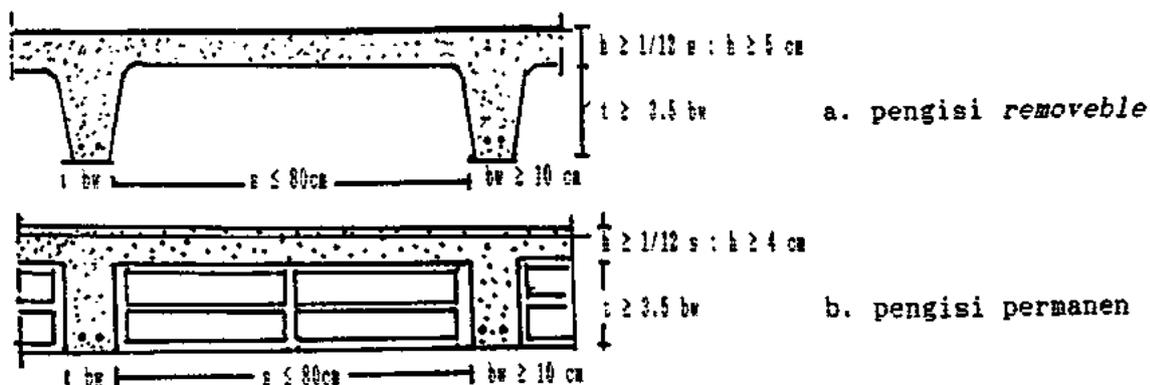


BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Balok merupakan elemen struktural disamping kolom, fondasi, dan balok *sloof*. Sesuai dengan perkembangan struktur bangunan maka akan dijumpai apa yang dinamakan dengan beton berusuk. Pelat beton berusuk ini berbeda dengan pelat beton segi empat masif baik dari segi struktural maupun secara fisiknya. Dari perbedaan kedua pelat ini, maka akan ditemui balok pendukung masing-masing pelat tersebut yang berbeda pula. Pada pelat segi empat masif digunakan balok pendukung biasa atau yang telah dikenal selama ini. Sedangkan pada pelat berusuk, tersusun atas rusuk-rusuk sebagai pendukungnya yang menjadi satu kesatuan dengan pelatnya. Balok-rusuk dibuat dengan lebar minimum 10 cm, dan umumnya berbentuk trapesium serta ditempatkan sedemikian rupa sehingga jarak bersih antara rusuk (*ribs*) yang bersebelahan tidak melebihi 80 cm (periksa gambar 1.1).



Gambar 1.1 Tampang balok-rusuk (*joist*)

Pada pelaksanaan di lapangan pembuatan balok-rusuk dipakai acuan pengisi yang dapat dibuka dan dipakai kembali. Pengisi tersebut dapat berupa baja berukuran standar dengan lebar 50 atau 75 cm dan tinggi 15,20,25,30,35,40,dan 50 cm. Tetapi kadang-kadang acuan pengisi dibuat juga dari *hardboard*, *fiberboard*, plastik yang diperkuat dengan gelas (*glass-reinforced plastics*), atau papan bergelombang (*corrugated cardboard*). Untuk pengisi yang permanen terdiri dari blok beton berbobot ringan/normal, atau blok ubin dari tanah liat.^[1]

Balok-rusuk (*joist*) ini merupakan pengembangan dari balok beton konvensional. Namun dalam pembuatan balok ini dapat di rencanakan tanpa menggunakan tulangan geser. Sebagai gantinya adalah dengan memperbesar dimensi balok pada bagian tertentu yang mengalami geser (sesuai dengan SK SNI Ayat 3.1.11) . Selain itu, pada perencanaan balok-rusuk (*joist*) relatif kecil dimensinya daripada balok beton konvensional. Dengan demikian memungkinkan balok-rusuk ini digunakan secara lebih meluas untuk suatu struktur gedung berlantai banyak.

Dari segi artistik, balok-rusuk merupakan aplikasi-aplikasi yang umum digunakan untuk membentuk langit-langit dengan bentuk-bentuk rongga yang teratur yang dapat digunakan untuk pencahayaan (*lighting*) atau ventilasi. Struktur ini juga dapat dipakai pada bentangan yang besar dan karena bentuknya yang dapat dibuat sedemikian rupa, maka hasilnya dapat menjadi plafon hiasan yang indah dan artistik. Sesuai dengan keinginan para perencana bangunan yang memperhatikan estetika interior plafon pada bangunan, maka bentuk balok-rusuk ini dapat dibedakan menjadi beberapa

macam yang umum dipakai. Bila bangunan itu dipakai balok-rusuk biasanya interior plafon dibentuk dari perpotongan-perpotongan balok yang sengaja ditonjolkan.^[5]

1.2. Rumusan dan Pembatasan Masalah

Batasan-batasan yang diberikan pada analisis dan desain balok-rusuk (*joist*) antara lain:

1. perhitungan dilakukan hanya terhadap beban vertikal,
2. perhitungan dilakukan pada bentang dua arah,
3. perhitungan dilakukan untuk luasan pelat $3 \times 3 \text{ m}^2$ dengan beban hidup $2,5 \text{ kN/m}^2$,
4. balok-rusuk adalah balok tampang T berbadan trapesium yang direncanakan sebagai suatu balok yang berpenampang trapesium di daerah lentur negatif dan berpenampang T di daerah lentur positif,
5. untuk beton digunakan $f'c = 30 \text{ MPa}$, untuk baja digunakan $f_y = 300 \text{ MPa}$, $v = 0,2$,
6. perhitungan dilakukan dengan metoda kekuatan,
7. jarak antara balok digunakan cetakan dengan lebar 75 cm .

1.3. Tujuan dan Manfaat

Tujuan analisis dan desain balok-rusuk adalah:

1. mengetahui cara menganalisis konstruksi balok-rusuk yang menumpu pada balok gelagar dan mendukung beban gravitasi,

2. mengetahui cara mendesainnya,
3. dapat mengetahui perbedaan antara balok-rusuk dan balok biasa.

Sedangkan manfaat kajian ini yaitu:

1. manfaat teoritis, yaitu untuk pengembangan ilmu pengetahuan di bidang perancangan struktur, terutama perancangan struktur balok-rusuk (*joist*),
2. manfaat praktis, yaitu acuan pengisi dapat dibuka dan dipakai kembali.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Menurut Chu Kia Wang dan Charles C Salmon (1986), konstruksi lantai berusuk (*ribbed-slab*) adalah konstruksi lantai *joist* satu arah terdiri dari rusuk-rusuk (*ribs*) yang ditempatkan dengan jarak yang beraturan dan dicor monolit dengan pelat lantai atas dan dipasang membentang di satu arah. Sistem yang demikian juga dapat direncanakan sebagai sistem dua arah (*waffle-slab*)^[1].

Menurut Paul F Rice dan Edward S Hoffman (1973), konstruksi balok-rusuk bertulang terdiri dari kombinasi monolit antara rusuk-rusuk dengan jarak beraturan dan pelat di atasnya. Konstruksi ini bisa dibentuk permanen atau pengisi yang dapat dibuka dan dipakai kembali diantara rusuk-rusuk (*joists*) yang disusun dalam bentangan satu arah atau dua arah. Konstruksi *joist* dua arah dengan dua bentangan yang bersilangan disebut juga konstruksi *waffle-slab* harus sesuai dengan syarat-syarat dari *Chapter 13 of the 1971 Code* untuk sistem-sistem pelat yang diperkuat lentur lebih daripada konstruksi satu arah. Konstruksi *joist* satu arah dengan rusuk-rusuk paralel untuk satu bagian harus sesuai dengan syarat-syarat analisa dan desain dari *Chapter 8 of the 1971 Code* yang akan dibahas didalamnya^[2].

Menurut Phil M Ferguson (1986), balok lantai menurut definisi dalam Kode 8.11.1 adalah terdiri dari : "suatu kombinasi yang monolitik dari rusuk-rusuk dengan jarak yang teratur dan suatu

pelat lantai atas, yang disusun menjadi bentang dalam satu arah atau dua arah yang ortogonal". Jarak bersih dibatasi sampai 800 mm dan setiap jarak yang lebih lebar tidak diperkenankan. Dua kelonggaran desain dibuat untuk balok-balok lantai. Karena jaraknya yang rapat balok-balok lantai dapat membagikan beban yang berlebihan setempat kepada balok-balok lantai yang berdekatan dengan balok lantai tipikal. Oleh karena itu balok lantai dapat didesain untuk tegangan geser yang lebih besar 10 % dari yang diijinkan untuk V_c dalam balok. Balok-balok lantai juga dibebaskan dari ketentuan bahwa sengkang-sengkang harus digunakan di tempat dimana geser melebihi $0,5 V_c$ ^[3].

2.2. Dasar Asumsi Struktur

2.2.1. Struktur Pelat Berusuk

Menurut Chu Kia Wang dan Charles C Salmon, pelat berusuk adalah konstruksi yang terdiri dari pelat yang dicor monolit dengan balok-balok pendukungnya (rusuk-rusuknya) yang mempunyai jarak beraturan, membentang dalam satu atau dua arah. Dimensi dari sistem lantai ini diambil sedemikian sehingga dalam pelatnya hanya dibutuhkan tulangan suhu dan susut^[1].

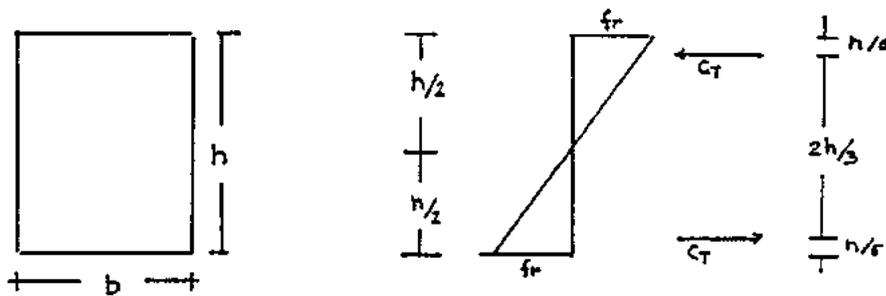
Berdasarkan definisi di atas, maka dapat disimpulkan:

1. pelat berusuk terdiri dari struktur pelat dan struktur rusuk yang dicor monolit,
2. bagian pelat dari struktur pelat berusuk ini harus mempunyai dimensi sedemikian rupa sehingga beton mampu menahan gaya

tekan dan gaya tarik tanpa mengalami keruntuhan akibat beban rencana.

