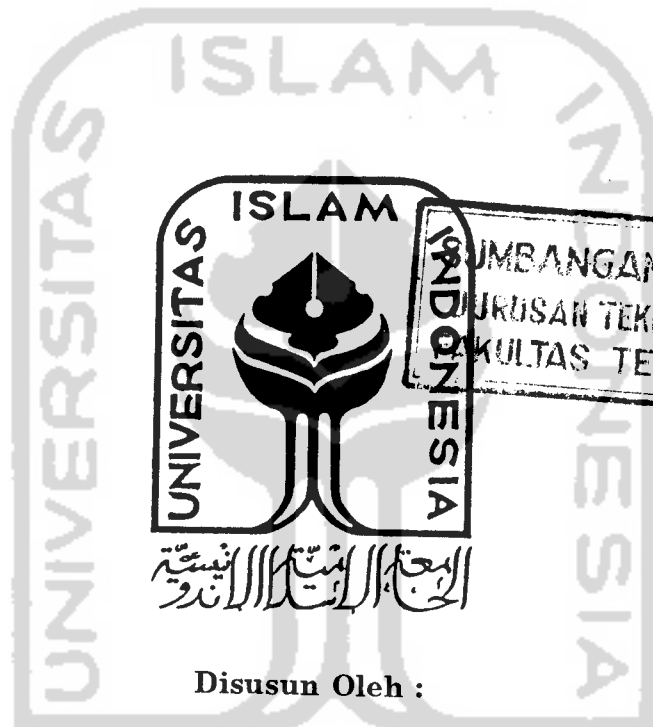


H A D I A H	
TGL. TER.	30 APR 1996
NO. URUT	060/14/TA/196
NO. INDIK	060060

TUGAS AKHIR

TINJAUAN EFISIENSI BIAYA
TERHADAP DISAIN BALOK BETON
TULANGAN SEBELAH DENGAN TULANGAN RANGKA



KEMAHMUBANGAN ALUMNI
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK UII

Disusun Oleh :

Joko Prihono

No. Mhs. : 87 310 084

PERPUSTAKAAN
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK UII YOGYA

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

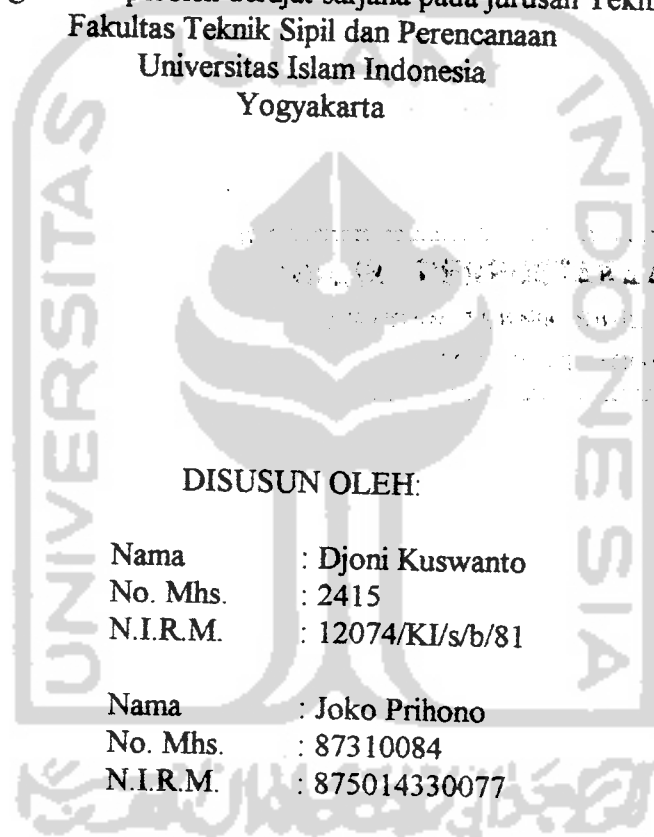
1996



TUGAS AKHIR

**TINJAUAN EFISIENSI BIAYA
TERHADAP DISAIN BALOK BETON
TULANGAN SEBELAH DENGAN TULANGAN RANGKAP**

Diajukan untuk melengkapi persyaratan
dalam rangka memperoleh derajat sarjana pada jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta



DISUSUN OLEH:

Nama : Djoni Kuswanto
No. Mhs. : 2415
N.I.R.M. : 12074/KI/s/b/81

Nama : Joko Prihono
No. Mhs. : 87310084
N.I.R.M. : 875014330077

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
1996**

"Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Dan apabila kamu sudah selesai dari satu pekerjaan, maka laksanakanlah pekerjaan berikutnya dengan sungguh-sungguh atau kerja keras. Dan hanya kepada Allah-lah kamu berharap dan berserah diri."

(Q.S. Alam Nasyrah : 5-8)

"Dan apabila kamu bersyukur, niscaya Aku akan tambah nikmat untukmu, tetapi jika kamu kufur, sesungguhnya azab-Ku sangat pedih."

(Q.S. Ibrahim : 7)



Ku persembahkan untuk :
Ayah dan Ibu tercinta,
Kakak dan adik tersayang,
Rekan-rekan seperjuangan.

PRAKATA

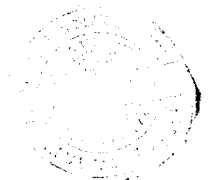
Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Dengan Mengucap Syukur Alhamdulillah kehadiran Allah SWT, atas berkah dan rahmat-Nya tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan Baik.

Tugas akhir ini merupakan puncak langkah setelah sebelumnya menyelesaikan semua tugas yang dibebankan dalam rangka mencapai jenjang keserjanaan bagi setiap mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Dengan selesainya tugas akhir ini, ucapan terima kasih dan penghargaan kami berikan kepada yang terhormat:

1. Bapak Ir. Susastrawan, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Bambang Sulistiono, MSCE, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. M. Teguh, MSCE. selaku dosen pembimbing I tugas akhir dan dosen penguji I.
4. Bapak Ir. Tadjudin BMA, MS. selaku dosen



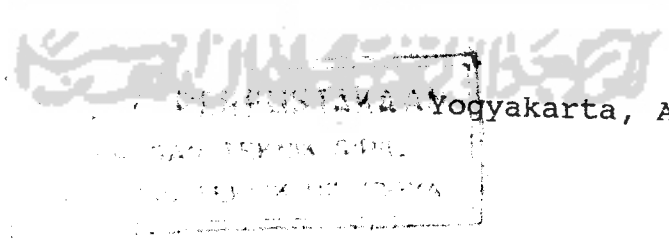
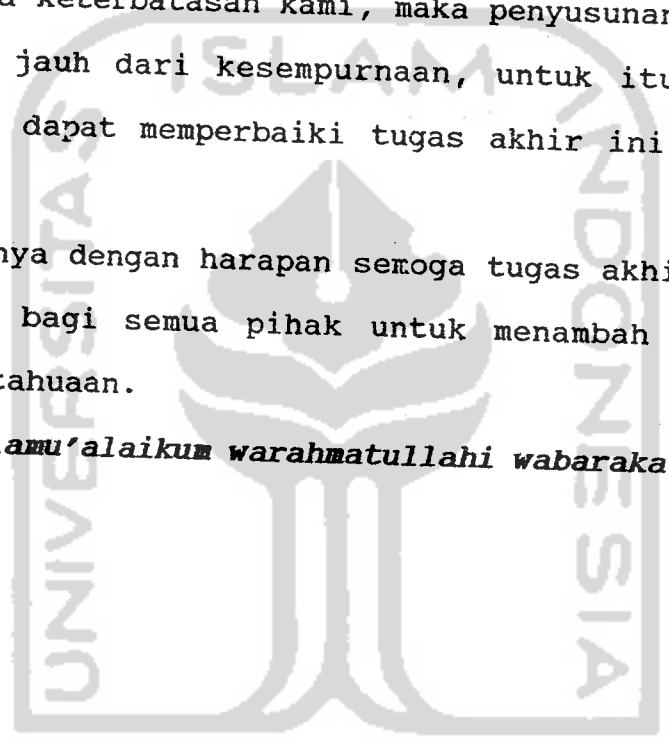
- pembimbing II tugas akhir dan dosen penguji II.
5. Bapak Ir. Ilman Noor MSCE. selaku dosen penguji III.
 6. Semua pihak yang telah banyak membantu hingga terselesainya tugas akhir ini.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan bermanfaat dan mendapatkan pahala dari Allah SWT, amien.

Karena keterbatasan kami, maka penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu kritik dan saran yang dapat memperbaiki tugas akhir ini sangat kami harapkan.

Akhirnya dengan harapan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak untuk menambah wawasan dan ilmu pengetahuan.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.



Penyusun

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Syarat.....	ii
Lembar Pengesahan.....	iii
Lembar Persembahan.....	iv
Prakata.....	v
Daftar Isi.....	vii
Daftar Gambar.....	x
Daftar Tabel.....	xii
Daftar Notasi.....	xiii
Daftar Lampiran.....	xv
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Umum.....	1
1.2 Latar belakang.....	2
1.3 Tujuan dan manfaat.....	3
1.4 Batasan-batasan tugas akhir.....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Struktur beton bertulang.....	5
2.1.1 Kuat tekan.....	7
2.1.2 Kuat tarik.....	10
2.1.3 Modulus elastisitas.....	11
2.1.4 Rangkak dan susut.....	11
2.2 Faktor keamanan.....	12
2.2.1 Faktor beban.....	12

2.2.2	Faktor reduksi kekuatan.....	13
2.3	Kuat lentur balok persegi.....	14
2.4	Analisis balok bertulang sebelah.....	15
2.5	Analisis balok bertulang rangkap.....	16
2.6	Analisis balok tampang T.....	20
2.7	Pembatasan penulangan tarik.....	25
2.7.1	Pembatasan penulangan tarik balok persegi.....	26
2.7.2	Pembatasan penulangan tarik balok T.....	27
2.8	Tinjauan terhadap geser.....	29
BAB III	ANALISIS DAN DISAIN BALOK BETON KONVENSIONAL.....	32
3.1	Umum.....	35
3.2	Analisis perencanaan.....	36
3.2.1	Kuat tekan dan kuat leleh yang yang diijinkan.....	37
3.2.2	Analisa perhitungan.....	38
3.2.3	Lendutan.....	40
3.2.3	Lebar retak.....	40
3.3	Disain balok beton bertulang konvensio- nal.....	42
BAB IV	PEMBAHASAN.....	62
4.1	Umum.....	62
4.2	Analisa satuan biaya dan tenaga kerja... ..	62
4.3	Analisa volume.....	63
4.3.1	Perhitungan volume balok Tulangan Tunggal.....	64

4.3.2 Perhitungan volume balok Tulangan Rangkap.....	65
4.4 Pembahasan.....	67
4.4.1 Tinjauan Biaya.....	67
4.4.2 Tinjauan Waktu.....	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN-SARAN.....	71
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran-saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA.....	74



DAFTAR GAMBAR

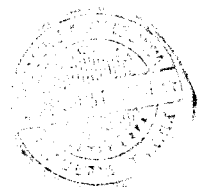
Gambar no:	halaman
2.1	Baja-baja tulangan yang berprofil.....7
2.2	Hubungan tegangan dan regangan beton dalam tekan di bawah pembebanan jangka pendek.....9
2.3	Batas regangan dari hasil-hasil penelitian....10
2.4	Analisis balok bertulang sebelah.....16
2.5	Analisis balok bertulang rangkap.....17
2.6	Penampang balok T persegi.....22
2.7	Distribusi tegangan dan regangan balok T.....24
2.8	Keadaan seimbang regangan.....27
2.9	Menentukan jarak sengkang.....33
3.1	Denah bangunan.....42
3.2	Potongan melintang.....43
3.3	Sketsa penulangan sebelah.....49
3.4	Diagram gaya lintang.....49
3.5	Diagram Vs.....50
3.6	Jarak spasi sengkang.....51
3.7	Sketsa rancangan sengkang.....52
3.8	Sketsa penulangan rangkap.....58
3.9	Diagram gaya lintang.....58
3.10	Diagram Vs.....59
3.11	Jarak spasi sengkang.....60

3.12 Sketsa rancangan sengkang.....	61
4.1. Tampang cetakan tulangan sebelah.....	64
4.2. Tampang cetakan tulangan rangkap.....	66



DAFTAR TABEL

Tabel no:	halaman
2.1 Dimensi dan berat batang tulangan baja Standar Industri Indonesia (SII 0136-80).....	7
2.2 Nilai A_{smaks} untuk balok T.....	28
3.1 Kuat tekan beton.....	37
3.2 Tegangan leleh baja.....	38
3.3 Rasio penulangan(f) vs koefisien tahanan (k)..	39
3.4 Momen dan Gaya Geser terfaktor.....	44
3.5 Hasil perhitungan tulangan sebelah.....	61
3.6 Hasil perhitungan tulangan rangkap.....	62
4.1 Perbedaan harga variasi balok.....	67
4.2 Perbedaan harga satu bentang balok ($L = 6$ m) ..	67
4.3 Perbedaan waktu penyelesaian pekerjaan.....	70



DAFTAR NOTASI

- a = tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen.
- A_S = luas tulangan tarik, mm^2
- $A_{S'}$ = luas tulangan tekan, mm^2
- A_{sb} = luas tulangan tarik dalam keadaan "balanced", mm^2
- A_{sf} = luas tulangan tekan imajiner,
- A_V = luas tulangan geser dalam jarak s , mm^2
- β_1 = faktor aman yang diambil dari SK SNI T-15-1991-03,
- b_e = lebar balok efektif, mm
- b_w = lebar badan balok, mm
- c = jarak dari serat tekan terluar ke garis netral, mm
- c_b = jarak dari serat tekan terluar ke garis netral dalam keadaan balance/seimbang, mm
- d = jarak dari tepi atas balok ke pusat tulangan tarik, mm
- d' = jarak dari tepi atas balok ke pusat tulangan tekan, mm
- d_c = tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan atau kawat yang terdekat
- D = diameter tulangan pokok, mm^2
- D_L = beban mati pada keadaan layan, Kn/m
- D_s = diameter tulangan sengkang, mm^2
- ϵ_c = 0,0030 mm/mm, regangan beton,
- ϵ_s = f_y/E_s , regangan baja tulangan,

- E_C = modulus elastisitas beton, Mpa
 E_S = modulus elastisitas baja, Mpa
 f_C' = kuat tekan beton yang diijinkan, Mpa
 f_S = tegangan yang terjadi di dalam tulangan baja tarik pada beban kerja, MPa
 f_S' = tegangan yang terjadi di dalam tulangan baja tekan pada beban kerja, MPa
 f_y = kuat leleh baja yang disyaratkan, Mpa
 h = tinggi balok, mm
 h_μ = jarak linier, dua kali jarak dari serat tertarik tertepi ke sumbu berat penulangan tarik, mm
 k = kuat tahanan momen, MPa
 l_n = bentang bersih untuk momen positif atau geser dan rata-rata bentang bersih yang bersebelahan untuk momen negatif, atau panjang bentang bersih dalam arah momen yang dihitung diukur dari muka ke muka tumpuan.
 L_L = beban hidup pada keadaan layan, kN/m
 M = momen lentur akibat beban kerja luar, kNm
 M_{maks} = momen terfaktor maksimum pada penampang akibat beban luar, kNm
 M_n = $A_S f_y (d - \frac{1}{2}a)$ kuat momen nominal pada penampang, kNm
 M_R = ϕM_n = kapasitas tahanan momen, kNm
 M_U = momen terfaktor pada penampang, kNm
 N_D = resultante tegangan-tegangan tekan, kN
 N_T = resultante tegangan-tegangan tarik, kN

- s = jarak antar sengkang, mm
 W_U = kuat perlu untuk menahan beban yang telah dikalikan dengan faktor beban atau moment dan gaya dalam yang berhubungan dengannya, kN/m
 V_C = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton, kN
 V_n = kuat geser nominal, kN
 V_S = kuat geser minimal yang disumbangkan oleh tulangan geser, kN
 V_U = gaya geser rencana rata-rata nominal total, MPa
 V_u = gaya geser rencana total karena beban luar, Kn
 z = bilangan sebagai batas penyebaran penulangan lentur dengan batas maksimum 30 MN/m untuk struktur terlindung, dan 25 MN/m untuk struktur terbuka yang terpengaruh cuaca luar, mm
 f' = rasio tulangan tekan
 f = rasio tulangan tarik
 f_b = rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang seimbang,
 ϕ = faktor reduksi kekuatan
 $\omega = f \frac{f_y}{f_c'}$

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran no:	halaman
1. Konstanta Perencanaan.....	76
2. Tebal minimum Balok nonprategang atau Plat satu arah, apabila lendutan tidak dihitung.....	77
3. Lebar minimum Balok.....	37
4. Luas penampang Tulangan Baja.....	38
5. Perhitungan Portal dengan program bantu Microfeap P1.....	80

INTISARI

Teknologi beton bertulang banyak digunakan dalam disain struktur rancang bangun bangunan dengan dasar, implementasi dan teknologinya mudah serta murah, dalam arti tanpa perawatan, dibanding jenis struktur lainnya.

Menurut Pareto, $\pm 80\%$ kontribusi anggaran biaya bangunan bertingkat diperlukan untuk biaya struktur.

Balok atau Girder adalah bagian dari sistim struktur portal, yang cukup banyak dipakai bila perencana dengan alasan tertentu menginginkan tebal plat lantai lebih tipis. Dengan alasan di atas, maka perlu dilakukan analisis efisiensi biaya terhadap pemakaian balok beton bertulang.

Pada tugas akhir ini dilakukan analisa biaya pada balok beton tulangan sebelah dan tulangan rangkap, dengan maksud membandingkan selisih harga biaya, atau dengan kata lain dapat memilih materi yang sama dengan harga yang lebih murah.

Pada perhitungan biaya balok beton bertulang, sistim penulangan rangkap memberikan nilai ekonomi yang cukup kompetitif dibanding sistim penulangan sebelah.

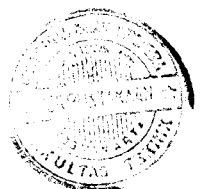
BAB I PENDAHULUAN

1.1 Umum

Dalam persaingan usaha yang semakin kompetitif ini, tenaga murah sudah tidak lagi dapat dijadikan efisiensi biaya produksi, terlebih didalam era pasar bebas pada tahun 2010 untuk negara maju dan tahun 2020 untuk negara berkembang pada forum kerja sama ekonomi Asia Pasifik.

Kebutuhan papan adalah salah satu dari sekian kebutuhan dasar manusia, maka wajar jika para usahawan menanamkan modalnya di bidang properti yang sedang marak dewasa ini, terutama di kota-kota besar.

Sebagian besar masyarakat kota adalah masyarakat yang cukup kritis untuk membelanjakan uangnya. Berdasarkan kebiasaan di atas, maka pendekatan atau diversifikasi teknologi yang efisien adalah kunci untuk memenangkan atau merebut pasar. Dengan selalu mengembangkan teknologi akan dapat dicapai ongkos produksi yang murah dan berkualitas, yang mana secara hukum alam akan dapat bersaing dalam merebut pasar, oleh sebab harga lebih kompetitif dan berkualitas.



1.2 Latar Belakang

Menurut sejarah perkembangannya, disain beton pada awalnya merupakan suatu kesatuan yang terdiri dari semen, pasir, batu, atau agregat lainnya serta air yang dicampur dengan proporsi tertentu yang kemudian dicetak dengan bentuk yang diinginkan, yang kemudian mengeras dan disebut beton. Sesuai perkembangan dan tuntutan untuk suatu konstruksi yang tahan terhadap keruntuhan, maka para praktisi mencoba membuat suatu disain beton dengan memberi tulangan baja yang berkekuatan tinggi untuk memperkuat beton, terutama pada daerah terjadinya momen lentur. Apabila beton telah mengeras, maka kekuatan tersebut akan merupakan bagian yang terpadu yang dikenal dengan istilah beton bertulang.

Disain balok beton bertulang banyak digunakan pada struktur gedung bertingkat, mengingat banyak kepraktisan dan kemudahan dalam pelaksanaannya.

Dalam penulangan baja pada balok beton, secara terminologi dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu sistim penulangan baja sebelah dan sistim penulangan baja rangkap. Dari dua sistim ini secara teknis tidak ada perbedaan dasar, yang membedakan pada balok tulangan rangkap, tulangan yang berada di daerah desak beton ikut diperhitungkan, untuk menambah kekuatan balok.

Pembahasan disain balok tulangan sebelah terhadap balok tulangan rangkap pada bangunan struktur dimaksudkan,

- 6) balok tulangan sebelah dan tulangan rangkap dan dianalisis dengan metode kekuatan,
- 7) direncanakan pemakaian rasio tulangan $f_{pakai} = f_{maks.}$
- 8) perhitungan anggaran biaya menggunakan analisa B.O.W.,
- 9) pengaruh lendutan, panjang penyaluran tulangan dan torsi diabaikan dalam perhitungan,
- 10) metode analisis portal empat lantai menggunakan program bantu mikropeap P1,
- 11) direncanakan dimensi balok kelipatan 50 mm
- 12) perhitungan balok hanya pada balok lantai ke 1 (satu) dan hanya balok bagian dalam ("Interior Beam"),
- 13) direncanakan fungsi bangunan sebagai area parkir+taman, diambil beban berguna 10 kPa,
- 14) koefisien suatu struktur beton bertulang dengan asumsi sebagai berikut:
 - a) direncanakan berat sendiri balok lebih kecil dari beban yang dipikul,
 - b) dimensi balok dan tulangan direncanakan sehemat mungkin tetapi masih pada batas-batas keamanan yang diijinkan.

Adapun peraturan yang dipergunakan yaitu:

- 1) "Building Code Requirement for Reinforced Concrete" (ACI - 89),
- 2) SKSNI T-15-1991-03,
- 3) Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971, N.I.- 2.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur Beton Bertulang

Tiga jenis bahan yang paling sering dipakai dalam suatu rancang bangun adalah kayu, baja dan beton dengan tulangan penguat.

Beton bertulang adalah dua jenis bahan yang digabung menjadi satu kesatuan, yang terdiri dari;

1. beton, beton didapat dari pencampuran bahan-bahan:

a. semen dan air

semen yang digunakan untuk bahan beton adalah semen Portland atau semen Portland Pozzolan, berupa semen hidrolis yang berfungsi sebagai bahan perekat bahan susun beton. Dengan jenis semen tersebut diperlukan air guna berlangsungnya reaksi kimiawi pada proses hidrasi. Pada proses hidrasi, semen mengeras dan mengikat bahan susun beton membentuk massa padat.

b. bahan agregat

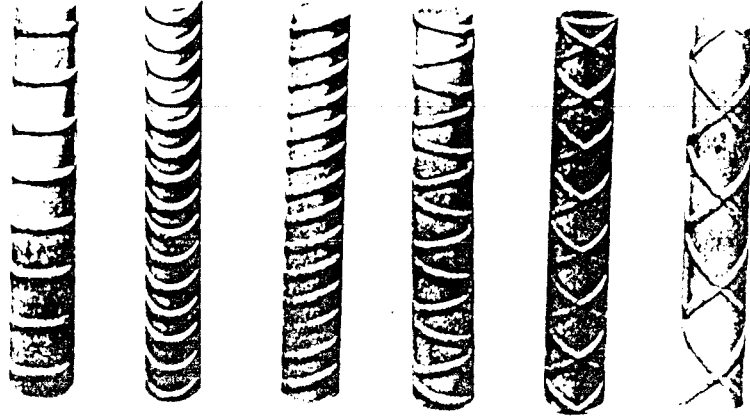
agregat terbagi atas agregat halus dan kasar. Agregat halus umumnya terdiri dari pasir atau partikel-partikel yang lewat saringan # 4 atau # 5 mm, sedangkan agregat kasar tidak lewat saringan tersebut. Ukuran maksimum agregat kasar dalam struktur beton

diatur di dalam peraturan untuk kepentingan berbagai komponen, namun pada dasarnya bertujuan agar agregat dapat masuk atau lewat di antara sela-sela tulangan atau acuan. Umumnya penggunaan bahan agregat dalam adukan beton mencapai jumlah 70% - 75% dari seluruh volume massa padat beton.

Nilai kekuatan serta daya tahan ("durability") beton merupakan fungsi dari banyak faktor, di antaranya ialah nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metoda pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan "finishing", temperatur, dan kondisi rawatan pengerasannya. [5]

2. Tulangan penguat

Tulangan penguat adalah batang tulangan yang mempunyai diameter tertentu. Bahan yang terbuat dari anyaman kawat yang dilas atau tali kawat. Untuk konstruksi biasanya digunakan tulangan ulir (BJTD), yaitu tulangan baja yang permukaannya dikasarkan secara khusus, diberi sirip teratur dengan pola tertentu, atau tulangan yang dipilin pada proses produksinya, adapun maksudnya untuk menambah luas lekatan tulangan relatif terhadap beton yang membungkusnya, seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. serta untuk baja tulangan terdiri atas beberapa dimensi seperti diberikan dalam tabel 2.1. dibawah ini. [1,2,5,9,] Sedangkan tulangan polos (BJTP) hanya digunakan untuk tulangan pengikat sengkang atau spiral, umumnya diberi kait pada ujungnya. [5]



Gambar 2.1 Baja - baja tulangan yang berprofil
("Courtesy of Concrete Reinforcing Steel Institut")

Tabel 2.1. Dimensi dan berat batang tulangan baja
Standar Industri Indonesia (SII 01386-80)

Tulangan baja		diameter nominal (mm)	luas nominal (cm ²)	berat nominal (kg/m)
Polos	Deform			
P6	D6	6,00	0,283	0,222
P8	D8	8,00	0,503	0,395
P9	D9	9,00	0,636	0,499
P10	D10	10,00	0,785	0,617
P12	D12	12,00	1,131	0,888
P13	D13	13,00	1,327	1,040
P14	D14	14,00	1,540	1,210
P16	D16	16,00	2,011	1,580
P18	D18	18,00	2,545	2,000
P19	D19	19,00	2,835	2,230
P20	D20	20,00	3,142	2,470
P22	D22	22,00	3,801	2,980
P25	D25	25,00	4,909	3,850
P28	D28	28,00	6,157	4,830
	D29	29,00	6,605	5,190
P32	D32	32,00	8,043	6,310
	D36	36,00	10,179	7,990
	D40	40,00	12,565	9,870
	D50	50,00	19,635	15,400

2.1.1 Kuat Tekan

Kuat tekan beton ditentukan dengan pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar, agregat halus, air serta berbagai jenis bahan tambah. Perbandingan dari air terhadap semen merupakan faktor utama dalam penentuan kekuatan beton. Semakin rendah perbandingan air-semen semakin tinggi

kuat tekan. Suatu perbandingan yang tepat air-semen diperlukan untuk memberikan aksi kimia didalam pengerasan beton, jika kelebihan air akan memudahkan pengerjaan pengecoran tetapi dapat menurunkan kekuatan beton.

