

ANALISA STRUKTUR BALOK DENGAN METODE MOMEN (STUDI KASUS: PROYEK PEMBANGUNAN GRAND MALL BATAM)

Yayuk Setyaning Astutik¹

¹Universitas Internasional Batam, yayuk@uib.ac.id

Abstract

The Grand Mall Batam Development Project with number of stories 30 and 1 basement. Footing Plan of this project using bore pile. Observations are made at the project construction site for data collection for 3 months in 2018. The beams used are dimensions of B350 x 750 dimensions with a top reinforcement of 6D20 mm, 2D12 mm for center reinforcement, 3D20 mm for bottom reinforcement and D10-200 mm for diameter distance. The calculation of the beam starts with the planning data on the beam structure analysis, namely Concrete Quality 29 Mpa (K-350), Screw 500 Mpa and Plain Iron 260 Mpa. The loading on the beam is carried out in the field that work, the child beam and the main beam with details of dead load, live load, factored load. On the main reinforcement of the beam, the moment is calculated, namely the moment of the field, the moment of support and the moment of the plan. Based on the calculation of loading on the beam, the deflection value is 0.01709 m. Calculation of stirrup reinforcement on the beam where the required distance is 254.0073 mm and a distance of 200 mm is taken with an iron diameter of 10 mm. So the calculation of the main reinforcement of beam and stirrup reinforcement is in the Safe category.

Keywords: *Beam Structure, Loading, Moment, Deflection, Senggang Reinforcement.*

Abstrak

Proyek Pembangunan Grand Mall Batam terdiri dari 30 lantai dan 1 lantai *basement*. Perencanaan pondasi proyek pembangunan ini menggunakan *bore pile*. Pengamatan di lakukan dilokasi pembangunan proyek untuk pengambilan data selama 3 bulan pada tahun 2018. Balok yang digunakan ukuran dimensi B350 x 750 dengan tulangan atas 6D20 mm, tulangan tengah 2D12 mm, tulangan bawah 3D20 mm dan ukuran jarak sengkang D10-200 mm. Perhitungan balok di mulai dengan data perencanaan pada analisa struktur balok yaitu Mutu Beton 29 Mpa (K-350), Besi Ulir 500 Mpa dan Besi Polos 260 Mpa. Pembebanan pada balok dilakukan pada bidang yang bekerja, balok anak dan balok induk dengan rincian beban mati, beban hidup, beban terfaktor. Pada tulangan utama balok dilakukan perhitungan momen lapangan, momen tumpuan dan momen rencana. Berdasarkan perhitungan pembebanan pada balok diperoleh nilai defleksi sebesar 0.01709 m. Perhitungan tulangan sengkang pada balok dimana jarak yang diperlukan 254.0073 mm dan pengambilan jarak 200 mm dengan diameter besi 10 mm. Sehingga perhitungan tulangan utama balok dan tulangan sengkang dalam kategori aman.

Kata kunci: *Struktur Balok, Pembebanan, Momen, Defleksi, Tulangan Sengkang.*

1. Latar Belakang

Struktur bangunan gedung biasanya tersusun atas beberapa bagian yaitu plat atap, lantai, balok dan kolom yang merupakan sistem monolit yang terangkai dalam sistem pracetak. Plat adalah struktur planar kaku dari material monolit dengan dimensi ketinggian yang lebih kecil dibandingkan lainnya. Dalam perencanaan plat perlu mempertimbangkan kondisi beban dan ukuran dan ketentuan yang berlaku di Indonesia^[7]. Dalam konstruksi beton bertulang, ketebalan bidang plat memiliki nilai yang kecil jika dibandingkan ukuran panjang dan lebarnya^[6]. Besarnya beban gempa harus diperhitungkan dalam pembangunan bangunan sesuai dengan ketentuan yang ada. Tujuan penulisan penelitian ini adalah untuk merencanakan dan mendesain pondasi pada proyek pembangunan Grand Mall Batam. Peneliti membatasi masalah perhitungan Analisa Balok dengan menggunakan metode *bore pile* dengan pembebanan sehingga akan terlihat aman atau tidaknya secara perhitungan.

