,6} = 511,9215 \text{ kg/cm}^2$$

- c. Gaya geser yang dipikul oleh *flens* dan *web*:

$$V_{flens} = 2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)(v_{flens})(t_f)(b_f)$$

$$= 2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)(38,8604)(0,8)(6) = 186,5299 \text{ kg}$$

$$V_{web} = V - V_{flens}$$

$$= 3429,3435 - 186,5299 = 3242,8136 \text{ kg}$$

Tampak bahwa 94,561% gaya geser dipikul oleh *web*.

- Tahanan geser nominal penampang gilas
- a. Syarat kelangsingan untuk tebal pelat *web*:

$$\frac{H_2}{t_w} \leq \frac{1100}{\sqrt{f_y}}$$

$$\frac{91}{6} \leq \frac{1100}{\sqrt{240}}$$

$$15,1667 \leq 71,0047 \quad (\text{oke})$$

- b. Kuat geser nominal pelat *web*:

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w$$

$$A_w = d \cdot t_w = 12,5 \cdot 0,6 = 7,5 \text{ cm}^2$$

maka,

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w$$

$$= 0,6 \cdot 2400 \cdot 7,5 = 10.800 \text{ kg}$$

$$\phi V_n = 0,9 \cdot 10.800 = 9720 \text{ kg}$$

Persyaratan:

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$9720 \text{ kg} \geq 3429,3435 \text{ kg} \quad (\text{oke})$$

Hasil perhitungan seluruh profil baja *WF* yang digunakan sebagai percobaan perkuatan pada pelat V dapat dilihat pada Tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Perkuatan Pelat V (As 6-7-A-B)

No	Simbol	Sat.	Hasil Perhitungan (BJ 37)		
			WF 148 x100	WF 125x125	WF 125x60
1	Q_t	kg/m	18,615,492	18,642,692	18,536,992
2	R_A	kg	3,443,866	3,448,898	34,293,435
3	R_B	kg	3,443,866	3,448,898	34,293,435
4	M_A	kgm	21,237,174	21,268,204	21,147,618
5	M_B	kgm	21,237,174	21,268,204	21,147,618
6	M_u	kgm	10,618,586	10,634,102	10,573,809
7	V_u	kg	3,443,866	3,448,898	34,293,435
8	$\frac{M_u}{\phi_B}$	kgm	11,798,429	11,815,669	11,748,677
9	M_n	kgm	3600	3576	1776
10	v_{web}	kg/cm ²	3,519,834	408,756	3,886,036
11	v_{flens}	kg/cm ²	21,119	212,553	388,604
12	v	kg/cm ²	4,233,085	4,670,298	5,119,215
13	V_{flens}	kg (%)	190,071 -5,519	2,391,221 -6,933	1,865,299 -5,439
14	V_{web}	kg (%)	3,253,795 -94,481	32,097,759 -93,067	32,428,136 -94,561
15	V_n	kg	12.787,2	11.7	10.8
16	ϕV_n	kg	11.508,48	10.53	9720

Berdasarkan hasil perhitungan perkuatan pelat V yang didapatkan dari percobaan 3 dimensi profil WF dinyatakan bahwa persyaratan $M_n > \frac{M_u}{\phi_B}$ dan $\phi V_n \geq V_u$ telah terpenuhi oleh ketiga dimensi percobaan. Sehingga ketiga dimensi profil tersebut dinyatakan layak digunakan sebagai perkuatan pada pelat V. Namun yang akan digunakan sebagai profil perkuatan pada pelat V diambil berdasarkan luas penampang (as) terkecil yaitu profil baja WF 125x60 BJ 37.

B. Perkuatan pelat II lantai ke-3 gedung Rektorat Universitas Islam '45 (as 4-5-C-D).

Diketahui:

Tebal pelat (t_b)	= 12 cm
Bentang panjang pelat	= 6,0 m
Bentang pendek pelat	= 4,0 m
Kuat tekan beton (f'_c)	= 181,077 kg/cm ² = 18,1077 MPa
Modulus elastisitas (E_c)	= 20.000 MPa



Gambar 22. Denah Pelat II (As 4-5-C-D)

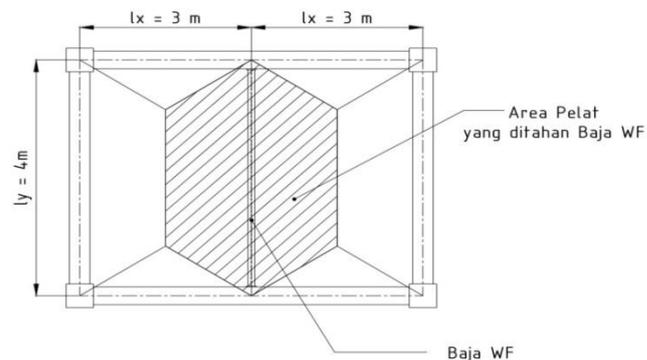
- Perhitungan pembebanan (dihitung tiap 1 m')
- a. Akibat beban mati (Q_D)

Beban pelat sendiri	$= 0,12 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 288 \text{ kg/m}^2$
Beban keramik (1 cm)	$= 1 \times 24 \text{ kg/m}^2 = 24 \text{ kg/m}^2$
Beban spesi (2 cm)	$= 2 \times 21 \text{ kg/m}^2 = 42 \text{ kg/m}^2$
Beban plafon + penggantung	$= (11 + 7) \text{ kg/m}^2 = 18 \text{ kg/m}^2$
	$Q_D = 372 \text{ kg/m}^2$
- b. Akibat beban hidup (Q_L)

Berdasarkan Peraturan Pembangunan Indonesia Untuk Gedung, 1983 yaitu:
Beban hidup untuk gedung kantor adalah 250 kg/m^2 (dihitung tiap 1 m')
- c. Menghitung beban *ultimate* (Q_U)

$$Q_U = 1,2 Q_D + 1,6 Q_L$$

$$= 1,2 (372) + 1,6 (250) = 846,4 \text{ kg/m}^2$$
- Pelat mengalami lendutan di area tengah sebesar 0,07 m maka direncanakan perkuatan menggunakan baja WF sebagai balok penguat dibagian tengah pelat.



Gambar 23. Denah Pembagian Beban Pelat II (As 4-5-C-D)

- Mengubah beban trapesium dari pelat menjadi beban merata (beban equivalen) pada bagian balok.

$$\begin{aligned}
 Q_{eq} &= \frac{1}{2} \cdot Q_U \cdot \left(\frac{l_x}{l_y}\right) \cdot \left(l_y^2 - \frac{1}{3} l_x^2\right) \cdot 2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 846,4 \cdot \left(\frac{3}{4^2}\right) \cdot \left(4^2 - \frac{3^2}{3}\right) \cdot 2 \\
 &= 2063,1 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- Mengukur panjang bentang balok (baja WF).

$$l_{WF} = l_y - 2 \cdot \left(\frac{1}{2} b_{\text{balok}}\right) = 4 - 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 0,3\right) = 3,7 \text{ m}$$

- Mencari dimensi profil baja WF yang memadai.

Setelah dilakukan beberapa percobaan maka didapatkan bahwa profil baja WF 125x60 BJ 37 merupakan dimensi paling efektif dan efisien yang layak digunakan sebagai perkuatan pelat II.