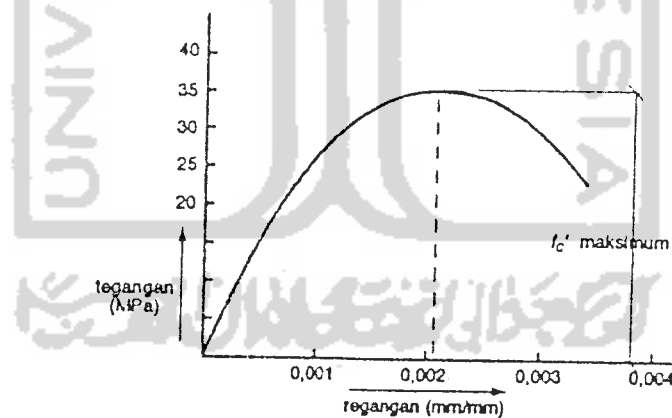
Percobaan slump dimaksudkan untuk mencari tingkat kekentalan adukan beton, dengan cara adukan beton dimasukkan ke dalam kerucut yang terbuat dari logam, atau sering disebut kerucut Abrams sebanyak 1/3 bagian tinggi kerucut tiap kali memasukan adukan beton, dan kemudian ditusuk tusuk dengan tongkat dari baja berdiameter 16 mm berujung bulat sebanyak 25 kali, didiamkan selama 30 detik kemudian cetakan tersebut diangkat tegak lurus, dan pengukuran dilakukan terhadap merosotnya tinggi puncak dari ketinggian semula. Lebih kecil nilai slump maka lebih besar nilai kuat tekan beton dan lebih sukar pengerjaan beton tersebut. Di dalam pelaksanaan konstruksi, nilai slump tergantung dari jenis struktur.^[13]

Pemeriksaan kuat tekan dapat dilakukan dengan uji desak beton yang berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Selain berbentuk silinder juga dapat berupa kubus yang mempunyai ukuran sisi 150 mm atau 200 mm. Uji mutu desak beton, dilakukan dalam pada beton mencapai umur 28 hari .

Penting untuk disadari bahwa kekuatan beton masing-masing berbeda tergantung kekuatan dari bentuk benda uji standar dan cara-cara percobaan. kekuatan silinder tidak sama persis dengan kekuatan benda uji kubus karena faktor

kuat tarik beton dan ukuran bidang kontak dari mesin uji mempunyai pengaruh yang lebih besar terhadap kekuatan kubus daripada kekuatan silinder, sebagai rata-rata dapat dimisalkan untuk beton biasa kekuatan silinder diameter 150 dan tinggi 300 mm yaitu mempunyai kekuatan 80 % dari kekuatan kubus panjang sisi 150 mm dan 83 % dari kekuatan kubus panjang sisi 200 mm [1]. Untuk beton ringan, kekuatan silinder dan kubus adalah hampir sama.

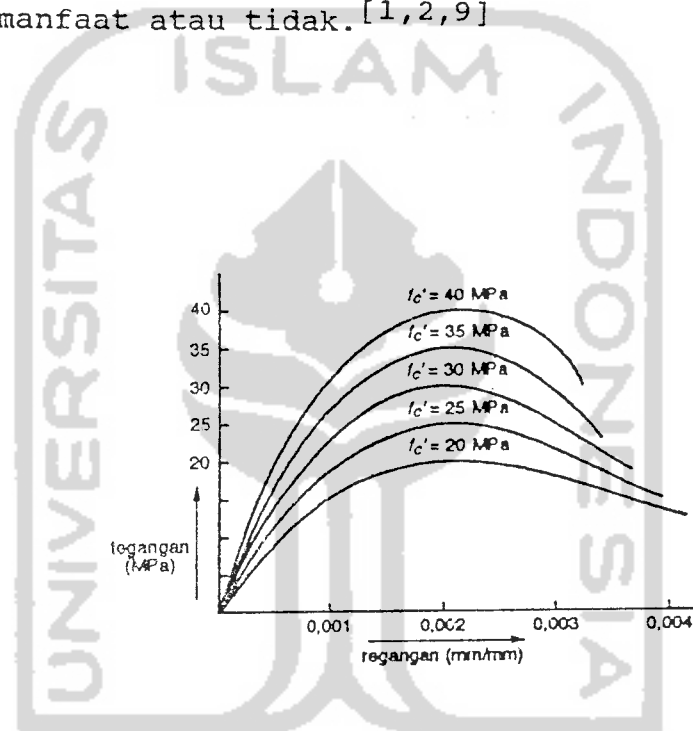
Sifat tegangan regangan adalah tergantung dari kekuatan, umur pada saat pembebanan, kecepatan pembebanan, sifat dari agregat dan semen serta jenis dan ukuran dari benda uji. Gambar 2.2. menyajikan kurva cirian ("Typical Curve") untuk benda uji yang dibebani tekan pada umur 28 hari.



Gambar 2.2 Hubungan tegangan dan regangan beton dalam tekan dibawah pembebanan jangka pendek.

Dari Gambar 2.3. diperlihatkan Regangan ultimit pada saat hancur berkisar antara 0,003 sampai 0,008 tetapi nilai regangan maksimum yang dapat dipakai dalam praktek adalah

0,003 sampai dengan 0,004. ACI menyatakan (ACI-10.2.3) bahwa regangan maksimum yang dapat dipakai pada serat tekan ekstrim harus diambil 0,003 tetapi regangan maksimum 0,003 boleh jadi tidak konservatif untuk beton berkekuatan tinggi yang mempunyai f_c' antara 55 sampai dengan 83 Mpa (8000-12000 lb/in) untuk beton berkekuatan tinggi tidak ada kesepakatan apakah kurva setelah tegangan maksimum benar-benar bermanfaat atau tidak. [1,2,9]



Gambar 2.3 Batas regangan dari hasil-hasil penelitian.

2.1.2 Kuat Tarik

Nilai kuat tekan dan tarik bahan beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya^[5]. Kuat tarik dapat ditentukan dengan dengan percobaan pembelahan silinder ("the split-cylinder"), menurut ASTM C496 dengan silinder yang ukurannya sama

seperti benda uji dalam percobaan tekan diletakkan sisinya di atas mesin uji dan diberi gaya P secara merata dalam arah diameter sepanjang benda uji. Benda uji silinder akan terbelah dua pada saat dicapainya kuat tarik. Tegangan dihitung dengan $2P/[\pi(\text{diameter})(\text{panjang})]$ berdasarkan teori elastisitas untuk bahan yang homogen dalam pengaruh keadaan tegangan biaksial. Kekuatan tarik adalah suatu sifat yang bervariasi dibanding dengan kekuatan tekan, dan besarnya berkisar 10 - 15 % dari kuat tekan.[1]

2.1.3 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton tergantung pada umur beton, sifat agregat, semen, kecepatan pembebanan jenis dan ukuran benda yang diuji. Biasanya modulus elastisitas diambil antara 25 % sampai dengan 50 % dari kuat desak beton (f_c'), dari benda yang diuji, untuk beton normal dan baja tulangan, modulus elastisitas diambil[12]

$$E_C = 4.700 \sqrt{f'_c} \quad \text{MPa} \dots\dots\dots 2.1$$

$$E_S = 200.000 \quad \text{MPa} \dots\dots\dots 2.2$$

2.1.4 Rangkak dan Susut

Rangkak adalah salah satu sifat dari beton, beton mengalami deformasi yang terus menerus menurut waktu di bawah beban yang dipikul pada satu satuan tegangan dalam batas elastis yang diperbolehkan. susut adalah perubahan volume yang tidak berhubungan dengan pembebanan. Seringkali rangkak ini dihubungkan dengan susut karena keduanya terjadi bersamaan.

Rangkak terjadi akibat salah satu gabungan;

1. aliran kristal didalam agregat dan pasta semen yang mengeras,
2. aliran air keluar dari rongga semen karena pengeringan,
3. menutupnya rongga-rongga dalam.

Faktor yang mempengaruhi besarnya rangkak : [1,2,9]

1. Komposisi dan kehalusan semen, campuran, ukuran, penggolongan mutu, dan isi mineral dari agregat,
2. perbandingan seperti kadar air, air dan semen,
3. suhu pada pengerasan,
4. lamanya pembebanan,
5. slump.

2.2 Faktor Keamanan

Perencanaan suatu struktur harus direncanakan mampu memikul beban dari kapasitas beban yang direncanakan atau dengan kata lain struktur tersebut mempunyai kapasitas cadangan dalam pemikulan beban. Kapasitas cadangan itu diadakan atas beberapa faktor diantaranya:

2.2.1 Faktor Beban

Agar supaya struktur dan komponen struktur memenuhi syarat kekuatan dan laik pakai terhadap bermacam-macam kombinasi beban maka harus dipenuhi ketentuan dan faktor-faktor beban yang diijinkan. Adapun maksud penggunaan adalah suatu usaha untuk memperkirakan kemungkinan terdapat beban kerja yang lebih besar dari yang ditetapkan, perubahan penggunaan, ataupun urutan dan metode pelaksanaan

yang berbeda.[4]

Peraturan SKSNI T-15-1991-03 memisalkan faktor keamanan untuk menahan beban dalam faktor kuat perlu U . Persamaan dasar kuat perlu (U) untuk suatu struktur dengan mengabaikan pengaruh angin dan gempa sebagai berikut [12]

$$U = 1,2 D_L + 1,6 L_L \dots\dots\dots 2.3$$

dengan,

U = kuat perlu untuk menahan beban yang telah dikalikan dengan faktor beban atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengannya,

D_L = beban mati pada keadaan layan,

L_L = beban hidup pada keadaan layan.

2.2.2 Faktor Reduksi kekuatan (ϕ)

Faktor reduksi kekuatan diadakan untuk memperhitungkan kemungkinan ketidak pastian terhadap, kekuatan bahan, pengerjaan, ketidaktepatan ukuran, pengendalian dan pengawasan pelaksanaan, yang sekalipun masing-masing faktor mungkin masih dalam toleransi persyaratan tetapi kombinasinya memberikan kapasitas lebih rendah. Faktor reduksi kekuatan (ϕ) dikalikan dengan kuat idial teoritik berarti sudah termasuk memperhitungkan tingkat daktilitas, kepentingan, serta tingkat ketepatan ukuran suatu komponen struktur sedemikian hingga kekuatannya dapat ditentukan. Faktor reduksi kekuatan menurut SKSNI T-15-1991-03, ditetapkan oleh beberapa nilai adalah sebagai berikut:[12]

faktor ϕ

1. lentur tanpa gaya aksial

0,80

2. tarik aksial, tanpa dan dengan lentur	0,80
3. tekan aksial, tanpa dan dengan lentur (spiral)	0,70
4. tumpuan pada beton	0,70
5. tekan aksial, tanpa dan dengan lentur (sengkang)	0,65
6. geser dan puntir	0,60

Tujuan dari faktor keamanan, adalah untuk mengurangi kemungkinan runtuhnya suatu struktur, serta diharapkan akan menjadikan struktur itu lebih ekonomis.

2.3 Kuat Lentur Balok Persegi

Distribusi tegangan beton tekan pada penampang bentuknya setara dengan kurva tegangan-tegangan beton tekan, seperti tampak pada Gambar 2.3, bentuk distribusi tegangan tersebut berupa garis lengkung. Tegangan tekan f_c' yang merupakan tegangan maksimum, posisinya bukan pada serat tepi tekan terluar, tetapi agak masuk ke dalam.

Pada komposisi tertentu, balok menahan beban sedemikian sehingga regangan tekan lentur beton ϵ'_b maks mencapai 0,003, sedangkan tegangan tarik baja tulangan mencapai tegangan luluh f_y . Apabila hal ini terjadi, penampang dinamakan mencapai keseimbangan regangan, atau disebut penampang bertulangan seimbang, yang berarti bahwa suatu komposisi beton dengan jumlah luas baja tertentu akan memberikan keadaan hancur tertentu pula.

Berdasarkan pada anggapan-anggapan di atas, dapat dilakukan pengujian regangan, tegangan, dan gaya-gaya yang timbul pada penampang balok yang bekerja menahan momen

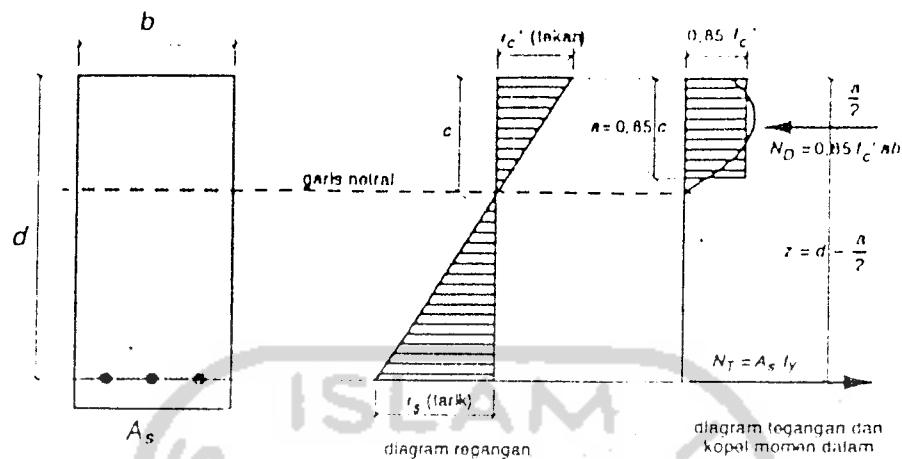
batas (M_U), yaitu momen akibat beban luar yang timbul tepat pada saat terjadi hancurnya balok.

2.4 Analisis Balok Tulangan Sebelah

Analisis penampang balok bertulang sebelah seperti dijelaskan dengan Gambar 2.4. dilakukan dengan terlebih dahulu mengetahui dimensi unsur-unsur penampang balok yang terdiri: jumlah dan ukuran tulangan baja tarik (A_s), lebar balok (b), tinggi efektif (d), tinggi total (h), f_c' , dan f_y , sedangkan yang dicari adalah kekuatan balok ataupun manifestasi kekuatan dalam bentuk yang lain, misalnya menghitung M_n , atau memeriksa kehandalan dimensi penampang balok tertentu terhadap beban yang bekerja, atau menghitung jumlah beban yang dapat dipikul balok. Di lain pihak, proses perencanaan balok tertentur adalah menentukan satuan atau lebih unsur dimensi penampang balok yang belum diketahui, atau menghitung jumlah kebutuhan tulangan tarik dalam penampang berdasarkan mutu bahan dan jenis pembebanan yang sudah ditentukan.

Analisis dapat pula diterapkan untuk suatu komponen struktur yang pada masa lalu direncanakan berdasarkan pada metode tegangan kerja (cara- n). Seperti diketahui, pada metode perencanaan tegangan (beban) kerja, mungkin tidak menggunakan pembatasan rasio penulangan, sehingga penulangan balok cenderung berlebihan, hal demikian tidak sesuai dengan filosofi peraturan yang berlaku sekarang. Dengan kata lain, pendekatan dilakukan dengan mengabaikan kekuatan baja diluar jumlah 75% dari jumlah tulangan tarik

yang diperlukan untuk mencapai keadaan seimbang. [5]



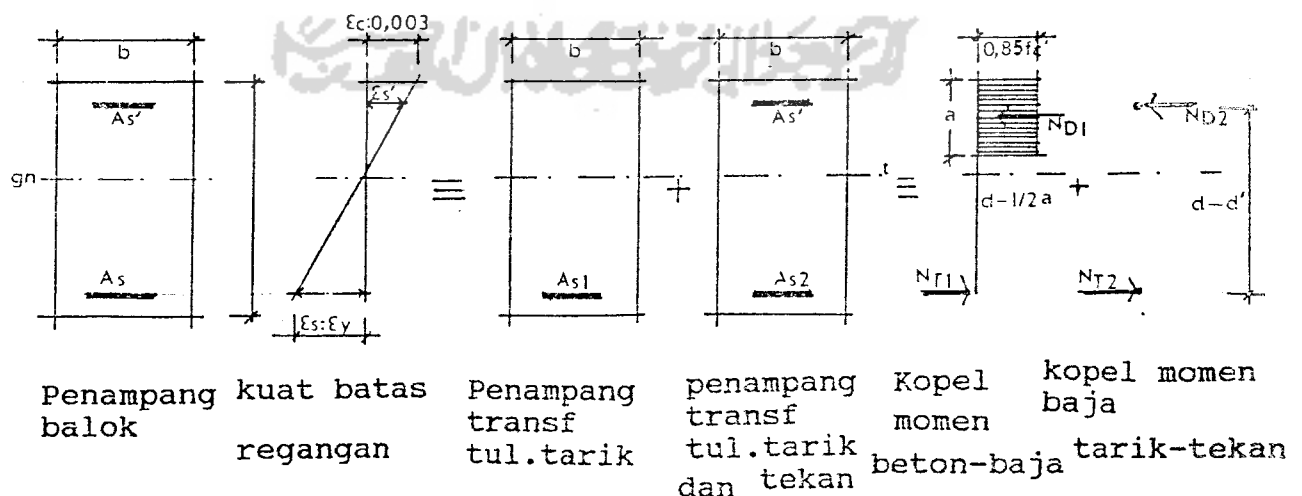
Gambar.2.4 Analisis balok bertulang sebelah

2.5 Analisis Balok Tulangan Rangkap

Analisis lentur balok persegi bertulang rangkap seperti dijelaskan dengan Gambar 2.5. menyangkut penentuan kuat nominal lentur M_n suatu penampang dengan nilai-nilai $b, d, d', A_s, A_s', f_c'$ dan f_y yang sudah tertentu. Anggapan-anggapan dasar yang digunakan untuk analisis balok beton tulangan rangkap, pada dasarnya sama dengan balok tulangan tarik atau tulangan sebelah saja. Hanya ada satu tambahan anggapan yang penting ialah bahwa tegangan tulangan baja tekan (f_s') merupakan fungsi dari regangannya, tepat pada titik berat tulangan baja tekan. Seperti diketahui, tulangan baja berperilaku elastik hanya sampai pada tingkat regangannya mencapai luluh (ϵ_y). Dengan kata lain, apabila regangan tekan baja (ϵ_s') sama atau lebih besar dari regangan luluhnya (ϵ_y) maka sebagai batas maksimum tegangan tekan baja (f_s') diambil sama dengan tegangan luluhnya

(f_y). Sedangkan apabila regangan tekan baja yang terjadi kurang dari regangan luluhnya, maka tegangan tekan baja $f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s$, dengan E_s adalah modulus elastisitas baja. Tercapainya masing-masing keadaan (kondisi) tersebut tergantung dari posisi garis netral penampang.

Dengan dua bahan yang berbeda yang akan menahan gaya tekan N_D , beton dan baja tekan, gaya tekan total terbagi menjadi dua komponen ialah gaya tekan yang ditahan oleh beton N_{D1} dan yang ditahan oleh tulangan baja tekan N_{D2} . Di dalam analisis momen tahanan dalam total dari balok yang diperhitungkan terdiri dari dua bagian atau dua kopel momen dalam, yaitu pasangan beton tekan dengan tulangan baja tarik dan pasangan tulangan baja tekan dengan tambahan tulangan baja tarik. Kedua kopel momen dalam seperti tergambar pada Gambar 2.5. Kuat momen total balok tulangan rangkap merupakan penjumlahan kedua kopel momen dalam dengan mengabaikan luas beton tekan yang ditempati oleh tulangan baja tekan.



Gambar 2.5 Analisis balok bertulang rangkap

Kuat momen dari pasangan kopel tulangan baja tekan dan baja tarik tambahan dihitung sebagai berikut :

$$M_{n2} = N_{T2} (d - d') \dots \dots \dots 2.4$$

Dengan menganggap tulangan baja tarik telah luluh,

$$f_s = f_y:$$

$$M_{n2} = A_{S2} f_y (d - d') \dots \dots \dots 2.5$$

Keseimbangan gaya-gaya : (H) = 0, sehingga $N_{D2} = N_{T2}$, maka:

$$A_S' f_S' = A_{S2} f_Y \dots \dots \dots 2.6$$

dengan, $A_S' = A_{S2}$ maka $M_{n2} = A_S' f_Y (d - d')$

sedangkan kuat momen dari pasangan kopel gaya beton tekan dan tulangan baja tarik dihitung sebagai berikut:

$$M_{n1} = N_{T1} (d - \frac{1}{2} a) \dots \dots \dots 2.7$$

Dianggap tulangan baja tarik telah luluh, $f_s = f_y:$

$$M_{n1} = A_{S1} f_Y (d - \frac{1}{2} a) \dots \dots \dots 2.8$$

Karena $A_S = A_{S1} + A_{S2}$ maka: $A_{S1} = A_S - A_{S2}$

dan karena $A_{S2} = A_S'$ maka: $A_{S1} = A_S - A_S'$

dengan demikian, $M_{n1} = (A_S - A_S') f_Y (d - \frac{1}{2} a)$

Dengan menjumlahkan dua kopel momen tersebut didapatkan kuat momen ideal balok tulangan rangkap:

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} = (A_S - A_S') f_Y (d - \frac{1}{2} a) + A_S' f_Y (d - d')$$

Momen tahanan M_R didapatkan dengan mengalikan faktor reduksi kekuatan terhadap M_n ,

$$M_R = \phi M_n \dots \dots \dots 2.9$$

Ungkapan tersebut didasarkan pada anggapan bahwa kedua penulangan baik tekan maupun tarik telah meluluh ($\epsilon'_s > f_y < \epsilon_s$) sebelum atau paling tidak pada saat regangan beton mencapai 0,003. Hal tersebut dapat diperiksa dengan menghitung regangan-regangan yang tercapai pada saat

terjadi momen batas yang dengan sendirinya tergantung pada letak (posisi) garis netral pada penampang balok.

Letak garis netral dapat ditentukan dengan terlebih dahulu menghitung tinggi blok tegangan beton tekan.

$$N_T = N_{D1} + N_{D2}$$

$$A_S f_y = (0,85f_c')ab + A_S'f_y \dots\dots\dots 2.10$$

$$a = \frac{(A_S - A_S')f_y}{(0,85f_c')b}, \quad \text{atau} \quad a = \frac{A_{S1}f_y}{(0,85f_c')b}$$

Dengan didapatkannya nilai a , maka letak (posisi) garis netral dapat ditentukan dengan menggunakan rumus $a = \beta_1 c$ dan kemudian dilakukan pemeriksaan terhadap kebenaran anggapan-anggapan yang digunakan.[5]

Sedangkan ungkapan bahwa, penulangan tarik telah luluh dan tulangan tekan belum luluh ($\epsilon'_s < \epsilon_y < \epsilon_s$) pada saat regangan beton mencapai 0,003, adalah anggapan pada langkah awal tulangan tarik dan tulangan tekan telah luluh tidak benar, maka perlu dicari letak garis netral pada penampang balok. Dengan mengacu pada Gambar 2.5, dan menggunakan keseimbangan gaya-gaya horisontal ($\Sigma H_f = 0$) akan didapat nilai c .

$$N_T = N_{D1} + N_{D2}$$

$$A_S f_y = (0,85f_c')ba + f_s' A_S' \dots\dots\dots 2.11$$

sedangkan,

$$a = \beta_1 c \quad \text{dan} \quad \epsilon_s' = (c - d')(0,003)/c$$

dengan $\beta_1 = 0,85$ untuk $f_c' \leq 30$ MPa

$$\beta_1 = [0,85 - 0,008(35 - 30)] = 0,81 \quad \text{untuk} \quad f_c' > 30 \text{ MPa}$$

maka persamaan 2.11 dapat diubah menjadi,

$$A_s f_y = (0,85 f_c') b \beta_1 c + 0,003 \left| \frac{c - d'}{c} \right| E_s A_s' \dots \dots \dots 2.12$$

dengan mengalikan c dan memasukan nilai $E_s = 200.000$ MPa maka,

$$(0,85 f_c' b \beta_1) c^2 + (600 A_s' - A_s f_y) c - 600 d' A_s' = 0 \dots \dots \dots 2.13$$

yang mana persamaan 2.13 merupakan persamaan kuadrat untuk mencari nilai c yang diperlukan. Dengan nilai c tersebut, maka nilai-nilai lain yang belum diketahui dapat dihitung.