Karena beton merupakan material yang bersifat getas, mampu menahan gaya tekan dalam batas tertentu, namun sangat lemah dalam menerima gaya tarik, maka supaya pada bagian pelat tidak diperlukan tulangan lentur (tarik), ketebalan pelat harus didesain berdasarkan kekuatan beton dalam menerima gaya tarik.

Oleh karena kekuatan beton terhadap gaya tarik diperhitungkan untuk mendesain ketebalan pelat, maka kekuatan penampang beton didesain berdasarkan konsep berikut:



Gambar 2.1 Diagram tegangan tarik pada tampang beton

Menurut SK SNI 1991 3.2.5 Ayat (2) besarnya $f_r = 0,7 \sqrt{f_c}$, namun untuk perencanaan, nilai ini direduksi untuk keamanan desain. Besarnya nilai reduksi ini belum tercantum dalam SK SNI 1991 untuk desain yang memperhitungkan kekuatan beton terhadap tarik, sehingga nilai reduksi ini ditetapkan sebesar 0,75 (hal ini diambil sesuai prosedur desain dalam buku Desain Beton Bertulang oleh Chu Kia Wang dan Charles C Salmon)^[1], sehingga kapasitas

momen tampang (M_T):

$$C_T = 0,75 \frac{h}{2} f_r \frac{b}{2} = 0,13125 \sqrt{f'_c} b h \quad (2.1)$$

$$M_T = C_T \frac{2}{3} h = 0,08750 \sqrt{f'_c} b h^2 \quad (2.2)$$

Berdasarkan pasal 3.2.3 SK SNI 1991, kuat rancang yang tersedia pada suatu komponen struktur harus diambil sebagai kekuatan nominal yang dihitung dengan mengalikan dengan suatu faktor reduksi kekuatan ϕ , yaitu:

- lentur tanpa beban aksial 0,8
- aksial dan aksial tarik dengan lentur 0,8
- aksial dan aksial tekan dengan lentur:

komponen struktur dengan tulangan spiral maupun

sengkang ikat 0,65.

Mengingat hal ini, maka kekuatan pelat terhadap lentur untuk pelat berusuk (persamaan 2.2) menjadi:

$$M_N = C_T \frac{2}{3} h \phi = 0,0875 \sqrt{f'_c} b h^2 \cdot 0,8$$

$$M_N = 0,007 \sqrt{f'_c} b h^2 \quad (2.3)$$

Menurut pasal 8.1.11 SK SNI 1991 tebal pelat dari konstruksi ini minimum:

- a. 40 mm untuk pelat yang dibawahnya terdapat pengisi permanen (pengisi permanen ini diperhitungkan dalam perencanaan kekuatan),
- b. 50 mm untuk pelat tanpa pengisi permanen,
- c. 1/12 jarak bersih antar rusuk.

Selain batasan dimensi pelat, dalam pasal yang sama tulangan dalam pelat harus diberikan (tulangan suhu dan susut) sebesar:

- a. 0,0020 luas tampang bruto beton, bila digunakan tulangan deform mutu 300,
- b. 0,0018 luas tampang bruto beton, bila digunakan tulangan deform atau jaring kawat las (polos atau deform) mutu 400,
- c. 0,35 luas tampang bruto beton, bila digunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 400 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar $\frac{0,0018 \times 400}{f_y}$,
- d. dalam segala hal tidak boleh kurang dari 0,0014 luas tampang bruto beton.

Tulangan suhu dan susut dipasang dengan jarak tidak lebih dari lima kali tebal pelat atau 500 mm.

Menurut S Timoshenko, lendutan pelat homogen isotropis dipengaruhi oleh beberapa faktor dan dirumuskan sebagai berikut^[4]:

$$w = k q a^4/D \quad (2.4)$$

$$D = E h^3/(12 (1-\nu^2)) \quad (2.5)$$

2.2.2. Struktur Balok-Rusuk (*Joist*)

Pelat berusuk dua arah yang ditumpu pada balok-balok kaku terdiri dari sistem pelat yang ditumpu rusuk-rusuk yang membujur dan melintang satu sama lain, sehingga terbentuk sudut siku-siku pada pertemuan rusuk-rusuknya. Rusuk-rusuk yang membentang di kedua arah ini pada ujung-ujungnya menumpu pada balok-balok secara monolit, sehingga terbentuk suatu sistem balok *grid* (balok

silang) yang mendukung pelat lantai.

Pengertian balok *grid* secara teknik sendiri adalah struktur yang beban-bebannya dipasang tegak lurus pada bidang struktur, sebaliknya pada portal bidang beban-bebannya dipasang pada bidang struktur. Elemen-elemen *grid* dianggap berhubungan secara kaku, sehingga sudut asli antara elemen-elemen yang dihubungkan bersama pada satu titik nodal tetap tidak berubah. Secara fisik, balok *grid* berupa balok yang bersilangan membentuk kisi-kisi persegi, diagonal, dan majemuk. Dengan pengertian di atas, balok-rusuk merupakan balok *grid* yang secara fisik mempunyai batasan-batasan tertentu.

Konstruksi balok-rusuk pada pelat berusuk, menurut SK SNI 1991 pasal 3.1.11 harus memenuhi batasan berikut:

- a. lebar rusuk minimum 100 mm dan tebalnya minimal 3,5 kali lebar minimumnya,
- b. jarak bersih antar rusuk tidak boleh melebihi 800 mm.

Konstruksi rusuk pada struktur pelat berusuk berupa balok-balok beton bertulang yang dimensinya disesuaikan dengan besarnya beban. Menurut Phil M Ferguson, karena jaraknya yang rapat, konstruksi ini dapat mendistribusi beban yang berlebihan setempat kepada struktur di sebelah rusuk tipikal, sehingga kekuatan gesernya boleh dinaikkan 10 %⁽³⁾. Menurut SK SNI 1991 pasal 3.1.11, selain kekuatan gesernya dapat dinaikkan 10%, kuat geser boleh dinaikkan dengan memberi tulangan geser atau memperlebar ujung balok rusuk, sehingga kekuatan geser rusuk dapat dinyatakan sebagai:

$$V_c = 1,1 b_w d \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} = 0,1833 b_w d \sqrt{f'_c} \quad (2.6)$$

Sebagai balok *grid*, rusuk-rusuk akan mengalami puntiran (torsion) sebagai akibat redistribusi gaya-gaya dalam. Jenis torsion pada struktur *grid* adalah torsion statis tak tentu (kompatibilitas torsion). Menurut SK SNI 1991 pasal 3.4.6(3) apabila torsion berfaktor $T_u \leq \phi (1/20 \sqrt{f'_c}) \Sigma X^2Y$ torsion ini bisa diabaikan. Kuat momen torsion yang disumbangkan oleh tampang dinyatakan sebagai:

$$T_c = \frac{\sqrt{f'_c} \Sigma(X^2Y) / 15}{\sqrt{1 + \left[\frac{0,4 V^u}{C_t T_u} \right]^2}} \quad (2.7)$$

Apabila torsion berfaktor T_u melebihi nilai $\phi (1/20 \sqrt{f'_c}) \Sigma(X^2Y)$ namun kurang dari nilai T_c maka pengaruh torsion bisa diabaikan. Pada torsion kompatibilitas, apabila $T_u > T_c$ maka T_u direduksi sebesar $\sqrt{f'_c}/9 \cdot \Sigma(X^2Y)/3$, hal ini sesuai SK SNI 1991 pasal 3.4.6(3).

Konstruksi rusuk, karena merupakan balok beton bertulang yang dicor monolit dengan pelat, maka analisis lenturnya dapat dianggap sebagai:

1. balok T pada daerah momen positif,
2. balok persegi pada daerah momen negatif.

Sebagai balok T, lebar efektif pelat sebagai flens balok T tidak boleh melebihi $\frac{1}{4}$ bentang balok dan lebar efektif flens yang membentang pada tiap sisi badan balok tidak boleh melebihi:

- a. 8 x tebal pelat,
- b. $\frac{1}{4}$ jarak bersih dari badan balok yang bersebelahan.

Analisis lentur balok T sama dengan analisis lentur balok persegi, hanya pada bagian flens (lebar efektif) diperhitungkan sebagai daerah tekan beton pada momen positif. Untuk momen negatif,

rusuk dianalisis sebagai balok penampang persegi.

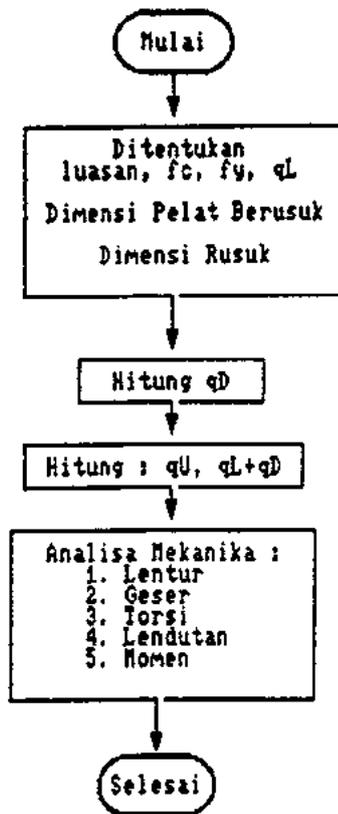
2.3. Kerangka Pikir

Tugas Akhir ini bertujuan untuk mengetahui cara menganalisis dan mendesain balok-rusuk yang menumpu pada balok gelagar dan mendukung beban gravitasi.