1. Profil baja WF 125 x 60 dengan BJ 37.

Data profil:

d = 125 mm	w = 13,22 kg/m
b _f = 60 mm	I _x = 413 cm ⁴
t _w = 6 mm	S _x = 66 cm ³
t _f = 8 mm	S _y = 10 cm ³
r = 9 mm	Z _x = 74 cm ³
H ₂ = 91 mm	Z _y = 15 cm ³
as = 16,84 cm ²	

- Menghitung momen *ultimate* akibat pembebanan (M_u)

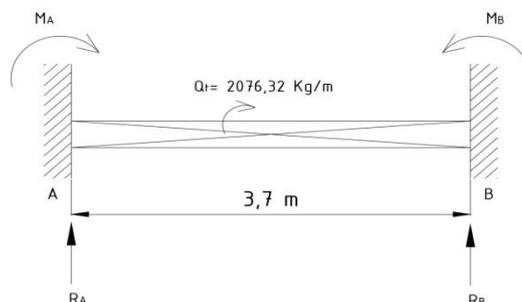
Balok dijepit pada kedua ujung dengan pembebanan merata diseluruh bentang, maka momen *ultimate* terletak pada area tengah bentang.

- a. Menghitung beban yang bekerja pada balok:

Beban equivalen pada pelat = 2063,1 kg/m

Berat sendiri balok (w_{baja}) = 13,22 kg/m

$$Q_t = 2076,32 \text{ kg/m} \quad +$$



Gambar 24. Struktur Statis Tak Tentu Perkuatan WF 125 x 60 pada Pelat II (As 4-5-C-D)

b. Menghitung reaksi perletakan:

$$\begin{aligned}
 R_A &= \frac{1}{2} \cdot Q_t \cdot l \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 2076,32 \cdot 3,7 = 3841,192 \text{ kg } () \uparrow \\
 R_B &= \frac{1}{2} \cdot Q_t \cdot l \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 2076,32 \cdot 3,7 = 3841,192 \text{ kg } () \uparrow
 \end{aligned}$$

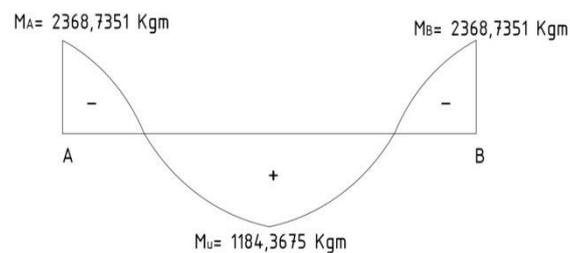
Karena beban yang bekerja di balok adalah beban merata di seluruh bentang balok maka $R_A = R_B$.

c. Menghitung momen pada tiap ujung jepit:

$$\begin{aligned}
 M_A &= \frac{1}{12} \cdot Q_t \cdot l^2 \\
 &= \frac{1}{12} \cdot 2076,32 \cdot 3,7^2 = 2368,7351 \text{ kgm} \\
 M_B &= \frac{1}{12} \cdot Q_t \cdot l^2 \\
 &= \frac{1}{12} \cdot 2076,32 \cdot 3,7^2 = 2368,7351 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

d. Menghitung momen *ultimate*:

$$\begin{aligned}
 M_u &= (R_A \cdot \frac{1}{2} l) - (Q_t \cdot \frac{1}{2} l \cdot \frac{1}{4} l) - M_A \\
 &= (3841,192 \times 1,85) - (2076,32 \times 1,85 \times 0,925) - 2368,7351 \\
 &= 1184,3675 \text{ kgm} \approx 118.436,75 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

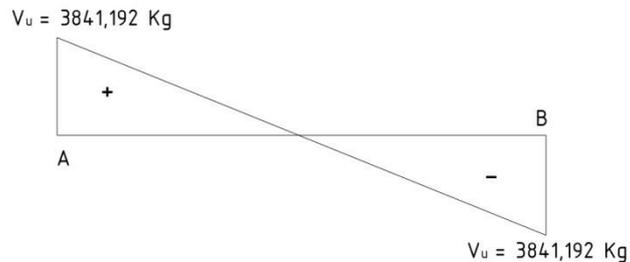


Gambar 25. Diagram Bidang Momen Perkuatan
WF 125 x 60 pada Pelat II (As 4-5-C-D)

- e. Menghitung gaya geser yang terjadi:

$$V_u = \frac{1}{2} Q_t \cdot l$$

$$= 0,5 \cdot 2076,32 \cdot 3,7 = 3841,192 \text{ kg}$$



Gambar 26. Diagram Gaya Geser Perkuatan
WF 125 x 60 pada Pelat II (As 4-5-C-D)

- Kontrol kriteria penampang

Untuk sayap (*flens*)

$$\lambda_f \leq \lambda_p$$

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{170}{\sqrt{f_y}}$$

$$\frac{60}{2(8)} \leq \frac{170}{\sqrt{240}}$$

$$3,75 \leq 10,973 \text{ (oke)}$$

Untuk Badan (*web*)

$$\lambda_w \leq \lambda_p$$

$$\frac{H_z}{t_w} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$$

$$\frac{91}{6} \leq \frac{1680}{\sqrt{240}}$$

$$15,167 \leq 108,4435 \text{ (oke)}$$

Karena $\lambda_f \leq \lambda_p$ dan $\lambda_w \leq \lambda_p$ maka penampang dinyatakan kompak.

- Menghitung tahanan momen nominal/tahanan momen plastis

$$\frac{M_u}{\phi_b} = \frac{1184,3675}{0,9} = 1315,9639 \text{ kgm}$$

Tahanan momen plastis untuk balok dengan penampang kompak yaitu:

$$M_n = Z_x \cdot f_y$$

Modulus plastis terhadap sumbu x (Z_x):

$$Z_x = b_f \cdot t_f (d - t_f) + \frac{1}{4} t_w (d - 2t_f)^2$$

$$= 6 \cdot 0,8 \cdot (12,5 - 0,8) + \frac{1}{4} \cdot 0,6 \cdot (12,5 - 1,6)^2$$

$$= 73,9815 \text{ cm}^3 \approx 74 \text{ cm}^3$$

$$M_n = Z_x \cdot f_y$$

$$= 74 \cdot 2400 = 177.600 \text{ kgcm} = 1776 \text{ kgm}$$

Persyaratan:

$$M_n > \frac{M_u}{\phi_b} = 1776 \text{ kgm} > 1315,9639 \text{ kgm (oke)}$$

- Menghitung distribusi tegangan geser elastis dan besar gaya geser pada penampang giras

- a. Perhitungan tegangan pada pertemuan antara *flens* dan *web*:

$$V = 3841,192 \text{ kg}$$

$$Q = b_f \cdot t_f \left(\frac{1}{2} d - \frac{1}{2} t_f \right)$$

$$= 6 \cdot 0,8(6,25 - 0,4) = 28,08 \text{ cm}^3$$

$$v_{web} = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t_w} = \frac{3841,19 \cdot 28,08}{413 \cdot 0,6} = 435,2731 \text{ kg/cm}^2$$

$$v_{flens} = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b_f} = \frac{3841,19 \cdot 28,08}{413 \cdot 6} = 43,5273 \text{ kg/cm}^2$$

- b. Tegangan pada sumbu netral:

$$Q = b_f \cdot t_f \left(\frac{1}{2} d - \frac{1}{2} t_f \right) + [t_w \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{2} d - t_f \right)^2]$$

$$= 28,08 + [0,6 \cdot \frac{1}{2} \cdot (6,25 - 0,8)^2] = 36,9908 \text{ cm}^3$$

$$v = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t}$$

$$= \frac{3841,192 \cdot 36,9908}{413 \cdot 0,6} = 573,401 \text{ kg/cm}^2$$

- c. Gaya geser yang dipikul oleh *flens* dan *web*:

$$V_{flens} = 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \right) (v_{flens})(t_f)(b_f)$$

$$= 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \right) (43,5273)(0,8)(6) = 208,931 \text{ kg}$$

$$V_{web} = V - V_{flens}$$

$$= 3841,192 - 208,931 = 3632,261 \text{ kg}$$

Tampak bahwa 94,561% gaya geser dipikul oleh *web*.