2. Kerangka Teoritis

2.1 Penelitian Terdahulu

Perencanaan pondasi *bore pile* secara manual dengan menggunakan ukuran dimensi tertentu, kemudian membandingkan secara manual dan menggunakan FB-Pier. Berdasarkan hasil pengolahan diperoleh analisa defleksi yang berbeda dengan metode tersebut^[4]. Desain plat beton bertulang pada *roof slab* dan *floor slab* dengan ketebalan 100 dan 120 mm dan kekuatan beton ($f'c$) 30 Mpa. Berbagai indikator dalam struktur harus diperhitungkan dengan baik untuk mempertahankan stabilitas bangunan^[5].

2.2 Balok^[1]

Merupakan bagian dari struktur horizontal yang sifatnya kaku dan menransferkan beban yang diterima dari plat lantai ke kolom yang menopang dan kemudian diteruskan ke pondasi. Dalam mendesain suatu balok bangunan, langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung besarnya beban yang diperoleh balok tersebut dari kombinasi beban yang terjadi. Secara garis besar, hal-hal yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan jenis-jenis balok yaitu:

- a. Ketersediaan material
- b. Besarnya beban yang akan diterima
- c. Panjang bentangan balok
- d. Waktu dan biaya yang dibutuhkan dalam pelaksanaan proyek
- e. Nilai estetika bangunan

2.3 Balok Beton^[1]

Pada umumnya disebut balok beton bertulang dikarenakan dalam balok beton terdapat tulangan besi yang menerima beban tarik yang diterima dari beban atasnya yang tidak dapat dipikul oleh beton serta terdapat besi tulangan sengkang yang memikul gaya geser yang terjadi pada balok.

2.4 Jenis-Jenis Balok Berdasarkan Tumpuannya^[1]

a. Balok Tumpuan Sederhana

Balok yang mempunyai tumpuan pada ujung kolom, dinamis dalam berotasi dan momen tahan nol atau yang lebih sering disebut satunya bertumpuan sendi (dua arah gaya horizontal dan vertical) dan satunya bertumpuan *roll* (gaya berarah horizontal).

b. Balok Kantilever

Batang struktur horizontal yang hanya memiliki salah satu tumpuan yaitu jepit/fix (gaya horizontal, gaya vertikal dan momen) dan ujung yang lain bebas. Balok kantilever yang menopang beban gravitasi akan memperoleh momen negatif di seluruh panjang balok.

Oleh karena itu penulangan pada balok kantilever membutuhkan besi yang lebih banyak tergantung pada besarnya beban yang diterima.

c. Balok Teritisan (*Overhanging*)

Balok yang bentuknya memanjang di tumpuan kolom. Balok dengan ujungnya yang tetap terkait kuat guna menopang besarnya gaya translasi dan rotasi yang dikarenakan beban sendiri maupun beban luar.

d. Balok Kontinu

Balok kontinu adalah balok yang memiliki tumpuan diantara tumpuan yang paling terluarnya dan tersusun secara berkelanjutan pada jarak tertentu. Balok kontinu ini sering digunakan dikarenakan apabila menggunakan balok beton dan baja hanya memiliki panjang efektif bentang sebesar 6-8 meter. Untuk itu diperlukan tumpuan pada tengah batang balok guna untuk menambah kekuatan juga dapat memperkecil penampang balok yang digunakan.

2.5 Syarat dan Prinsip Perancangan Balok^[1]

a. Syarat Perancangan

Berikut merupakan persyaratan perancangan penampang balok (PBBI 1997), yaitu:

1. Lebar balok yang digunakan minimal $1/50$ kali dari bentang keseluruhan.
2. Diameter baja tulangan untuk balok maksimal 12 mm, pemasangan tulangan yang digunakan lebih dari 2 *layer* harus dihindari kecuali pada keadaan tertentu.
3. Pemerataan tulangan tarik dari daerah penampang untuk mendapatkan nilai maksimum.
4. Balok yang memiliki ketinggian lebih dari 90 cm harus diberikan pemasangan tulangan samping dengan luasan minimal 10% dari luas tulangan tarik utama. Sedangkan diameter batang dari tulangan yang digunakan minimal 8 mm pada baja lunak dan 6 mm pada baja keras.
5. Pada balok senantiasa harus dipasang sengkang. Jarak sengkang yang digunakan maksimal 30 cm dari balok atau $2/3$ dari tinggi balok.

b. Prinsip Perancangan^[1]

Berikut adalah hal yang harus diperhatikan pada saat perancangan balok:

1. Panjang bentang balok.
2. Jarak antar balok.
3. Besarnya beban yang dipikul oleh balok.
4. Jenis material yang digunakan.
5. Bentuk dan ukuran penampang balok.
6. Metode pekerjaan dilapangan (fabrikasi dan penggabungan).