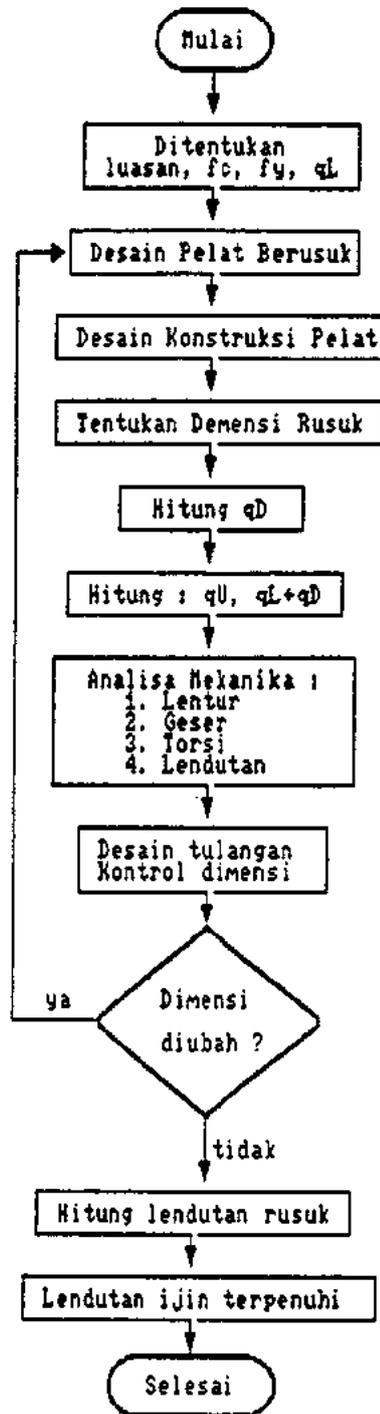
Analisis balok-rusuk dimulai dengan menentukan luasan pelat yang dihitung, kuat desak beton (f'_c), kuat tarik baja (f_y), beban hidup (q_L), dimensi pelat dan balok-rusuk. Setelah data-data tersebut sudah diketahui, dilanjutkan dengan menghitung beban-beban yang bekerja (q_D , q_L , q_U). Dari data yang ada tersebut, dilakukan analisis mekanika yang meliputi:

1. lentur,
2. geser,
3. torsi,
4. lendutan,
5. momen.

Sedangkan untuk mendesain balok-rusuk, langkah-langkahnya seperti pada analisis dengan menambahkan pendesainan tulangan serta kontrol dimensi. Secara sistematis, kerangka pikiran dalam analisis dan desain balok-rusuk ini dijelaskan pada gambar 2.2.



a. Analisis



b. Desain

Gambar 2.5. Diagram Alir Kerangka Pikir

BAB 3

ANALISIS DAN DESAIN

3.1. Uraian Umum

Analisis dan desain balok-rusuk yang menumpu pada balok gelagar dan mendukung beban gravitasi, dilakukan dengan cara menghitung pelat berusuk dua arah dengan asumsi tumpuan terjepit pada balok secara kaku, luasan berbentuk segi empat berukuran $3 \times 3 \text{ m}^2$, menerima beban gravitasi yang terdiri dari beban hidup $2,5 \text{ kN/m}^2$ dan berat pelat itu sendiri. Dari perhitungan pelat berusuk itu, balok-rusuk dapat dianalisis dan didesain.

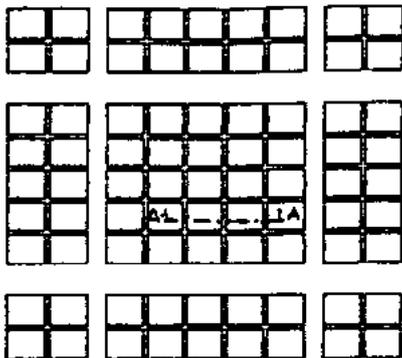
Pelat berusuk dua arah yang ditumpu pada balok-balok kaku terdiri dari sistem pelat yang ditumpu rusuk-rusuk yang membujur dan melintang satu sama lain, sehingga terbentuk sudut siku-siku pada pertemuan rusuk-rusuknya. Karena rusuk-rusuk beton dicor monolit, maka pada pertemuan tersebut terjadi buhul yang kaku, sehingga secara keseluruhan terjadi sistem *grid* (balok-silang) yang mendukung pelat. Pada sistem *grid* ini, setiap buhul akan mempunyai 3 derajat kebebasan sesuai dengan lendutan yang terjadi yaitu 2 rotasi dalam arah X dan Y serta 1 translasi dalam arah Z, lihat gambar 3.1. Mengingat banyaknya derajat kebebasan pada tiap buhul, dan banyaknya buhul dalam satu sampel, maka akan didapat banyak persamaan simultan dalam satu sampel. Apabila dipakai analisis struktur manual, akan timbul kesulitan-kesulitan dalam menyelesaikan persamaan-persamaan yang dihasilkan, mengingat hal ini maka dalam menganalisis gaya dalam maupun lendutan yang



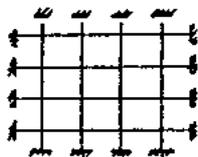
dihasilkan digunakan program Microfeap P2.

Untuk menggunakan program ini maka data struktur yang harus diketahui adalah:

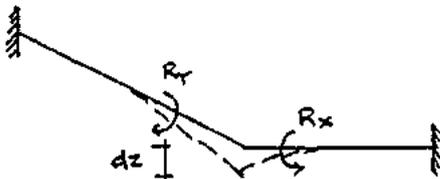
1. jumlah, nomor, koordinat buhul dan tumpuan terhadap sumbu X,Y,
2. perilaku lendutan buhul dan tumpuan terhadap sumbu X,Y,Z,
3. nomor batang dan lokasi batang terhadap nomor buhul/tumpuan,
4. data tampang material, yaitu meliputi:
 - a. *Modulus Elastisitas* (E) bahan yang digunakan,
 - b. *Luas Tampang (Axial Area)* bahan yang digunakan,
 - c. *Momen Inersia* bahan,
 - d. *Modulus Geser* (G) bahan,
 - e. *Modulus Torsi* (J) bahan,
5. data beban dan arahnya terhadap sumbu koordinat yang bersangkutan.



A. *Waffle-Slab* ditumpu balok kaku



B. Struktur *grid* untuk analisis mekanika rusuk *waffle-slab*



C. Deformasi buhul pada sistem *grid*

Cambar 3.1 *Waffle-slab* dan struktur pendukungnya

3.2. Tinjauan Terhadap Lentur

Struktur balok-rusuk merupakan balok beton bertulang yang dicor monolit dengan pelat di atasnya, sehingga analisis lenturnya dapat dianggap sebagai balok T pada daerah momen positif, dan balok persegi pada daerah momen negatif. Adapun urutan analisis dan desain lentur adalah dengan menyediakan data dimensi balok-rusuk yang ditinjau, kuat desak beton (f'_c), kuat tarik baja (f_y), dan momen ultimit hasil dari hitungan mekanika (M_u). Dari data-data yang telah ada tersebut, kemudian dihitung momen nominal, rasio luas tulangan tarik terhadap penampang bruto beton baja (ρ), dan reaksi nominal akibat momen pada penampang (R_n). Setelah hasil hitungan di atas diperoleh, dilanjutkan dengan menentukan dimensi tulangan dan jumlahnya.

Untuk perhitungan lentur tersebut, digunakan rumus-rumus sebagai berikut:

$$M_n = M_u / \phi$$

$$R_n = M_n / (b d^2)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta}{f_y} \times \frac{600}{(600 + f_y)}$$

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

$$\rho = 1/m \times (1 - \sqrt{1 - 2 m R_n / f_y}),$$

$$\text{dengan } m = f_y / (0,85 f'_c)$$

Apabila $\rho < \rho_{\min}$, pendesainannya adalah tulangan tunggal dengan $\rho = \rho_{\min}$.

$$A_s = \rho b d.$$

Secara sistematis dapat dilihat pada gambar 3.2.

3.3. Tinjauan Terhadap Geser

Analisis dan desain geser dimulai dengan menyediakan data: dimensi balok yang dianalisis, kuat desak beton (f'_c), kuat tarik baja (f_y), dan gaya geser yang diperoleh dari hitungan mekanika (V_u). Setelah data-data tersebut tersedia, kemudian dihitung gaya geser nominal yang harus disediakan oleh penampang (V_n), kuat geser yang disumbangkan oleh beton (V_c), dan dilanjutkan dengan menentukan dimensi tulangan geser. Apabila $V_n < V_c$, maka gaya geser yang terjadi pada balok-rusuk (V_u) dapat diabaikan.

Untuk perhitungan geser tersebut digunakan rumus-rumus sebagai berikut:

$$V_n = V_u / \phi$$

$$V_c = 1,1 bw d \sqrt{f'_c} / 6$$

Apabila $V_c > V_n$, pendesainan tidak perlu menggunakan tulangan geser.

Secara sistematis, analisis dan desain geser dapat dilihat pada gambar 3.3.

3.4. Tinjauan Terhadap Torsi

Analisis dan desain torsi dimulai dengan menyediakan data: gaya torsi ultimit yang diperoleh dari hitungan mekanika (T_u), gaya geser yang diperoleh dari hitungan mekanika (V_u), kuat tarik baja (f_y), dan dimensi dari balok yang ditinjau. Setelah data-data tersebut tersedia, kemudian dihitung torsi yang disumbangkan oleh penampang beton (T_c), dan dimensi tulangan torsi serta jarak

tulangannya.

Untuk perhitungan torsi tersebut, digunakan rumus-rumus sebagai berikut:

$$T_n = T_u / \phi$$

$$T_{ct} = \sqrt{f'_c} / 9 \Sigma(X^2Y) / 3, \quad T_u = T_{ct}$$

$$T_c = \frac{\sqrt{f'_c} / 15 \Sigma(X^2Y)}{\sqrt{1 + \left| \frac{0,4 V_u}{C_t \cdot T_u} \right|^2}},$$

$$\text{dengan } C_t = \frac{bw d}{\Sigma(X^2Y)}$$

Jika T_c maupun $T_n < 1/20 \sqrt{f'_c} \Sigma(X^2Y)$, tidak memerlukan tulangan torsi.

$$T_s = T_c / \phi - T_c$$

Jika $T_s > 4T_c$, perbesar dimensi.

$$a = (2 + Y/X) / 3$$

$$a < 1,5$$

$$S = \frac{A_t a X Y}{T_s},$$

$$S_{\max} = \frac{X_1 + Y_1}{4},$$

$S_{\max} = 300$, dipilih S yang terbesar.