- Tahanan geser nominal penampang giras

- a. Syarat kelangsingan untuk tebal pelat *web*:

$$\frac{H_2}{t_w} \leq \frac{1100}{\sqrt{f_y}}$$

$$\frac{91}{6} \leq \frac{1100}{\sqrt{240}}$$

$$15,1667 \leq 71,0047 \quad (\text{oke})$$

- b. Kuat geser nominal pelat *web*:

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w$$

$$A_w = d \cdot t_w = 12,5 \cdot 0,6 = 7,5 \text{ cm}^2$$

maka,

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \\
 &= 0,6 \cdot 2400 \cdot 7,5 = 10.800 \text{ kg} \\
 \phi V_n &= 0,9 \cdot 10.800 = 9720 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Persyaratan:

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$9720 \text{ kg} \geq 3860,7465 \text{ kg} \quad (\text{oke})$$

Hasil perhitungan seluruh profil baja *WF* yang digunakan sebagai percobaan perkuatan pada pelat II dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Perkuatan Pelat II (As 4-5-C-D)

No	Simbol	Sat.	Hasil Perhitungan (BJ 37)		
			WF 150x75	WF 125x60	WF 100x100
1	Q_t	kg/m	2077,11	2076,32	2080,29
2	R_A	kg	38,426,535	3,841,192	38,485,365
3	R_B	kg	38,426,535	3,841,192	38,485,365
4	M_A	kgm	23,696,363	23,687,351	23,732,642
5	M_B	kgm	23,696,363	23,687,351	23,732,642
6	M_u	kgm	11,848,182	11,843,675	11,866,321
7	V_u	kg	38,426,535	3,841,192	38,485,365
8	$\frac{M_u}{\phi_b}$	kgm	13,164,647	13,159,639	13,184,801
9	M_n	kgm	2352	1776	2016
10	v_{web}	kg/cm ²	433,164	4,352,731	6,163,017
11	v_{flens}	kg/cm ²	288,776	435,273	369,781
12	v	kg/cm ²	5,665,606	573,401	7,049,286
13	V_{flens}	kg (%)	1,516,074 -3,945	208,931 -5,439	2,958,248 -7,687
14	V_{web}	kg (%)	36,910,461 -96,055	3,632,261 -94,561	35,527,117 -92,313
15	V_n	kg	10.8	10.8	8640
16	ϕV_n	kg	9720	9720	7776

Berdasarkan hasil perhitungan perkuatan pelat II yang didapatkan dari percobaan 3 dimensi profil *WF* dinyatakan bahwa persyaratan $M_n > \frac{M_u}{\phi_b}$ dan $\phi V_n \geq V_u$ telah terpenuhi oleh ketiga dimensi percobaan. Sehingga ketiga dimensi profil tersebut dinyatakan layak

digunakan sebagai perkuatan pada pelat II. Namun yang akan digunakan sebagai profil perkuatan pada pelat II diambil berdasarkan luas penampang (as) terkecil yaitu profil baja WF 125x60 BJ 37.

Perhitungan Perkuatan Struktur Balok

Untuk menambah kekuatan struktur pada gedung Rektorat Universitas Islam '45, selain pada pelat lantai, penambahan perkuatan juga dilakukan pada struktur balok.

Area struktur balok yang perlu diberi perkuatan adalah sebagai berikut:

- Balok as 4 (as A-B) dan balok as 5 (as A-B) pada ruang rapat.
- Balok as 4 (as C-D), balok as 5 (as C-D) dan balok as 6 (as C-D) pada ruang *lobby*.
- Balok as 6 (as A-B) dan balok as 7 (as A-B) pada ruang keuangan.

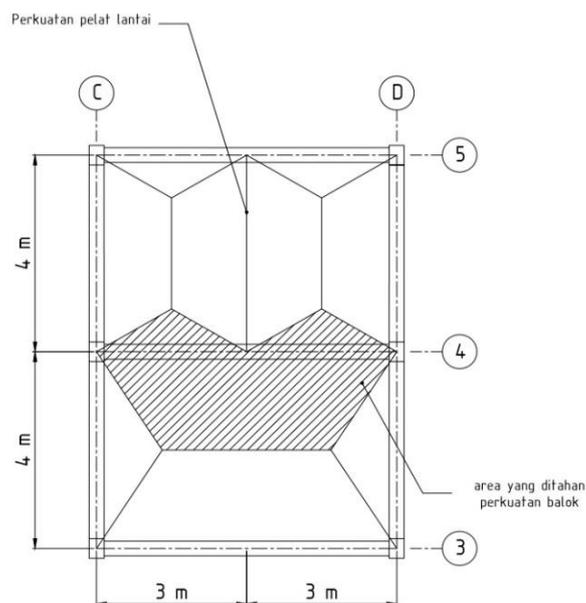
Namun hanya akan dianalisis 2 lokasi sebagai perwakilan untuk mencari dimensi perkuatan yang efektif dan efisien. Berikut ini akan diuraikan perhitungan perkuatan pada 2 lokasi yang dipilih.

A. Perkuatan balok as 4 (as C-D) lantai ke-3 gedung Rektorat Universitas Islam '45.

Diketahui:

Tebal pelat (t_b)	= 12 cm
Tinggi balok (h_{balok})	= 40 cm
Lebar balok (b_{balok})	= 30 cm
Bentang balok (l_x)	= 6,0 m
Kuat tekan beton ($f'c$)	= 200 kg/cm ² = 20 MPa
Modulus Elastisitas (E_c)	= 21.019,039 Mpa

- Perhitungan pembebanan
- Beban *ultimate* dari pelat lantai (Q_u):
 $Q_u = 846,4 \text{ kg/m}^2$



Gambar 27. Denah Pembagian Beban Pelat yang Diterima Perkuatan Balok As 4 (As C-D)

- b. Menghitung beban ekuivalen dari pelat lantai (Q_{eq}):

Beban trapesium dari pelat:

$$\begin{aligned} Q_{eq1} &= \frac{1}{2} \cdot Q_U \cdot \left(\frac{l_x}{l_y}\right) \cdot \left(l_y^2 - \frac{1}{3} l_x^2\right) \\ &= \frac{1}{2} \cdot 846,4 \cdot \left(\frac{4}{6}\right) \cdot \left(6^2 - \frac{1}{3} 4^2\right) \\ &= 1441,8722 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban segitiga dari pelat:

$$\begin{aligned} Q_{eq2} &= \left(\frac{1}{3} \cdot Q_U \cdot l_x\right) \cdot 2 \\ &= \left(\frac{1}{3} \cdot 846,4 \cdot 3\right) \cdot 2 = 1692,8 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} Q_{eq \text{ total}} &= Q_{eq1} + Q_{eq2} \\ &= 1441,8722 + 1692,8 = 3134,6722 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- c. Menghitung beban akibat berat balok beton:

$$Q_{\text{balok}} = 0,28 \cdot 0,3 \cdot 2400 = 201,6 \text{ kg/m}$$

- Mengukur panjang bentang perkuatan balok (baja WF)

$$l_{WF} = 6 - 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 0,3\right) = 5,7 \text{ m}$$

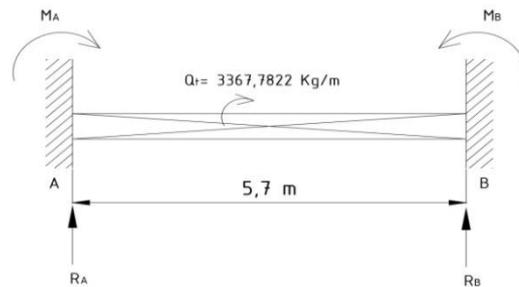
- Mencari profil baja WF yang memadai
1. Dicoba profil baja WF 150 x 150 dengan BJ 37