Dalam tahap mendesain suatu penampang balok semakin banyak batasan atau syarat dan prinsip, maka desain semakin mudah diselesaikan. Setiap desain harus memenuhi kriteria kekuatan dan kekakuan agar mampu menahan beban dalam maupun beban luar yang terjadi. Kriteria desain bergantung jenis material yang

dipilih (balok kayu, beton dan baja). Berikut faktor yang menerapkan prinsip dasar dalam merencanakan balok, yaitu:

1. Besarnya kekuatan dan kekakuan pada struktur.
2. Variasi besaran material.
3. Variasi bentuk dan besar penampang balok.
4. Variasi kondisi tumpuan dan batas dari pembebanan.

2.6 Analisa Struktur^[2,3]

Berbagai kombinasi pembebanan atau gaya-gaya yang bekerja distruktur elemen dimasukkan dalam perhitungan analisis struktur. Kombinasi pembebanan untuk gaya yang diakibatkan oleh gempa mengikuti ketentuan dalam SNI tentang Tata Cara Pelaksanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung. Hasil gaya perhitungan terhadap seluruh kombinasi pembebanan tersebut digunakan untuk menganalisis perhitungan penulangan elemen struktur.

2.6.1 Peraturan dan Ketentuan yang digunakan

Perencanaan elemen struktur bangunan ini dilakukan atas peraturan dan ketentuan umum yang berlaku di Indonesia, yaitu:

1. Persyaratan Umum Badan Bangunan Indonesia (PUBI) Tahun 1982.
2. Metode Perancangan pada Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SNI Tahun 2002 dari Badan Standarisasi Nasional (BSN).
3. Metode Perancangan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung SNI 03-1726-2002 dari BSN.
4. Baja Tulangan Beton SNI 07-2052-2002 dari BSN.
5. Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI) Tahun 1983.
6. Peraturan atau ketentuan lain yang relevan untuk mendukung perencanaan bangunan seperti ACI 318-14.

2.6.2 Ketentuan Mutu Bahan

Mutu beton yang dipakai dalam perencanaan struktur bangunan adalah:

1. Mutu beton struktur kolom dan balok: K-350, K-500 (Lantai 3).
2. Mutu beton struktur plat lantai K-350.
3. Mutu beton pile cap & tie beam K-400.
4. Mutu baja tulangan untuk besi ulir (fy 500Mpa) & besi polos (fy 260 Mpa).

2.6 Pembebanan^[2,3]

Beban pada struktur bangunan dapat dibagi menjadi 2 (dua) menurut arah kerjanya (PPI, 1983), yaitu:

1. Beban Vertikal (Gravitasi)

Pada perencanaan konstruksi bangunan gedung yang diperhatikan adalah sesuai dengan PPI tahun 1983:

a. Beban Mati (*Dead Load*)

Berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian (*finishing*), mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung.

b. Beban Hidup (*Live Load*)

Semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung dan termasuk beban pada lantai yang berasal dari benda yang

berpindah, mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan adanya perubahan dalam pembebanan atap dan lantai tersebut.

2. Beban Horizontal (Lateral)

a. Beban Angin (Wind Load)

Beban yang diperhitungkan berdasarkan kecepatan arah angin, rapat massa di udara dan ketinggian diatas permukaan tanah.

2.7 Analisa Balok^[4]

1. Tegangan Lentur

Pada balok secara umum tegangan lentur terjadi dengan linier menyesuaikan bervariasi pada suatu penampang. Hal ini dikarenakan aksi momen lentur yang terjadi. Untuk besaran momen tertentu, apabila tinggi balok 2 kali (sementara lebarnya tetap), maka tegangan lentur akan mengecil dengan faktor $\frac{1}{4}$. Tegangan ini tidak sensitif terhadap perubahan lebar penampang. Pada kasus momen dan tinggi penampang yang konstan, jika lebar penampang 2 kali maka tegangan lentur akan menjadi setengahnya.

Pada penampang yang tidak simetris, penentuan pusat beban tidak tepat jika berada ditengah tinggi penampang. Penentuan dimensi penampang melintang pada balok ditentukan oleh jenis material yang digunakan, dikarenakan setiap material memiliki tegangan ijin yang berbeda-beda.