2.6 Analisis Balok Tampang T

Balok berflens terutama digunakan pada penampang-penampang pada lapangan seperti diperlihatkan pada Gambar 2.6. Hal ini adalah karena di lapangan flens mengalami tekan, artinya flens mempunyai kontribusi terhadap kekuatan momen pada lapangan. Pada tumpuan, flens mengalami tarik; dengan demikian bagian ini diabaikan dalam perhitungan kekuatan momen penampang tumpuan. Dengan perkataan lain, penampang ini adalah penampang terbalik, bertulangan rangkap, yang mempunyai tulangan tekan A_s' di bagian bawah dan tulangan tarik A_s di bagian atas.

Prinsip-prinsip dasar yang digunakan dalam disain balok segiempat, juga berlaku untuk balok berflens. Perbedaan utama antara penampang segiempat dengan penampang berflens adalah dalam perhitungan gaya tekan N_D .^[2] Gaya tekan N_D ini harus seimbang dan sama besar gayanya dengan gaya tarik total N_T . Bentuk blok tegangan tekan harus sesuai dengan luasan daerah beton tekan. Dengan demikian ada dua kemungkinan keadaan yang terjadi, blok tegangan



tekan seluruhnya masuk ke dalam daerah flens, atau meliputi Berdasarkan dua kemungkinan tersebut, maka ditetapkan dua terminologi analisis, yaitu balok T persegi dan balok T murni.[5]

Pada kasus balok T persegi letak tinggi garis netral c , kurang dari tebal flens h_f . Hal ini dapat dianggap sebagai penampang segiempat ekuivalen, lebih kecil dari tebal flens. Pada analisisnya sebagai lebar balok harus dipakai lebar flens b pada sisi yang tertekan.

Standar SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.1.10 memberikan batasan lebar flens efektif balok T sebagai berikut:

- 1) balok T bagian dalam ("Interior Beam"), lebar efektif flens diambil yang terkecil dari nilai-nilai berikut;
 - a) $1/4 \times$ panjang bentang balok,
 - b) $b_w + 16h_f$,
 - c) jarak dari pusat ke pusat antar balok (as-as balok),
- 2) balok L ("Eksteror Beam"), lebar efektif flens diambil yang terkecil dari nilai-nilai berikut;
 - a) $1/12 \times$ panjang bentang balok,
 - b) $6 \times h_f$,
 - c) $1/2 \times$ jarak bersih dengan balok sebelahnya,
- 3) balok T tunggal ("Individual T-Beam"), diambil nilai yang terkecil,
 - a) tebal flens $h_f \leq 1/2 \times b_w$,
 - b) lebar flens total $\leq 4 \times b_w$.

Dengan melihat Gambar 2.6 keseimbangan gaya $N_D = N_T$ dapat

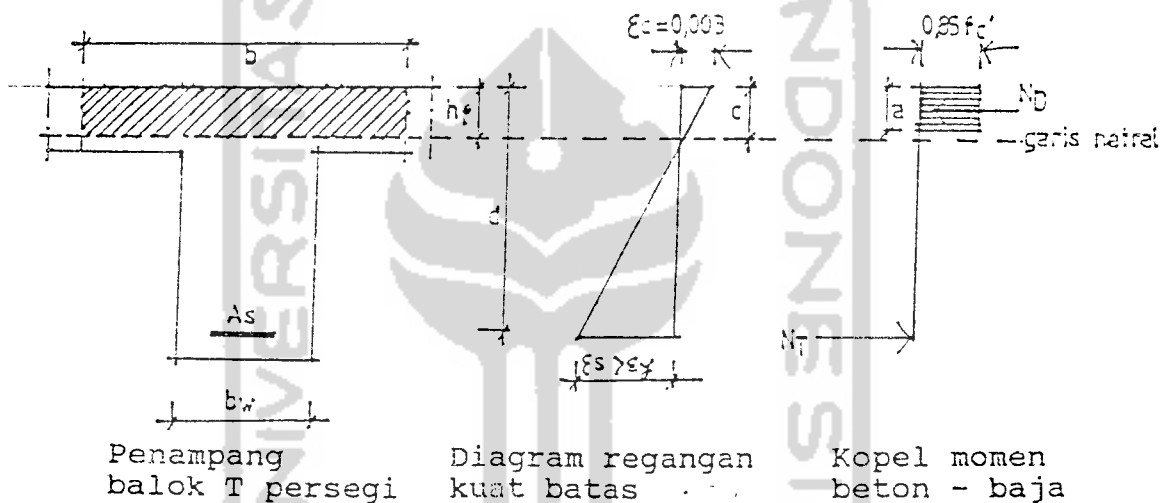
dinyatakan sebagai;

$$0,85 f_c' b a = A_s f_y \quad \text{atau} \quad a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b}$$

Dengan demikian kekuatan momen nominalnya adalah

$$M_n = A_s f_y (d - \frac{1}{2}a) \dots\dots\dots 2.14$$

persamaan 2.14 ini sama dengan persamaan untuk penampang segiempat, karena kontribusi dari beton yang tertarik diabaikan, termasuk pada daerah flens yang tertarik.



Gambar 2.6 Penampang balok T persegi dengan garis netral pada flens ($c < h_f$)

Sedangkan pada kasus balok T murni, tinggi garis netral c lebih besar dari tebal flens h_f . Dalam hal ini ($c > h_f$), tinggi blok tegangan segiempat ekuivalen a dapat lebih kecil atau lebih besar daripada tebal flens h_f . Jika $c > h_f$ dan $a < h_f$, maka di dalam disainnya balok tersebut masih dapat ditinjau sebagai balok segiempat.

Jika c dan a lebih besar daripada h_f , penampang tersebut harus dianggap sebagai penampang balok T murni. Jenis

balok T murni ($a > h_f$) ini dapat diperlakukan serupa dengan balok berpenampang segiempat dengan tulangan rangkap (gambar 2.7). Kontribusi adanya flens di kiri dan di kanan sisi balok yang mengalami tekan dipandang sebagai analogi dengan adanya tulangan tekan imajiner. Dalam gambar 2.7 gaya tekan N_{D2} sama dengan kekuatan beton rata-rata f_c' dikalikan dengan luas bagian flens tersebut.

Jadi, $N_{D2} = 0,85f_c'(b - b_w)h_f$, gaya tekan ini harus sama dengan gaya tarik N_{T2} agar seimbang, besar gaya $N_{T2} = (A_{sf} \times f_y)$. A_{sf} adalah luas baja tekan imajiner yang kapasitas gayanya ekuivalen dengan kapasitas gaya flens di kiri dan di kanan sisi balok. Dengan demikian luas ekuivalen A_{sf} tersebut adalah:

$$A_{sf} = \frac{0,85 f_c' (b - b_w)h_f}{f_y} \dots\dots\dots 2.15$$

Untuk balok yang dipandang sebagai balok T murni, gaya tarik $A_s \cdot f_y$ dari tulangan, harus lebih besar daripada kapasitas gaya luas flens total $0,85 f_c'bh_f$. Dengan demikian:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} > h_f$$

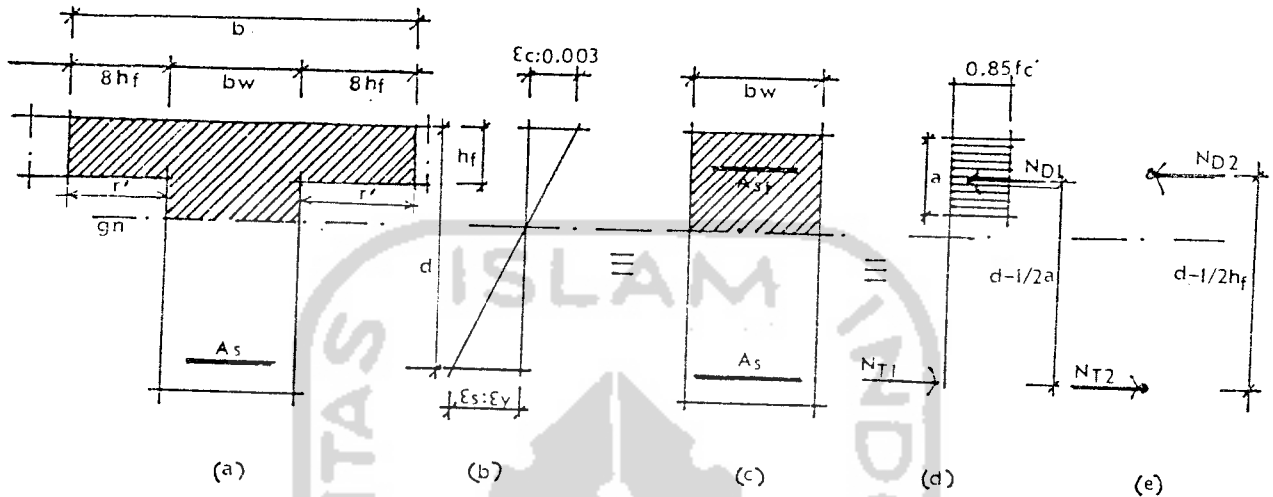
atau $h_f < (1,18 \omega d = a)$

dengan $\omega = (A_s/bd)(f_y/f_c')$

Blok tegangan beton sesungguhnya berbentuk parabolis dari tepi yang tertekan sampai ke tinggi garis netral c . Dengan demikian, berdasarkan alasan teoritis, jika menggunakan

blok tegangan parabola untuk balok dapat ditulis sebagai;

$$h_f < \frac{1.18 \omega d}{\beta_1}$$



Gambar 2.7. Distribusi tegangan dan regangan pada penampang berflens (balok T)
 (a) penampang melintang; (b) regangan;
 (c) penampang transformasi; (d) gaya-gaya bagian 1; (e) gaya-gaya bagian 2.

Seperti pada disain dan analisa balok bertulangan tunggal atau rangkap, tulangan tarik dipandang sebagai dua bagian, yaitu A_{s1} yang harus mengimbangi gaya tekan setempat pada luas $b_w \cdot a$ dan A_{s2} untuk mengimbangi luas baja imajiner A_{sf} . Dengan demikian kekuatan momen nominal total untuk bagian 1 dan 2 adalah:

$$M_n = M_{n1} + M_{n2}$$

$$M_{n1} = A_{s1} f_y (d - \frac{1}{2}a) = (A_s - A_{sf})(d - \frac{1}{2}a)$$

$$M_{n2} = A_{s2} f_y (d - \frac{1}{2}h_f) = A_{sf} f_y (d - \frac{1}{2}h_f)$$

Kekuatan momen disain M_n paling sedikit harus sebesar momen luar rencana M_R , jadi:

$$M_R = \phi M_n = \phi [(A_s - A_{sf}) f_y (d - \frac{1}{2}a) + A_{sf} \cdot f_y (d - \frac{1}{2}h_f)]$$

2.7 Pembatasan Tulangan Tarik

Ada dua macam cara hancur pada struktur beton bertulang, yang pertama kehancuran diawali dengan meluluhnya tulangan baja tarik secara perlahan dan bertahap, sehingga sempat memberikan tanda-tanda keruntuhan, sedangkan cara kedua adalah kehancuran diawali dengan hancurnya beton tekan yang terjadi secara tiba-tiba tanpa memberi peringatan.

Pada perencanaan struktur beton bertulang, cara pertama adalah yang lebih disukai mengingat adanya tanda peringatan sebelum struktur runtuh ("collapse").

Standar SK SNI T-15-1991-03 menetapkan pembatasan tulangan tidak boleh melebihi 0,75 dari jumlah tulangan baja tarik yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan,

$$A_s \leq 0,75 A_{sb}$$

Pembatasan jumlah penulangan dapat dihubungkan dalam kaitannya dengan rasio penulangan (ρ) atau sering juga disebut rasio baja sama dengan perbandingan antara jumlah luas penampang tulangan tarik (A_s) terhadap luas efektif penampang (lebar b x tinggi efektif d).

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \dots\dots\dots 2.16$$

Apabila pembatasan diberlakukan, di mana rasio penulangan maksimum yang diijinkan dibatasi dengan 0,75 kali rasio penulangan keadaan seimbang (ρ_b), sehingga :

$$\rho_{maks} = 0,75 \rho_b$$

2.7.1 Pembatasan Penulangan Tarik pada Balok Persegi empat

Untuk menentukan rasio penulangan keadaan seimbang (ρ_b) dapat diuraikan berdasarkan pada Gambar 2.8 sebagai berikut:

letak garis netral pada keadaan seimbang dapat menggunakan segitiga sebanding dari diagram regangan.

$$\frac{c_b}{0,003} = \frac{d}{(0,003 + f_y/E_s)}$$

dengan memasukkan nilai $E_s = 200.000$ MPa, maka;

$$c_b = \frac{0,003 (d)}{(0,003 + f_y/200.000)}$$

$$c_b = \frac{600 (d)}{600 + f_y}$$

karena $\Sigma H = 0$ dan N_{Tb} , maka $(0,85f_c') B_1 c_b = A_{sb} f_y$

$$A_{sb} = \rho_b d$$

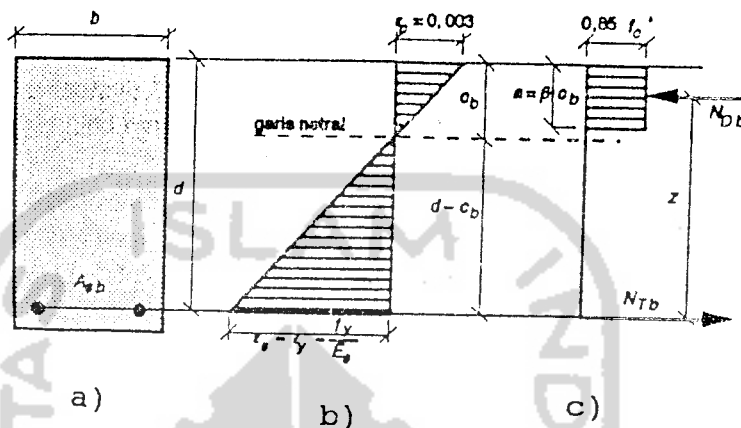
$$\rho_b = \frac{\rho_b d f_y}{(0,85 f_c') B_1 b}$$

$$\rho_b = \frac{\rho_b d f_y}{(0,85 f_c') B_1}$$

dengan menggunakan persamaan diatas, dapat dicari ρ_b .

$$\rho_b = \frac{(0,85 f_c' B_1) 600}{f_y (600 + f_y)} \dots\dots\dots 2.17$$

Untuk mendapatkan nilai ρ_b dapat digunakan daftar yang dibuat berdasarkan berbagai kombinasi nilai f_c' dan f_y seperti daftar lampiran 1.



Gambar 2.8 keadaan seimbang regangan
 a) Tampang Balok, b) Diagram regangan,
 c) Diagram tegangan dan kopel momen dalam

2.7.2 Pembatasan Penulangan Tarik Balok T

Analisis pada pemeriksaan hancur daktail (liet) didasarkan atas hubungan-hubungan sebagai berikut; [5]

- 1)
$$C_b = \frac{600}{f_y + 600} (d)$$
- 2) $a_b = 0,85 C_b$ (dengan $\beta_1 = 0,85$)
- 3) $N_{Db} = N_{Tb} = A_{sb} f_y$
- 4) $A_{s(\text{maks})} = 0,75 A_{sb}$

Untuk mencari $A_{s(\text{maks})}$ dengan kombinasi persamaan-persamaan di atas, didapatkan persamaan sebagai berikut ;

$$A_{s(\text{maks})} = \frac{0,75 N_{Db}}{f_y}$$

$$= \frac{0,75}{f_y} (0,85 f_{c'}) [bh_f + \left(\frac{\beta_1 600 (d)}{600 + f_y} - h_f \right) b_w]$$

$$= \frac{0,638 f_{c'} h_f}{f_y} \left[b + b_w \left(\frac{\beta_1}{h_f} \frac{600 d}{600 + f_y} - 1 \right) \right]$$

Dengan memasukkan berbagai pasangan nilai kombinasi $f_{c'}$ dan f_y , didapat nilai $A_s(\text{maks})$ dalam bentuk daftar seperti tersusun pada tabel 2.2 di bawah ini.

tabel 2.2

$f_{c'}$ (MPa)	f_y (MPa)	$A_s(\text{maks})$ (mm ²)
17	240	0,0452 K_1
	300	0,0362 K_2
	350	0,0310 K_3
	400	0,0271 K_4
20	240	0,0532 K_1
	300	0,0425 K_2
	350	0,0365 K_3
	400	0,0319 K_4
25	240	0,0665 K_1
	300	0,0532 K_2
	350	0,0456 K_3
	400	0,0399 K_4
30	240	0,0798 K_1
	300	0,0638 K_2
	350	0,0547 K_3
	400	0,0479 K_4
35	240	0,0930 K_5
	300	0,0744 K_6
	350	0,0638 K_7
	400	0,0558 K_8

dengan;

$$K_1 = h_f \left[b + b_w \left(\frac{0,607d}{h_f} \right) - b_w \right]$$

$$K_2 = h_f \left[b + b_w \left(\frac{0,567d}{h_f} \right) - b_w \right]$$

$$K_3 = h_f \left[b + b_w \left(\frac{0,537d}{h_f} \right) - b_w \right]$$

$$K_4 = h_f \left[b + b_w \left(\frac{0,510d}{h_f} \right) - b_w \right]$$

$$K_5 = h_f \left[b + b_w \left(\frac{0,579d}{h_f} \right) - b_w \right]$$

$$K_6 = h_f \left[b + b_w \left(\frac{0,540d}{h_f} \right) - b_w \right]$$

$$K_7 = h_f \left[b + b_w \left(\frac{0,512d}{h_f} \right) - b_w \right]$$

$$K_8 = h_f \left[b + b_w \left(\frac{0,486d}{h_f} \right) - b_w \right]$$

2.8 Tinjauan Balok terhadap Geser.

Tegangan geser yang tinggi pada suatu balok akan menimbulkan retak miring, maka upaya untuk mencegah pembentukan retak miring digunakan penulangan transversal yang dikenal dengan istilah penulangan geser yang berbentuk sengkang tertutup arah vertikal, selain itu tulangan geser dapat berupa tulangan miring yang diletakkan pada daerah yang mempunyai tegangan geser cukup besar. Untuk menentukan seberapa besar tegangan geser tersebut, umumnya peraturan-peraturan yang ada memberi rekomendasi untuk menggunakan pedoman perencanaan berdasarkan nilai tegangan geser rata-rata nominal sebagai berikut:

$$v_u = \frac{V_u}{\phi b_w d} \dots \dots \dots 2.17$$

dengan,

- v_u = tegangan geser rencana nominal total, (MPa)
- V_u = gaya geser rencana total karena beban luar, (kN)
- ϕ = faktor reduksi kuat bahan untuk geser, ($\phi = 0,60$)
- b_w = lebar balok, untuk penampang persegi = b (mm)
- d = tinggi efektif balok. (mm)

Perencanaan geser untuk komponen-komponen struktur terlentur didasarkan pada anggapan bahwa beton menahan sebagian dari gaya geser, sedangkan kelebihanannya atau kekuatan geser di atas kemampuan beton untuk menahannya dilimpahkan kepada tulangan geser.

Untuk komponen-komponen struktur yang menahan geser dan lentur saja, persamaan (3.4-3)SK SNI T-15-1991-03

memberikan kapasitas kemampuan beton (tanpa penulangan geser) untuk menahan gaya geser adalah V_C ,

$$V_C = \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_C'}\right) b_w d \dots \dots \dots 2.18$$

dengan, V_C adalah gaya geser beton (kN)

f_C' adalah kuat tekan beton yang diijinkan (MPa)

atau dengan menggunakan persamaan (3.4-6) yang lebih terperinci sebagai berikut;

$$V_C = \frac{1}{7} \left(\sqrt{f_C'} + 120 \left[\frac{V_u d}{M_U} \right] \right) b_w d \dots \dots \dots 2.19$$

dengan M_U adalah momen terfaktor yang terjadi bersamaan dengan gaya geser terfaktor maksimum V_u pada penampang kritis, sedangkan batas atas faktor pengali dan V_C adalah sebagai berikut;

$$\frac{V_u d}{M_U} \leq 1,0$$

$$V_C \leq (0,30 \sqrt{f_C'}) b_w d \dots \dots \dots 2.20$$

sedangkan kuat geser rencana V_u didapatkan dari hasil penerapan faktor beban, di mana nilai V_u lebih mudah ditentukan dengan menggunakan diagram gaya geser.

Di dalam peraturan dinyatakan, bila $V_u \leq \phi V_C$ maka tidak diperlukan penulangan geser, akan tetapi peraturan mengharuskan untuk menyediakan penulangan geser minimum pada semua bagian struktur beton yang mengalami lenturan, kecuali untuk;

- 1) plat dan fondasi plat,
- 2) struktur balok beton rusuk seperti yang ditentukan dalam

SK SNI T-15-1991-03, pasal 3.1.11,

- 3) balok yang tinggi totalnya tidak lebih dari 250 mm, atau 2,5 kali tebal flens, atau 1,5 kali lebar badan balok, diambil mana yang terbesar,
- 4) daerah di mana nilai $V_u < \frac{1}{2} \phi V_C$.

Ketentuan penulangan geser minimum terutama untuk menjaga agar apabila timbul beban yang tak terduga pada komponen struktur yang mungkin akan mengakibatkan kerusakan geser. Untuk penentuan penulangan geser minimum, jumlah luasnya ditentukan dengan persamaan (3.4-14) pada SK SNI T15-1991-03 sebagai berikut;

$$A_V = \frac{1}{3} \frac{b_w s}{f_y} \dots \dots \dots 2.21$$

dengan,

A_V = luas penampang tulangan geser total dengan jarak spasi antar tulangan s , untuk sengkang keliling tunggal $A_V = 2A_S$, A_S = luas penampang sengkang (mm^2),

b_w = lebar balok, untuk persegi = b (mm),

s = jarak pusat ke pusat batang tulangan geser ke arah sejajar tulangan pokok memanjang (mm),

f_y = kuat luluh tulangan geser (MPa),

Apabila gaya geser yang bekerja V_u lebih besar dari kapasitas geser beton ϕV_C , maka diperlukan penulangan geser. Apabila gaya geser bekerja disembarang tempat sepanjang bentangan, lebih besar dari $\frac{1}{2} \phi V_C$, maka peraturan menetapkan dipasang penulangan geser minimum yang disyaratkan.

Pada SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.1 dinyatakan bahwa dasar perencanaan tulangan geser adalah;

$$V_u \leq \phi (V_n = V_c + V_s) \dots\dots\dots 2.22$$

dengan,

V_n adalah kuat geser nominal atau idial,

V_s adalah kuat geser nominal yang disediakan tulangan geser Untuk sengkang tegak (vertikal), V_s dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.4-17) SK SNI T-15-1991-03;

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \dots\dots\dots 2.23$$

Persamaan 2.23 dapat diuraikan dengan menganggap bahwa sengkang menahan komponen vertikal dari gaya tarik diagonal yang bekerja di daerah $\frac{1}{2}.s$ kanan dan kiri dari sengkang yang bersangkutan (lihat Gambar 2.8). Sedangkan komponen horisontal dimasukkan dalam perencanaan tulangan pokok memanjang.