Data profil:

$$\begin{array}{ll} d &= 150 \text{ mm} & w &= 31,51 \text{ kg/m} \\ b_f &= 150 \text{ mm} & I_x &= 1640 \text{ cm}^4 \\ t_w &= 7 \text{ mm} & S_x &= 219 \text{ cm}^3 \\ t_f &= 10 \text{ mm} & S_y &= 75 \text{ cm}^3 \\ r &= 11 \text{ mm} & Z_x &= 240 \text{ cm}^3 \\ H_2 &= 108 \text{ mm} & Z_y &= 114 \text{ cm}^3 \\ as &= 40,1 \text{ cm}^2 \end{array}$$

- a. Menghitung beban yang bekerja pada perkuatan:

$$\begin{array}{r} \text{Beban ekuivalen pada pelat} &= 3134,6722 \text{ kg/m} \\ \text{Beban akibat balok beton} &= 201,6 \text{ kg/m} \\ \text{Berat sendiri balok (} w_{baja} \text{)} &= 31,51 \text{ kg/m} \\ \hline Q_i &= 3367,7822 \text{ kg/m} \end{array} +$$



Gambar 28. Struktur Statis Tak Tentu Perkuatan
WF 150 x150 pada Balok As 4 (As C-D)

- b. Menghitung reaksi perletakan:

$$\begin{aligned} R_A &= R_B \\ &= \frac{1}{2} \cdot Q_t \cdot l \\ &= \frac{1}{2} \cdot 3367,7822 \cdot 5,7 = 9598,1793 \text{ kg} \quad () \uparrow \end{aligned}$$

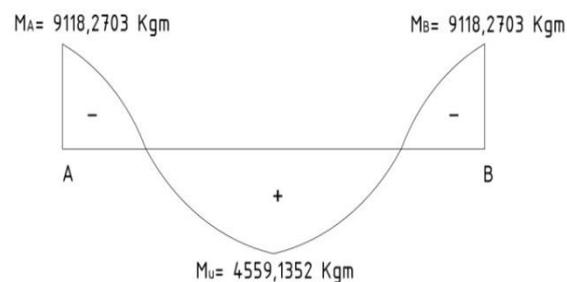
Karena beban yang bekerja di balok adalah beban merata di seluruh bentang balok maka $R_A = R_B$.

- c. Menghitung momen pada tiap ujung jepit:

$$\begin{aligned} M_A &= M_B \\ &= \frac{1}{12} \cdot Q_t \cdot l^2 \\ &= \frac{1}{12} \cdot 3367,7822 \cdot 5,7^2 = 9118,2703 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- d. Menghitung momen *ultimate*:

$$\begin{aligned} M_u &= \left(R_A \cdot \frac{1}{2} l \right) - \left(Q_t \cdot \frac{1}{2} l \cdot \frac{1}{4} l \right) - M_A \\ &= (9598,1793 \times 2,85) - (3367,7822 \times 2,85 \times 1,425) - 9118,2703 \\ &= 4559,1352 \text{ kgm} \approx 455.913,52 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

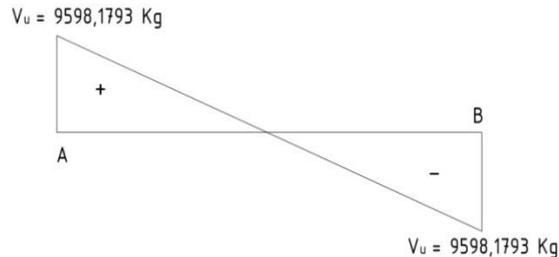


Gambar 29. Diagram Bidang Momen Perkuatan
WF 150 x150 pada balok As 4 (As C-D)

- e. Menghitung gaya geser yang terjadi:

$$V_u = \frac{1}{2} Q_t \cdot l$$

$$= 0,5 \cdot 3367,7822 \cdot 5,7 = 9598,1793 \text{ kg}$$



Gambar 30. Diagram Gaya Geser Perkuatan WF 150 x150 pada balok As 4 (As C-D)

- f. Kontrol kriteria penampang

Untuk sayap (*flens*) Untuk Badan (*web*)

$$\lambda_f \leq \lambda_p \qquad \lambda_w \leq \lambda_p$$

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{170}{\sqrt{f_y}} \qquad \frac{H_2}{t_w} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$$

$$\frac{150}{2(10)} \leq \frac{170}{\sqrt{240}} \qquad \frac{108}{7} \leq \frac{1680}{\sqrt{240}}$$

$$7,5 \leq 10,973 \text{ (oke)} \quad 15,4286 \leq 108,4435 \text{ (oke)}$$

Karena $\lambda_f \leq \lambda_p$ dan $\lambda_w \leq \lambda_p$ maka penampang dinyatakan kompak.

- g. Menghitung tahanan momen nominal/tahanan momen plastis

$$\frac{M_u}{\phi_b} = \frac{4559,1352}{0,9} = 5065,7058 \text{ kgm}$$

Tahanan momen plastis untuk balok dengan penampang kompak yaitu:

$$M_n = M_p = Z_x \cdot f_y$$

Modulus plastis terhadap sumbu x (Z_x):

$$Z_x = b_f \cdot t_f (d - t_f) + \frac{1}{4} t_w (d - 2t_f)^2$$

$$= 15 \cdot 1 \cdot (15 - 1) + \frac{1}{4} \cdot 0,7 \cdot (15 - 2)^2$$

$$= 239,575 \text{ cm}^3 \approx 240 \text{ cm}^3$$

$$M_n = Z_x \cdot f_y$$

$$= 240 \cdot 2400 = 576.000 \text{ kgcm} = 5760 \text{ kgm}$$

Persyaratan:

$$M_n > \frac{M_u}{\phi_b} = 5760 \text{ kgm} > 5065,7058 \text{ kgm} \text{ (oke)}$$

h. Menghitung distribusi tegangan geser elastis dan besar gaya geser pada penampang giras

- Perhitungan tegangan pada pertemuan antara *flens* dan *web*:

$$V = 9598,1793 \text{ kg}$$

$$Q = b_f \cdot t_f \left(\frac{1}{2} d - \frac{1}{2} t_f \right) = 15 \cdot 1(7,5 - 0,5) = 105 \text{ cm}^3$$

$$v_{web} = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t_w} = \frac{9598,179 \cdot 105}{1640 \cdot 0,7} = 877,8823 \text{ kg/cm}^2$$

$$v_{flens} = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b_f} = \frac{9598,179 \cdot 105}{1640 \cdot 15} = 40,9678 \text{ kg/cm}^2$$

- Perhitungan tegangan pada sumbu netral:

$$Q = b_f \cdot t_f \left(\frac{1}{2} d - \frac{1}{2} t_f \right) + \left[t_w \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{2} d - t_f \right)^2 \right]$$

$$= 105 + \left[0,7 \cdot \frac{1}{2} \cdot (7,5 - 1)^2 \right] = 119,7875 \text{ cm}^3$$

$$v = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t} = \frac{9598,1793 \cdot 119,7875}{1640 \cdot 0,7} = 1001,5173 \text{ kg/cm}^2$$

- Gaya geser yang dipikul oleh *flens* dan *web*:

$$V_{flens} = 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \right) (v_{flens})(t_f)(b_f)$$

$$= 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \right) (40,9678)(1)(15) = 614,517 \text{ kg}$$

$$V_{web} = V - V_{flens}$$

$$= 9598,1793 - 614,517 = 8983,6623 \text{ kg}$$

Tampak bahwa 93,5976% gaya geser dipikul oleh *web*.