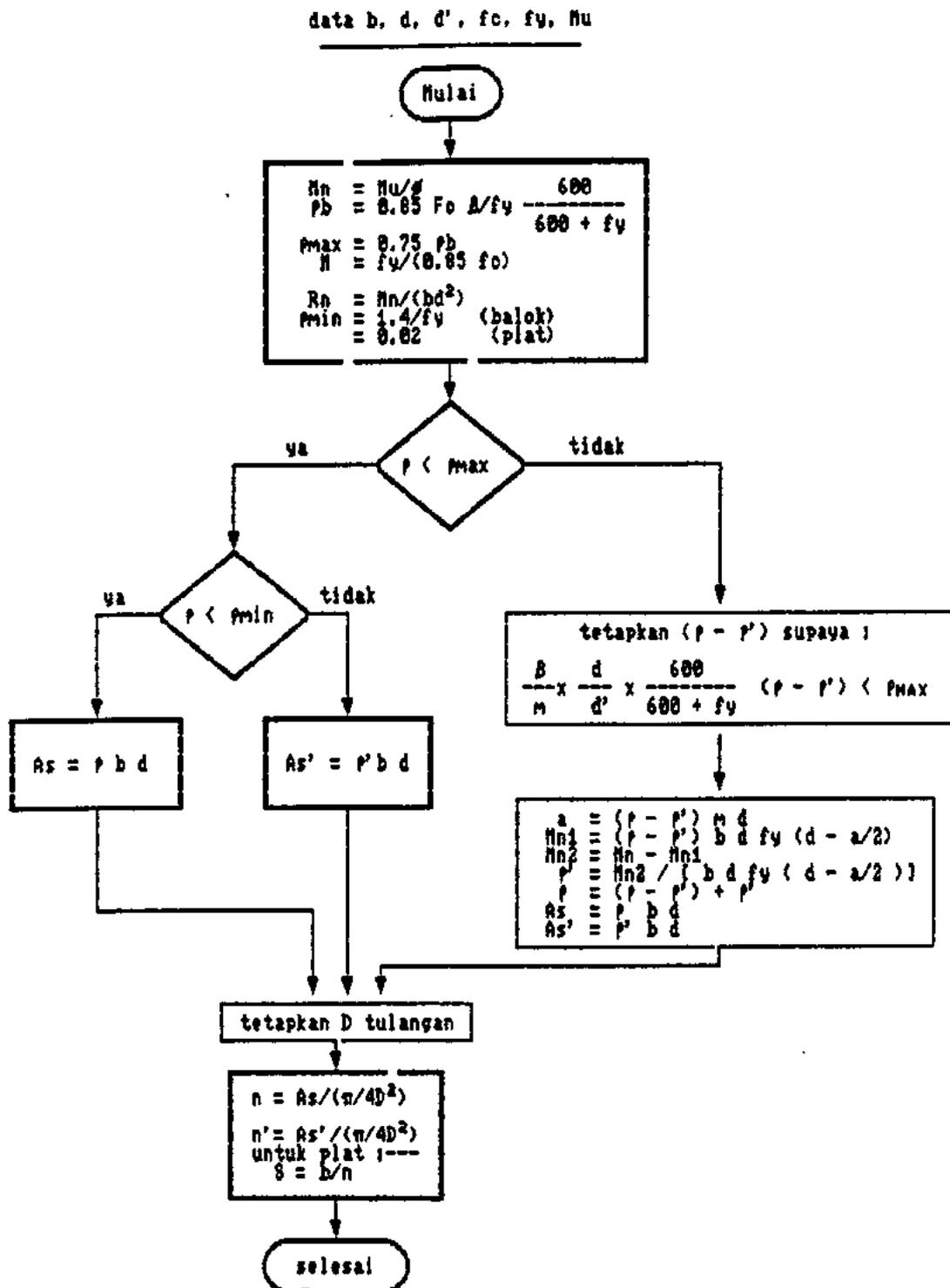
$$A = 2 A_t (X_1 + Y_1) / S,$$

$$A = \left[\frac{2,8 X S}{f_y} \left[\frac{T_u}{T_u + V_u/3(Ct)} \right] - 2 A_t \right] \cdot \left[\frac{X1 + Y1}{S} \right]$$

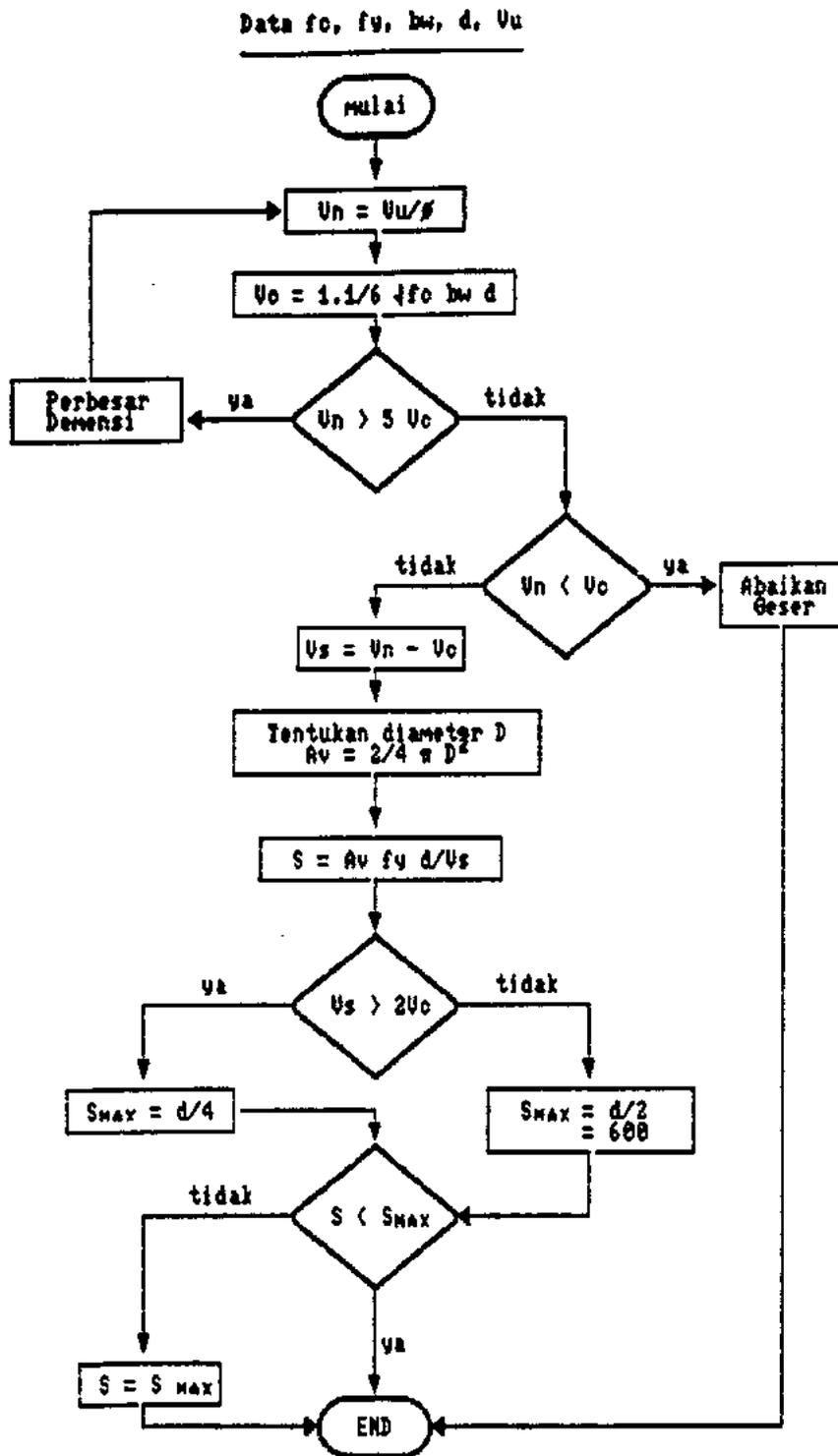
$$A = \left[\frac{2,8 X S}{f_y} \left[\frac{T_u}{T_u + V_u/3(Ct)} \right] - \frac{bw S}{3 f_y} \right] \cdot \left[\frac{X1 + Y1}{S} \right]$$

dipilih A yang terbesar.

Secara sistematis, analisis dan desain torsi dapat dilihat pada gambar 3.4.