Dengan konsep tegangan geser SK SNI T-15-1991-03, maka didapatkan;

$$\text{Tegangan geser} = \frac{V_u}{\phi b_w d} = \frac{\phi (V_c + V_s)}{\phi b_w d} \dots\dots\dots 2.24$$

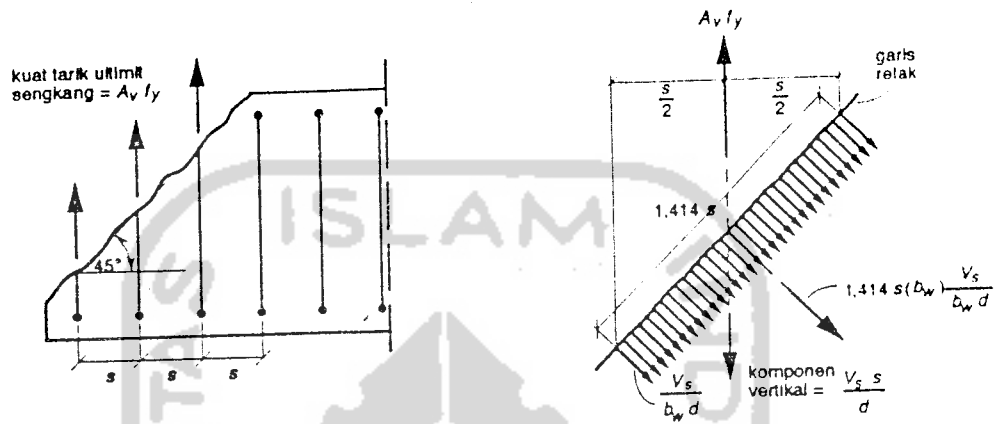
persamaan 2.24 dapat ditulis sebagai berikut;

$$\text{Tegangan geser} = \frac{V_c}{b_w d} + \frac{V_s}{b_w d} \dots\dots\dots 2.25$$

dengan,

$\frac{V_c}{b_w d}$ adalah kapasitas tegangan geser beton

$\frac{V_s}{b_w d}$ adalah kelebihan tegangan geser di atas kapasitas beton yang harus didukung oleh tulangan baja geser pada balok



Gambar 2.8 Menentukan jarak sengkang

Luas daerah tempat bekerjanya tegangan yang harus ditahan oleh tulangan geser adalah $1,414sb_w$, tampak pada Gambar 2.8 gaya tarik diagonal adalah;

$$1,414sb_w \left(\frac{V_s}{b_w d} \right) \dots \dots \dots 2.26$$

komponen vertikal gaya tarik diagonal;

$$0,707(1,4114sb_w) \frac{V_s}{b_w d} = sb_w \left(\frac{V_s}{b_w d} \right) = \frac{V_s S}{d} \dots 2.27$$

$A_v f_y$ adalah kapasitas tarik ultimit sengkang, karena $\Sigma V = 0$, maka;

$$A_v f_y = \frac{V_s S}{d}$$

sehingga,

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{S} \dots \dots \dots 2.28$$

Dengan cara yang sama, untuk tulangan sengkang miring

sesuai dengan persamaan (3.4-18) SK SNI T-15-1991-03;

$$V_S = A_V f_Y (\sin \alpha + \cos \alpha) \left(\frac{d}{s} \right) \dots\dots\dots 2.29$$

Untuk lebih praktis persamaan 2.28 dan 2.29 dapat disusun ulang untuk mengungkapkan jarak spasi sengkang sebagai berikut;

untuk sengkang vertikal s perlu = $\frac{A_V f_Y d}{V_S} \dots\dots\dots 2.30$

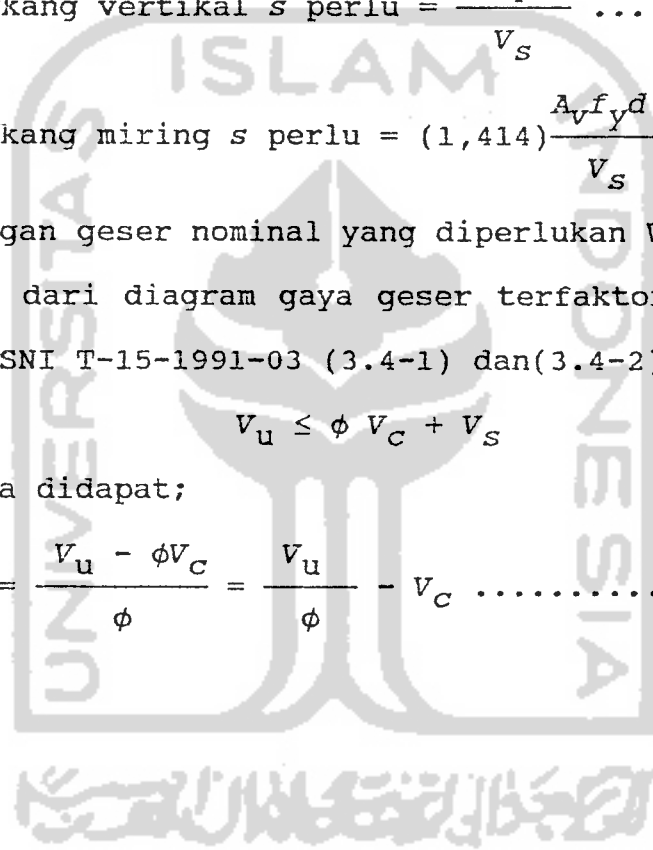
untuk sengkang miring s perlu = $(1,414) \frac{A_V f_Y d}{V_S} \dots\dots\dots 2.31$

Kuat tulangan geser nominal yang diperlukan V_S dapat ditentukan dari diagram gaya geser terfaktor V_u , dan persamaan SK SNI T-15-1991-03 (3.4-1) dan(3.4-2);

$$V_u \leq \phi V_C + V_S$$

selanjutnya didapat;

$$V_S \text{ perlu} = \frac{V_u - \phi V_C}{\phi} = \frac{V_u}{\phi} - V_C \dots\dots\dots 2.32$$



BAB III

ANALISIS DAN DISAIN

BALOK BETON BERTULANG KONVENSIONAL

3.1 Umum

Disain suatu struktur harus dapat menjamin bahwa;

- 1) di bawah pembebanan terburuk konstruksi adalah aman, dan
- 2) selama kondisi beban kerja normal, deformasi dari bagian struktur tidak boleh mengurangi bentuk keawetan dan penampilan dari struktur.

Secara umum telah dikenal tiga metode dasar pemakaian faktor keamanan untuk mencapai struktur yang aman dan dapat dikerjakan, yaitu:

- 1) Metode tegangan ijin ("Permissible stress method"), di mana kekuatan ultimit bahan dibagi dengan faktor keamanan untuk mendapatkan tegangan rencana yang biasanya di dalam daerah elastis.
- 2) Metode faktor beban ("Load faktor method"), dimana beban kerja dikalikan dengan suatu faktor keamanan.
- 3) Metode keadaan batas ("Limit state method") dimana beban kerja dikalikan faktor keamanan parsial dan juga membagi kekuatan ultimit bahan dengan faktor keamanan parsial yang lain.

Metode tegangan ijin merupakan metode yang sederhana, akan tetapi mempunyai beberapa ketidak-sesuaian yang serius.

Karena metode ini didasarkan pada suatu distribusi tegangan elastis, maka tidak dapat diterapkan mutlak pada bahan semi plastis seperti beton, juga tidak sesuai bila deformasi tidak sebanding dengan beban.

Pada metode faktor beban, kekuatan ultimit bahan harus dipakai dalam perhitungan. Pada metode ini tidak menerapkan faktor keamanan untuk tegangan bahan, metode ini tidak dapat secara langsung memperhitungkan keaneka-ragaman bahan, dan juga tidak dapat dipergunakan untuk menghitung besarnya lentur atau retak pada beban kerja.

Metode perencanaan keadaan batas mengatasi banyak kerugian-kerugian dari kedua metode yang dijelaskan terdahulu. Ini dilakukan dengan memasang faktor keamanan parsial pada beban kerja dan kekuatan bahan, kedua-duanya, dan besarnya faktor ini dapat bervariasi, sehingga dapat dipakai untuk kondisi plastis dalam keadaan ultimit atau untuk daerah tegangan yang lebih elastis pada beban kerja.

3.2 Analisis Perencanaan

Suatu struktur beton bertulang merupakan suatu kombinasi dari balok-balok, kolom-kolom, pelat dan dinding-dinding yang dihubungkan bersama secara tegar untuk membentuk suatu kerangka monolitis. Setiap bagian secara tersendiri harus mampu menahan gaya yang bekerja padanya. Pertama-tama analisis harus dimulai dari;

- 1) Beban; beban-beban pada suatu struktur dibagi dalam dua katagori yaitu beban mati dan beban hidup atau berguna. Beban mati adalah beban-beban yang secara umum permanen

dan konstan selama masa/waktu hidup struktur. Beban hidup, sebaliknya, adalah tidak kekal dan variabel besarnya.

- 2) Analisa Struktur; untuk merencanakan suatu disain struktur, yang perlu diketahui adalah, momen lentur, momen puntir, gaya lintang dan gaya aksial dalam setiap bagian struktur. Untuk mendapatkan besaran momen dan gaya tersebut, banyak metode yang digunakan antara lain;
- menggunakan koefisien momen dan gaya lintang,
 - perhitungan manual,
 - metode komputer.

Pemilihan dari ketiga metode tersebut, sudah tentu tergantung dari sederhana atau kompleksnya konfigurasi struktur.

3.2.1 Kuat Tekan dan Kuat Leleh yang diijinkan

Persyaratan perancangan struktur beton berasumsi bahwa keamanan yang cukup terpenuhi bila kuat tekan dan kuat leleh berada dibawah kuat yang diijinkan.

Untuk beton : f'_c = kuat tekan beton pada pengujian silinder standar pada umur 28 hari,

Untuk baja : f_y = kuat leleh baja yang disyaratkan,

Tabel 3.2 Kuat tekan beton.

f'_c (Mpa)	f'_c (kg/cm ²)
17	17
20	20
25	25
30	30
35	35
40	40

Persamaan 3.2 disebut koefisien tahanan yang nilainya tergantung pada mutu beton f_c' , mutu baja f_y serta jumlah tulangan ρ , jumlah tulangan ρ adalah nilai maksimum atau $0,75 \rho_b$. Untuk setiap kombinasi f_c' dan f_y yang dipilih, serta pada nilai-nilai urutan dari k selanjutnya dapat dihitung nilai rasio tulangan ρ , kemudian dapat ditabelkan seperti di bawah ini,

Tabel 3.3 Rasio penulangan (ρ) vs koefisien tahanan (k)
($f_c' = 17$ MPa, $f_y = 400$ MPa, k dalam MPa)

ρ	k	ρ	k	ρ	k	ρ	k
0,0035	1,3320	0,0061	2,2334	0,0087	2,0597	0,0113	3,8109
0,0036	1,3680	0,0062	2,2665	0,0088	3,0900	0,0114	3,8383
0,0037	1,4040	0,0063	2,2996	0,0089	3,1202	0,0115	3,8656
0,0038	1,4398	0,0064	2,3326	0,0090	3,1502	0,0116	3,8928
0,0039	1,4755	0,0065	2,3654	0,0091	3,1802	0,0117	3,9199
0,0040	1,5112	0,0066	2,3981	0,0092	3,2100	0,0118	3,9468
0,0041	1,5467	0,0067	2,4307	0,0093	3,2397	0,0119	3,9736
0,0042	1,5820	0,0068	2,4632	0,0094	3,2693	0,0120	4,0004
0,0043	1,6173	0,0069	2,4956	0,0095	3,2988	0,0121	4,0270
0,0044	1,6525	0,0070	2,5279	0,0096	3,3282	0,0122	4,0535
0,0045	1,6876	0,0071	2,5601	0,0097	3,3575	0,0123	4,0799
0,0046	1,7225	0,0072	2,5921	0,0098	3,3867	0,0124	4,1062
0,0047	1,7573	0,0073	2,6241	0,0199	3,4158	0,0125	4,1324
0,0048	1,7921	0,0074	2,6559	0,0100	3,4447	0,0126	4,1584
0,0049	1,8267	0,0075	2,6876	0,0101	3,4735	0,0127	4,1844
0,0050	1,8612	0,0076	2,7193	0,0102	3,5023	0,0128	4,2102
0,0051	1,8956	0,0077	2,7508	0,0103	3,5309	0,0129	4,2359
0,0052	1,9298	0,0078	2,7822	0,0104	3,5594	0,0130	4,2616
0,0053	1,9640	0,0079	2,8134	0,0105	3,5878	0,0131	4,2871
0,0054	1,9981	0,0080	2,8446	0,0106	3,6161	0,0132	4,3125
0,0055	2,0320	0,0081	2,8757	0,0107	3,6442	0,0133	4,3377
0,0056	2,0659	0,0082	2,9066	0,0108	3,6723	0,0134	4,3629
0,0057	2,0996	0,0083	2,9375	0,0109	3,7003	0,0135	4,3880
0,0058	2,1332	0,0084	2,9682	0,0110	3,7281	0,0136	4,4129
0,0059	2,1667	0,0085	2,9988	0,0111	3,7558	0,0137	4,4378
0,0060	2,2001	0,0086	2,0293	0,0112	3,7834	0,0138	4,4625

3.2.3 Lendutan

Struktur balok beton bertulang harus disyaratkan mempunyai kekakuan yang cukup, agar dapat menahan lendutan tanpa menimbulkan kerusakan struktur. Suatu struktur balok beton bertulang dengan lendutan yang demikian besar akan menimbulkan retak pada dinding yang didukung, merupakan suatu keadaan yang tidak diijinkan.

Peraturan pada SK SNI T15-1991-03 Tabel 3.2.5a mencantumkan tebal minimum sebagai fungsi terhadap bentang, sehingga untuk beberapa kasus tidak diperlukan perhitungan lendutan yang lengkap.

Nilai kelangsingan yang diberikan, berlaku untuk beton normal dan dengan tulangan $f_y = 400$ MPa, sedang untuk nilai f_y yang lain harus dikalikan faktor $[0,4 + f_y/700]$ yang akan menghasilkan nilai apapun. Bila memakai baja $f_y = 240$ MPa maka nilainya adalah $(0,4 + 240/700) = 0,74$.

Daftar syarat lendutan tidak diperhitungkan dapat dilihat pada lampiran no.2.

3.2.3 Lebar Retak

Retak pada komponen struktur beton dapat mengakibatkan korosi pada baja tulangan. Pembentukan karat memungkinkan beton di sekitar tulangan akan pecah dan lepas, korosi tidak hanya mengakibatkan pengecilan penampang tulangan, tetapi penampang betonpun dapat rusak.

Pengendalian retak yang tercatat dalam peraturan didasarkan pada berbagai hasil penelitian yang pada umumnya menunjukkan bahwa lebar celah retak sebanding dengan

besarnya tegangan yang terjadi pada batang tulangan baja tarik dan beton dengan ketebalan tertentu yang menyelimuti batang baja tersebut. Dengan pengendalian lebar retak maka celah lebar retak dapat dipertahankan agar tidak menjadi lebar dengan cara menyebar letak batang tulangan secara merata di daerah tarik. Tata cara penanggulangan tersebut juga tercantum dalam SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.6 untuk diterapkan pada balok-balok dan plat dengan penulangan satu arah. Peraturan mengarahkan bahwa penulangan beton bertulang hanya menggunakan batang tulangan baja deformasian untuk penulangan tarik letaknya harus disebar merata di daerah tarik.

Apabila kuat luluh rencana baja f_y lebih dari 300 MPa, maka harus dilakukan pemeriksaan secara khusus dalam rangka menjamin bahwa letak atau susunan batang tulangan di daerah tarik telah tersebar secara merata. Untuk balok dan plat dengan penulangan satu arah, pemeriksaan penyebaran letak batang tulangan baja dilakukan dengan menghitung bilangan z , sebagai berikut;

$$z = f_s \sqrt[3]{d_c A}$$

dengan,

f_s = tegangan yang diperhitungkan terjadi di dalam baja tulangan pada beban kerja, dihitung sebagai momen dibagi oleh hasil kali penampang baja dengan lengan momen dalam, atau dibolehkan menggunakan nilai $0,6f_y$, (MPa),

d_c = tebal selimut beton, diukur dari serat tarik

tertepi ke sumbu batang baja tulangan yang terdekat, (mm)

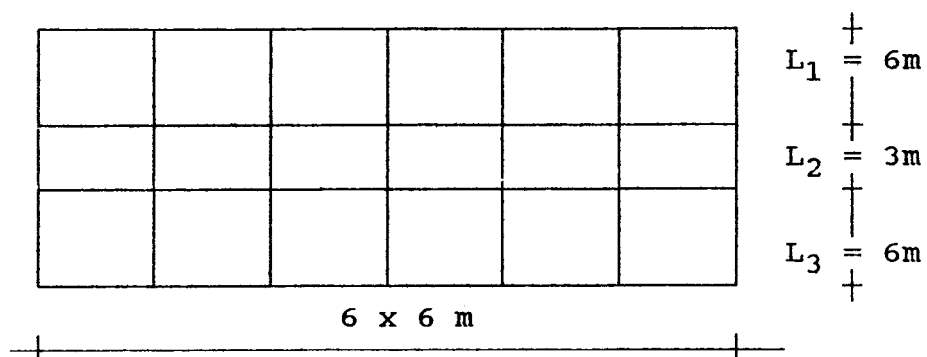
A = luas efektif beton tarik yang mengelilingi batang baja tulangan pokok tarik, yang kedudukan sumbu titik beratnya berimpit dengan sumbu titik berat penulangan, dibagi dengan jumlah batang baja tulangan,

z = bilangan sebagai batas penyebaran penulangan lentur dengan batas maksimum 30 MN/m bagi struktur terlindung dan 25 MN/m untuk struktur terbuka yang terpengaruh oleh cuaca luar.

3.3 Disain Balok Beton Bertulang konvensional.

Contoh perhitungan disain balok tulangan sebelah dan tulangan rangkap dengan data sebagai berikut:

Sebuah denah bangunan dan rangka portal seperti pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 dengan; $L_1 = L_3 = 6$ m, $L_2 = 3$ m beban kerja yang bekerja pada lantai 1,20 kPa (belum termasuk berat sendiri plat lantai dengan tebal $h_f = 125$ mm) dan beban hidup 10 kPa, $f_c' = 17$ Mpa, $f_y = 400$ Mpa.



Gambar 3.1 Denah bangunan

Tabel 3.4 Momen dan Gaya geser terfaktor

dimensi $b \times h$ (mm)	beban rencana (kN/m)	momen tump. maks. (kN-m)	momen lap. maks. (kN-m)	gaya geser maks. (kN)
300 x 800	130,93	349,10	280,52	+408,09 -377,49
300 x 750	130,51	351,71	268,81	+404,72 -378,34
300 x 700	130,10	354,21	257,59	+401,48 -379,15
300 x 650	129,69	356,82	246,25	+398,21 -379,99
300 x 600	129,27	359,52	235,24	+395,10 -380,55
300 x 550	128,86	362,30	224,78	+392,13 -381,02

Untuk contoh balok ukuran 300 mm x 800 mm dari hasil microfeap P1 pada Tabel 3.4 didapat;

$$M_{\text{tumpuan maks.}} = 349,10 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{lapangan maks.}} = 280,52 \text{ kNm}$$

$$V_u \text{ maks.} = 408,09 \text{ kN}$$

A. Disain Balok Tulangan Sebelah

a. pada daerah tumpuan

1) direncanakan ukuran balok = 300 x 800 mm²

2) $M_{\text{tump. maks.}} = M_U = 349,10 \text{ kNm}$

3) dianggap $d = 800 - 100 = 700 \text{ mm}$, jarak pusat berat

tulangan tarik terhadap tepi beton ditentukan 100 mm,

dengan memperhitungkan penggunaan dua lapis tulangan,

4) dikontrol terhadap kemungkinan pemakaian tulangan tarik

saja, berdasarkan tabel 3.3, $k \text{ maks.} = 4,4625 \text{ MPa}$.

$$M_R \text{ maks.} = \phi b d^2 k = 0,8 \cdot 300 \cdot 700^2 \cdot 4,4625 \cdot 10^{-6} = 524,79 \text{ kNm}$$

karena $524,79 \text{ kNm} > 349,10 \text{ kNm}$, maka pakai tul. sebelah

5) menentukan luas tulangan yang diperlukan (A_s)

$$A_s = \rho b d = 0,0138 \cdot 300 \cdot 700 = 2898 \text{ mm}^2$$

pakai tul.9D20 = 2827,40 mm², disusun 1 lapis tulangan.

pada SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.6 ayat 6 disyaratkan bahwa untuk flens yang berada di daerah tarik, sebagian dari batang tulangan pokok dipasang tersebar merata pada rentang lebar flens efektif, atau selebar 1/10 panjang bentang, kemudian dipilih nilai terkecil.

$$1/10 \text{ bentang} = 1/10(5500) = 550 \text{ mm}$$

$$\text{lebar flens efektif, } b_e = 1375 \text{ mm}$$

maka penulangan disebar selebar 550 mm

6) kontrol d aktual

$$X = \frac{2827,40 \cdot 60}{2827,40} = 60,00 \text{ mm}$$

$$d \text{ aktual} = h - X = 800 - 60 = 740 \text{ mm} > d \text{ asumsi} = 700 \text{ mm} \quad \text{OKE}$$

7) kontrol rasio tulangan

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{400} = 0,0035, \quad \rho_{\max} = 0,0138$$

$$\rho_{\text{aktual}} = \frac{A_s}{b_w \cdot d} = \frac{2827,40}{300 \cdot 720} = 0,0131$$

$$\text{maka } \rho_{\min} < \rho_{\text{aktual}} < \rho_{\max} \quad \text{OKE}$$

8) kontrol kapasitas momen

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b_w} = \frac{2827,40 \cdot 400}{0,85 \cdot 17 \cdot 300} = 260,89 \text{ mm}$$

$$M_R \text{ aktual} = \phi M_n$$

$$= 0,8 \cdot (A_s \cdot f_y) \left(d - \frac{1}{2} \cdot a \right)$$

$$= 0,8 (2827,40 \cdot 400 \cdot 10^{-6}) (720 - \frac{1}{2} \cdot 260,89)$$

$$= 533,41 \text{ kNm} > M_U = 349,10 \text{ kNm} \quad \text{OKE}$$

b. pada daerah lapangan

pada tempat terjadi momen positif, balok bagian atas merupakan daerah desak, karena bagian atas balok menjadi satu kesatuan monolit dengan plat maka perhitungan balok dapat dilakukan dengan analisis balok T.

1) momen rencana $M_{lap} = M_U = 280,52 \text{ kNm}$,

2) tinggi efektif balok $d = 800 - (40 + D10 + \frac{1}{2}D20) = 740,00 \text{ mm}$,

3) menentukan lebar flens efektif:

$$\frac{1}{4} \text{ panjang bentang} = 0,25 \cdot 5500 = 1375 \text{ mm}$$

$$b_w + 16h_f = 300 + 16 \cdot 125 = 2300 \text{ mm}$$

$$\text{jarak spasi antar balok} = 5000 \text{ mm}$$

$$\text{maka dipakai lebar flens terkecil } b_e = 1375 \text{ mm}$$

4) dianggap seluruh luas flens adalah desak, maka;

$$M_R = \phi(0,85f'_c)b_e h_f (d - \frac{1}{2} h_f)$$

$$= 0,8(0,85 \cdot 17)1375 \cdot 125(740 - \frac{1}{2} \cdot 125)10^{-6} = 1346,10 \text{ kNm}$$

5) $M_R = 1346,10 > 280,52$ maka balok berlaku sebagai balok T persegi dengan $d = 740 \text{ mm}$ dan $b_e = 1375 \text{ mm}$

$$6) \quad k \text{ perlu} = \frac{M_U}{\phi b_e \cdot d^2} = \frac{280,52 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1375 \cdot 740^2} = 0,4657 \text{ MPa}$$

$$7) \quad k = f'_c \omega (1 - 0,59\omega)$$

$$0,4657 = (17\omega - 10,03\omega^2)$$

$$\omega^2 - 1,6949\omega = -0,0464$$

$$(\omega^2 - 1,6949\omega + 0,7182) = -0,0464 + 0,7182$$

$$(\omega - 0,8475)^2 = 0,6717$$

$$(\omega - 0,8475) = \sqrt{0,6717} = \pm 0,8196$$

$$\omega = 0,0278$$

$$\omega = \rho \cdot f_y / f'_c, \quad \rho_{\text{perlu}} = \omega f'_c / f_y = 0,0278 \cdot 17 / 400 = 0,0012$$



8) Luas tampang yang diperlukan,

$$A_{s\text{perlu}} = \rho b_e d = 0,0012 \cdot 1375 \cdot 740 = 1205,84 \text{ mm}^2$$

dipakai 4D20 = 1256,60 mm², disusun 1 lapis

9) kontrol rasio tulangan minimum

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{aktual}} = \frac{A_s}{b_w \cdot d} = \frac{1256,60}{300 \cdot 740} = 0,0056 > \rho_{\text{min}}. \quad \text{OKE}$$

10) kontrol A_s maks,

$$\begin{aligned} A_s \text{ maks} &= 0,0271 h_f \left(b_e + b_w \left(\frac{0,510 \cdot d}{h_f} - 1 \right) \right) \\ &= 0,0271 \cdot 125 \left(1375 + 300 \left(\frac{0,510 \cdot 740}{125} - 1 \right) \right) \\ &= 6709,80 \text{ mm}^2 > 1256,60 \text{ mm}^2 \quad \text{OKE} \end{aligned}$$

11) kontrol kapasitas momen

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b_e} = \frac{1256,60 \cdot 400}{0,85 \cdot 17 \cdot 1375} = 25,29 \text{ mm} < h_f = 125 \text{ mm}$$

maka garis netral berada di dalam flens

$$\begin{aligned} M_R \text{ aktual} &= \phi M_n \\ &= \phi (A_s f_y) \left(d - \frac{1}{2} \cdot a \right) \\ &= 0,8 (1256,60 \cdot 400 \cdot 10^{-6}) (740 - \frac{1}{2} \cdot 25,29) \\ &= 292,47 \text{ kNm} > M_U = 280,52 \text{ kNm} \quad \text{OKE} \end{aligned}$$

12) kontrol lebar retak

selimut beton dengan tebal diukur dari serat tertarik tertepi sampai dengan sumbu berat batang tulangan terdekat, $d_c = (40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 20) = 60,00 \text{ mm}$

luas efektif beton tarik untuk setiap batang tulangan A , dapat diungkapkan sebagai berikut,

$$A = \frac{bh_{\mu}}{\text{jumlah batang tulangan}}$$

dengan h_{μ} adalah jarak linier, dua kali jarak dari serat tertarik tertepi ke sumbu berat penulangan tarik,

$$h_{\mu} = 2(X) = 2(60) = 120 \text{ mm}$$

maka, $A = 1/4(300)(120) = 9000 \text{ mm}^2$ untuk setiap batang baja tulangan.

$$z = f_s \sqrt[3]{d_c A}$$

$$\text{dengan } f_s = 0,60f_y = 0,60(400) = 240 \text{ MPa}$$

$$z = 240 \sqrt[3]{60(9000)} = 19,54 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m}$$

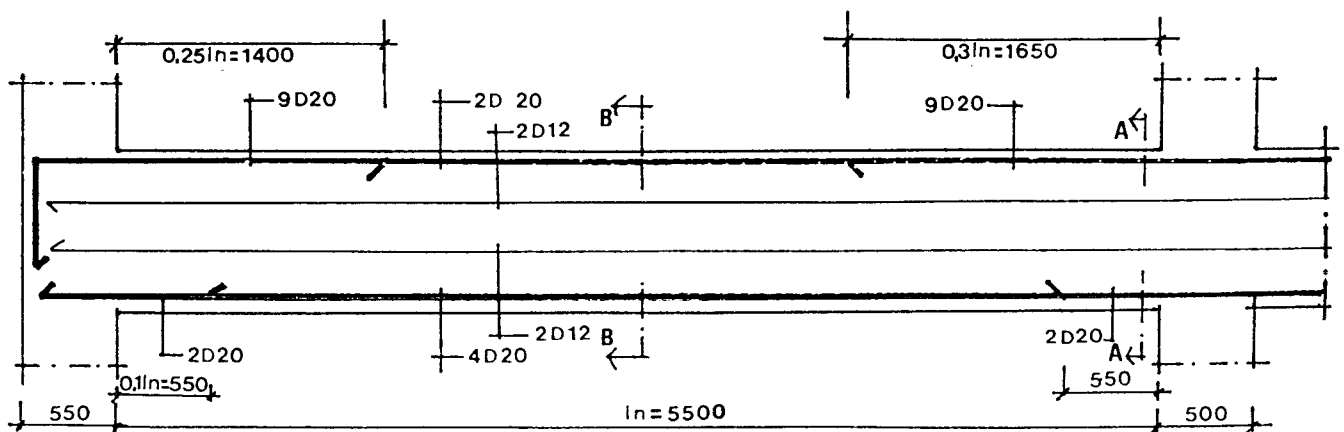
dengan demikian penyebaran baja tulangan tarik telah memenuhi ketentuan.