- Tahanan geser nominal penampang giras

Syarat kelangsingan untuk tebal pelat *web*:

$$\frac{H_z}{t_w} \leq \frac{1100}{\sqrt{f_y}}$$

$$\frac{108}{7} \leq \frac{1100}{\sqrt{240}}$$

$$15,4286 \leq 71,0047 \text{ (oke)}$$

Kuat geser nominal pelat *web*:

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w$$

$$A_w = d \cdot t_w = 15 \cdot 0,7 = 10,5 \text{ cm}^2$$

maka,

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w$$

$$= 0,6 \cdot 240 \cdot 10,5 = 15.120 \text{ kg}$$

$$\phi V_n = 0,9 \cdot 15.120 = 13.608 \text{ kg}$$

Persyaratan:

$$\phi V_n \geq V_u = 13.608 \text{ kg} \geq 9598,1793 \text{ kg} \text{ (oke)}$$

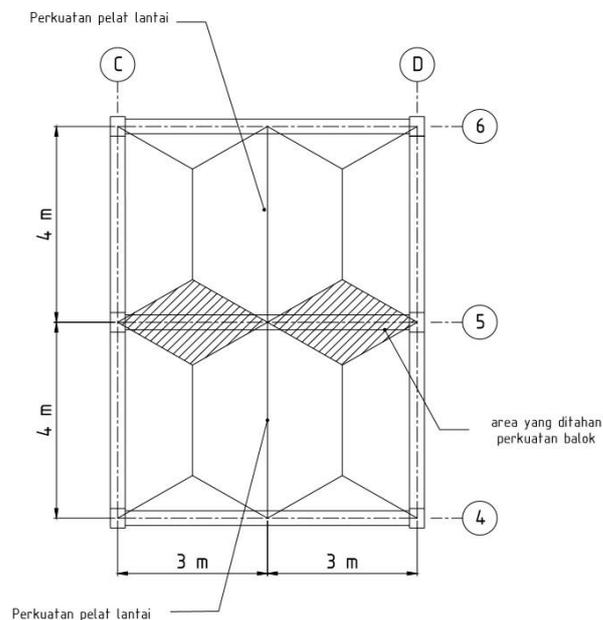
Berdasarkan perhitungan profil baja WF 150 x 150 dengan BJ 37 didapatkan hasil bahwa persyaratan $M_n > \frac{M_u}{\phi_b}$ dan $\phi V_n \geq V_u$ telah terpenuhi. Sehingga profil baja WF 150 x 150 dengan BJ 37 layak digunakan sebagai perkuatan balok as 4 (as C-D).

B. Perkuatan balok as 5 (as C-D) lantai ke-3 gedung Rektorat Universitas Islam '45

Diketahui:

Tebal pelat (t_b)	= 12 cm
Tinggi balok (h_{balok})	= 40 cm
Lebar balok (b_{balok})	= 30 cm
Bentang balok (l_x)	= 6,0 m
Kuat tekan beton (f'_c)	= 200 kg/cm ² = 20 MPa
Modulus Elastisitas (E_c)	= 21.019,039 Mpa

- Perhitungan pembebanan
- a. Beban *ultimate* dari pelat lantai (Q_u):
 $Q_u = 846,4 \text{ kg/m}^2$



Gambar 31. Denah Pembagian Beban Pelat yang Diterima Perkuatan Balok As 5 (As C-D)

- b. Menghitung beban ekuivalen dari pelat lantai (Q_{eq}):
Beban yang diterima dari pelat lantai berupa segitiga yang berjumlah 4 buah.

$$Q_{eq} = \left(\frac{1}{3} \cdot Q_u \cdot l_x\right) \cdot 4$$

$$= \left(\frac{1}{3} \cdot 846,4 \cdot 3\right) \cdot 4 = 3385,6 \text{ kg/m}$$

- c. Menghitung beban akibat berat balok beton:

$$Q_{\text{balok}} = 0,28 \cdot 0,3 \cdot 2400 = 201,6 \text{ kg/m}$$

- Mengukur panjang bentang balok (baja WF)

$$l_{WF} = 6 - 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 0,3\right) = 5,7 \text{ m}$$

- Mencari profil baja WF yang memadai

- Dicoba profil baja WF 150 x 150 dengan BJ 37

Data profil:

d	= 150 mm	;	r	= 11 mm	;	I_x	= 1640 cm ⁴
b _f	= 150 mm	;	H ₂	= 108 mm	;	S _x	= 219 cm ³
t _w	= 7 mm	;	a _s	= 40,1 mm	;	Z _x	= 240 cm ³
t _f	= 10 mm	;	w	= 31,51 mm			

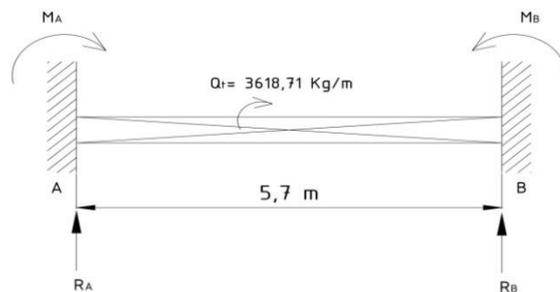
- Menghitung beban yang bekerja pada perkuatan:

Beban ekuivalen pada pelat = 3385,6 kg/m

Beban akibat balok beton = 201,6 kg/m

Berat sendiri balok (w_{baja}) = 31,51 kg/m

$$Q_t = \frac{3385,6 + 201,6 + 31,51}{1} = 3618,71 \text{ kg/m}$$



Gambar 32. Struktur Statis Tak Tentu Perkuatan
WF 150 x150 pada balok As 5 (As C-D)

- Menghitung reaksi perletakan:

$$R_A = R_B$$

$$= \frac{1}{2} \cdot Q_t \cdot l$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 3618,71 \cdot 5,7 = 10.313,3235 \text{ kg} \quad () \uparrow$$

- Menghitung momen pada tiap ujung jepit:

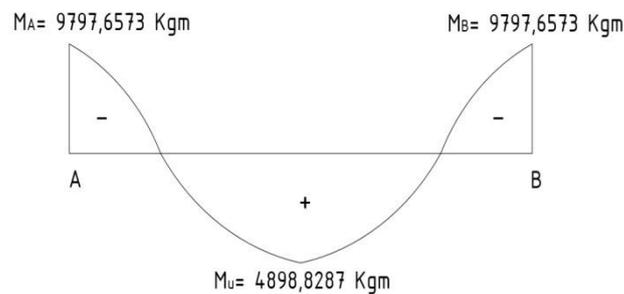
$$M_A = M_B$$

$$= \frac{1}{12} \cdot Q_t \cdot l^2$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 3618,71 \cdot 5,7^2 = 9797,6573 \text{ kgm}$$

d. Menghitung momen *ultimate*:

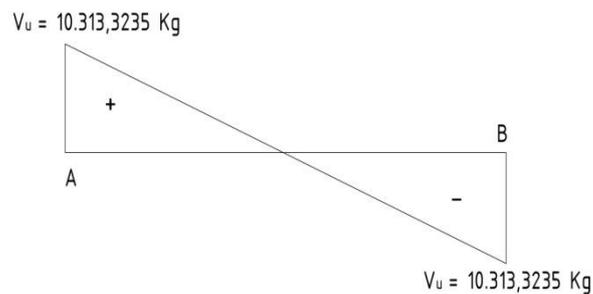
$$\begin{aligned} M_u &= (R_A \cdot \frac{1}{2} l) - (Q_t \cdot \frac{1}{2} l \cdot \frac{1}{4} l) - M_A \\ &= (10.313,3235 \times 2,85) - (3618,71 \times 2,85 \times 1,425) - 9797,6573 \\ &= 4898,8287 \text{ kgm} = 489.882,87 \text{ kgcm} \end{aligned}$$