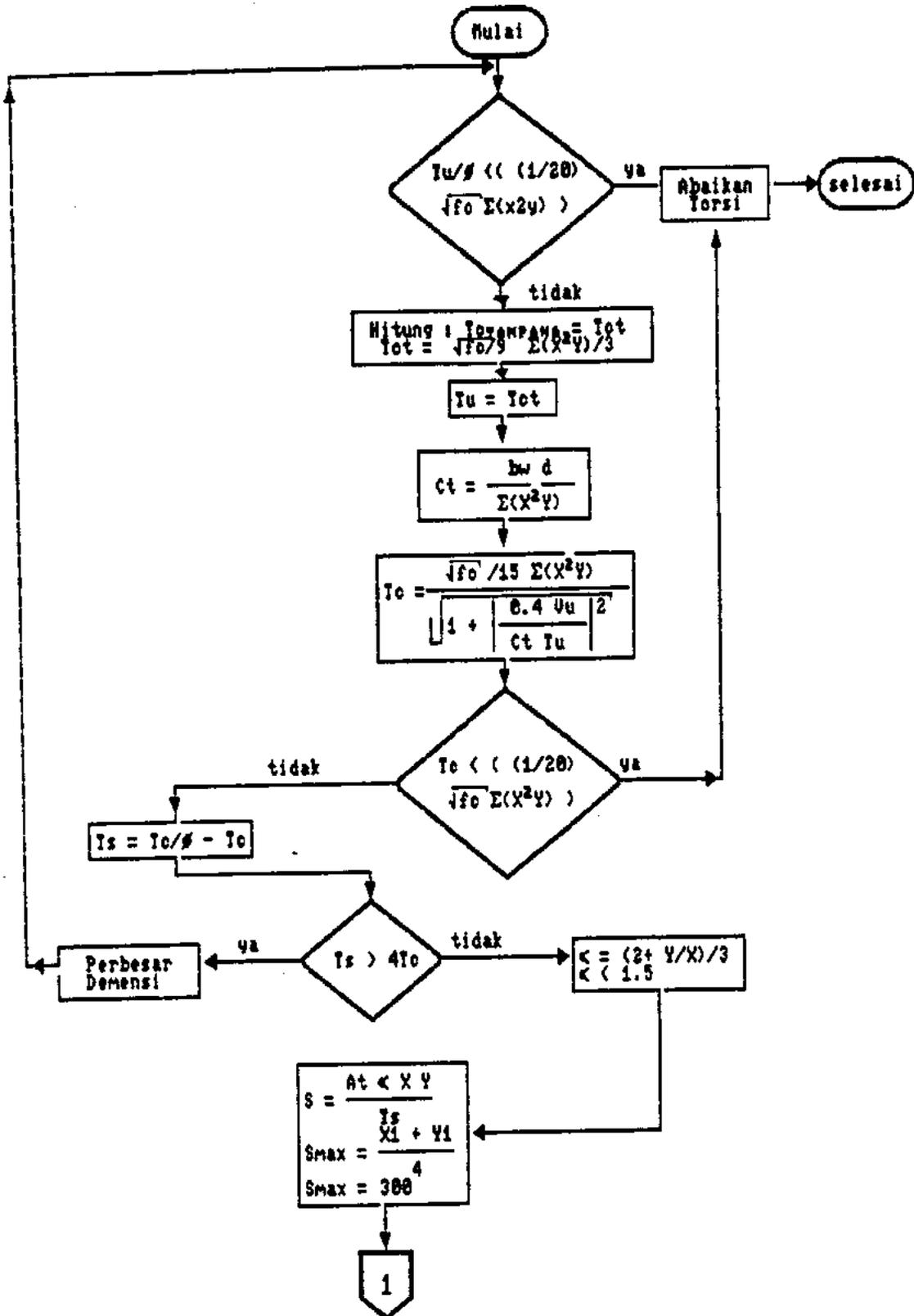


Gambar 3.2 Diagram alir desain lentur



Gambar 3.3 Diagram alir desain geser (rusuk)

Data : $T_u, U_u, f_u, b_w, d, X, Y, x_1, y_1$



BAB 4

PEMBAHASAN

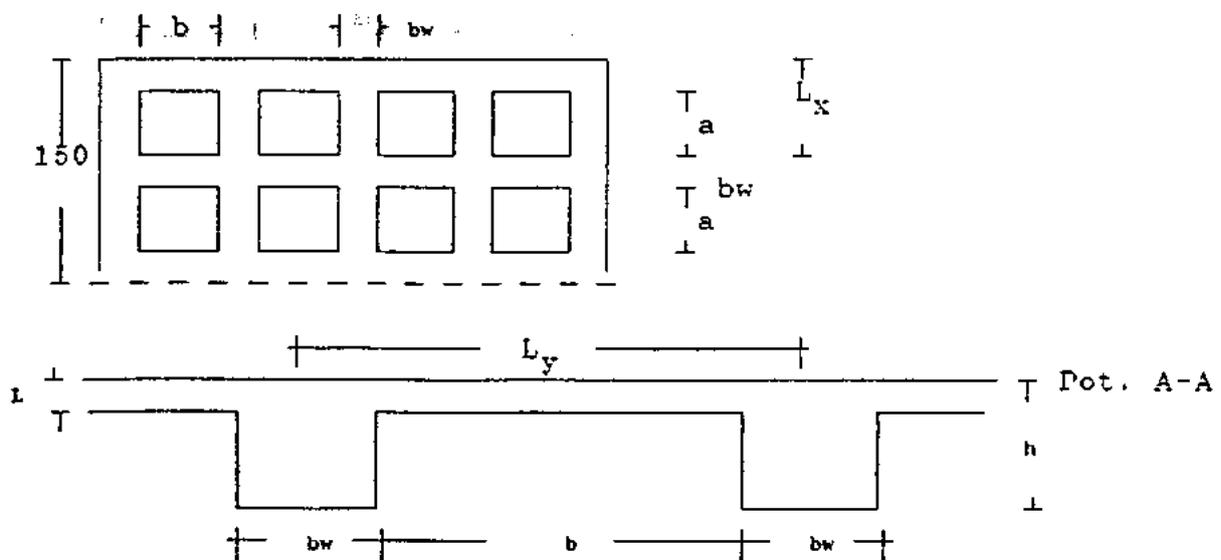
4.1. Analisis Beban

Penyajian hitungan analisis untuk pelat berusuk dilakukan dengan cara manual sedangkan untuk balok-rusuk (*joist*) dilakukan dengan komputer, yaitu dengan program Microfeap P2 dan hasilnya ditampilkan dalam bentuk tabel (lihat lampiran). Untuk mengetahui perhitungannya, berikut ini diuraikan perhitungan terhadap sampel dengan luasan pelat $3 \times 3 \text{ m}^2$, jarak antar balok digunakan cetakan lebar 75 cm (dari as ke as) dengan beban hidup $2,5 \text{ kN/m}^2$.

Data: $f'_c = 30 \text{ MPa}$; $f_y = 300 \text{ MPa}$; $q_L = 2,5 \text{ kN/m}^2$; $\nu = 0,2$

Hitungan Analisis Pelat Berusuk

Ditentukan dimensi sebagai berikut (lihat gambar 4.1)



Gambar 4.1 Pelat berusuk yang dianalisis

1. Beban Pelat:

$$a = b = \text{sisi pelat bersih} = 650 \text{ mm}$$

$$L_x = L_y = \text{sisi pendek dan panjang pelat as ke as rusuk} = 750 \text{ mm}$$

$$t = 55 \text{ mm}$$

Beban:

$$\text{berat pelat} = 0,055 \times 24 = 1,320 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{berat ubin} = 0,024 \times 21 = 0,504 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{berat pasir} = 0,020 \times 16 = 0,320 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{berat spesi} = 0,020 \times 21 = 0,420 \text{ kN/m}^2$$

-----+

$$q_D = 2,564 \text{ kN/m}^2$$

$$q_L = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_U = 1,2q_D + 1,6q_L = 1,2 \times 2,564 + 1,6 \times 2,5 = 7,0768 \text{ kN/m}^2$$

$$q_W = q_D + q_L = 2,564 + 2,5 = 5,064 \text{ kN/m}^2$$

Momen lentur pelat (tabel Timoshenko):

$$a/b = 650/650 = 1, \text{ dari tabel Timoshenko didapat:}$$

$$\text{- momen terbesar} = 0,0513 q a^2$$

$$M_u = 0,0513 \times 7,0768 \times 0,650^2 = 0,153 \text{ kNm}$$

$$M_w = 0,0513 \times 5,0640 \times 0,650^2 = 0,110 \text{ kNm}$$

Kontrol dimensi:

$$M_n = M_u / \phi = (0,153 \times 10^6) / 0,8 = 191250 \text{ Nmm}$$

$$\text{Kapasitas momen tampang } M_T = 0,007 \sqrt{f'_c} a t^2$$

$$= 0,007 \sqrt{30} \times 650 \times 55^2$$

$$= 753871,653 \text{ Nmm} > M_n, \text{ pelat OK !}$$

$$\Delta = 0,00126 q a^4 / D$$

$$E = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \times \sqrt{30} = 25743 \text{ MPa}$$

$$D = E t^3 / (12(1-\nu^2)) = 25743 \times 55^3 / (12(1-0,2^2))$$

$$= 371787467,45$$

$$\Delta_w = 0,00126 \times 0,005064 \times 650^4 / 371787467,45 = 0,0030635 \text{ mm}$$

$$\Delta_D = 0,00126 \times 0,002564 \times 650^4 / 371787467,45 = 0,0015511 \text{ mm}$$

$$\Delta_L = \Delta_w - \Delta_D = 0,0030635 - 0,0015511 = 0,0015124 \text{ mm}$$

2. Beban Balok-Rusuk:

$$L_x = L_y = 650 + 2 \times (100/2) = 750 \text{ mm}$$

-Pembebanan:

$$L_{eq\ x} = L_{eq\ y} = 2 L_x / 3 = 2 \times 750 / 3 = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$$

-Beban ekuivalen:

$$\text{Pelat dalam arah X \& Y} = L_{eq\ x} q_D = 0,5 \times 2,564 = 1,282 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat rusuk (X \& Y)} = 0,1 (0,35-0,055) \times 24 = 0,708 \text{ kN/m}$$

$$\text{Beban mati } q_D = 1,282 + 0,708 = 1,990 \text{ kN/m (dalam arah X \& Y)}$$

$$\text{Beban hidup } q_L = 0,5 \times 2,5 = 1,25 \text{ kN/m (dalam arah X \& Y)}$$

$$\text{Beban kerja } q_w = 1,990 + 1,25 = 3,24 \text{ kN/m (arah X \& Y)}$$

$$\text{Beban ultimit } q_u = 1,2 \times 1,990 + 1,6 \times 1,25$$

$$= 4,388 \text{ kN/m (dalam arah X \& Y)}$$

3. Tampang Balok-Rusuk:

$$E = 25743 \text{ MPa}$$

$$A = 0,1 \times 0,35 = 0,035 \text{ m}^2$$

$$I = 0,1/12 \times 0,35^3 = 0,00035729 \text{ m}^4$$

$$\beta = 1/3 \times 0,21 b/h (1 - b^4/(12 h^4))$$

4.2. Desain

4.2.1. Desain Pelat Berusuk

Dicoba dimensi seperti pada gambar 4.1.