Ukuran penampang yang diperlukan ditentukan berdasarkan batas tegangan lentur aktual pada balok yang sama atau lebih kecil dari batas tegangan lentur ijin. Apabila tegangan aktual pada titik itu melampau tegangan ijin, maka balok tersebut dipandang mengalami kelebihan tegangan (*overstressed*) dan hal ini tidak diijinkan.

2. Tegangan Lateral pada Balok

Balok yang mengalami pembebanan dari beban sendiri maupun beban luar terjadi apabila tekuk lateral dan keruntuhan penampang terjadi secara bersamaan maupun berurutan. Tekuk lateral terjadi dikarenakan adanya ketidakstabilan dari arah lateral yang timbul diatas balok serta ketidakmampuan dari kekakuan balok. Sebagian besar jenis kegagalan pada tekuk lateral terjadi pada penampang balok yang memiliki tegangan rendah. Pencegahan dapat dilakukan dengan:

- a. Membuat balok yang cukup kaku dalam arah lateral.
- b. Menggunakan pengaku lateral (*lateral bracing*).

3. Tegangan Geser

Merupakan gaya resultan dari gaya geser eksternal yang berupa gaya aksi dari beban yang diterima oleh komponen struktur balok dan gaya geser internal yang berupa gaya reaksi dari kekuatan struktur itu sendiri untuk melawan gaya eksternal tersebut. Besarnya tegangan geser pada penampang balok adalah 1.5 kali dari rata-rata tegangan geser pada penampang balok segi empat.

4. Tegangan Tumpu

Dikenal dengan istilah (*bearingstress*) merupakan tegangan yang timbul pada bidang kontrak antara dua elemen struktur. Adanya tegangan yang muncul

pada ujung balok sederhana yang terletak di atas tumpuan dengan dimensi tertentu. material yang memiliki kegagalan akibat tegangan tumpu yaiu kayu. Kegagalan pada tegangan tekan biasanya terjadi pada beban menunjukkan adanya kehancuran dari suatu material.

5. Torsi

Torsi merupakan puntiran yang muncul pada struktur apabila diberikan momen puntiran langsung atau secara tidak langsung. Tegangan geser torsion timbul pada elemen tersebut sebagai dampak dari momen torsi yang ada.

6. Pusat Geser

Pada penampang tidak simetris pemberian bebannya dapat menyebabkan terjadinya puntiran. Dengan memberikan beban pada pusat geser balok, maka akan terjadi lentur tanpa ada syarat puntir. Pusat geser penampang tidak simetris sering kali terletak diluar penampang.

7. Defleksi

Defleksi pada bentangan balok disebabkan adanya suatu lendutan balok atau perubahan bentuk akibat beban yang diterima. Perubahan ini dipengaruhi oleh beban dan panjang balok yang berbanding terbalik dengan kekauan balok. Faktor yang mempengaruhi defleksi yaitu kapasitas pada struktur yang meliputi modulus elastisitas dan momen inersia pada penampang.

8. Tegangan Utama

Proses interaksi yang terjadi pada tegangan lentur dan tegangan geser merupakan tegangan normal tekan dan tarik yang dikenal sebagai tegangan utama (*principle stress*). Tegangan aksial yang muncul memiliki arah yang berbeda dengan tegangan lentur dan gesernya.

2.8 Pondasi *Bore Pile* ^[4]

Pondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah lebih dahulu, yang kemudian diisi tulangan yang telah dirangkai kemudian dicor dengan beton. Apabila kondisi tanah banyak mengandung air, maka dibutuhkan pipa besi atau yang biasa disebut *temporary casing* untuk menahan dinding lubang agar tidak terjadi kelongsoran dan pipa ini akan dikeluarkan pada waktu pengecoran beton. Ada beberapa keutungan pondasi ini jika dibandingkan dengan tiang pancang, yaitu:

1. Pemasangan tidak menimbulkan gangguan suara dan getaran yang membahayakan bangunan sekitarnya.
2. Mengurangi kebutuhan beton dan tulangan dowel pada plat penutup tiang (*pile cap*). Kolom dapat secara langsung diletakkan di puncak *bore pile*.
3. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
4. Tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium.
5. *Bore pile* dapat dipasang menembus bebatuan sedangkan tiang pancang akan kesulitan bila pemancangan menembus lapisan batuan.
6. Diameter tiang memungkinkan dibuat besar, bila perlu ujung bawah tiang dapat dibuat lebih besar guna mempertinggi kapasitas dukungnya.
7. Tidak ada resiko kenaikan permukaan tanah tanah.