Gambar 33. Diagram Bidang Momen Perkuatan
WF 150 x150 pada balok As 5 (As C-D)

e. Menghitung gaya geser yang terjadi:

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{1}{2} Q_t \cdot l \\ &= 0,5 \cdot 3618,71 \cdot 5,7 = 10.313,3235 \text{ kg} \end{aligned}$$



Gambar 34. Diagram Gaya Geser Perkuatan
WF 150 x150 pada balok As 5 (As C-D)

f. Kontrol kriteria penampang

Untuk sayap (*flens*)

$$\begin{aligned} \lambda_f &\leq \lambda_p \\ \frac{b_f}{2t_f} &\leq \frac{170}{\sqrt{f_y}} \end{aligned}$$

Untuk Badan (*web*)

$$\begin{aligned} \lambda_w &\leq \lambda_p \\ \frac{H_2}{t_w} &\leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \end{aligned}$$

$$\frac{150}{2(10)} \leq \frac{170}{\sqrt{240}} \quad \frac{108}{7} \leq \frac{1680}{\sqrt{240}}$$

$$7,5 \leq 10,973 \text{ (oke)} \quad 15,4286 \leq 108,4435 \text{ (oke)}$$

Karena $\lambda_f \leq \lambda_p$ dan $\lambda_f \leq \lambda_p$ maka penampang dinyatakan kompak.

- g. Menghitung tahanan momen nominal/tahanan momen plastis

$$\frac{M_u}{\phi_b} = \frac{4898,8287}{0,9} = 5443,143 \text{ kgm}$$

Tahanan momen plastis untuk balok dengan penampang kompak yaitu:

$$M_n = M_p = Z_x \cdot f_y$$

Modulus plastis terhadap sumbu x (Z_x):

$$Z_x = b_f \cdot t_f (d - t_f) + \frac{1}{4} t_w (d - 2t_f)^2$$

$$= 15 \cdot 1 \cdot (15 - 1) + \frac{1}{4} \cdot 0,7 \cdot (15 - 2)^2$$

$$= 239,575 \text{ cm}^3 \approx 240 \text{ cm}^3$$

$$M_n = Z_x \cdot f_y$$

$$= 240 \cdot 2400 = 576.000 \text{ kgcm} = 5760 \text{ kgm}$$

Persyaratan:

$$M_n > \frac{M_u}{\phi_b} = 5760 > 5443,143 \text{ (oke)}$$

- h. Menghitung distribusi tegangan geser elastis dan besar gaya geser pada penampang giras

- Perhitungan tegangan pada pertemuan antara *flens* dan *web*:

$$V = 10.313,3235 \text{ kg}$$

$$Q = b_f \cdot t_f \left(\frac{1}{2} d - \frac{1}{2} t_f \right) = 15 \cdot 1 (7,5 - 0,5) = 105 \text{ cm}^3$$

$$v_{web} = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t_w}$$

$$= \frac{10.313,3235 \cdot 105}{1640 \cdot 0,7} = 943,2918 \text{ kg/cm}^2$$

$$v_{flens} = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b_f}$$

$$= \frac{10.313,3235 \cdot 105}{1640 \cdot 15} = 44,0203 \text{ kg/cm}^2$$

- Tegangan pada sumbu netral:

$$Q = b_f \cdot t_f \left(\frac{1}{2} d - \frac{1}{2} t_f \right) + \left[t_w \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{2} d - t_f \right)^2 \right]$$

$$\begin{aligned}
 &= 105 + \left[0,7 \cdot \frac{1}{2} \cdot (7,5 - 1)^2\right] = 119,7875 \text{ cm}^3 \\
 v &= \frac{V \cdot Q}{I \cdot t} \\
 &= \frac{10.313,324 \cdot 119,7875}{1640 \cdot 0,7} = 1076,1387 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

- Gaya geser yang dipikul oleh *flens* dan *web*:

$$\begin{aligned}
 V_{flens} &= 2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)(v_{flens})(t_f)(b_f) \\
 &= 2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)(44,0203)(1)(15) = 660,3045 \text{ kg} \\
 V_{web} &= V - V_{flens} \\
 &= 10.313,3235 - 660,3045 = 9653,019 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Tampak bahwa 93,5976% gaya geser dipikul oleh *web*.

- Tahanan geser nominal penampang gilas

Syarat kelangsingan untuk tebal pelat *web*:

$$\begin{aligned}
 \frac{H_z}{t_w} &\leq \frac{1100}{\sqrt{f_y}} \\
 \frac{108}{7} &\leq \frac{1100}{\sqrt{240}} \\
 15,4286 &\leq 71,0047 \quad (\text{oke})
 \end{aligned}$$

Kuat geser nominal pelat *web*:

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \\
 A_w &= d \cdot t_w = 15 \cdot 0,7 = 10,5 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

maka,

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \\
 &= 0,6 \cdot 2400 \cdot 10,5 = 15.120 \text{ kg} \\
 \phi V_n &= 0,9 \cdot 15.120 = 13.608 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Persyaratan:

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &\geq V_u \\
 13.608 \text{ kg} &\geq 10.313,3235 \text{ kg} \quad (\text{oke})
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan profil baja WF 150 x 150 dengan BJ 37 didapatkan hasil bahwa persyaratan $M_n > \frac{M_u}{\phi_b}$ dan $\phi V_n \geq V_u$ telah terpenuhi. Sehingga profil baja WF 150 x 150 dengan BJ 37 layak digunakan sebagai perkuatan balok as 5 (as C-D).

❖ Perhitungan Sambungan Perkuatan Struktur

Agar penampang mampu mencapai θ_u tanpa menimbulkan keruntuhan akibat ketidakstabilan yang disebabkan oleh sendi plastis maka salah satu syarat yang harus dipenuhi adalah kekangan lateral. Maka dari itu akan direncanakan tumpuan jepit dengan menggunakan sambungan baut pada kedua ujung profil WF.

Berikut akan diuraikan perhitungan sambungan baut untuk perkuatan pelat lantai dan balok pada lantai ke-3 gedung Rektorat Islam '45 Bekasi:

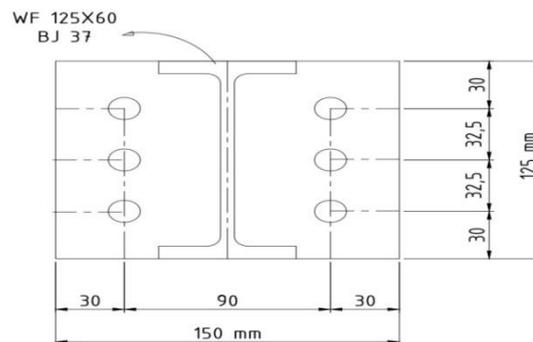
1. Sambungan perkuatan pelat lantai.

Diketahui:

V_u perkuatan pelat V = 3429,3435 kg

V_u perkuatan pelat II = 3841,192 kg

Direncanakan sambungan baut menggunakan pelat buhul yang dilas dengan ujung baja WF (BJ 37). Pelat yang disambung terbuat dari baja BJ 37 dengan ukuran tinggi (h_{pelat}) = 125 mm x lebar (b_{pelat}) = 150 mm dan tebal (t_p): 6 mm. Baut menggunakan dynabolt *stainless steel* berdiameter 10 mm (M8) $f_u^b = 600$ MPa. Sambungan baut direncanakan dalam dua baris.