Desain Pelat:

$$a = b = \text{sisi pelat bersih} = 650 \text{ mm}$$

$$L_x = L_y = \text{sisi pendek dan panjang pelat as ke as rusuk} = 750 \text{ mm}$$

-Batasan tebal pelat (t) minimum:

$$t \geq b/12 = 650/12 = 54,17 \text{ mm}$$

$$t \geq 50 \text{ mm}$$

$$\text{dicoba } t = 55 \text{ mm}$$

Beban pelat sama seperti pada analisis, yaitu:

$$q_L = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_U = 1,2q_D + 1,6q_L = 1,2 \times 2,564 + 1,6 \times 2,5 = 7,0768 \text{ kN/m}^2$$

Momen lentur pelat (tabel Timoshenko):

$$a/b = 650/650 = 1, \text{ dari tabel Timoshenko didapat:}$$

$$\text{momen terbesar} = 0,0513 q a^2$$

$$M_u = 0,0513 \times 7,0768 \times 0,650^2 = 0,153 \text{ kNm}$$

$$M_n = M_u / \phi = (0,153 \times 10^6) / 0,8 = 191250 \text{ Nmm}$$

$$R_n = M_n / (b d^2) = 191250 / (650 \times 30^2) = 0,3269$$

$$m = f_y / (0,85 f'_c) = 300 / (0,85 \times 30) = 11,764$$

$$f_{\max} = \frac{0,75 \times 0,85 f'_c \beta}{f_y} \times \frac{600}{(600 + f_y)}$$

$$= \frac{0,75 \times 0,85 \times 30 \times 0,85}{300} \times \frac{600}{(600 + 300)} = 0,0361$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= 0,002 \\ \rho &= 1/m \times (1 - \sqrt{1 - 2 m R_n / f_y}) \\ &= 1/11,764 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 11,764 \times 0,3269 / 300}) \\ &= 0,00109 < \rho_{\min} \text{ ----> tulangan tunggal dengan } \rho = \rho_{\min} \\ A_s &= \rho b d = 0,002 \times 650 \times 30 = 39 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan suhu dan susut = $A_{s\&}$

$$A_{s\& x} = A_{s\& y} = 0,002 \times 650 \times 55 = 71,5 \text{ mm}^2 > A_s$$

Jadi di dalam pelat hanya digunakan tulangan suhu dan susut.

$$D = 8 \text{ mm}, n = 71,5 / (\pi/4 \times 8^2) = 1,42 \approx 2$$

dipasang 2 ϕ 8 mm, dimensi pelat dapat dipakai.

$$\text{- lendutan} = 0,00126 q a^4 / D$$

$$E = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \times \sqrt{30} = 25743 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} D &= E t^3 / (12(1-\nu^2)) = 25743 \times 55^3 / (12(1-0,2^2)) \\ &= 371787467,45 \end{aligned}$$

$$w = 0,00126 \times 0,005064 \times 650^4 / 371787467,45 = 0,0030635 \text{ mm}$$

$$D = 0,00126 \times 0,002564 \times 650^4 / 371787467,45 = 0,0015511 \text{ mm}$$

$$L = w - D = 0,0030635 - 0,0015511 = 0,0015124 \text{ mm}$$

$$L = (1/360) a = (1/360) \cdot 650 = 1,80556 \text{ mm} > L, \text{ pelat Ok !}$$

4.2.2. Desain Balok-Rusuk

Batasan dimensi minimum:

$$b_w = 100 \text{ mm} \quad h_{\min} = 3,5 \times 100 = 350 \text{ mm}$$

Jarak bersih antar rusuk maximum 800 mm,

dicoba : $b_w = 100 \text{ mm}$ $h = 350 \text{ mm}$ (termasuk pelat)

$$L_x = L_y = 650 + 2 \times (100/2) = 750 \text{ mm}$$

Pembebanan:

$$L_{eq\ x} = L_{eq\ y} = 2 L_x / 3 = 2 \times 750 / 3 = 500\text{ mm} = 0,5\text{ m}$$

-Beban ekuivalen:

$$\text{Pelat dalam arah X \& Y} = L_{eq\ x} q_D = 0,5 \times 2,564 = 1,282\text{ kN/m}$$

$$\text{Berat rusuk (X \& Y)} = 0,1 (0,35 - 0,055) \times 24 = 0,708\text{ kN/m}$$

$$\text{Beban mati } q_D = 1,282 + 0,708 = 1,990\text{ kN/m (dalam arah X \& Y)}$$

$$\text{Beban hidup } q_L = 0,5 \times 2,5 = 1,25\text{ kN/m (dalam arah X \& Y)}$$

$$\text{Beban kerja } q_w = 1,990 + 1,25 = 3,24\text{ kN/m (arah X \& Y)}$$

$$\text{Beban ultimit } q_u = 1,2 \times 1,990 + 1,6 \times 1,25$$

$$= 4,388\text{ kN/m (dalam arah X \& Y)}$$

-Tampang Balok-Rusuk:

$$E = 25743\text{ MPa}$$

$$A = 0,1 \times 0,35 = 0,035\text{ m}^2$$

$$I = 0,1/12 \times 0,35^3 = 0,00035729\text{ m}^4$$

$$\beta = 1/3 \times 0,21 \times b/h (1 - b^4/(12 h^4))$$

$$= (1/3) \times 0,21 \times \frac{0,10}{0,35} (1 - 0,10^4 / (12 \times 0,35^4)) = 0,27337$$

$$J = \beta h b^3 = 0,27337 \times 0,35 \times 0,1^3 = 0,00009567\text{ m}^4$$

$$C = E / (2 (1 + \nu))$$

$$= 25743 / (2 (1 + 0,2)) = 10726,25\text{ kN/m}^2$$

-Lentur:

Untuk contoh perhitungan diambil batang yang menahan momen terbesar yang dapat dilihat pada lampiran.

$$M_u = -4,2469\text{ kNm (batang no. 5)}$$

$$b = 100\text{ mm}$$

$$d = 300\text{ mm}$$

$$M_n = M_u / \phi = 4,2469 / 0,8 = 5,308625 \text{ kNm} = 5308625 \text{ Nmm}$$

$$R_n = M_n / (b d^2) = 5308625 / (100 \times 300^2) = 0,58985$$

$$m = f_y / (0,85 f'_c) = 300 / (0,85 \times 30) = 11,764$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= \frac{0,75 \times 0,85 f'_c \beta}{f_y} \times \frac{600}{(600 + f_y)} \\ &= \frac{0,75 \times 0,85 \times 30 \times 0,85}{300} \times \frac{600}{(600 + 300)} = 0,0361 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = 1,4 / f_y = 1,4 / 300 = 0,004667$$

$$\begin{aligned} \rho &= 1/m \times (1 - \sqrt{1 - 2 m R_n / f_y}) \\ &= 1/11,764 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 11,764 \times 0,58985 / 300}) \\ &= 0,0019895 < \rho_{\min} \text{ ----> tulangan tunggal dengan } \rho = \rho_{\min} \end{aligned}$$

$$A_s = \rho b d = 0,004667 \times 100 \times 300 = 140 \text{ mm}^2$$

$$D = 10 \text{ mm}$$

$$n = 140 / (\pi/4 \times 10^2) = 1,783 \approx 2$$

dipasang 2 ϕ 10 mm, dimensi rusuk dapat dipakai.

-Geser:

$$V_u = 8,4059 \text{ kN} \quad b_w = 100 \text{ mm} \quad d = 300 \text{ mm}$$

$$V_n = V_u / \phi = 8,4059 / 0,6 = 14,010 \text{ kN}$$

$$V_c = 1,1 b_w d \sqrt{f'_c} / 6 = 1,1 \times 100 \times 300 \sqrt{30} / 6 = 30,1247 \text{ kN}$$

$$V_c > V_n, \text{ tidak perlu tulangan geser.}$$

-Torsi:

Diambil batang dengan torsi terbesar, yaitu batang no. 1.

$$T_u = -97,961 \text{ Nm} \quad X = 100 \text{ mm} \quad Y = 350 \text{ mm}$$

$$T_n = T_u / \phi = 97961 / 0,6 = 163268,333 \text{ Nmm}$$

$$1/20 \sqrt{f'_c} \Sigma(X^2Y) = 1/20 \sqrt{30} (100^2 \times 350) = 958514,4756 \text{ Nmm}$$

$T_n < 958514,4756 \text{ Nmm}$, -----> tidak perlu tulangan torsi.

-Lendutan balok-rusuk:

Perhitungan momen Inersia efektif I_e pada tumpuan, digunakan penampang persegi (karena momen negatif), sedangkan pada lapangan digunakan penampang T karena momen positif.

-Pada tumpuan:

$$A_s = 140 \text{ mm}^2 \qquad E_c = 25743 \text{ MPa}$$

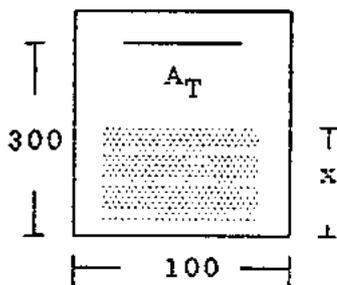
$$A_{brutto} = 100 \times 350 = 35000 \text{ mm}^2$$

$$\text{garis netral setinggi } h/2 = 350/2 = 175 \text{ mm}$$

$$\text{jarak garis netral ke serat tarik terluar } Y_t = 175 \text{ mm}$$

$$I_g = \frac{1}{12} 100 \times 350^3 = 3,6 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$M_u = 425340 \text{ Nmm}$$



A_T = luas transformasi baja tulangan

$$= A_s / n$$

$$n = E_s / E_c = 200000/25743$$

$$= 7,7691$$

$$A_T = 140 \times 7,7691 = 1087,674 \text{ mm}^2$$

Gambar 4.3 Balok tampang persegi

Garis netral retak:

statis momen terhadap sisi bawah:

$$\frac{b_w}{2} x^2 = A_T (d-x)$$

$$\frac{b_w}{2} x^2 + A_T x - A_T d = 0 \text{ ---> identik dengan } ax^2+bx+c = 0$$

dengan $a = b_w/2$ $b = A_T$ $c = -A_T d$ sehingga:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 a c}}{2 a} = 70,636 \text{ mm --> garis netral retak}$$

Momen Inersia retak = I_{CR} = statis momen terhadap garis netral retak

$$I_{CR} = b_w x^3/3 + A_T (d-x)^2 = 68967998,035 \text{ mm}^4$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{30} = 3,8341 \text{ MPa}$$

$$\text{Momen retak} = M_{CR} = f_r I_g / y_t = 7887291,43 \text{ Nmm}$$

$$(M_{CR} / M_u) = 7887291,43/425340 = 18,54 > 1$$

$$\text{Gunakan } I_e = I_g = 3,6 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

-Pada lapangan:

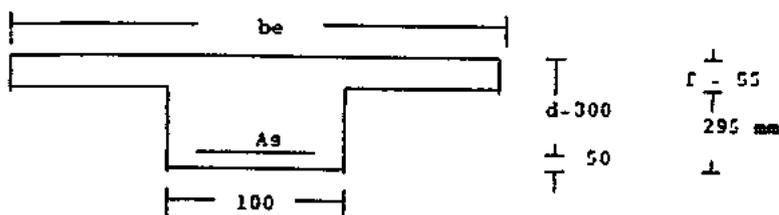
$$M_u = 1917400 \text{ Nmm}$$

$$A_s = 140 \text{ mm}^2$$

data penampang:

$$b_e = 750 \text{ mm} \quad \text{tebal flens } f = 55 \text{ mm}$$

$$d = 300 \text{ mm} \quad h = 350 \text{ mm} \quad b_w = 100 \text{ mm}$$



Gambar 4.4 Balok tampang T

Statis momen sisi bawah = 0

$$y_t = \frac{750 \times 55 \times 322,5 + 100 \times 295 \times 147,5}{750 \times 55 + 100 \times 295} = 249,5318 \text{ mm}$$