13) kontrol lebar balok

jumlah maksimum tulangan sepenampang adalah 4D20, dipakai jarak minimal antara dua batang adalah 25 mm, minimum lebar balok yang diperlukan sebagai berikut :

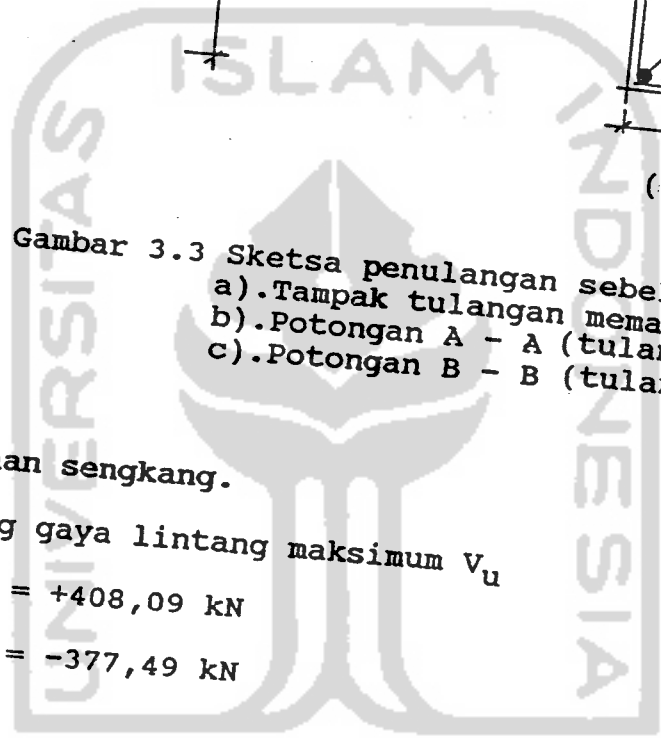
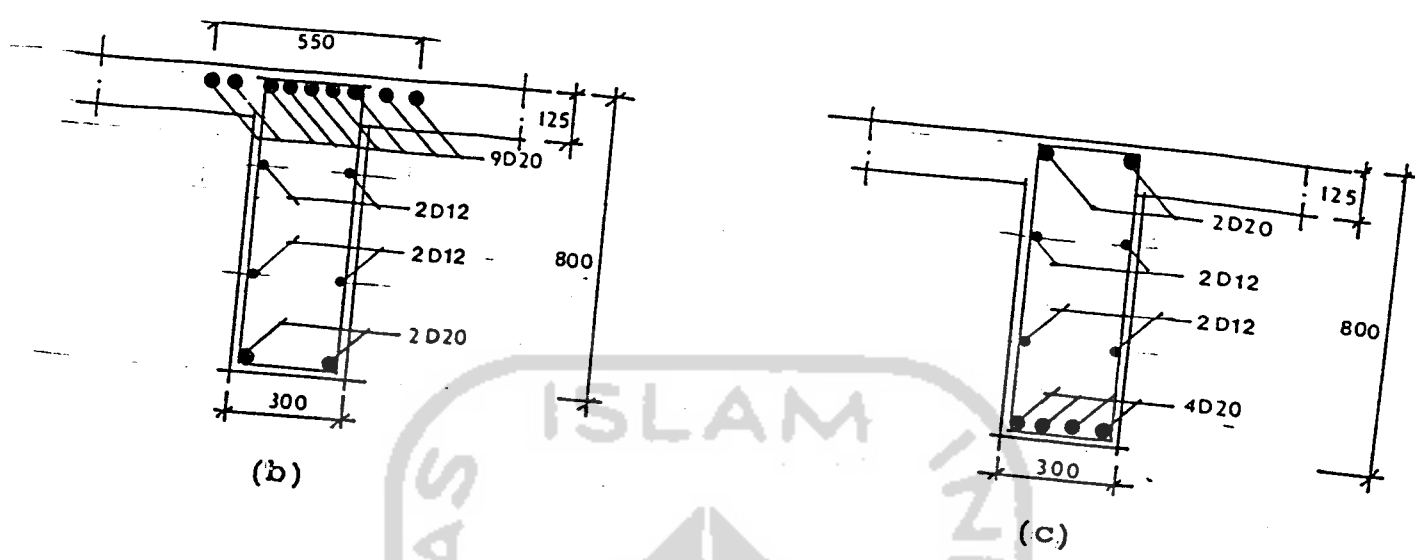
2 x penutup beton (pb)	= 2 x 40 = 80 mm
2 x sengkang (D10)	= 2 x 10 = 20 mm
4 x D20	= 4 x 20 = 80 mm
3 x jarak antara(25 mm)	= 4 x 25 = 75 mm

$$\text{Total} = 255 \text{ mm} < b_w = 300 \text{ mm}$$



(a)

3



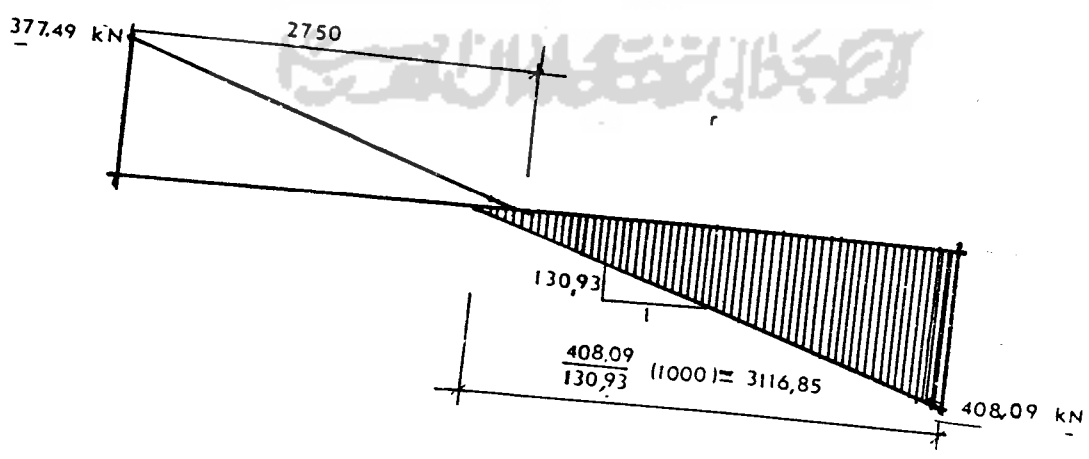
Gambar 3.3 Sketsa penulangan sebelah
 a).Tampak tulangan memanjang
 b).Potongan A - A (tulangan tumpuan)
 c).Potongan B - B (tulangan lapangan)

c. Perencanaan sengkang.

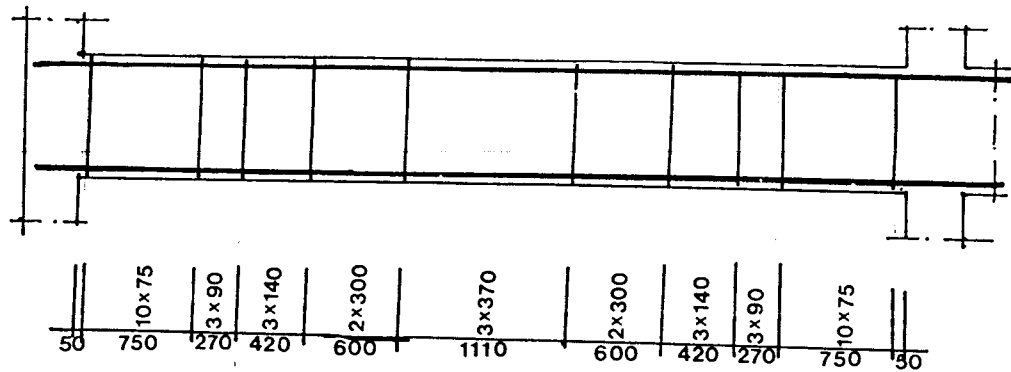
1) menghitung gaya lintang maksimum V_u

$$V_u \text{ maks.} = +408,09 \text{ kN}$$

$$= -377,49 \text{ kN}$$



Gambar 3.4 Diagram gaya lintang



Gambar 3.7 Sketsa rancangan Sengkang

B. Disain Balok Tulangan Rangkap

a. pada daerah tumpuan

- 1) Direncanakan ukuran balok $300 \times 650 \text{ mm}^2$,
- 2) $M_{\text{tump. maks.}} = M_U = 356,82 \text{ kNm}$,
- 3) dianggap $d = 650 - 100 = 550 \text{ mm}$, jarak pusat berat tulangan tarik terhadap tepi beton ditentukan 100 mm , (perkiraan pemakaian dua lapis tulangan), $d' = 70 \text{ mm}$,
- 4) dikontrol terhadap kemungkinan pemakaian balok tulangan tarik saja, berdasarkan pada tabel 3.3 didapat; $k_{\text{maks.}} = 4,4625 \text{ MPa}$.
 $M_R \text{ maks.} = \phi b d^2 k = 0,8 \cdot 300 \cdot 550^2 \cdot 4,4625 \cdot 10^{-6} = 323,97 \text{ kNm}$
 karena $323,97 \text{ kNm} < 356,82 \text{ kNm}$, maka pakai tul. rangkap
- 5) menentukan rasio penulangan pasangan kopel gaya beton tekan dengan tulangan baja tarik kira-kira $90\% f_{\text{maks.}}$
 $\rho = 0,90(0,0138) = 0,0124$, dengan nilai $\rho = 0,0124$ dari tabel 3.3 didapat $k = 4,1062 \text{ MPa}$.
- 6) kuat momen tahanan atau kapasitas pasangan kopel gaya beton tekan dan tulangan baja tarik adalah:

$$M_{R1} = \phi b d^2 k = 0,8 \cdot (300)(550)^2 (4,1062) = 298,11 \text{ kNm}$$

$$A_{s'} \text{ perlu} = \frac{N_{D2}}{f_{s'}} = \frac{N_{D2}}{f_y} = \frac{152,89(10)^3}{400} = 382,225 \text{ mm}^2$$

menentukan jumlah tulangan baja tarik yang diperlukan untuk pasangan kopel gaya tulangan baja tekan dan tarik tambahan dengan $f_{s'} = f_y$, $A_{s2} = A_{s'} = 382,225 \text{ mm}^2$

9) menentukan luas tulangan tarik total yang diperlukan,

$$A_s \text{ total} = A_{s1} + A_{s2} = 2046 + 382,23 = 2428,23 \text{ mm}^2$$

$$\text{pakai baja tulangan } 2D36 + 2D16 = 2438 \text{ mm}^2$$

pada SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.6 ayat 6 disyaratkan bahwa untuk flens yang berada di daerah tarik, sebagian dari batang tulangan pokok dipasang tersebar merata pada rentang lebar flens efektif, atau selebar 1/10 panjang bentang, kemudian pilih yang terkecil.

$$1/10 \text{ bentang} = 1/10(5500) = 550 \text{ mm}$$

$$\text{lebar flens efektif, } b_e = 1375 \text{ mm}$$

maka penulangan disebar selebar 550 mm

menentukan luas tulangan tekan ($A_{s'} = 382,225$) pakai

$$\text{tulangan } 2D16 = 402,20 \text{ mm}^2$$

10) kontrol d aktual

$$X = \frac{2035,68 + 402,20 \cdot 58}{2438} = 66,32 \text{ mm} \approx 67 \text{ mm}$$

$$d \text{ aktual} = h - X = 650 - 67 = 583 \text{ mm} > d \text{ asumsi} = 550 \text{ mm} \text{ OKE}$$

11) kontrol rasio tulangan

$$f_{\text{aktual}} = \frac{A_s}{b_w \cdot d} = \frac{2438}{300 \cdot 583} = 0,0139$$

$$f'_{\text{aktual}} = \frac{A_{s'}}{b_w \cdot d} = \frac{402,20}{300 \cdot 583} = 0,0023$$

$$(\epsilon - \epsilon')_{\text{aktual}} \leq \epsilon_{\text{maks}}$$

$$(0,0139 - 0,0023) = 0,0116 < \epsilon_{\text{maks}} = 0,0138 \quad \text{OKE}$$

$$> \epsilon_{\text{min}} = 0,0035 \quad \text{OKE}$$

12) kontrol kapasitas momen

$$M_R \text{ akt.} = \phi (M_{n1} + M_{n2})$$

$$\begin{aligned} M_{n1} &= A_{s1} f_y (d - \frac{1}{2}a) = (A_s - A_{s'}) f_y (d - \frac{1}{2}a) \\ &= (2438 - 402,20)(400)(583 - \frac{1}{2} \cdot 188,78) 10^{-6} = 397,88 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n2} &= A_{s'} f_y (d - d') \\ &= 402,20 \cdot 400 \cdot 10^{-6} (583 - 67) = 83,01 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_R \text{ akt.} &= 0,8(397,88 + 83,01) \\ &= 384,71 \text{ kNm} > M_U = 356,82 \text{ kNm} \quad \text{OKE} \end{aligned}$$

b. pada daerah lapangan

pada tempat terjadi momen positif, balok bagian atas merupakan daerah desak, karena bagian atas balok menjadi satu kesatuan monolit dengan plat maka perhitungan balok dapat dilakukan dengan analisis balok T.

1) momen rencana $M_{\text{lap}} = M_U = 246,25 \text{ kNm}$

2) tinggi efektif balok $d = 650 - (40 + D_{10} + \frac{1}{2}D_{16}) = 592 \text{ mm}$

3) menentukan lebar flens efektif:

$$\frac{1}{4} \text{ panjang bentang} = 0,25 \cdot 5500 = 1375 \text{ mm}$$

$$b_w + 16h_f = 300 + 16 \cdot 125 = 2300 \text{ mm}$$

$$\text{jarak spasi antar balok} = 5000 \text{ mm}$$

$$\text{maka dipakai lebar flens terkecil } b_e = 1375 \text{ mm}$$

4) dianggap seluruh luas flens adalah desak, maka;

$$M_R = \phi(0,85f'_c) b_e h_f (d - \frac{1}{2} h_f)$$

$$= 0,8(0,85 \cdot 17) 1375 \cdot 125 (592 - \frac{1}{2} \cdot 125) 10^{-6} = 1052,05 \text{ kNm}$$

5) $M_R = 1052,05 > 246,25$ maka berlaku sebagai balok T persegi

persegi dengan $d = 592$ mm dan $b_e = 1375$ mm,

$$6) \quad k_{\text{perlu}} = \frac{M_U}{\phi b_e \cdot d^2} = \frac{246,25 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1375 \cdot 592^2} = 0,6387 \text{ MPa,}$$

$$7) \quad k = f'_c \omega (1 - 0,59 \omega)$$

$$0,6387 = (17\omega - 10,03\omega^2)$$

$$\omega^2 - 1,6949\omega = -0,06368$$

$$(\omega^2 - 1,6949\omega + 0,7182) = -0,06368 + 0,7182$$

$$(\omega - 0,8475)^2 = 0,6545$$

$$(\omega - 0,8475) = \sqrt{0,6545} = \pm 0,8090$$

$$\omega = 0,0384$$

$$\omega = \rho \cdot f_y / f'_c \quad \rho_{\text{perlu}} = \omega f'_c / f_y = 0,0384 \cdot 17 / 400 = 0,0016$$

8) menghitung luas tampang yang diperlukan

$$A_{S\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b_e \cdot d = 0,0016 \cdot 1375 \cdot 592 = 1331,18 \text{ mm}^2$$

dipakai 6D16 + 1D13 = 1339,10 mm², disusun 2 lapis

9) kontrol rasio tulangan minimum

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{aktual}} = \frac{A_S}{b_w \cdot d} = \frac{1339,10}{300 \cdot 592} = 0,0075 > \rho_{\text{min}} \quad \text{OKE}$$

10) kontrol A_S maks.

$$A_S \text{ maks.} = 0,0271 h_f \left(b_e + b_w \left(\frac{0,510 \cdot d}{h_f} - 1 \right) \right)$$

$$= 0,0271 \cdot 125 \left(1375 + 300 \left(\frac{0,510 \cdot 592}{125} - 1 \right) \right)$$

$$= 6096,17 \text{ mm}^2 > 1339,10 \text{ mm}^2 \quad \text{OKE}$$

11) kontrol kapasitas momen

$$a = \frac{A_S f_y}{0,85 f'_c b_e} = \frac{1339,10 \cdot 400}{0,85 \cdot 17 \cdot 1375} = 26,95 \text{ mm} < h_f = 125 \text{ mm}$$

maka garis netral terletak di dalam flens

$$\begin{aligned} M_R \text{ akt.} &= \phi M_n = \phi (A_s f_y) (d - \frac{1}{2} \cdot a) \\ &= 0,8 (1339,10 \cdot 400 \cdot 10^{-6}) (592 - \frac{1}{2} \cdot 26,95) \\ &= 247,95 \text{ kNm} > M_U = 246,25 \text{ kNm} \end{aligned}$$

OKE

12) kontrol lebar retak

selimut beton dengan tebal diukur dari serat tertarik tertepi sampai dengan sumbu berat batang tulangan terdekat, $d_c = 40 + 10 + \frac{1}{2}(20) = 60,00 \text{ mm}$

luas efektif beton tarik untuk setiap batang tulangan A_s , dapat diungkapkan sebagai berikut,

$$A_s = \frac{b h_\mu}{\text{jumlah batang tulangan}}$$

dengan h_μ adalah jarak linier, dua kali jarak dari serat tertarik tertepi ke sumbu berat penulangantarik,

$$h_\mu = 2(X) = 2(67) = 134 \text{ mm}$$

maka, $A_s = 1/7(300)(134) = 5742,85 \text{ mm}^2$ untuk setiap batang baja tulangan.

$$z = f_s \sqrt[3]{d_c A_s}$$

$$\text{dengan } f_s = 0,60 f_y = 0,60(400) = 240 \text{ MPa}$$

$$z = 240 \sqrt[3]{60(5742,85)} = 16,82 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \quad \text{OKE}$$

dengan demikian penyebaran baja tulangan tarik telah memenuhi ketentuan.

13) kontrol lebar balok

jumlah maksimum tulangan sepenampang adalah 6D16+1D13, jarak minimal antara dua batang adalah 25 mm, minimum lebar balok yang diperlukan sebagai berikut ;

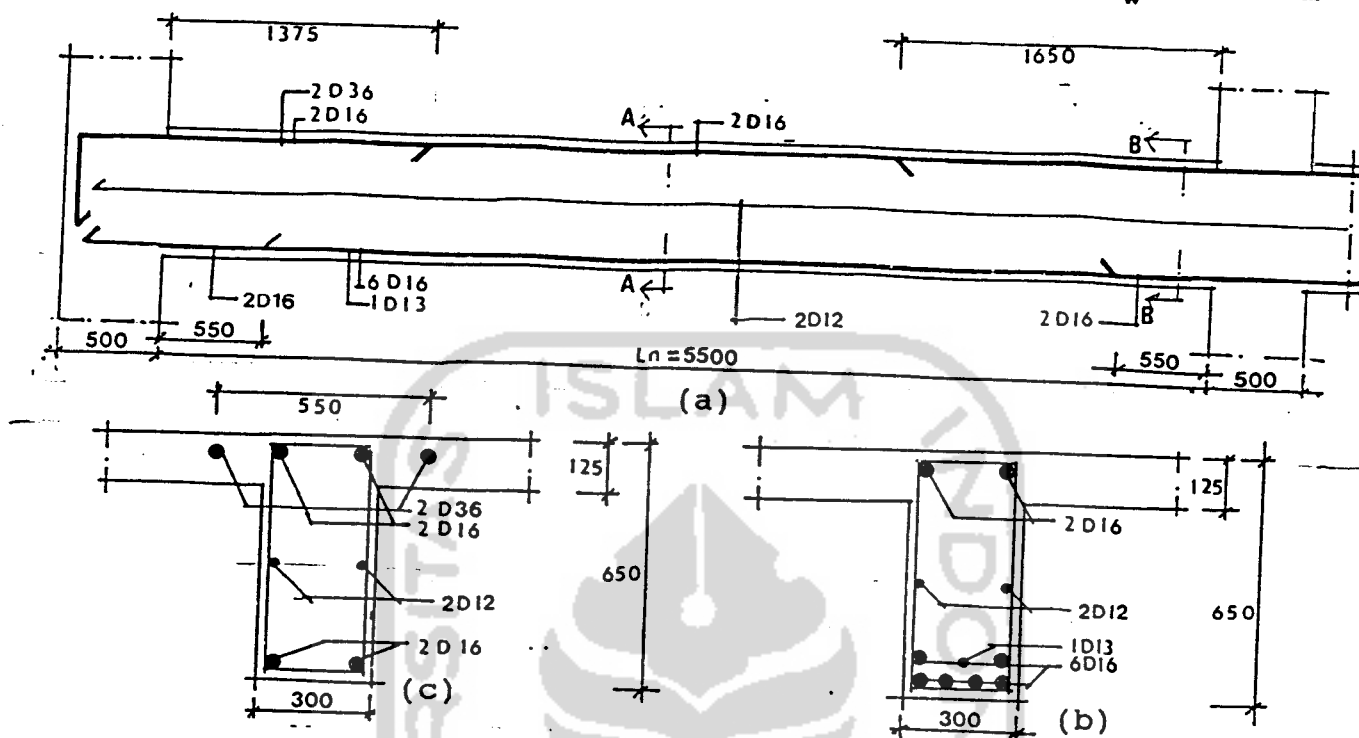
$$2 \times \text{penutup beton (pb)} = 2 \times 40 = 80 \text{ mm}$$

$$2 \times \text{sengkang (D10)} = 2 \times 10 = 20 \text{ mm}$$

$$4 \times D16 = 4 \times 16 = 64 \text{ mm}$$

$$3 \times \text{jarak antara (25 mm)} = 3 \times 25 = 75 \text{ mm}$$

$$\text{Total} = 239 \text{ mm} < b_w = 300 \text{ mm}$$



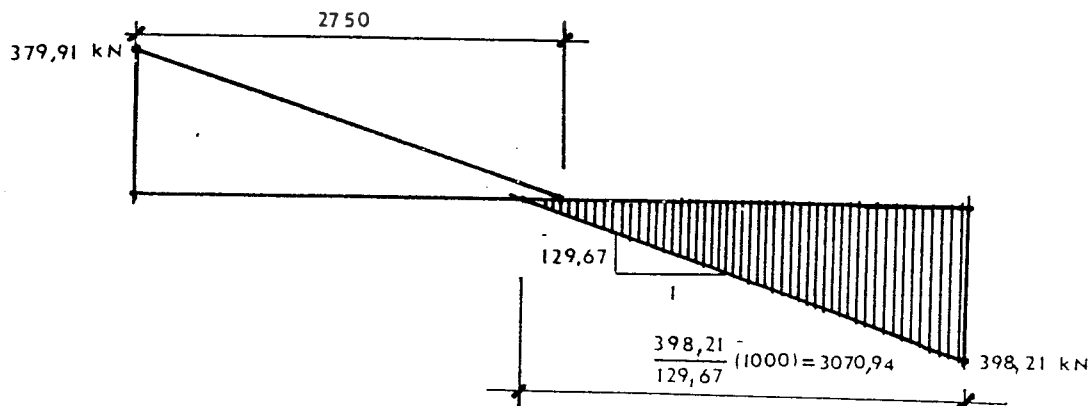
Gambar 3.8 Sketsa penulangan Rangkap
 a) Tampak tulangan memanjang
 b) Potongan A - A (tulangan lapangan)
 c) potongan B - B (tulangan tumpuan)

c. Perencanaan sengkang.

1) menghitung gaya lintang maksimum V_u

$$V_u \text{ maks} = +398,21 \text{ kN}$$

$$= -379,91 \text{ kN}$$



Gambar 3.9 Diagram gaya lintang

$$\begin{aligned} \text{Diagram } V_C &= (1/6\sqrt{f'_c}) \cdot bw \cdot d \\ &= 0,6872(300)(592)(10^{-3}) = 122,00 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_C = \frac{1}{2} \cdot 0,6 \cdot 122,00 = 36,61 \text{ kN}$$

karena $398,21 > 36,61$ maka diperlukan sengkang.