Sedangkan kerugian menggunakan pondasi *bore pile*, yaitu:

1. Pengecoran jenis ini dipengaruhi kondisi cuaca.

2. Pengecoran beton agak sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik.
3. Mutu beton hasil pengecoran bila tidak terjamin keseragamannya disepanjang badan *bore pile* dapat mengurangi daya dukungnya, terutama bila kondisi cukup dalam.
4. Pengeboran dapat mengganggu kepadatan tanah yang berupa pasir atau yang berkerikil.
5. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengganggu kondisi tanah sehingga mengurangi kapasitas dukung tiang.
6. *Temporary Casing* diperlukan untuk mencegah terjadinya kelongsoran.

3. Metodologi Penelitian

3.1 Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yaitu data Proyek Pembangunan Grand Mall Batam melalui PT. Rezeki Putra Riau Tahun 2018. Berikut ini adalah data yang didapatkan:

Tabel 1. Data Balok Proyek Grand Mall Batam

No	Jenis	Ukuran
1	Lebar Balok (b)	0.35 m
2	Tinggi Balok (h)	0.7 m
3	Selimut Beton (p)	0.05 m
4	Tinggi Efektif (d)	0.65 m
5	Tebal Plat (tp)	0.15 m
6	Mutu Beton ($f'c$)	29 Mpa
7	Besi Ulir (f_y)	500 Mpa
8	Besi Polos (f_y)	260 Mpa

3.2 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan metode pengamatan, wawancara, literatur dan instrumen. Pengamatan dilakukan dilokasi pembangunan proyek, wawancara dilakukan dengan para supervisor proyek, literatur untuk mendukung referensi dan instrumen digunakan untuk pengambilan data yang berupa gambar dari pembangunan gedung. Pengambilan data dilakukan pada 22 Februari – 22 Mei 2018.

3.3 Metode Pelaksanaan Konstruksi

a. Pekerjaan Persiapan

Berbagai macam kegiatan yang bertujuan untuk mendukung dan memperlancar proses berjalannya sebuah proyek pembangunan. Berikut pekerjaan persiapan pada proyek pembangunan Grand Mall Batam:

1. Pengadaan *Direksi Keet* dan Gudang Proyek.
2. Pagar penutup proyek.
3. Pemasangan Tower Crane dll.

b. Persiapan Material

Material yang digunakan dalam proyek pembangunan Grand Mall Batam, yaitu:

1. Mutu Beton K-350 dan K-400. Dengan Beton *Ready Mix Supplier* dari PT. Usaha Beton Raya dan PT. Remicon Widyaprima.
2. Besi Beton dengan jenis Besi Ulir ukuran 8 mm, 10 mm, 12 mm, 16 mm, 20 mm, 22 mm dan 25 mm dan Besi Polos dengan ukuran 8 mm dan 10 mm.

c. Pekerjaan Kolom

Kolom adalah batang tekan arah vertikal yang memikul beban dari balok. Merupakan elemen struktur tekan yang sangat penting dalam suatu konstruksi sehingga jika terjadi keruntuhan pada bagian ini dapat menyebabkan runtuhnya bagian yang lain dan runtuh total dari seluruh struktur bangunan yang terdapat di atasnya. Pekerjaan kolom meliputi:

1. Penentuan As Kolom
2. Pembesian
3. Bekisting
4. Pengecoran

d. Pekerjaan Balok dan Plat Lantai

Bagian ini dapat dilaksanakan apabila pekerjaan kolom sudah selesai dikerjakan. Balok yang digunakan beraneka ragam sesuai dengan kebutuhan. Sedangkan plat lantai merupakan struktur yang letaknya tidak langsung di atas tanah yang memiliki pembatas antara tingkat yang satu dengan lainnya. Selain itu, pekerjaan ini dapat dikerjakan secara bersamaan.

4. Analisa dan Pembahasan^[8,9]

4.1 Perhitungan Balok

Dalam perhitungan balok ini digunakan data perencanaan pada analisa struktur balok, yaitu Mutu Beton: 29 Mpa (K-350), Besi Ulir: 500 Mpa dan Besi Polos: 260 Mpa.

4.2 Pembebanan Pada Balok

Adapun perhitungan pembebanan pada balok yang perlu ditinjau adalah pembebanan yang terdistribusi dari balok lain yang merupakan balok anak yang menopang pada balok.