$y_t < 295 \text{ mm}$ ----> garis netral pada web/badan, sehingga:

$$I_g = 1/3 b_w \{ y_t^3 + (h - y_t)^3 \} + 1/12 (b_e - b_w) f^3 + (b_e - b_w) f (h - y_t - f/2)^2$$

$$= 7,6 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$A_T = 140 \times n = 140 \times 7,7691 = 1087,674 \text{ mm}^2$$

parameter :

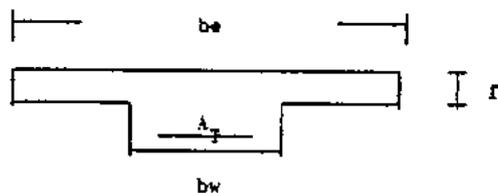
$$C = A_T (d - f) - (b_e f \frac{f}{2}) \text{ ----> } x_{cr} \text{ tepat pada sisi bawah sayap}$$

bila $C > 0$ maka x_{cr} berada pada badan dan bila $C < 0$, x_{cr} pada sayap.

$$C = 1087,674 (300 - 55) - (750 \times 55^2 / 2) = - 867894,78 \text{ mm}$$

$C < 0$, maka x_{cr} berada pada sayap.

-Perhitungan Momen Inersia retak:



x_{cr} pada sayap sejauh x dari sisi bawah sayap,

$$1/2 b_e (f - x)^2 = A_T (d - f + x)$$

$$b_e / 2 (f^2 - 2 f x + x^2) = A_T (d - f) + A_T x$$

$$b_e / 2 x^2 - (b_e f + A_T) x + b_e / 2 f^2 - A_T (d - f) = 0$$

$$\text{bila : } a = b_e / 2 \quad b = -(b_e f + A_T) \quad c = b_e / 2 f^2 - A_T (d - f)$$

$$\text{maka : } x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 a c}}{2a}$$

untuk kasus di atas, harga :

$$a = 750/2 = 375 \text{ mm} \quad c = \frac{750}{2} 55^2 - 1087,674(300-55)$$

$$= 867894,87$$

$$b = -(750 \times 55 + 1087,674) = -42337,674$$

$$\text{sehingga: } x = \frac{-42337,674 + \sqrt{42337,674^2 - 4 \times 375 \times 867894,87}}{2 \times 375}$$

$$= 29,5337 \text{ mm}$$

-Garis netral retak sejauh 29,5337 mm di atas sisi bawah sayap.

$$I_{cr} = b_e/3 (f-x)^3 + A_T (d-x)^2 = 83694479,99 \text{ mm}^4$$

$$y_T = h - 29,5337 = 320,4663 \text{ mm}$$

$$M_{cr} = f_r I_g / y_T = 3,834057 \times 7,6 \times 10^8 / 320,4663 \\ = 9092635,7 \text{ Nmm}$$

$$(M_{cr}/M_u) = 9092635,7 / 1917400 = 4,74 > 1$$

$$\text{Gunakan } I_e = I_g = 7,6 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

-Rata-rata momen inersia efektif (I_e):

$$I_e = (3,6 \times 10^8 + 7,6 \times 10^8) / 2 = 5,6 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

-Koefisien lendutan β :

Dengan data yang diberikan pada perhitungan mekanika, lendutan yang terjadi = 0,0563 mm pada momen = 0,86957 kNm.

$$\text{Rumus umum lendutan: } \Delta = \beta \frac{M L^2}{E I} \quad \text{sehingga:}$$

$$\beta = \Delta E I / (M L^2)$$

$$= 0,0563 \times 25743 \times 5,6 \times 10^8 / (869570 \times 3000^2)$$

$$= 0,1037$$

-Lendutan yang terjadi pada rusuk:

Lendutan akibat beban kerja Δ_w dengan $M_w = 1,4158 \text{ kNm}$

$$\begin{aligned}\Delta_w &= 0,1037 \times 1415,8 \times 3000^2 / (25,743 \times 5,6 \times 10^8) \\ &= 0,09167 \text{ mm}\end{aligned}$$

Lendutan akibat beban mati Δ_D dengan $M_D = 0,86957 \text{ kNm}$

$$\begin{aligned}\Delta_D &= 0,1037 \times 869,57 \times 3000^2 / (25,743 \times 5,6 \times 10^8) \\ &= 0,05630 \text{ mm}\end{aligned}$$

Lendutan akibat beban hidup $\Delta_L = \Delta_w - \Delta_D$

$$\Delta_L = 0,09167 - 0,05630 = 0,03537 \text{ mm}$$

Lendutan ijin untuk beban hidup : $\Delta_{\bar{L}} = L/360$

$$\Delta_{\bar{L}} = 3000/360 = 8,3333 \text{ mm} > \Delta_L \text{ -----} > \text{memenuhi syarat.}$$

Mengingat banyaknya sampel, maka untuk mempermudah perhitungan digunakan program yang dapat dilihat pada lampiran.

Dari analisis di atas maka volume tulangan yang diperlukan untuk pelat berusuk adalah:

tulangan suhu dan susut	= 2 (0,002x55x3000x3000)	= 1980000 mm ³
tulangan lentur	= 140 x 750 x 24	= 2520000 mm ³
volume total		= 4500000 mm ³

Volume beton total:

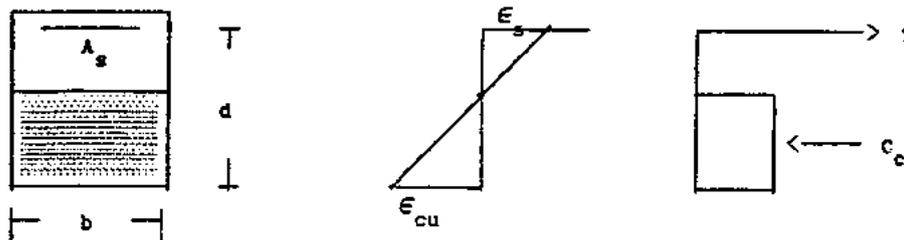
pelat	= 0,055 x 3 x 3	= 0,4950 m ³
rusuk	= (0,1 (0,35 - 0,055) x 0,75 x 0,12	= 0,2655 m ³
	(0,1 (0,35 - 0,055) x 0,65 x 0,12	= 0,2301 m ³
		-----+
volume total		= 0,9906 m ³



4.3. Pembahasan

Mengingat banyaknya rusuk, maka untuk efisiensi memasukan data digunakan klasifikasi gaya-dalam yang didasarkan pada batasan tulangan minimum sebagai berikut:

1. Lentur:



Gambar 4.5 Diagram tegangan lentur pada tumpuan

$$\begin{aligned}
 b &= 100 \text{ mm} & d &= 300 \text{ mm} \\
 f'_c &= 30 \text{ MPa} & f_y &= 300 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\text{Pada } A_s \text{ minimum} = 1,4/300 \times 100 \times 300 = 140 \text{ mm}^2$$

$$T = A_s f_y = 140 \times 300 = 42000 \text{ N}$$

$$a = T / (0,85 f'_c b) = 42000 / (0,85 \cdot 30 \cdot 100) = 16,4706 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= T (d - a/2) & &= 42000 (300 - 16,4706/2) \\
 & & &= 12254117,65 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$M_u = M_n \cdot \phi = 12254117,65 \times 0,8 = 9803294 \text{ Nmm.}$$

Berarti bila momen hasil analisis mekanika < 9803294 Nmm, maka

dipasang tulangan dengan A_s minimum = 140 mm². Ini berlaku untuk momen negatif dan positif, untuk momen positif dengan momen > 9803294 Nmm dianalisis sebagai balok tampang T.

2. Geser:

$$\text{Data : } b_w = 100 \text{ mm} \quad d = 300 \text{ mm} \quad f'_c = 30 \text{ MPa} \quad f_y = 300 \text{ MPa}$$

$$V_c = 1,1/6 \sqrt{f'_c} b_w d = 1,1/6 \sqrt{30} \times 100 \times 300 \\ = 30124,7407 \text{ N}$$

$$V_u = V_n \phi = 30124,7407 \times 0,8 = 18074,844 \text{ N.}$$

Berarti untuk gaya geser yang < 18074,844 N , tidak perlu menggunakan tulangan geser.

3. Torsi:

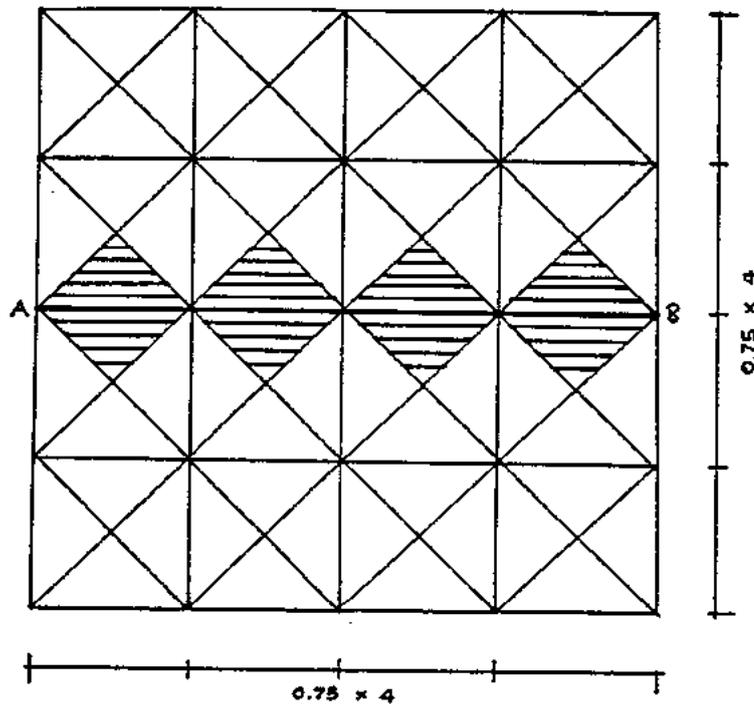
$$\text{Data : } X = 100 \text{ mm} \quad Y = 350 \text{ mm} \quad f'_c = 30 \text{ MPa} \quad f_y = 300 \text{ MPa}$$

$$T_n = T_u / \phi = 97961 / 0,6 = 163268,33 \text{ Nmm}$$

$$1/20 \sqrt{f'_c} \Sigma(X^2 Y) = 1/20 \sqrt{30} (100^2 \times 350) \\ = 958514,4756 \text{ Nmm}$$

Berarti untuk torsi yang < 958514,4756 Nmm, tidak perlu menggunakan tulangan torsi.