Menghitung V_S pada tumpuan

$$V_S \text{ perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_C = \frac{398,21}{0,6} - 122,00 = 541,68 \text{ kN}$$

$$\text{kemiringan diagram } V_S = \frac{129,67}{\phi} = \frac{129,67}{0,60} = 216,11 \text{ kN/m}$$

2) menentukan rentang panjang penulangan sengkang,

jarak dari dukungan ketempat diagram $V_S = 0$

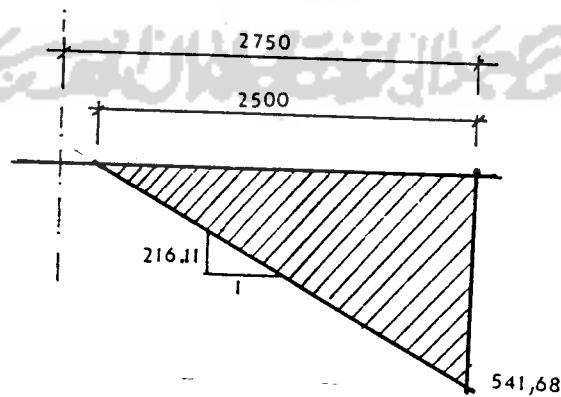
$$V_S = 0 \text{ pada } 541,68/216,11 = 2,50 \text{ m}$$

Sengkang harus ditempatkan pada nilai,

$$V_u = \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_C = 36,61 \text{ kN}$$

panjang rentang penulangan sengkang ;

$$l = \frac{(398,21 - 36,61)}{129,67} = 2,79 \text{ m}$$



Gambar 3.10 Diagram V_S

3) direncanakan tulangan sengkang $\phi 10$ ($A_v = 157 \text{ mm}^2$),
jarak spasi :

$$V_s = 541,68 - (592)(10)^{-3}(216,11) = 413,74 \text{ kN}$$

$$s_{\text{perlu}} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \cdot 240 \cdot 592 \cdot 10^{-3}}{413,74} = 53,91 \text{ mm}$$

digunakan jarak 50 mm

jarak spasi maksimum menurut SK SNI T-15-1991-03.

$$(1/3\sqrt{f'c})b_w d = 1,3743(300)(592)(10^{-3}) = 244,00 \text{ kN}$$

Dengan membandingkan terhadap V_s pada penampang kritis;
 $244,00 \text{ kN} < 541,68 \text{ kN}$

Syarat s_{maks} adalah $\frac{1}{2} d$ atau 600,

$$\text{dengan } \frac{1}{2} d = \frac{1}{2} \cdot 592 = 296,00 \text{ mm}$$

Pemeriksaan s_{maks}

$$s_{\text{maks}} = \frac{3 \cdot A_v \cdot f_y}{b_w} = \frac{3(157)(240)}{300} = 376,80 \text{ mm}$$

dipakai nilai s_{maks} terkecil = $296,00 \text{ mm} \approx 290 \text{ mm}$.

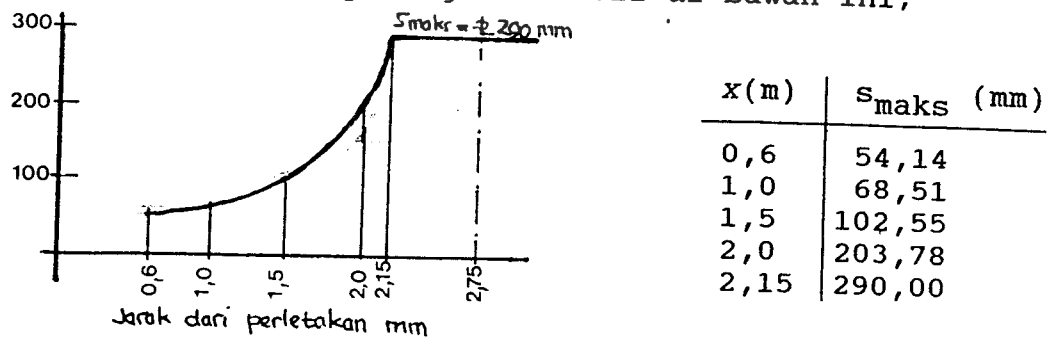
Kebutuhan jarak spasi berdasarkan kuat geser,

$$V_s = V_{s \text{ maks}} - mx = 541,68 - [216,11(x)]$$

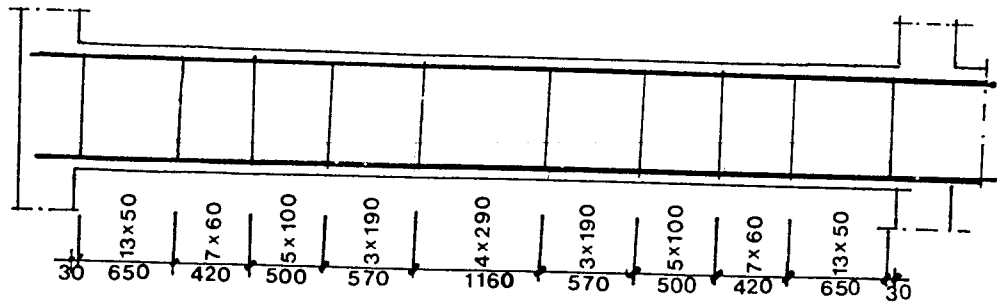
$$s_{\text{perlu}} = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{157(240)(592)(10)^{-3}}{(541,68 - 216,11 x)} = \frac{22306,56}{(541,68 - 216,11 x)}$$

Untuk sembarang nilai x didapatkan dalam bentuk daftar

dan grafik seperti pada gambar 3.11 di bawah ini;



Gambar 3.11 Jarak spasi sengkang



Gambar 3.12 Sketsa rancangan sengkang

Dengan cara yang sama di atas, maka perhitungan tulangan pada tabel 3.4 disusun dalam Tabel 3.5 dan Tabel 3.6.

Tabel 3.5 Hasil perhitungan Tulangan Sebelah

Dimensi $b \times h$ (mm ²)	M_U (kNm)	d (mm)	M_R (kNm)	Syarat tul. sebelah	A_s (mm ²)	dipakai tul.pokok	A_s akt. (mm ²)	M_R akt. (kNm)
300x800	-349,10	700	524,79	$M_R > M_U$	2898,00	9D20	2827,40	533,41
	+280,52	740	1468,48		1204,27	4D20	1256,60	292,47
300x750	-351,71	650	452,49	$M_R > M_U$	2641,00	6D20+3D18	2648,40	486,56
	+268,81	690	1360,10		1270,89	5D18	1272,40	276,14
300x700	-354,21	600	385,56	$M_R > M_U$	2484,00	4D22+4D18	2478,40	416,70
	+257,54	639	1249,56		1284,00	2D22+2D18	1269,20	260,55

Tabel 3.6 Hasil perhitungan Tulangan Rangkap

Ukuran $b \times h$ (mm ²)	M_U (kNm)	d (mm)	M_R (kNm)	Syarat tul. Ganda	A_s (mm ²)	Dipakai tul. pokok	A_s akt. (mm ²)	A_s' (mm ²)	Dipakai tul. pokok	A_s' akt. (mm ²)	M_R akt. (kNm)
300x650	-356,82	550	323,97	$M_R < M_U$	2423,23	2D36+2D16	2438,00	382,22	2D16	402,20	384,71
	+246,25	592	1147,69		1328,66	6D16+1D13	1339,10	-	-	-	247,95
300x600	-359,58	500	267,75	$M_R < M_U$	2682,30	9D19+1D13	3534,52	839,10	3D19	850,50	491,76
	+235,24	539	1032,81		1399,06	4D19+2D13	1399,40	-	-	-	253,73
300x550	-362,30	450	216,87	$M_R < M_U$	2986,89	7D22+1D20	4018,80	1337,5	2D22+1D19	1043,49	477,93
	+224,78	489	924,43		1478,80	3D22+1D20	1454,60	-	-	-	230,80

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1. Umum

Anggaran biaya merupakan salah satu penentu utama untuk mewujudkan suatu proyek. Secara umum dengan biaya minimal/murah dan akan menghasilkan nilai komersial yang tinggi adalah alasan utama suatu usaha/proyek dapat terlaksana, dengan demikian akan didapat keuntungan yang cukup representatif.

Dalam perhitungan anggaran biaya, tahap-tahap/proses yang harus dianalisa adalah sebagai berikut;

- a. analisa satuan biaya dan satuan tenaga kerja,
- b. analisa volume.

4.2. Analisa Satuan Biaya dan Tenaga kerja

Dalam analisa satuan bahan dan tenaga kerja, perhitungan biaya bahan dan tenaga yang disusun dalam daftar analisa BOW. Pada daftar analisa BOW, setiap uraian pekerjaan sudah ada terminologinya antara jenis pekerjaan satu dengan pekerjaan lainnya dalam urutan kode alphabet. Sebagai contoh; uraian pekerjaan beton dan pekerjaan pembesian analisa BOW memberi kode G dan I, sedangkan untuk pekerjaan kayu berkode F.

An.G.41

1 M³ BETON COR 1 : 2 : 3.

0,82	M ³ Batu Split	@ Rp	17.500,00,-	Rp	14.350,00,-
0,54	M ³ Pasir Pasang	@ Rp	9.000,00,-	Rp	4.850,00,-
6,80	Zak Pc isi 50 kg.	@ Rp	9.000,00,-	Rp	61.200,00,-
1,00	Tukang Batu	@ Rp	6.500,00,-	Rp	6.500,00,-
0,10	Kep. Tukang Batu	@ Rp	7.000,00,-	Rp	700,00,-
6,00	Pekerja	@ Rp	4.000,00,-	Rp	24.000,00,-
0,30	Mandor	@ Rp	7.500,00,-	Rp	2.250,00,-

Rp 113.860,00,-

An.I.2

100 kg BESI BETON

110,00	kg. Besi Beton	@ Rp	1.160,33,-	Rp	127.636,66,-
2,00	kg. Kawat Beton	@ Rp	2.550,00,-	Rp	5.100,00,-
6,75	Tukang Besi	@ Rp	7.000,00,-	Rp	47.250,00,-
2,25	Kep. Tukang Besi	@ Rp	7.500,00,-	Rp	16.875,00,-
6,75	Pekerja	@ Rp	4.000,00,-	Rp	27.000,00,-

Rp 223.861,66,-

$$\text{Harga per-kg} = \frac{\text{Rp } 223.861,66,-}{100} = \text{Rp } 2.238,61,-$$

An.F.8.A

10 M² KAYU BEKESTING

0,40	M ³ Papan Kayu tahun	@ Rp	135.000,00,-	Rp	54.000,00,-
4,00	Kg. Paku	@ Rp	1.750,00,-	Rp	7.000,00,-
5,00	Tukang Kayu	@ Rp	7.500,00,-	Rp	37.500,00,-



0,50	Kep. Tukang Kayu	@ Rp 7.500,00,-	Rp 3.750,00,-
2,00	Pekerja	@ Rp 4.000,00,-	Rp 8.000,00,-
0,10	Mandor	@ Rp 7.500,00,-	Rp 750,00,-
3,00	Pekerja Bongkar	@ Rp 4.000,00,-	Rp 12.000,00,-
			<hr/>
			Rp 123.000,00,-

$$\text{Harga per-M}^2 = \frac{\text{Rp } 123.000,00,-}{10} = \text{Rp } 12.300,00,-$$

An.F.1

STUTWERK UNTUK 1 M³ BETON

0,70	M ³ Kayu dolken (dihitung 50 %)	@ Rp 90.000,00,-	Rp 31.500,00,-
2,00	Kg. Paku	@ Rp 1.750,00,-	Rp 3.500,00,-
10,40	Tukang Kayu	@ Rp 7.500,00,-	Rp 78.750,00,-
1,05	Kep. Tukang Kayu	@ Rp 7.500,00,-	Rp 7.875,00,-
3,50	Pekerja	@ Rp 4.000,00,-	Rp 14.000,00,-
0,175	Mandor	@ Rp 7.500,00,-	Rp 1.312,50,-
			<hr/>
			Rp 136.937,50,-

4.3 Analisa Volume

Dalam analisa volume pekerjaan dasar analisis berupa gambar kerja atau gambar bestek atau dokumen pendukung lain yang bersifat mengikat.

Perhitungan analisa volume pekerjaan biasanya dalam bentuk satuan buah/biji, satuan isi, satuan luas dan satuan panjang. Dalam pembahasan ini, hasil perhitungan dimasukkan ke daftar analisa yang sesuai dan akan didapatkan harga satuan masing-masing pekerjaan.

- pe

4.3.1 Perhitungan Volume Balok Bertulangan Sebelah

1

(lihat Gambar 3.3)

1

Bentang bersih = $6,00 - 0,50 = 5,50$ m

195

Ukuran tampang balok $0,30$ m x $0,80$ m

9

0

Berat;

D10 = $0,617$ kg/m, D12 = $0,888$ kg/m, D20 = $2,470$ kg/m

a. volume beton campuran 1 : 2 : 3

4.3.

$$0,30 \times 0,80 \times 5,50 = 1,32 \text{ m}^3$$

b. volume baja tulangan

- perhitungan panjang tulangan

untuk D10 (senggang)

$$2(0,05 + 0,72 + 0,22)39 = 77,22 \text{ m}$$

$$\text{untuk D12 : } 2 \times 5,50 \times 2 = 22,00 \text{ m}$$

$$\text{untuk D20 : } 7 \times 1,40 \times 1 = 9,80 \text{ m}$$

$$7 \times 1,65 \times 1 = 11,55 \text{ m}$$

$$2 \times 4,40 \times 1 = 8,80 \text{ m}$$

$$2 \times 5,50 \times 2 = 22,00 \text{ m}$$

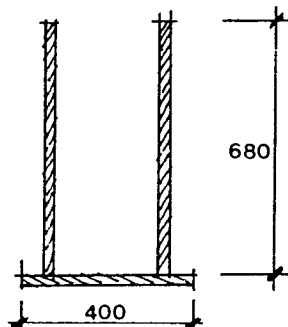
$$= 52,15 \text{ m}$$

- perhitungan berat tulangan

$$(0,617 \cdot 77,22) + (0,888 \cdot 22,00) + (2,47 \cdot 52,15)$$

$$= 195,98 \text{ kg}$$

- perhitungan luas cetakan (bekesting)



$$2(0,68 \times 5,50) = 7,40 \text{ m}^2$$

$$1(0,40 \times 5,50) = 2,20 \text{ m}^2$$

$$= 9,62 \text{ m}^2$$

Gambar 4.1 Tampang Cetakan Tulangan Sebelah

- perhitungan berat tulangan

$$(0,617.99,12)+(0,888.11)+(1,04.4,40)+(1,58.39,60)+(7,9$$

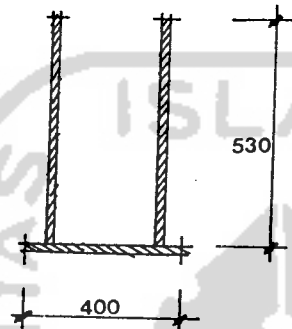
$$= 187,84 \text{ kg}$$

- perhitungan luas cetakan (bekesting)

$$2(0,53 \times 5,50) = 5,83 \text{ m}^2$$

$$1(0,40 \times 5,50) = 2,20 \text{ m}^2$$

$$= 8,03 \text{ m}^2$$



Gambar 4.2 Tampang Cetakan Tulangan Rangkap

- perhitungan biaya balok beton bentang 6,00 m

<u>1,07 M³ BETON BALOK LANTAI 0,30 x 0,65</u>			
1,07 M ³	Beton 1:2:3	@ Rp 113.860,00,-	Rp 121.830,20-
187,84 Kg	Besi Beton	@ Rp 2.238,61,-	Rp 420.500,50,-
8,03 M ²	Cetakan	@ Rp 12.300,00,-	Rp 98.769,00,-
0,66	Stutwerk	@ Rp 136.937,50,-	Rp 90.378,75,-
			<hr/>
			Rp 731.478,52,-

Dengan cara yang sama, untuk dimensi tulangan sebelah dan tulangan rangkap dapat dihitung volume dan harganya, kemudian disusun dalam bentuk daftar seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbedaan harga variasi ukuran balok

Dimensi $b \times h$ (mm)	Harga (Rp)		Keterangan
	Tul. Sebelah	Tul. Rangkap	
300 x 800	797.722,73,-	-	-
300 x 750	764.410,87,-	-	-
300 x 700	745.710,05,-	-	efesien
300 x 650	-	731.478,52,-	efesien
300 x 600	-	749.357,97,-	-
300 x 550	-	780.008,85,-	-

Dari hasil tabel 4.1 di atas maka dapat disusun kembali daftar dari balok tulangan sebelah dan tulangan rangkap yang paling efisien

Tabel 4.2 Perbedaan harga satu bentang Balok (L = 6,0 m)

Jenis Pekerjaan	Balok Tulangan Tunggal (Rp)	Balok Tulangan Rangkap (Rp)	Selisih (%)
Beton	132.077,60,-	121.830,20,-	+ 8,41
Baja Tul.	418.396,20,-	420.500,50,-	- 0,50
Cetakan	104.857,50,-	98.769,00,-	+ 6,16
Stutwerk	90.378,75,-	90.378,75,-	-
	745.710,05,-	731.478,52,-	+ 3,31

Catatan: + lebih mahal dari pada balok tulangan rangkap
- lebih murah dari pada balok tulangan rangkap

4.4 Pembahasan

4.4.1 Tinjauan Biaya

Dimensi (lebar x tinggi) antara balok beton tulangan sebelah dan tulangan rangkap yang dibebani dengan beban yang sama, menunjukkan bahwa dimensi beton tulangan sebelah lebih besar daripada dimensi balok beton tulangan rangkap.

Pada disain balok tulangan rangkap, perhitungan biaya pembuatan beton lebih murah Rp.10.247,40,- atau 8,41 %, dan pada pembuatan acuan lebih murah Rp.6.088,50,- atau 6,16

%, sedangkan pada pemakaian baja tulangan lebih mahal Rp.2.104,30,- atau 0,50 %. Untuk pekerjaan "Stutwerk" tidak ada perbedaan harga, dikarenakan sifat dan kondisi pekerjaan relatif sama. Setelah sub-sub pekerjaan dijumlahkan, seperti pada Tabel. 4.2, maka didapatkan pemakaian balok tulangan rangkap lebih hemat/murah Rp.14.231,53,- atau sekitar 3,31 %.

4.4.2 Tinjauan waktu

Pada tinjauan ini, pekerjaan "stutwerk" dan acuan sifat dan kondisinya sama, maka tidak perlu ditinjau. Untuk pekerjaan cor beton dan pembesian akan ditinjau dengan ketentuan lama kerja 7 jam sehari keadaan normal, sifat pekerjaan non mekanik (kecuali pencampuran beton).

Dianggap produksi cor beton 1 m^3 /hari dengan banyak tenaga seperti pada analisa G.41

dalam 1 jam, produksi cor beton $1 : 7 = 0,143 \text{ m}^3/\text{jam}$

produksi pembesian 100 kg/hari dengan jumlah tenaga seperti pada analisa I.2

dalam 1 jam, produksi pembesian $100 : 7 = 14,285 \text{ kg/jam}$

Diketahui;

- Volume cor beton tulangan sebelah = $1,16 \text{ m}^3$

$$\text{maka, } \frac{1,16}{0,143} = 8,11 \text{ jam}$$

- Volume cor beton tulangan rangkap = $1,07 \text{ m}^3$

$$\text{maka, } \frac{1,07}{0,143} = 7,48 \text{ jam}$$

- Volume pembesian tulangan sebelah = 186,90 kg

$$\text{maka, } \frac{186,90}{14,285} = 13,08 \text{ jam}$$

- Volume pembesian tulangan rangkap = 187,84 kg

$$\text{maka, } \frac{187,84}{14,285} = 13,14 \text{ jam}$$

Tabel 4.3 Perbedaan waktu penyelesaian pekerjaan

Jenis Pekerjaan	Balok tulangan Tunggal (jam)	Balok tulangan Rangkap (jam)	Selisih (%)
Beton	8,11	7,48	+ 8,42
Baja Tul.	13,08	13,14	- 0,45
Cetakan	-	-	-
Stutwerk	-	-	-
	21,19	20,62	+ 2,76

Catatan: + lebih lama dari pada balok tulangan rangkap
 - lebih cepat dari pada balok tulangan rangkap

Dari tabel 4.3 menunjukkan bahwa, dengan memakai beton tulangan rangkap pada bentangan 6,0 m, waktu penyelesaian pekerjaan lebih cepat sekitar 0,57 jam atau 2,76 %.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN-SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan perhitungan dan pembahasan pada balok beton tulangan sebelah dan balok tulangan rangkap untuk bentangan 6,0 m dan diberi beban luar yang sama, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut ini.

- 1) Pada Tabel 3.4 memperlihatkan bahwa penggunaan ukuran dimensi balok yang besar akan didapat hasil momen tumpuan kecil, dan momen lapangan yang besar, sedangkan penggunaan ukuran dimensi balok yang kecil akan didapat hasil momen tumpuan besar dan momen lapangan kecil,
- 2) Pada contoh perhitungan didapat, bahwa balok pada daerah lapangan, analisis balok sebagai balok T persegi,
- 3) Disain balok pada Tabel 4.1, balok tulangan sebelah yang paling efisien/hemat yang berdimensi $300 \times 700 \text{ mm}^2$, dan untuk balok tulangan rangkap yang paling efisien/hemat yang berdimensi $300 \times 650 \text{ mm}^2$,
- 4) Disain balok tulangan rangkap akan lebih menguntungkan atau lebih murah sekitar 3,31 % jika dibanding dengan pemakaian balok tulangan sebelah,
- 5) Syarat minimal empat tulangan pada struktur balok yang ditempatkan pada bagian sudut empatpersegi panjang, pada bagian atau daerah tekan beton, tulangannya dapat

- dimanfaatkan atau diperhitungkan sebagai tulangan baja tekan, pada disain struktur balok tulangan rangkap,
- 6) Waktu penyelesaian pekerjaan balok tulangan rangkap lebih cepat sekitar 0,57 jam atau 2,76 %,
 - 7) Pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6 memperlihatkan bahwa disain balok tulangan sebelah akan efisien jika nilai momen tahanan (M_R) sama dengan momen luar (M_U) yang bekerja (M_U) atau nilai momen tahanan (M_R) lebih besar sedikit mendekati momen luar yang bekerja, dan untuk disain balok tulangan rangkap akan efisien, jika nilai momen tahanan (M_R) lebih kecil sedikit dari momen luar (M_U) yang bekerja.

5.2. Saran-saran

Setelah mempelajari hasil kesimpulan di atas, maka disarankan sebagai berikut;

- 1) dalam perencanaan gedung bertingkat, khususnya disain balok beton tulangan konvensional, disarankan menggunakan disain balok tulangan rangkap, selain harga lebih murah, selisih harga pemakaian balok tulangan sebelah dengan tulangan rangkap dapat digunakan untuk menaikkan kualitas bangunan. Lebih jauh pengaruh disain balok beton tulangan rangkap akan menambah tinggi manfaat ruang, jika rencana tinggi lantai sudah ditentukan dan akan mengurangi tinggi gedung, khususnya pada bangunan gedung bertingkat banyak ("high rise building"), jika rencana tinggi langit-langit/plafond sudah ditetapkan.

- 2) dalam mendisain balok bertulang, pada daerah lapangan hendaknya dengan analisis balok tampang T, sebab akan didapat gaya desak beton yang cukup besar, sehingga akan meningkatkan kapasitas momen balok,
- 3) untuk lokasi pekerjaan di kota besar dianjurkan memakai f_c' yang tinggi pada perencanaan betonnya, karena akan didapatkan disain balok yang lebih langsing,
- 4) dalam merencana penulangan struktur balok, usahakan pergunakan tulangan syarat tulangan diameter minimum pada empat ujung sudutnya.
- 5) dimasa mendatang perlu dibahas lebih efisien mana antara balok beton tulangan sebelah dengan tulangan rangkap jika bentangan struktur balok sedikitnya lebih besar atau sama dengan 8,0 m.

DAFTAR PUSTAKA

1. Chu Kia Wang, Charles G Solmon, Binsar Harianja, 1987, Desain Beton Bertulang, Erlangga, Jakarta.
2. Edwar G. Nawy, 1990, Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar, Eresco, Bandung.
3. George Winter, Arthur H. Nilson, 1993, Perencanaan Struktur Beton Bertulang, Pradnya Paramita, Jakarta.
4. Gidion Kusuma, 1993, Dasar-dasar perencanaan Beton Bertulang berdasarkan SK SNI T-15-1991-03, Erlangga, Jakarta
5. Istimawan Dipohusodo, 1994, Struktur Beton Bertulang berdasarkan SK SNI T-15-1991-03, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
6. J.A Mukomoko, Ir Dasar Penyusunan Anggaran Biaya Bangunan, CV. Gaya Media Pratama
7. John.W.Niron, 1980, Rencana Anggaran Biaya Bangunan, Rembulan, Jakarta
8. Kardiyono Tjokrodimuljo, Ir.M.E., , Buku Ajar Teknologi Beton,
9. Phil M. Ferguson, Budianto Susanto, Kris Setianto, 1986, Dasar - Dasar Beton Bertulang, Erlangga, Jakarta.
10. Zainal Azis, 1995, Menghitung Anggaran Biaya Bangunan,

PT.Gramedia Pustaka, jakarta

11. ———, 1989, Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-89), American Concrete Institut,U.S.A.
12. ———, 1991, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Bertulang Untuk Bangunan Gedung, SKSNI T-15-1991-03, Yayasan LPMB, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
13. ———, 1971, Peraturan Beton Bertulang Indonesia, NI-2, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik.