1. Beban Bidang yang Bekerja

a. Beban Mati (qd)

$$\text{Beban Plat Lantai sebesar: } = 0.15 \text{ m} * 24 \text{ kN} / \text{m}^3 = 3.6 \text{ kN} / \text{m}^2 \text{ Beban}$$

$$\text{Keramik sebesar: } = 0.01 \text{ m} * 21 \text{ kN} / \text{m}^3 = 0.21 \text{ kN} / \text{m}^2 \text{ Beban Spesi}$$

$$\text{sebesar: } = 0.03 \text{ m} * 22 \text{ kN} / \text{m}^3 = 0.66 \text{ kN} / \text{m}^2 \text{ Beban Plafond } = 0.11 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\text{Beban ME } = 0.25 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\text{Total Beban Mati } (qd)$$

$$= 4.83 \text{ kN} / \text{m}^2$$

b. Beban Hidup

$$\text{Beban Lantai Mall } = 2.5 \text{ kN} / \text{m}^2$$

2. Pembebanan pada Balok Anak

- a. Beban Mati (qd) dengan:
 Bentang Arah (Lx) = 4 m
 Bentang Arah (Ly) = 8 m
 Beban Sendiri pada Balok Anak yaitu:

$$= 0.25 * 0.65 * 24 \text{ kN} / \text{m}^3$$

$$= 3.9 \text{ kN} / \text{m}$$
 Beban Mati Plat yaitu
$$= \frac{4.83}{2} * \frac{4}{8^2} \left(8^2 - \frac{4^2}{3} \right) * 2$$

$$= 17.71 \text{ kN} / \text{m}$$
 Sehingga Total Beban Mati (qd)

$$= 3.9 \text{ kN} / \text{m} + 17.71 \text{ kN} / \text{m}$$

$$= 21.61 \text{ kN} / \text{m}$$
- b. Beban Hidup (ql) yaitu Beban dari Plat sebesar:

$$= \frac{2.5}{2} * \frac{4}{8^2} \left(8^2 - \frac{4^2}{3} \right) * 2 = 9.2 \text{ kN} / \text{m}$$
- c. Beban Terfaktor (qu) yaitu
$$= (1.2 * qd) + (1.6 * ql)$$

$$= (1.2 * 21.61 \text{ kN} / \text{m}) + (1.6 * 9.2 \text{ kN} / \text{m}) = 40.65 \text{ kN} / \text{m}$$
- d. Reaksi Tumpuan (Vu) yang terdistribusi ke Balok Induk yaitu

$$= 0.5 * qu * L$$

$$= 0.5 * 40.65 \text{ kN} / \text{m} * 8 \text{ m}$$

$$= 162.6 \text{ kN}$$
- e. Reaksi Tumpuan (Vu) akibat 2 sisi trapesium $Vu_{Total} = Vu * 2$

$$= 162.6 \text{ kN} * 2 = 325.2 \text{ kN}$$

3. Pembebanan pada Balok Induk

- a. Besarnya beban dari balok anak yang terpusat sebesar 325.2 kN.
- b. Beban Mati (qd) yaitu meliputi:
- a. Beban Sendiri dari Balok

$$= 0.35 * 0.7 * 24 \text{ kN} / \text{m}^3$$

$$= 5.88 \text{ kN} / \text{m}$$
- b. Beban dari Plat

$$= \frac{1}{3} * 4.83 \text{ kN} / \text{m}^2 * 4 \text{ m}$$

$$= 6.44 \text{ kN} / \text{m}$$
- c. Beban Mati (qd)

$$= 5.88 \text{ kN} / \text{m} + 6.44 \text{ kN} / \text{m} = 12.32 \text{ kN} / \text{m}$$
- c. Beban Hidup pada kasus ini berasal dari Beban Plat yaitu

$$= \frac{1}{3} * 2.5 \text{ kN} / \text{m}^2 * 4 \text{ m}$$

$$= 3.33 \text{ kN} / \text{m}$$

$$\begin{aligned}
 &= (1.2 * qd) + (1.6 * ql) \\
 \text{d. Beban Terfaktor } (qu) \text{ adalah } &= (1.2 * 12.32 \text{ kN/m}) + (1.6 * 3.33 \text{ kN/m}) \\
 &= 20.112 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