Gambar 35. Tata Letak Baut pada Sambungan WF Perkuatan Pelat Lantai

a. Periksa kekuatan pelat buhul.

$$A_g = t_p \cdot h_{\text{pelat}} = 6(125) = 750 \text{ mm}^2$$

$$A_n = A_g - 3[(\phi_{\text{baut}} + 2)(t_p)] = 750 - [3(10 + 2)(6)] = 534 \text{ mm}^2$$

$$A_n \text{ maks.} = 0,85 A_g = 0,85(750) = 637,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{maka, } A_e = A_n = 534 \text{ mm}^2$$

Tinjau tahanan pelat buhul:

$$\begin{aligned} \text{Leleh} & : \phi T_n = \phi f_y \cdot A_g \\ & = 0,9(240)(750) = 162.000 \text{ N} = 16,2 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fraktur} & : \phi T_n = \phi f_u \cdot A_e \\ & = 0,75(370)(534) = 148.185 \text{ N} = 14,819 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Persyaratan: $\phi T_n > V$

- Perkuatan pelat V = $\phi T_n > V$
= 14,819 Ton > 3,4293 Ton (oke)
- Perkuatan pelat II = $\phi T_n > V$
= 14,819 Ton > 3,8412 Ton (oke)

b. Periksa tahanan baut:

$$\begin{aligned} \text{Geser} &: \phi R_n = \phi \cdot m \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \\ &= 0,75(2)(0,5)(600)(0,25 \cdot \pi \cdot 10^2) \\ &= 3,5325 \text{ ton/baut} = 3532,5 \text{ kg/baut} \\ \text{Tumpuan} &: \phi R_n = \phi \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u^p \\ &= 0,75(2,4)(10)(6)(370) \\ &= 3,996 \text{ ton/baut} = 3996 \text{ kg/baut} \end{aligned}$$

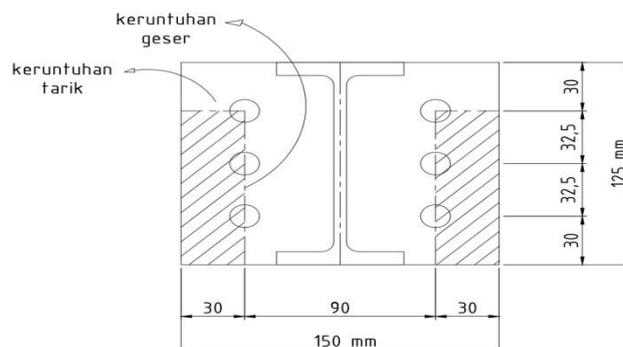
Tahanan geser menentukan, sehingga tahanan untuk 6 baut:

$$\phi T_n = 6 \cdot 3532,5 = 21.195 \text{ kg}$$

Persyaratan: $\phi T_n > V$

- Perkuatan pelat V = $\phi T_n > V$
= 21.195 kg > 3429,3435 kg (oke)
- Perkuatan pelat II = $\phi T_n > V$
= 21.195 kg > 3841,192 kg (oke)

c. Periksa keruntuhan geser blok:



Gambar 36. Keruntuhan Geser Blok Sambungan WF Perkuatan Pelat Lantai

$$\begin{aligned} A_{nt} &= 2(l_{nt} \cdot t_p) \\ &= 2 \cdot [30 - 0,5 \cdot (10 + 2)](6) = 288 \text{ mm}^2 \\ A_{nv} &= 2(l_{nv} \cdot t_p) \\ &= 2 \cdot [95 - 2,5(10 + 2)](6) = 780 \text{ mm}^2 \\ R_{nt} &= f_u \cdot A_{nt} \\ &= 370 \cdot 288 = 106.560 \text{ N} = 10,656 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$R_{nv} = 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv}$$

$$= 0,6 \cdot 370 \cdot 780 = 173.160 \text{ N} = 17,316 \text{ Ton}$$

Karena $0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} > f_u \cdot A_{nt}$, maka kondisi geser fraktur tarik leleh menentukan:

$$\phi T_n = \phi \cdot (0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} + f_y \cdot A_{gt})$$

$$= 0,75(0,6(370)(780) + (240)(60)(6))$$

$$= 194.670 \text{ N} = 19,467 \text{ Ton}$$

Persyaratan: $\phi T_n > V$

- Perkuatan pelat V = $\phi T_n > V$
= 19.467 kg > 3429,3435 kg (oke)
- Perkuatan pelat II = $\phi T_n > V$
= 19.467 kg > 3841,192 kg (oke)

Setelah melihat semua persyaratan terpenuhi maka sambungan baut dengan menggunakan pelat buhul tersebut layak digunakan sebagai sambungan perkuatan pelat lantai.

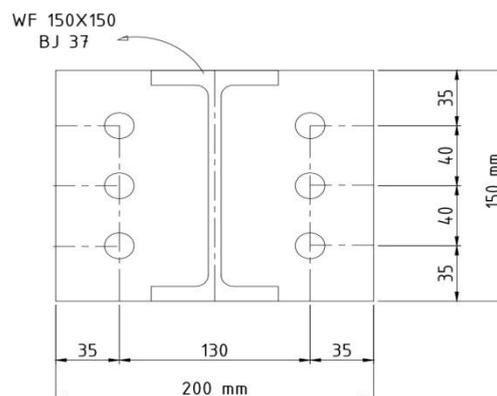
2. Sambungan perkuatan balok.

Diketahui:

$$V_u \text{ perkuatan balok as 4 (as C-D)} = 9598,1793 \text{ kg}$$

$$V_u \text{ perkuatan balok as 5 (as C-D)} = 10.313,3235 \text{ kg}$$

Direncanakan sambungan baut menggunakan pelat buhul yang dilas dengan ujung baja WF (BJ 37). Pelat yang disambung terbuat dari baja BJ 37 dengan ukuran tinggi (h_{pelat}) = 150 mm x lebar (b_{pelat}) = 200 mm dan tebal (t_p) = 7 mm. Baut menggunakan dynabolt *stainless steel* berdiameter 12 mm (M10) $f_w^b = 600 \text{ MPa}$. Sambungan baut direncanakan dalam dua baris.



Gambar 37. Tata Letak Baut pada Sambungan WF Perkuatan Balok

a. Periksa kekuatan pelat buhul:

$$A_g = t_p \cdot h_{\text{pelat}}$$

$$= 7(150) = 1050 \text{ mm}^2$$

$$A_n = A_g - 3[(\phi_{\text{baut}} + 2)(t_p)]$$

$$= 1050 - [3(12 + 2)(7)] = 756 \text{ mm}^2$$

$$A_n \text{ maks.} = 0,85 A_g$$

$$= 0,85(1050) = 892,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{maka, } A_e = A_n = 756 \text{ mm}^2$$

Tinjau tahanan pelat buhul:

$$\begin{aligned} \text{Leleh} & : \phi T_n = \phi f_y \cdot A_g \\ & = 0,9(240)(1050) = 226.800 \text{ N} = 22,68 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fraktur} & : \phi T_n = \phi f_u \cdot A_e \\ & = 0,75(370)(756) = 209.790 \text{ N} = 20,979 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Persyaratan: $\phi T_n > V$