جامعة لامبران الإسلامية

LAMPIRAN 1; KONSTANTA PERENCANAAN

Tulangan Baja		Mutu Beton (MPa)											
		$f_c' = 17$ $\beta_1 = 0,85$		$f_c' = 20$ $\beta_1 = 0,85$		$f_c' = 25$ $\beta_1 = 0,85$		$f_c' = 30$ $\beta_1 = 0,85$		$f_c' = 35$ $\beta_1 = 0,81$		$f_c' = 40$ $\beta_1 = 0,77$	
mutu baja BJTP BJTD	f_y	ρ maks	ρ sm	ρ maks	ρ sm	ρ maks	ρ sm	ρ maks	ρ sm	ρ maks	ρ sm	ρ maks	ρ sm
24	240	0,0058	0,0274	0,0132	0,0323	0,0158	0,0403	0,0198	0,0484	0,0239	0,0538	0,0584	0,0313
30	300	0,0047	0,0205	0,0107	0,0241	0,0127	0,0301	0,0159	0,0361	0,0195	0,0402	0,0436	0,0251
35	350	0,0040	0,0186	0,0083	0,0196	0,0107	0,0244	0,0132	0,0293	0,0163	0,0326	0,0354	0,0214
40	400	0,0035	0,0138	0,0083	0,0163	0,0092	0,0203	0,0117	0,0244	0,0142	0,0271	0,0295	0,0185
50	500	0,0028	0,0100	0,0070	0,0118	0,0074	0,0148	0,0098	0,0177	0,0113	0,0197	0,0214	0,0143

Keterangan : ρ maks = $0,75 \rho_b$

ρ sm = ρ saran = nilai ρ yang disarankan untuk keperluan perkiraan.

INDONESIA

LAMPIRAN 2; TEBAL MINIMUM BALOK NONPRATEGANG
SATU ARAH APABILA LENDUTAN TIDAK

KOMPONEN STRUKTUR	TEBAL MINIMUM, h			
	DUA TUMPUAN	SATU WJUNG MENERUS	KEDUA WJUNG MENERUS	KANTILEVER
	KOMPONEN TIDAK MENYATU ATAU MENYATU DENGAN PARTISI ATAU KONSTRUKSI LAIN YANG AKAN RUSAK AKIBAT LENDUTAN BESAR			
Plat solid satu arah	$\frac{\ell}{20}$	$\frac{\ell}{24}$	$\frac{\ell}{28}$	$\frac{\ell}{10}$
Balok atau plat lajur satu arah	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{18,5}$	$\frac{\ell}{21}$	$\frac{\ell}{8}$

dikutip dari Tabel 3.2.5(a) SK SNI T-15-1991-03

LAMPIRAN 3; LEBAR MINIMUM BALOK

Tulangan Baja	Jumlah Batang Tulangan Baja dalam satu lapis									Tambah setiap Batang
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
D 10	14,50	18,00	21,50	25,00	28,50	32,00	35,50	38,00	41,50	3,50
D 12	14,90	18,60	22,30	26,00	29,70	33,40	37,10	40,80	44,50	3,70
D 13	15,10	18,90	22,70	26,50	30,30	34,10	37,90	41,70	45,50	3,80
D 14	15,30	19,20	23,10	27,00	30,90	34,80	38,70	42,60	46,50	3,90
D 16	15,70	19,80	23,90	28,00	32,10	36,20	40,30	44,40	48,50	4,10
D 18	16,10	20,40	24,70	29,00	33,30	37,60	41,90	46,20	50,50	4,30
D 19	16,30	20,70	25,10	29,50	33,90	38,30	42,70	47,10	51,50	4,40
D 20	16,50	21,00	25,50	30,00	34,50	39,00	43,50	48,00	52,50	4,50
D 22	16,90	21,60	26,30	31,00	35,70	40,40	45,10	49,80	54,50	4,70
D 25	17,50	22,50	27,50	32,50	37,50	42,50	47,50	52,50	57,50	5,00
D 28	18,40	24,00	29,60	35,20	40,80	46,40	52,00	57,60	63,20	5,60
D 29	18,70	24,50	30,30	36,10	41,90	47,70	53,50	59,30	65,10	5,80
D 32	19,60	26,00	32,40	38,80	45,20	51,60	58,00	64,40	70,80	6,40
D 36	20,80	28,00	35,20	42,40	49,60	56,80	64,00	71,20	78,40	7,20
D 40	22,00	30,00	38,00	46,00	54,00	62,00	70,00	78,00	86,00	8,00
D 50	25,00	35,00	45,00	55,00	65,00	75,00	85,00	95,00	105,0	10,0

KETERANGAN :Tabel dihitung menggunakan sengkang D10, jarak bersih minimum 2,50 cm, dan tebal selimut beton 4,0 cm.

LAMPIRAN 4; LUAS PENAMPANG TULANGAN BAJA

diameter batang (mm)	Luas Penampang (mm ²)								
	Jumlah Batang								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	28,3	56,6	84,9	113,1	141,4	169,8	197,9	226,2	254,5
8	50,3	100,6	150,9	201,1	251,4	301,6	351,9	402,2	452,4
9	63,8	127,2	190,8	254,5	318,1	381,6	445,2	509,0	572,6
10	78,5	157,0	235,6	314,2	392,7	471,2	549,8	628,3	706,9
12	113,1	226,2	339,3	452,4	565,5	678,6	791,7	904,8	1017,9
13	132,7	265,4	398,2	530,9	663,7	796,4	929,1	1061,8	1194,6
14	154,0	308,0	462,0	616,0	770,0	924,0	1078,0	1232,0	1386,0
16	201,1	402,2	603,2	804,2	1005,3	1206,4	1407,4	1608,5	1809,5
18	254,5	509,0	763,4	957,9	1272,4	1526,8	1781,3	2035,8	2290,2
19	283,5	567,0	850,5	1134,0	1417,5	1701,0	1984,5	2268,0	2551,5
20	314,2	628,4	942,5	1256,6	1570,8	1885,0	2199,1	2513,3	2827,4
22	380,1	760,2	1140,4	1520,5	1900,7	2280,8	2660,9	3041,0	3421,2
25	490,9	981,8	1472,6	1963,5	2454,6	2945,2	3436,1	3927,0	4418,1
28	615,7	1231,5	1847,3	2463,0	3078,7	3694,6	4310,3	4926,0	5541,7
29	660,5	1321,0	1981,6	2642,1	3302,6	3963,2	4623,7	5284,0	5944,5
32	804,3	1608,6	2412,8	3217,0	4021,3	4825,5	5629,8	6434,0	7238,3
36	1017,9	2035,8	3053,6	4071,5	5089,4	6107,2	7125,1	8143,0	9160,9
40	1256,6	2513,3	3769,9	5026,6	6283,2	7539,8	8796,6	10053	11309
50	1963,5	3927,0	5890,5	7854,0	9817,5	11781	13745	15708	17672

LAMPIRAN 5; PERHITUNGAN PORTAL DENGAN PROGRAM BANTU MICROFEAP P1

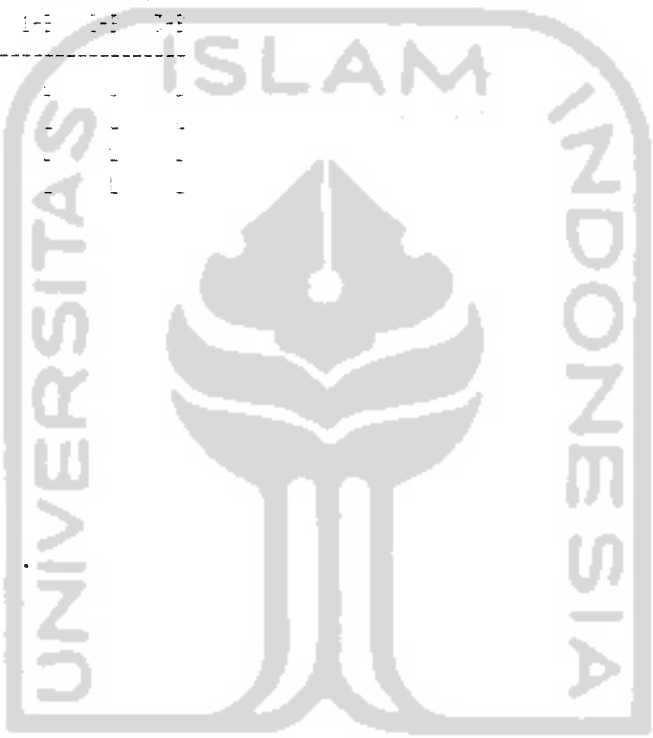
```

=====
MICROFEAP-P1      DATE: 04-07-1991      (DATA: P.1)
PROJECT : PORTAL      FILENAME: ta
AUTHORITY: IR. R. HARTONO      ENGINEER: GONI dan JONG
=====
    
```

```

*****
: STRUCTURE DATA :
*****
    
```

COORDINATE DATA (mm)		**BOUNDARY DATA**			
NODE	1-COOR	2-COOR	1-F	2-F	3-F
1	0.00	0.00	.	.	.
2	5000.00	0.00	.	.	.
3	9000.00	0.00	.	.	.
4	15000.00	0.00	.	.	.
5	0.00	5000.00	.	.	.
6	5000.00	5000.00	.	.	.
7	9000.00	5000.00	.	.	.
8	15000.00	5000.00	.	.	.
9	0.00	9000.00	.	.	.
10	5000.00	9000.00	.	.	.
11	9000.00	9000.00	.	.	.
12	15000.00	9000.00	.	.	.
13	0.00	17000.00	.	.	.
14	5000.00	17000.00	.	.	.
15	9000.00	17000.00	.	.	.
16	15000.00	17000.00	.	.	.
17	0.00	17000.00	.	.	.
18	5000.00	17000.00	.	.	.
19	9000.00	17000.00	.	.	.
20	15000.00	17000.00	.	.	.



ELEMENT DATA				
ELEM	1-NODE	2-NODE	HINGE	MATERIAL
1	1	5	.	3
2	2	6	.	3
3	3	7	.	3
4	4	8	.	3
5	5	9	.	3
6	6	10	.	3
7	7	11	.	3
8	8	12	.	3
9	9	13	.	3
10	10	14	.	3
11	11	15	.	3
12	12	16	.	3
13	13	17	.	3



```

=====
MICROFEAP-P1          DATE: 04-02-1998          (DATA) P.2
PROJECT : PORTAL      FILENAME: ta
AUTHORIT: IP R HARTONO ENGINEER: JONI dan JONO
=====

```

***ELEMENT DATA**

ELEM	1-NODE	2-NODE	HINGE	MATERIAL
14	14	15		
15	15	16		
16	16	17		
17	5	6		
18	6	7		
19	7	8		
20	8	17		
21	17	11		
22	11	12		
23	12	14		
24	14	15		
25	17	11		
26	17	11		
27	18	19		
28	19	20		

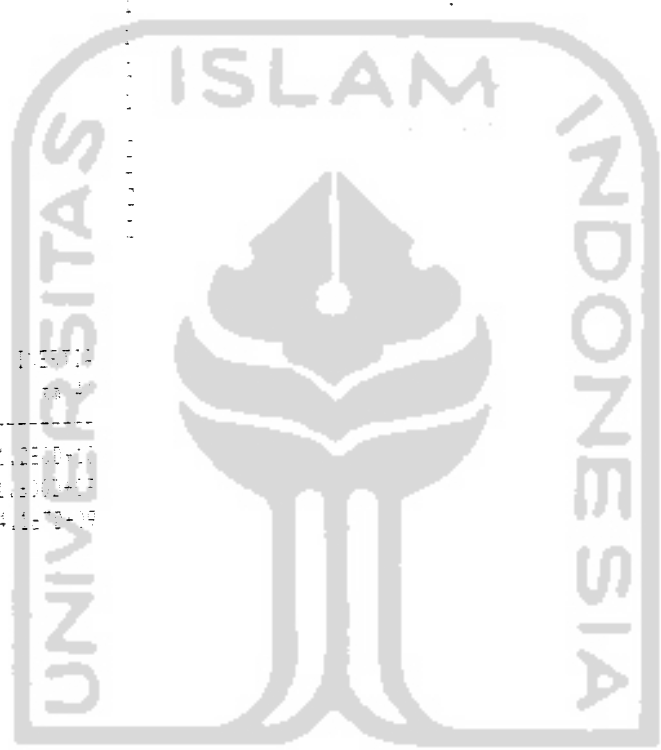
***MATERIAL DATA**

NO	E-MODULUS	ASIAL-APEK	INERSIA
	(N/mm ²)	(mm ²)	(mm ⁴)
1	2.0000+05	2.4000+05	1.2500+10
2	2.0000+05	2.0000+05	1.0000+10
3	2.0000+05	2.0000+05	4.1670+09

LOAD CASE #1 : beban merata

***UNIFORM LOAD DATA**

ELEM	1-UNIFORM	2-UNIFORM
	(N/mm)	(N/mm)
17	0.0000+00	-1.3090+02
18	0.0000+00	-1.3090+02
19	0.0000+00	-1.3090+02
20	0.0000+00	-1.3090+02
21	0.0000+00	-1.3090+02
22	0.0000+00	-1.3090+02
23	0.0000+00	-1.3090+02
24	0.0000+00	-1.3090+02
25	0.0000+00	-1.3090+02
26	0.0000+00	-9.1650+01
27	0.0000+00	-9.1650+01
28	0.0000+00	-9.1650+01



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

```

=====
MICROFEAP-P1          DATE: 14-03-1998          (COMB) P.1
PROJECT : FORTAL      FILENAME: ts
AUTHORITY: IF R HARTONO    ENGINEER: JONI dan JONO
=====

```

```

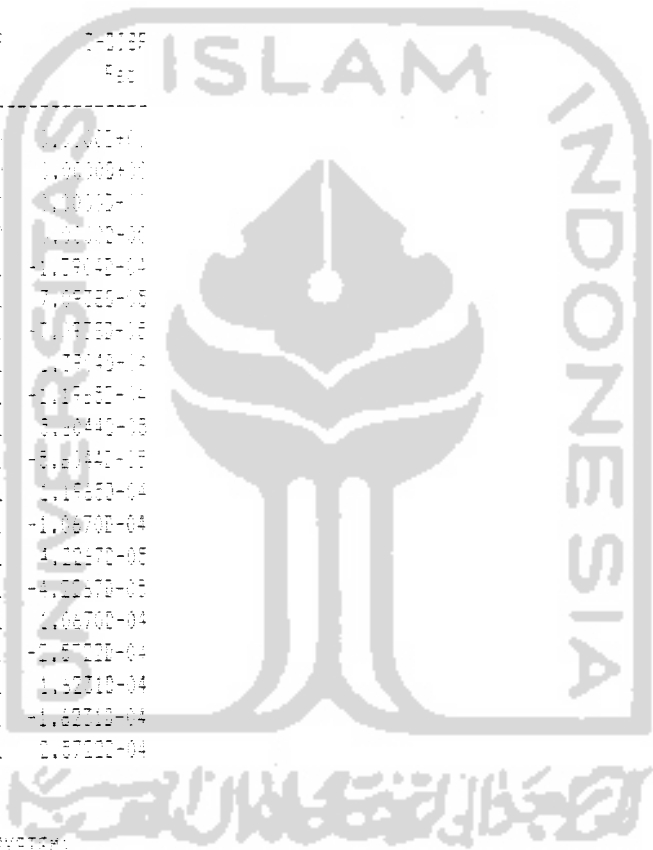
*****
1
: COMBINATION :
1
*****

```

DISPLACEMENT COMBINATION (CO-FRAME SYSTEM)

LOAD FACTOR : 1

NODE	1-CO18F mm	2-CO18F mm	3-CO18F mm
1	0.00000+00	0.00000+00	0.00000+00
2	0.00000+00	0.00000+00	0.00000+00
3	0.00000+00	0.00000+00	0.00000+00
4	0.00000+00	0.00000+00	0.00000+00
5	47.18470+00	-4.73800+01	-4.73840+01
6	47.87000+04	-47.78440+01	-7.78380+05
7	0.87000+04	-47.78440+01	-7.78380+05
8	0.18470+00	-4.73800+01	-4.73840+01
9	0.88000+04	-47.87950+01	-4.73840+01
10	40.18470+05	-47.87950+01	-8.78440+05
11	0.88180+05	-47.87950+01	-8.78440+05
12	-4.88000+04	-47.88990+01	-4.73850+04
13	-4.88500+00	-47.88460+01	-4.73870+04
14	-4.84570+03	-5.73870+01	-4.73870+05
15	0.84570+05	-5.73870+01	-4.73870+05
16	4.88900+00	-47.88460+01	-4.73870+04
17	0.88900+00	-5.77800+01	-4.87300+04
18	0.74700+00	-5.77170+01	-4.82310+04
19	-0.74700+03	-5.77170+01	-4.82310+04
20	-0.88000+02	-5.77800+01	-4.87300+04



STRESS COMBINATION (CO-FRAME SYSTEM)

LOAD FACTOR : 1

ELEM	NO HINGE	SECTION (mm)	AXIAL F. (N)	SHEAR (N)	MOMENT (N-mm)
1	0	0.00	-1.42980+06	-2.83800+04	4.77850+07
		625.00	-1.42980+06	-2.83800+04	5.00450+07
		1250.00	-1.42980+06	-2.83800+04	1.23060+07
		1875.00	-1.42980+06	-2.83800+04	-5.43350+06
		2500.00	-1.42980+06	-2.83800+04	-2.31300+07
		3125.00	-1.42980+06	-2.83800+04	-4.39100+07
		3750.00	-1.42980+06	-2.83800+04	-5.86520+07
		4375.00	-1.42980+06	-2.83800+04	-7.63810+07
		5000.00	-1.42980+06	-2.83800+04	-9.41310+07

MICROFEAP-P1

DATE: 04-03-1996

(COMB) P.2

PROJECT : PORTAL
 AUTHORITY: IR R HARTONO

FILENAME: ta
 ENGINEER: JONI dan JOKO

STRESS COMBINATION (2D-FRAME SYSTEM)

LOAD FACTOR : 1

ELEM	MA	HINGE	SECTION (mm)	AXIAL F. (N)	SHEAR (N)	MOMENT (N-mm)
2	3		0.00	-2.2035D+06	1.4124D+04	-2.3486D+07
			625.00	-2.2035D+06	1.4124D+04	-1.4659D+07
			1250.00	-2.2035D+06	1.4124D+04	-5.8318D+06
			1875.00	-2.2035D+06	1.4124D+04	2.9956D+06
			2500.00	-2.2035D+06	1.4124D+04	1.1823D+07
			3125.00	-2.2035D+06	1.4124D+04	2.0650D+07
			3750.00	-2.2035D+06	1.4124D+04	2.9478D+07
			4375.00	-2.2035D+06	1.4124D+04	3.8305D+07
			5000.00	-2.2035D+06	1.4124D+04	4.7132D+07
3			0.00	-2.2035D+06	-1.4124D+04	2.3486D+07
			625.00	-2.2035D+06	-1.4124D+04	1.4659D+07
			1250.00	-2.2035D+06	-1.4124D+04	5.8318D+06
			1875.00	-2.2035D+06	-1.4124D+04	-2.9956D+06
			2500.00	-2.2035D+06	-1.4124D+04	-1.1823D+07
			3125.00	-2.2035D+06	-1.4124D+04	-2.0650D+07
			3750.00	-2.2035D+06	-1.4124D+04	-2.9478D+07
			4375.00	-2.2035D+06	-1.4124D+04	-3.8305D+07
			5000.00	-2.2035D+06	-1.4124D+04	-4.7132D+07
4	3		0.00	-1.4298D+06	2.8383D+04	-4.7788D+07
			625.00	-1.4298D+06	2.8383D+04	-3.0045D+07
			1250.00	-1.4298D+06	2.8383D+04	-1.2302D+07
			1875.00	-1.4298D+06	2.8383D+04	5.4333D+06
			2500.00	-1.4298D+06	2.8383D+04	2.7173D+07
			3125.00	-1.4298D+06	2.8383D+04	4.0913D+07
			3750.00	-1.4298D+06	2.8383D+04	5.8652D+07
			4375.00	-1.4298D+06	2.8383D+04	7.6391D+07
			5000.00	-1.4298D+06	2.8383D+04	9.4131D+07
5	3		0.00	-1.0523D+06	-7.9565D+04	1.6317D+08
			500.00	-1.0523D+06	-7.9565D+04	1.2339D+08
			1000.00	-1.0523D+06	-7.9565D+04	8.3605D+07
			1500.00	-1.0523D+06	-7.9565D+04	4.3822D+07
			2000.00	-1.0523D+06	-7.9565D+04	4.0399D+06
			2500.00	-1.0523D+06	-7.9565D+04	-3.5743D+07
			3000.00	-1.0523D+06	-7.9565D+04	-7.5525D+07
			3500.00	-1.0523D+06	-7.9565D+04	-1.1531D+08
			4000.00	-1.0523D+06	-7.9565D+04	-1.5509D+08
6	3		0.00	-1.5991D+06	3.9801D+04	-8.2704D+07
			500.00	-1.5991D+06	3.9801D+04	-6.2804D+07
			1000.00	-1.5991D+06	3.9801D+04	-4.2904D+07
			1500.00	-1.5991D+06	3.9801D+04	-2.3003D+07
			2000.00	-1.5991D+06	3.9801D+04	-3.1027D+06
			2500.00	-1.5991D+06	3.9801D+04	1.6798D+07

MICROFEAP-P1

DATE: 04-03-1996

<COMB> P.3

PROJECT : PORTAL

FILENAME: ta

AUTHORITY: IR R HARTONO

ENGINEER: JONI dan JOYO

STRESS COMBINATION (2D-FRAME SYSTEM)

LOAD FACTOR : 1

ELEM	MA	HINGE SECTION (mm)	AXIAL F. (N)	SHEAR (N)	MOMENT (N-mm)
6	3	3000.00	-1.5991D+06	3.9801D+04	3.6698D+07
		3500.00	-1.5991D+06	3.9801D+04	5.6599D+07
		4000.00	-1.5991D+06	3.9801D+04	7.6499D+07
7	3	0.00	-1.5991D+06	-3.9801D+04	8.2704D+07
		500.00	-1.5991D+06	-3.9801D+04	6.2804D+07
		1000.00	-1.5991D+06	-3.9801D+04	4.2904D+07
		1500.00	-1.5991D+06	-3.9801D+04	2.3003D+07
		2000.00	-1.5991D+06	-3.9801D+04	3.1827D+06
		2500.00	-1.5991D+06	-3.9801D+04	-1.6758D+07
		3000.00	-1.5991D+06	-3.9801D+04	-3.6698D+07
		3500.00	-1.5991D+06	-3.9801D+04	-5.6599D+07
		4000.00	-1.5991D+06	-3.9801D+04	-7.6499D+07
8	3	0.00	-1.0523D+06	7.9565D+04	-1.4017D+08
		500.00	-1.0523D+06	7.9565D+04	-1.2077D+08
		1000.00	-1.0523D+06	7.9565D+04	-9.2809D+07
		1500.00	-1.0523D+06	7.9565D+04	-4.3920D+07
		2000.00	-1.0523D+06	7.9565D+04	-4.0399D+06
		2500.00	-1.0523D+06	7.9565D+04	3.5743D+07
		3000.00	-1.0523D+06	7.9565D+04	7.8813D+07
		3500.00	-1.0523D+06	7.9565D+04	1.1551D+08
		4000.00	-1.0523D+06	7.9565D+04	1.5509D+08
9	3	0.00	-6.6509D+05	-7.1614D+04	1.4597D+08
		500.00	-6.6509D+05	-7.1614D+04	1.1013D+08
		1000.00	-6.6509D+05	-7.1614D+04	7.4213D+07
		1500.00	-6.6509D+05	-7.1614D+04	3.8505D+07
		2000.00	-6.6509D+05	-7.1614D+04	2.6959D+06
		2500.00	-6.6509D+05	-7.1614D+04	-3.5109D+07
		3000.00	-6.6509D+05	-7.1614D+04	-6.8916D+07
		3500.00	-6.6509D+05	-7.1614D+04	-1.0473D+08
		4000.00	-6.6509D+05	-7.1614D+04	-1.4053D+08
10	3	0.00	-1.0043D+06	3.0713D+04	-6.4296D+07
		500.00	-1.0043D+06	3.0713D+04	-4.8940D+07
		1000.00	-1.0043D+06	3.0713D+04	-3.3583D+07
		1500.00	-1.0043D+06	3.0713D+04	-1.8227D+07
		2000.00	-1.0043D+06	3.0713D+04	-2.8702D+06
		2500.00	-1.0043D+06	3.0713D+04	1.2486D+07
		3000.00	-1.0043D+06	3.0713D+04	2.7643D+07
		3500.00	-1.0043D+06	3.0713D+04	4.3199D+07
		4000.00	-1.0043D+06	3.0713D+04	5.8556D+07
11	3	0.00	-1.0043D+06	-3.0713D+04	6.4296D+07
		500.00	-1.0043D+06	-3.0713D+04	4.8940D+07