4.3 Perhitungan Defleksi pada Balok Induk

Modulus Elastisitas (E)

$$\begin{aligned}
 &= 4.700 \sqrt{f'c} = 4.700 \sqrt{29} \\
 &= 25.310 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Kemudian dikonversikan ke KN/m yaitu $25.31 * 10^6 \text{ kN/m}^2$.

$$\begin{aligned}
 \text{Momen Inersia (I)} &= \frac{1}{12} * b * h^3 \\
 &= \frac{1}{12} * 0.7 * 0.35^3 = 0.00250 \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Defleksi } (\delta) \text{ yaitu } &= \frac{qu * L^4}{384EI} + \frac{P * L^4}{192EI} \\
 &= \frac{20.112 * 8^4}{384(25.31 * 10^6)(0.00250)} \\
 &\quad + \frac{325.2 * 8^4}{192(25.31 * 10^6)(0.00250)} \\
 &= 0.00339 \text{ m} + 0.0137 \text{ m} = 0.01709 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Syarat Ketentuan:

$$\text{Defleksi } (\delta) < \text{Defleksi Max } (\delta_{\max})$$

sehingga $0.01709 < \frac{L}{360}$, maka dapat dinyatakan $0.01709 < 0.02222$.

Berdasarkan hasil perhitungan di atas defleksi pada balok induk dalam kategori Aman dalam suatu bangunan.

4.4 Perhitungan Tulangan Utama Balok

Berikut adalah momen yang bekerja pada balok:

1. Momen Lapangan

$$\begin{aligned}
 Mu &= \frac{1}{24} * qu * L^2 + \frac{1}{8} * P * L \\
 &= \frac{1}{24} * 20.112 * 8^2 + \frac{1}{8} * 325.2 * 8 \\
 &= 378.832 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

2. Momen Tumpuan

$$\begin{aligned}
 Mu &= \frac{1}{12} * qu * L^2 + \frac{1}{8} * P * L \\
 &= \frac{1}{12} * 20.112 * 8^2 + \frac{1}{8} * 325.2 * 8 \\
 &= 432.464 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

3. Momen Rencana

$$\begin{aligned}
 MR &= \phi * (0.85 * f'c) * b * tp \\
 &\quad * (d - 0.5 * tp) * 10^{-6} \\
 &= 0.8 * (0.85 * 29) * 350 * 150 \\
 &\quad * (650 - 0.5 * 150) * 10^{-6} \\
 &= 595.29 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Apabila $MR > Mu$, maka balok dapat dianggap sebagai balok T persegi dan lebar efektif balok yang digunakan yaitu lebar aktual balok, dan apabila nilai $MR < Mu$, maka balok dianggap sebagai balok T murni dan lebar efektif dapat diperhitungkan sebagai berikut:

1. Perhitungan Balok

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0.85 \text{ untuk } f'c < 30 \text{ Mpa} \\
 \rho b &= \frac{0.85 * \beta_1 * f'c}{f_y} * \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0.85 * 0.85 * 29}{500} * \frac{600}{600 + 500} \\
 &= 0.0229
 \end{aligned}$$

$$\rho_{maks} = 0.75 * \rho b = 0.0171$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = 0.0028$$

2. Perhitungan Tulangan Lapangan

$$MR > Mu (595.29 \text{ kNm} > 378.832 \text{ kNm}) \quad Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{378.832}{0.8} = 473.54$$

$$Rn = \frac{Mn}{b * d^2} = \frac{473.54 * 10^6 \text{ Nmm}}{350 * 650^2 \text{ mm}} = 3.2 \text{ m} = \frac{f_y}{0.85 * f'c} = \frac{500}{0.85 * 29} = 20.28$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * Rn * m}{f_y}} \right) = 0.0069 \text{ Karena } \rho_{min} < \rho < \rho_{maks} \text{ maka}$$

digunakan tulangan tunggal (ρ).

As yang dibutuhkan yaitu

$$= \rho * b * d = 1569.75 \text{ mm}^2$$

Sedangkan As yang direncanakan

$$= 6 * \frac{1}{4} * 3.14 * d^2 = 1884 \text{ mm}^2$$

Sehingga As yang dibutuhkan lebih kecil dari As yang direncanakan. Maka masuk dalam kategori aman.