- Perkuatan balok as 4 (as C-D):

$$\phi T_n > V$$

$$20,979 \text{ Ton} > 9,5982 \text{ Ton} \quad (\text{oke})$$

- Perkuatan balok as 5 (as C-D):

$$\phi T_n > V$$

$$20,979 \text{ Ton} > 10,3133 \text{ Ton} \quad (\text{oke})$$

- b. Periksa tahanan baut:

$$\begin{aligned} \text{Geser} & : \phi R_n = \phi \cdot m \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \\ & = 0,75(2)(0,5)(600)(0,25 \cdot \pi \cdot 12^2) \\ & = 5,0868 \text{ ton/baut} = 5086,8 \text{ kg/baut} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tumpuan} & : \phi R_n = \phi \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u^p \\ & = 0,75(2,4)(12)(7)(370) \\ & = 5,5944 \text{ ton/baut} = 5594,4 \text{ kg/baut} \end{aligned}$$

Tahanan geser menentukan, sehingga tahanan untuk 6 baut:

$$\phi T_n = 6 \cdot 5086,8 = 30.520,8 \text{ kg}$$

Persyaratan: $\phi T_n > V$

- Perkuatan balok as 4 (as C-D):

$$\phi T_n > V$$

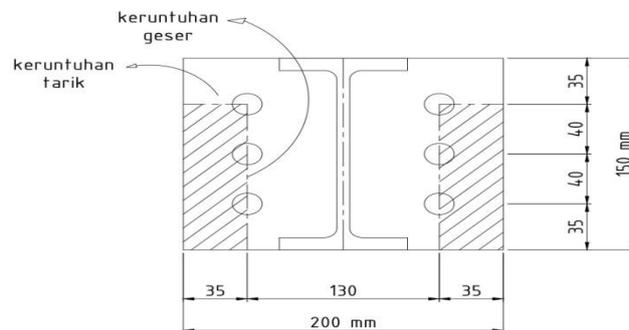
$$30,5208 \text{ Ton} > 9,5982 \text{ Ton} \quad (\text{oke})$$

- Perkuatan balok as 5 (as C-D):

$$\phi T_n > V$$

$$30,5208 \text{ Ton} > 10,3133 \text{ Ton} \quad (\text{oke})$$

c. Periksa keruntuhan geser blok:



Gambar 38. Keruntuhan Geser Blok Sambungan WF Perkuatan Balok

$$\begin{aligned}
 A_{nt} &= 2(l_{nt} \cdot t_p) \\
 &= 2 \cdot [35 - 0,5 \cdot (12 + 2)](7) = 392 \text{ mm}^2 \\
 A_{nv} &= 2(l_{nv} \cdot t_p) \\
 &= 2 \cdot [115 - 2,5(12 + 2)](7) = 1120 \text{ mm}^2 \\
 R_{nt} &= f_u \cdot A_{nt} \\
 &= 370 \cdot 392 = 145.040 \text{ N} = 14,504 \text{ Ton} \\
 R_{nv} &= 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} \\
 &= 0,6 \cdot 370 \cdot 1120 = 248.640 \text{ N} = 24,864 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

Karena $0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} > f_u \cdot A_{nt}$, maka kondisi geser fraktur tarik leleh menentukan:

$$\begin{aligned}
 \phi T_n &= \phi \cdot (0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} + f_y \cdot A_{gt}) \\
 &= 0,75(0,6(370)(1120) + (240)(70)(7)) \\
 &= 274.680 \text{ N} = 27,468 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

Persyaratan: $\phi T_n > V$

- Perkuatan balok as 4 (as C-D):
 $\phi T_n > V$
 $27,468 \text{ Ton} > 9,5982 \text{ Ton}$ (oke)
- Perkuatan balok as 5 (as C-D):
 $\phi T_n > V$
 $27,468 \text{ Ton} > 10,3133 \text{ Ton}$ (oke)

Setelah melihat semua persyaratan terpenuhi maka sambungan baut dengan menggunakan pelat buhul tersebut layak digunakan sebagai sambungan perkuatan balok.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil survei dan hasil perhitungan yang telah diuraikan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya sebagai berikut:

1. Terdapat 5 daerah pelat/panel yang mengalami penurunan (lendutan) pada lantai ke-3 gedung Rektorat Universitas Islam '45 Bekasi dengan lendutan (Δ) terbesar terletak pada pelat V dengan as 6-7-A-B (ruang keuangan) yaitu 0,109 m dan lendutan (Δ) terkecil terletak pada pelat I dengan as 5-6-C-D (ruang lobby) yaitu 0,053 m.

2. Berdasarkan percobaan yang dilakukan pada beberapa pelat yang mewakili tiap fungsi ruangan, maka didapatkan hasil data besar beban maksimum yang masih bisa bekerja di atas pelat yang melendut (sebelum mengalami perbaikan) yaitu:
 - a. Pelat II (as 4-5-C-D) = 350 kg
 - b. Pelat IV (as 5-6-A-B) = 300 kg
 - c. Pelat V (as 6-7-A-B) = < 240 kg
3. Setelah dilakukan beberapa kali perhitungan maka didapatkan hasil dimensi profil yang digunakan sebagai perkuatan adalah sebagai berikut:
 - a. Pada pelat lantai menggunakan profil WF 125 x 60 BJ 37 dengan jenis sambungan berupa pelat buhul berukuran tinggi (h) = 125 mm, lebar (b) = 150 mm dan tebal (t_p) = 6 mm serta jenis pengikat berupa dynabolt *stainless steel* berdiameter (\varnothing) 10 mm (M8) $f_u^b = 600$ MPa yang jumlah 6 buah.
 - b. Pada balok menggunakan profil WF 150 x 150 BJ 37 dengan jenis sambungan berupa pelat buhul berukuran tinggi (h) = 150 mm, lebar (b) = 200 mm dan tebal (t_p) = 7 mm serta jenis pengikat berupa dynabolt *stainless steel* berdiameter (\varnothing) 12 mm (M8) $f_u^b = 600$ MPa yang jumlah 6 buah.

Saran

Setelah mendapatkan hasil kesimpulan dari penelitian ini, maka ada beberapa saran yang dapat disampaikan agar menjadi perhatian oleh para pengguna bangunan diantaranya sebagai berikut:

1. Untuk mencegah hal-hal yang tidak diinginkan maka disarankan proses perbaikan/perkuatan struktur cepat dilaksanakan, mengingat lendutan yang terjadi sudah cukup parah.
2. Selama proses perbaikan/perkuatan struktur belum terlaksana maka hendaknya beban kerja di area pelat lebih kecil dari beban maksimum, dengan besar sebagai berikut:
 - a. Untuk ruang *lobby* besar beban kerja yaitu < 350 kg/pelat.
 - b. Untuk ruang rapat besar beban kerja yaitu < 300 kg/pelat.
 - c. Untuk ruang keuangan besar beban kerja yaitu < 240 kg/pelat.
3. Berdasarkan hasil kesimpulan yang didapatkan maka gedung Rektorat lantai ke-3 sudah tidak dapat difungsikan berdasarkan dari segi konstruksi, kecuali jika segera dilakukan perbaikan/perkuatan struktur pada area yang mengalami lendutan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Rosyidah, A., Wiratenaya, D., & Pattisia, A., 2010, *Perkuatan Struktur pada Bangunan Rumah Tinggal 3 Lantai*. Politeknologi, 9(1), 8–21. Retrieved from <http://jurnal.pnj.ac.id/index.php/politeknologi>
- Christiawan, I, 2011, *Perkuatan (Strengthening) Struktur Kolom Dengan Metoda Penambahan Tulangan*, GEMA TEKNOLOGI Vol. 16 No. 3 Periode April 2011 - Oktober 2011, Universitas Diponegoro, Semarang
- Triwiyono, A., 2006, *Perbaikan dan Perkuatan Struktur Beton Pasca Gempa dengan FRP*, Makalah Seminar Perkembangan Standard dan Metodologi Konstruksi Tahan Gempa, Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia, Medan
- Setiawan, A., 2013, *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*, Erlangga, Jakarta