MICROFEAP-P1

DATE: 04-17-1991

CONC: 5,4

PROJECT : POSTAL

FILENAME: ta

AUTHOR: D. A. HARTONO

ENGINEER: CONI dan JONG

STRESS COMBINATION: 100-FRAME SYSTEM

LOAD FACTOR : 1

ELEM	HA	MINBE	SECTION (mm)	AXIAL F. (N)	SHEAR (N)	MOMENT (N-mm)
11	Z		1000.00	-1.00470+06	-3.07170+04	1.35800+07
			1500.00	-1.00470+06	-3.07170+04	1.82270+07
			2000.00	-1.00470+06	-3.07170+04	2.28740+07
			2500.00	-1.00470+06	-3.07170+04	-1.24880+07
			3000.00	-1.00470+06	-3.07170+04	-2.78470+07
			3500.00	-1.00470+06	-3.07170+04	-4.31970+07
			4000.00	-1.00470+06	-3.07170+04	-5.85560+07
12	Z		0.00	-6.85070+05	7.126140+04	-1.45570+06
			500.00	-6.85070+05	7.126140+04	-1.73100+06
			1000.00	-6.85070+05	7.126140+04	-7.43210+07
			1500.00	-6.85070+05	7.126140+04	-7.35020+07
			2000.00	-6.85070+05	7.126140+04	-2.89930+06
			2500.00	-6.85070+05	7.126140+04	3.71090+07
			3000.00	-6.85070+05	7.126140+04	5.59180+07
13	Z		0.00	-2.70470+05	-1.08000+05	1.58000+06
			500.00	-2.70470+05	-1.08000+05	1.71640+06
			1000.00	-2.70470+05	-1.08000+05	7.89700+07
			1500.00	-2.70470+05	-1.08000+05	1.26050+07
			2000.00	-2.70470+05	-1.08000+05	-3.17600+07
			2500.00	-2.70470+05	-1.08000+05	-8.58250+07
			3000.00	-2.70470+05	-1.08000+05	-1.78690+06
14	Z		0.00	-4.13940+05	6.43760+04	-1.07740+06
			500.00	-4.13940+05	6.43760+04	-7.18540+07
			1000.00	-4.13940+05	6.43760+04	-3.90640+07
			1500.00	-4.13940+05	6.43760+04	-7.17820+06
			2000.00	-4.13940+05	6.43760+04	2.50100+07
			2500.00	-4.13940+05	6.43760+04	5.71980+07
			3000.00	-4.13940+05	6.43760+04	8.93860+07
15	Z		0.00	-4.13940+05	-6.43760+04	1.07740+06
			500.00	-4.13940+05	-6.43760+04	7.18540+07
			1000.00	-4.13940+05	-6.43760+04	3.93640+07
			1500.00	-4.13940+05	-6.43760+04	7.17820+06
			2000.00	-4.13940+05	-6.43760+04	-2.50100+07
			2500.00	-4.13940+05	-6.43760+04	-5.71980+07
			3000.00	-4.13940+05	-6.43760+04	-8.93860+07

MICROFEAP-P1

DATE: 04-03-1996

(COMB) F.5

PROJECT : PORTAL

FILENAME: ts

AUTHORITY: IR R HARTONO

ENGINEER: JUNI dan JONG

STRESS COMBINATION (2D-FRAME SYSTEM)

LOAD FACTOR : 1

ELEM	MA HINGE	SECTION (mm)	AXIAL F. (N)	SHEAR (N)	MOMENT (N-mm)
15	0	4000.00	-4.10940+05	-6.43720+04	-1.57760+08
16	0	0.00	-2.73430+05	1.08330+05	-1.05300+08
		500.00	-2.73430+05	1.08330+05	-1.31140+08
		1000.00	-2.73430+05	1.08330+05	-7.69720+07
		1500.00	-2.73430+05	1.08330+05	-2.08040+07
		2000.00	-2.73430+05	1.08330+05	5.11600+07
		2500.00	-2.73430+05	1.08330+05	3.55350+07
		3000.00	-2.73430+05	1.08330+05	1.09950+08
		3500.00	-2.73430+05	1.08330+05	1.70360+08
		4000.00	-2.73430+05	1.08330+05	2.48020+08
17	1	0.00	5.11820+04	2.77450+05	-2.57300+08
		857.14	5.11820+04	2.76260+05	1.81660+07
		1714.29	5.11820+04	1.83040+05	1.97440+08
		2571.43	5.11820+04	4.18130+04	2.80520+08
		3428.57	5.11820+04	-7.14130+04	2.67400+08
		4285.71	5.11820+04	-1.97840+05	1.85100+08
		5142.86	5.11820+04	-2.95880+05	-4.74060+07
		6000.00	5.11820+04	-4.08090+05	-2.49100+08
18	1	0.00	2.55050+04	1.96390+05	-2.19260+08
		428.57	2.55050+04	1.40280+05	-1.47120+08
		857.14	2.55050+04	8.41690+04	-9.90220+07
		1285.71	2.55050+04	2.80580+04	-7.49740+07
		1714.29	2.55050+04	-2.80580+04	-7.49740+07
		2142.86	2.55050+04	-8.41690+04	-9.90220+07
		2571.43	2.55050+04	-1.40280+05	-1.47120+08
		3000.00	2.55050+04	-1.96390+05	-2.19260+08
19	1	0.00	5.11820+04	4.08090+05	-3.49100+08
		857.14	5.11820+04	2.95880+05	-4.74060+07
		1714.29	5.11820+04	1.83640+05	1.58100+08
		2571.43	5.11820+04	7.14130+04	2.67400+08
		3428.57	5.11820+04	-4.08130+04	2.80520+08
		4285.71	5.11820+04	-1.83040+05	1.97440+08
		5142.86	5.11820+04	-2.65280+05	1.81660+07
		6000.00	5.11820+04	-3.77490+05	-2.57300+08
20	1	0.00	-7.95110+03	2.87160+05	-3.01020+08
		857.14	-7.95110+03	2.74950+05	-1.72390+07
		1714.29	-7.95110+03	1.62730+05	1.70040+08
		2571.43	-7.95110+03	5.05050+04	2.61730+08
		3428.57	-7.95110+03	-6.17170+04	2.56530+08
		4285.71	-7.95110+03	-1.73940+05	1.65830+08
		5142.86	-7.95110+03	-2.86170+05	-4.12560+07

=====
 MICROFEAP-F1 DATE: 04-03-1998 (COMB) P.6
 PROJECT : FORTAL FILENAME: ta
 AUTHORITY: IR. B. HARTONO ENGINEER: JONI dan JOJO
 =====

STRESS COMBINATION (2D-FRAME SYSTEM)
 LOAD FACTOR : 1

ELEM	MA	HINGE	SECTION (mm)	AXIAL F. (N)	SHEAR (N)	MOMENT (N-mm)
20	1		6000.00	-7.95110+07	-7.96370+05	-3.34640+03
21	1		0.00	1.10360+07	1.96370+05	-1.97350+08
			428.57	1.10360+07	1.40260+05	-1.21700+05
			857.14	1.10360+07	8.41670+04	-7.36050+07
			1285.71	1.10360+07	2.80560+04	-4.95570+07
			1714.29	1.10360+07	-2.80560+04	-4.95560+07
			2142.86	1.10360+07	-8.41670+04	-7.36050+07
			2571.43	1.10360+07	-1.40260+05	-1.21700+08
			3000.00	1.10360+07	-1.96370+05	-1.97350+08
22	1		0.00	-7.95110+07	7.96370+05	-3.34640+03
			857.14	-7.95110+07	2.86170+05	-4.10360+07
			1714.29	-7.95110+07	1.75940+05	1.55970+08
			2571.43	-7.95110+07	6.17170+04	2.56970+08
			3428.57	-7.95110+07	-5.85020+04	2.81770+08
			4285.71	-7.95110+07	-1.82770+05	1.70740+08
			5142.86	-7.95110+07	-2.74960+05	-1.70770+08
			6000.00	-7.95110+07	-7.96370+05	-3.34640+03
23	1		0.00	3.67130+04	7.95160+05	-7.35970+08
			857.14	3.67130+04	2.79470+05	-3.32270+07
			1714.29	3.67130+04	1.67210+05	1.50170+08
			2571.43	3.67130+04	5.49790+04	2.48410+08
			3428.57	3.67130+04	-5.72460+04	2.47440+08
			4285.71	3.67130+04	-1.59470+05	1.50260+08
			5142.86	3.67130+04	-2.81700+05	-4.30810+07
			6000.00	3.67130+04	-7.95920+05	-3.32670+08
24	1		0.00	3.05460+03	1.96370+05	-1.70070+08
			428.57	3.05460+03	1.40260+05	-9.31670+07
			857.14	3.05460+03	8.41670+04	-5.00920+07
			1285.71	3.05460+03	2.80560+04	-2.50440+07
			1714.29	3.05460+03	-2.80560+04	-2.50440+07
			2142.86	3.05460+03	-8.41670+04	-5.00920+07
			2571.43	3.05460+03	-1.40260+05	-9.81890+07
			3000.00	3.05460+03	-1.96370+05	-1.70070+08
25	1		0.00	3.67180+04	7.95920+05	-3.32670+08
			857.14	3.67180+04	2.81700+05	-4.30810+07
			1714.29	3.67180+04	1.69470+05	1.50290+08
			2571.43	3.67180+04	5.72460+04	2.47440+08
			3428.57	3.67180+04	-5.49500+04	2.48410+08
			4285.71	3.67180+04	-1.67210+05	1.50190+08
			5142.86	3.67180+04	-2.79470+05	-3.32240+07
			6000.00	3.67180+04	-7.91660+05	-3.35970+08



MICROFEAP-P1

DATE: 04-03-1996

<COMB> P.7

PROJECT : PORTAL
 AUTHORITY: IR R HARTONO

FILENAME: ts
 ENGINEER: JONI dan JKGO

STRESS COMBINATION (2D-FRAME SYSTEM)

LOAD FACTOR : 1

ELEM	MA	HINGE	SECTION (mm)	AXIAL F. (N)	SHEAR (N)	MOMENT (N-mm)
26	Z	0.00		-1.0833D+05	2.7343D+05	-2.4802D+08
		857.14		-1.0833D+05	1.9488D+05	-4.7319D+07
		1714.29		-1.0833D+05	1.1632D+05	8.6050D+07
		2571.43		-1.0833D+05	3.7761D+04	1.5208D+08
		3428.57		-1.0833D+05	-4.0796D+04	1.5078D+08
		4285.71		-1.0833D+05	-1.1935D+05	8.2148D+07
		5142.86		-1.0833D+05	-1.9791D+05	-5.3822D+07
		6000.00		-1.0833D+05	-2.7647D+05	-2.5713D+08
27	Z	0.00		-4.3955D+04	1.3748D+05	-1.0336D+08
		428.57		-4.3955D+04	9.8196D+04	-5.2864D+07
		857.14		-4.3955D+04	5.8918D+04	-1.9196D+07
		1285.71		-4.3955D+04	1.9539D+04	-2.3626E+06
		1714.29		-4.3955D+04	-1.9636D+04	-2.3627E+06
		2142.86		-4.3955D+04	-5.8918D+04	-1.9196D+07
		2571.43		-4.3955D+04	-9.8196D+04	-5.2864D+07
		3000.00		-4.3955D+04	-1.3748D+05	-1.0336D+08
28	Z	0.00		-1.0833D+05	2.7647D+05	-2.5713D+08
		857.14		-1.0833D+05	1.9791D+05	-5.3822D+07
		1714.29		-1.0833D+05	1.1935D+05	8.2148D+07
		2571.43		-1.0833D+05	4.0796D+04	1.5078D+08
		3428.57		-1.0833D+05	-3.7761D+04	1.5208D+08
		4285.71		-1.0833D+05	-1.1632D+05	8.6050D+07
		5142.86		-1.0833D+05	-1.9488D+05	-4.7319D+07
		6000.00		-1.0833D+05	-2.7343D+05	-2.4802D+08

SUPPORT REACTIONS (2D-FRAME SYSTEM)

LOAD FACTOR : 1

NODE	1-REACTION (N)	2-REACTION (N)	3-REACTION (N-mm)
1	2.8383D+04	1.4298D+06	-4.7785D+07
2	-1.4124D+04	2.2035D+06	2.3486D+07
3	1.4124D+04	2.2035D+06	-2.3486D+07
4	-2.8383D+04	1.4298D+06	4.7785D+07

VOLUME OF MATERIALS (2D-FRAME SYSTEM)

SETS	VOLUME (mm ³)
1	1.0200D+10
2	1.9000D+09

=====

MICROFEAP-P1	DATE: 04-07-1998	SCOMB P.8
PROJECT : PORTAL		FILENAME: ta
AUTHORITY: IR B HARTONO		ENGINEER: JONI dan JOAO

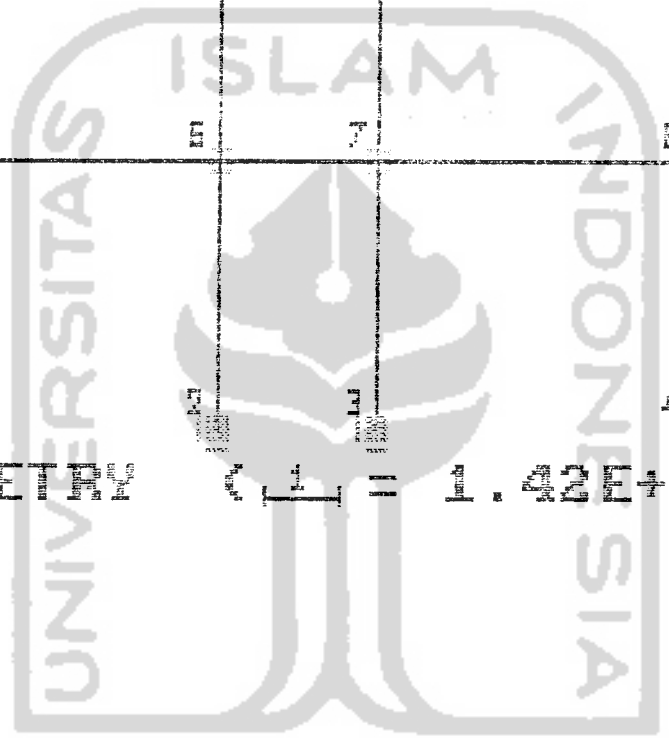
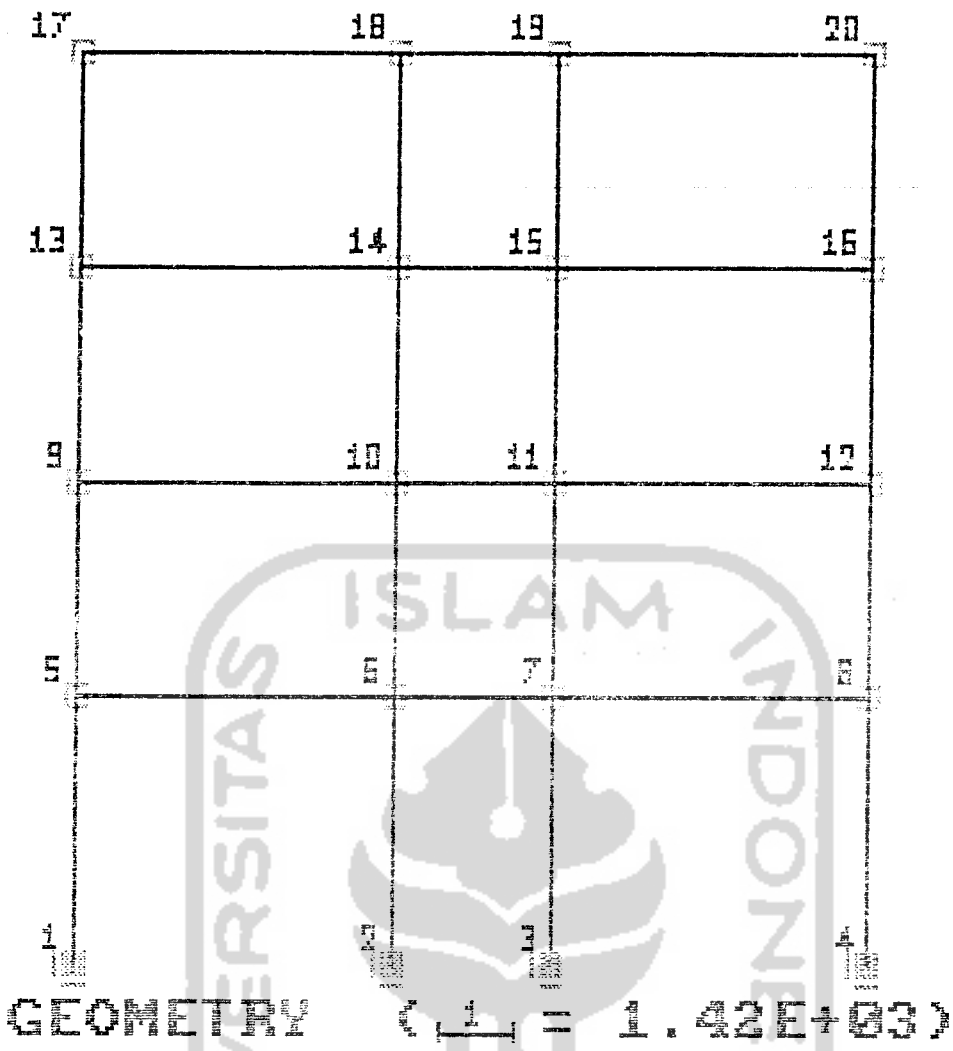
=====

VOLUME OF MATERIALS (2D-FRAME SYSTEM):

SETS	VOLUME (mm ³)
------	------------------------------

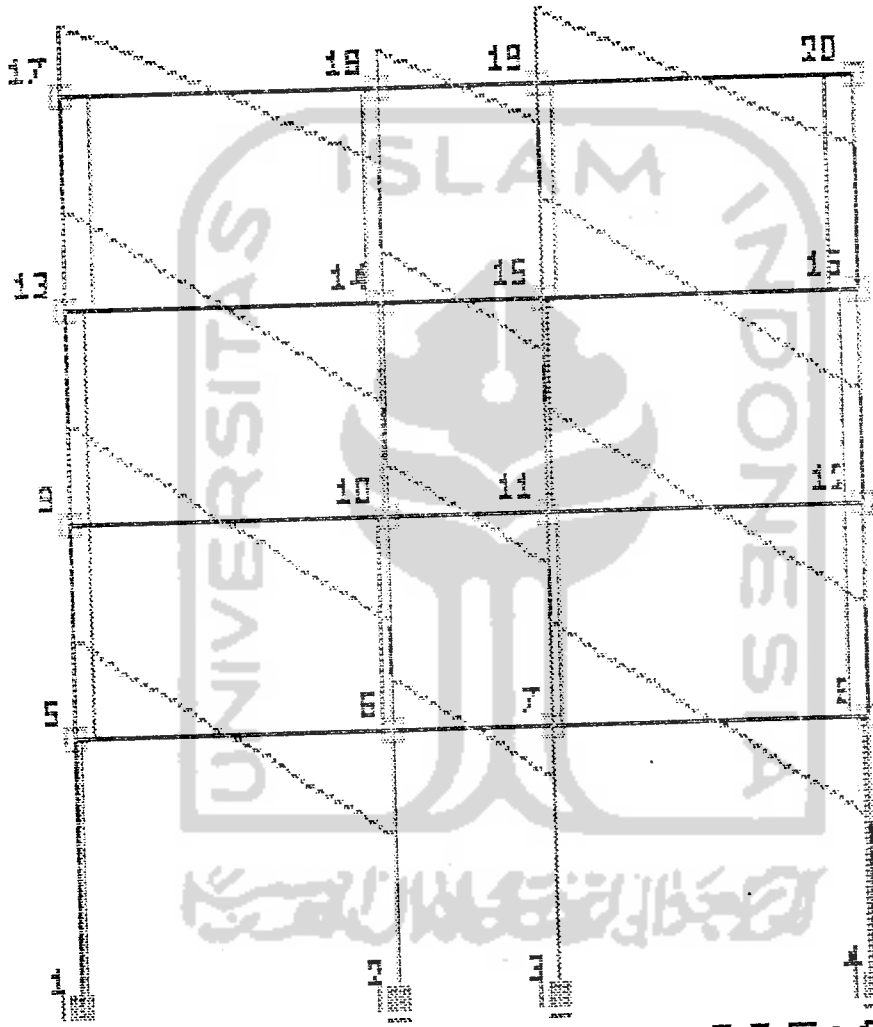
0 1.35000E+10



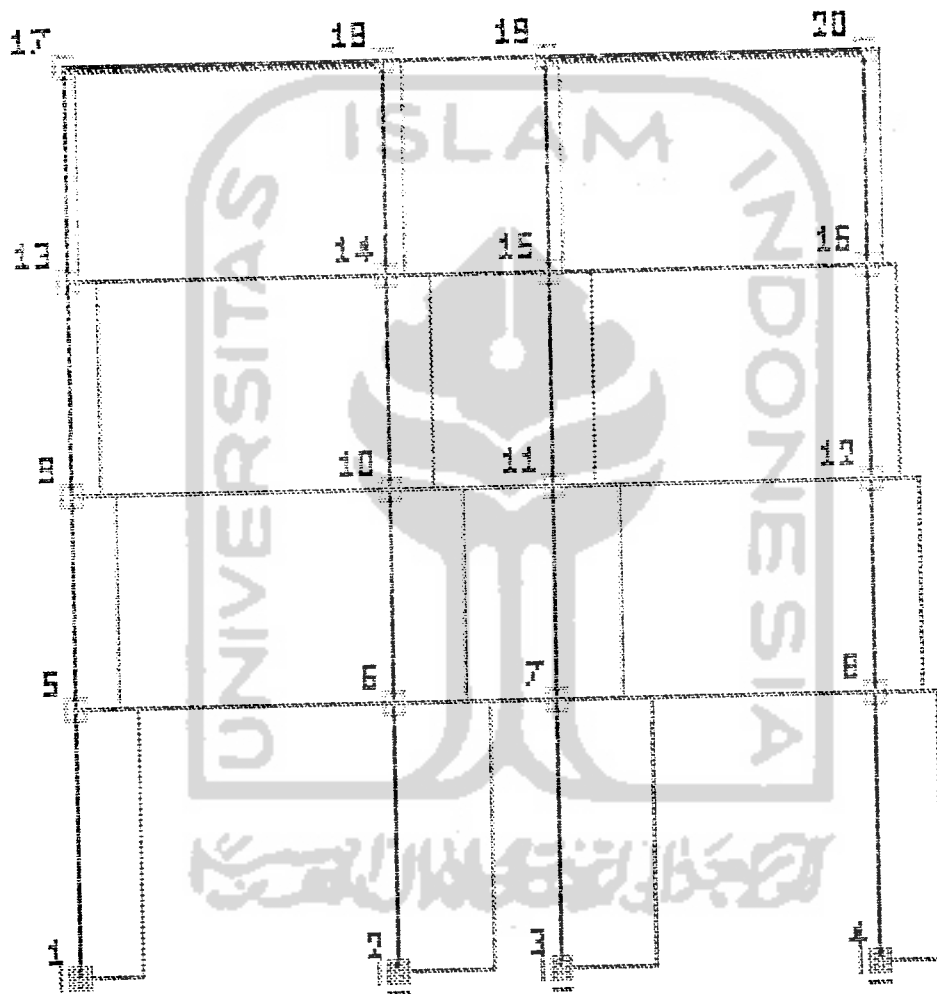


UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

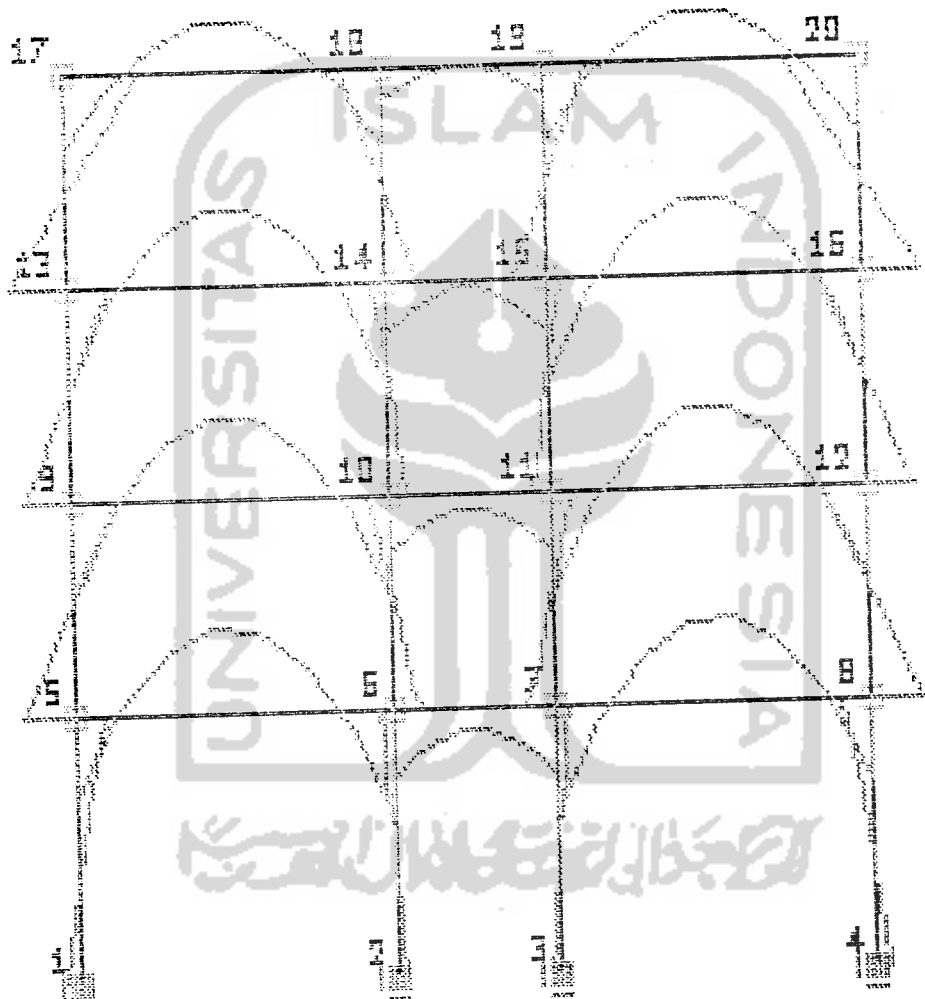
جامعة الإسلام في إندونيسيا



SHEAR FORCE ($\frac{1}{1} = 2.89E+05$)



NORMAL FORCE (1 = 1.73E+06)



MOMENT

$$C_1 = 2.47E + 0.88$$