4.4. Hitungan Secara Manual



Cambar 4.6 Pelat dan balok-rusuk yang dihitung

Pada analisis balok-rusuk secara manual ini dilakukan untuk membandingkan dengan hasil hitungan dari program Microfeap. Pada perbandingan ini sebenarnya kurang tepat, karena dalam hitungan manual balok silang dianggap terlepas (tidak saling menguatkan) yang masing-masing menahan beban merata seperti pada gambar 4.6. Anggapan seperti ini mengakibatkan torsi dan lendutan pada persilangan balok dianggap tidak ada, sehingga hasil yang ditunjukkan oleh hitungan manual kurang tepat bila dibandingkan dengan hasil dari program Microfeap.

Untuk lebih jelasnya hitungan manual akan disajikan sebagai berikut:

karena beban, dimensi maupun jarak bentangan balok adalah sama pada kedua arahnya, maka diambil sampel salah satu bentang A-B.

Beban balok-rusuk:

$$L_x = L_y = 650 + 2 \times (100/2) = 750 \text{ mm}$$

-Pembebanan:

$$L_{eq\ x} = L_{eq\ y} = 2 L_x / 3 = 2 \times 750 / 3 = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$$

-Beban ekuivalen:

$$\text{Pelat dalam arah X \& Y} = L_{eq\ x} \times q_D = 0,5 \times 2,564 = 1,282 \text{ kN/m}$$

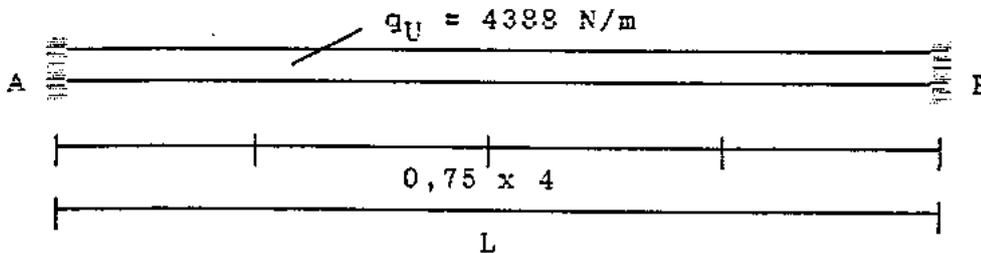
$$\text{Berat rusuk (X \& Y)} = 0,1 (0,35 - 0,055) \times 24 = 0,708 \text{ kN/m}$$

$$\text{Beban mati } q_D = 1,282 + 0,708 = 1,990 \text{ kN/m (dalam arah X \& Y)}$$

$$\text{Beban hidup } q_L = 0,5 \times 2,5 = 1,25 \text{ kN/m (dalam arah X \& Y)}$$

$$\text{Beban kerja } q_w = 1,990 + 1,25 = 3,24 \text{ kN/m (arah X \& Y)}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban ultimit } q_u &= 1,2 \times 1,990 + 1,6 \times 1,25 \\ &= 4,388 \text{ kN/m (dalam arah X \& Y)} \end{aligned}$$



Gambar 4.7 Balok-rusuk yang dihitung

Titik A

$$\frac{qL^3}{24EI} = \frac{M_A L}{3EI} + \frac{M_B L}{6EI}$$

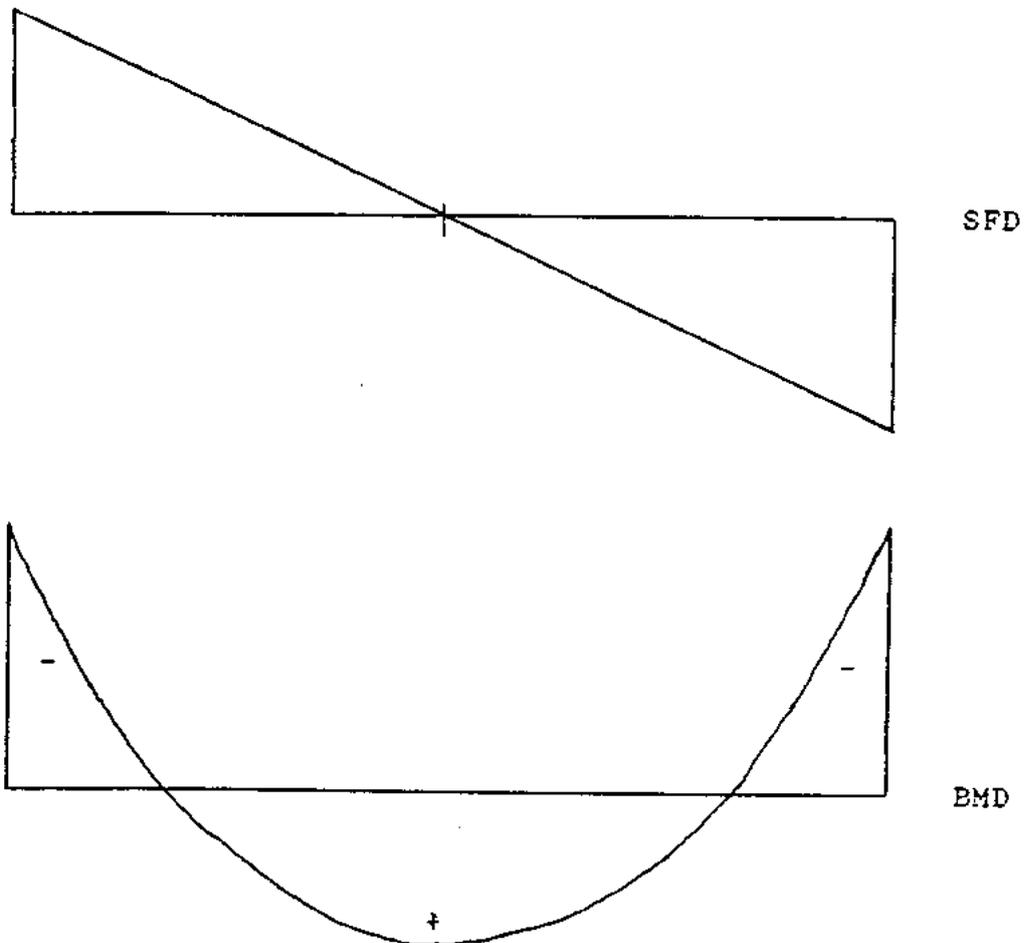
Dalam hal ini $M_A = M_B$ (karena bentuk simetris).

Dari persamaan di atas dapat diperoleh persamaan:

$$\begin{aligned}
 M_A = M_B &= (1/12) q_u L^2 \\
 &= (1/12) \times 4388 \times 3^2 \\
 &= 3291 \text{ Nm} \quad (\text{Microfeap} = 4246,9 \text{ Nm}).
 \end{aligned}$$

Momen maksimum:

$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= q_u L/2 \times (L/2) - ((q_u L/2) \times (L/4) + M_B) \\
 &= (1/24) q_u L^2 \\
 &= (1/24) \times 4388 \times 3^2 \\
 &= 1645.5 \text{ Nm} \quad (\text{Microfeap} = 1917,4 \text{ Nm}).
 \end{aligned}$$



Gambar 4.8 Diagram SFD dan BMD

Dari hitungan di atas untuk momen (baik momen tumpuan maupun momen lapangan) didapatkan hasil yang lebih kecil dari hitungan Microfeap. Hal ini disebabkan karena untuk analisis manual, torsi tidak dihitung, demikian juga pengaruh elastisitas bahan (E), momen inersia (I) dan modulus geser (C) tidak berpengaruh. Yang berpengaruh hanyalah beban dan jarak bentangan, sehingga hitungan manual ini tidak dipakai. Selanjutnya hitungan yang digunakan untuk analisis dan desain adalah hasil dari program Mirofeap P2.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan analisis dan desain di atas, dapat disimpulkan bahwa penggunaan balok-rusuk (*joist*) pada suatu struktur banyak mempunyai keuntungan antara lain:

1. dari contoh perhitungan pada bab 4 membuktikan bahwa, struktur balok-rusuk dapat didesain tanpa menggunakan tulangan torsi dan geser,
2. analisis dan desain balok-rusuk (*joist*) relatif mudah dikerjakan, karena bisa dibantu dengan program komputer Microfeap P2,
3. sistem balok-rusuk sangat efektif didalam memperbesar kekakuan horisontal pada gedung bertingkat, dan mampu meratakan beban dan momen pada kedua arah bentangannya,
4. hitungan manual menghasilkan momen yang lebih kecil bila dibandingkan dengan hasil program komputer Microfeap P2, karena dalam hitungan manual torsi, elastisitas bahan, momen inersia dan modulus geser tidak dihitung,
5. desain arsitektural plafon maupun pencahayaan akan lebih mudah dilaksanakan, karena rusuk-rusuk memungkinkan untuk digunakan sebagai penggantung.
6. dari segi estetika, balok-rusuk akan memberikan kesan yang indah.

5.2. Saran

Dengan mempertimbangkan berbagai macam permasalahan, maka disarankan untuk:

1. sebaiknya pada silabus mata kuliah Analisis Struktur perlu ditambahkan tentang struktur balok-rusuk ini bagi para mahasiswa, mengingat struktur balok-rusuk sudah banyak dipakai pada bangunan gedung bertingkat di Indonesia,
2. pada contoh perhitungan di atas hanya digunakan beban terbagi merata. Untuk lebih teliti lagi, perlu dianalisis dengan beban terpusat atau kombinasi beban terbagi merata dan beban terpusat.