3. Perhitungan Tulangan Tumpuan

$$MR > Mu (595.29 \text{ kNm} > 432.464 \text{ kNm}) \quad Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{432.464}{0.8} = 540.58$$

$$Rn = \frac{Mn}{b * d^2} = \frac{540.58 * 10^6 \text{ Nmm}}{350 * 650^2 \text{ mm}} = 3.7 \text{ m} = \frac{f_y}{0.85 * f'c} = \frac{500}{0.85 * 29} = 20.28$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * Rn * m}{fy}} \right) = 0.0080 \text{ digunakan tulangan tunggal } (\rho).$$

As yang dibutuhkan yaitu

$$= \rho * b * d = 1820 \text{ mm}^2$$

Sedangkan As yang direncanakan

$$= 6 * \frac{1}{4} * 3.14 * d^2 = 1884 \text{ mm}^2$$

Sehingga As yang dibutuhkan lebih kecil dari As yang direncanakan. Sehingga dapat disimpulkan pada bagian ini tulangan tumpuan aman.

4.5 Perhitungan Tulangan Sengkang Balok

Untuk menghitung tulangan sengkang, maka harus diketahui beban terfaktor terdistribusi pada balok. Berdasarkan data, diperoleh hasil:

$$\begin{aligned} Vu &= 0.5 * qu * L + 0.5 * p \\ &= 0.5 * 20.112 * 8 + 0.5 * 325.2 \\ &= 243.048 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vc &= \left(\frac{1}{6} * \sqrt{f'c} \right) * b * d \\ &= \left(\frac{1}{6} * \sqrt{29} \right) * 350 * 650 \\ &= 204.2 \text{ kN} \end{aligned}$$

Perhitungan tulangan standar adalah:

$$0.5 * \emptyset * Vc = 0.5 * 0.6 * 204.2 = 61.26 \text{ kN} \text{ Karena } Vu \text{ lebih besar dari } 0.5 * \emptyset * Vc, \text{ maka digunakan tulangan sengkang } Vn = \frac{Vu}{\emptyset} = 405.08 \text{ kN}$$

sehingga diperoleh $Vs = 200.88 \text{ kN}$. Diasumsikan bahwa tulangan sengkang menggunakan besi diameter 10 mm. Maka $Av = 2 * \frac{1}{4} * \pi * d^2 = 157 \text{ m}^2$.

Sehingga jarak yang diperlukan adalah:

$$S = \frac{Av * fy * d}{Vs} = 254.0073 \text{ mm. Dengan digunakannya besi diameter 10 mm}$$

dan jarak yang diambil 200 mm, maka besarnya beban pada tulangan sengkang pada balok aman.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Balok dengan ukuran dimensi B350 x 750 menggunakan tulangan atas 6D20 mm, tulangan tengah 2D12 mm, tulangan bawah 3D20 mm dengan ukuran jarak antar sengkang D10-200 mm.
2. Perhitungan pembebanan pada balok diperoleh nilai defleksi sebesar 0.01709 m dan masuk dalam kategori Aman.
3. Perhitungan tulangan utama balok diperoleh nilai As yang dibutuhkan lebih kecil dari As yang direncanakan. Maka pekerjaan ini dalam kriteria Aman.

4. Pada perhitungan tulangan sengkang balok, jarak yang diperlukan 254.0073 mm, dengan pengambilan jarak 200 mm dan diameter besi 10 mm, sehingga dapat disimpulkan Aman.

6. Referensi

- [1] Asroni A. 2010. Balok dan Pelat Beton Bertulang, Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [2] Asroni, A. 2010. Kolom Fondasi dan Balok T Beton Bertulang, Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [3] Wahyudi, L. 1997. Struktur Beton Bertulang, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- [4] Kusumo, T. 2012. Studi Analisis Pertemuan Balok Kolom Berbentuk T Struktur Rangka Beton Bertulang dengan Pemodelan Strut and Tie, Bandung: Universitas Kristen Maranatha.
- [5] Kriswanto, D. 2015. Perencanaan Struktur Plat Beton Bertulang untuk Rumah Tinggal 3 Lantai, Semarang: UNESS.
- [6] Budi, Gatot S. 2018. Pengujian Kuat Tarik dan Modulus Elastisitas Tulangan Baja. Jurnal Teknik Sipil UNTAN Vol. 11 No. 01 Tahun 2018.
- [7] Wior, Cristian E. 2015. Kajian Kuat Beton dan Kuat Tarik Baja Tulangan Gedung Teknik Universitas Samratulangi Pasca Kebakaran. Jurnal Sipil Statik Vol. 3 No. 4 Tahun 2015.
- [8] SK SNI 03-2847-2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [9] SK SNI 2847-2013. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.