

✓

TUGAS AKHIR
ANALISIS DAN DISAIN
STRUKTUR *FLAT PLATE* BETON PRATEGANG PASCA TARIK
DENGAN *UNBONDED TENDON*



Oleh :

SUMNGANI

No. Mhs. : 92 310 094
NIRM : 920051013114120094

BUDI SETIYANTO

No. Mhs. : 92 310 276
NIRM : 920051013114120276

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

1998

TUGAS AKHIR
ANALISIS DAN DISAIN
STRUKTUR *FLAT PLATE* BETON PRATEGANG PASCA TARIK
DENGAN *UNBONDED TENDON*

Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan Dalam Rangka
Memperoleh Derajat Sarjana Pada Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta

Oleh :

SUMNGANI

NO. MHS. : 92 310 094

NIRM. : 920051013114120094

BUDISETIYANTO

NO. MHS. : 92 310 276

NIRM. : 920051013114120276

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

1998

PENGESAHAN TUGAS AKHIR
ANALISIS DAN DISAIN
STRUKTUR *FLAT PLATE* BETON PRATEGANG PASCA TARIK
DENGAN *UNBONDED TENDON*

OLEH :

SUMNGANI

NO. MHS. : 92 310 094
NIRM. : 920051013114120094


BUDI SETIYANTO

NO. MHS. : 92 310 276
NIRM. : 920051013114120276

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

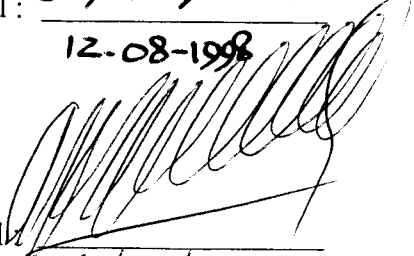
1. IR. H. M. TEGUH, MSCE

Dosen Pembimbing

Tanggal : 
12-08-1998

2. IR. A. KADIR ABOE, MS

Dosen Pembimbing

Tanggal : 
12/08/98

PRAKATA

Assalaamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur dipanjatkan kehadiran Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh derajat kesarjanaan jenjang Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Tugas Akhir ini berjudul **“Analisis dan Disain Struktur *Flat Plate* Beton Prategang Pasca Tarik dengan *Unbonded Tendon*”** (*Design and Analysis of Post-tensioned Prestressed Flat Plate Structure with Unbonded Tendon*), dengan tujuan untuk menganalisa dan merencanakan *flat plate* beton prategang yang aman terhadap gaya-gaya yang bekerja.

Selama mengerjakan Tugas Akhir ini telah banyak mendapat bantuan, bimbingan dan pengarahan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, perkenankan untuk menyampaikan rasa terima terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Widodo, MSCE., PhD., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
2. Bapak Ir. Tadjuddin BMA, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
3. Bapak Ir. H.M. Teguh, MSCE., selaku Dosen Pembimbing I,
4. Bapak Ir. A. Kadir Aboe, MS., selaku Dosen Pembimbing II,

5. yang tercinta ayahanda, ibunda, kakak dan adik semua, atas nasehat, dorongan, serta semangat yang telah diberikan,
6. semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Semoga Allah SWT. Memberikan balasan yang lebih baik dan semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua, Amin.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Agustus 1998

Penulis

ABSTRAK

Penggunaan pelat dengan balok menyebabkan fungsi tinggi ruangan tidak optimal karena tonjolan balok tersebut. Perlu diusahakan pembuatan pelat yang ramping dan memenuhi persyaratan kekuatan, keuntungan lain yaitu tinggi total bangunan berkurang sehingga berat total struktur dapat dikurangi. Untuk menyelesaikan permasalahan di atas dapat digunakan *flat plate* beton prategang. Untuk itu perlu adanya suatu analisis dan disain *flat plate* beton prategang. Analisis yang dimaksud meliputi analisis tegangan beton (saat transfer dan layan), kapasitas penampang terhadap lentur, geser, lendutan dan disain daerah ujung. Dalam tugas akhir ini beberapa komponen penentu kekuatan, diantaranya penetapan eksentrisitas tendon dan perkiraan besar tegangan beton akan dianalisis dengan lima variasi sehingga didapatkan disain yang efektif. Distribusi momen dianalisa dengan pendekatan portal ekuivalen (*equivalent frame method*), yang dilanjutkan perhitungan mekanika dengan metode Cross (*cross method*), sedangkan konsep prategang dilakukan dengan metode perimbangan beban (*load balancing method*). Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa semakin besar asumsi tegangan rata-rata dan eksentrisitas, maka kapasitas momen nominal penampang juga akan semakin besar. Sedangkan lendutan yang terjadi akan semakin kecil, hal ini dikarenakan beban yang tidak terimbangi (*unbalance load*) semakin kecil. Semakin besar tegangan rata-rata maka kapasitas geser beton juga akan semakin besar, gaya geser yang terjadi yang melebihi kapasitas geser beton diantisipasi dengan menempatkan tulangan geser berupa sengkang. Pada daerah ujung (*endblock*) ditempatkan tulangan sengkang untuk mengantisipasi tegangan yang terjadi akibat transfer gaya prategang dan menempatkan pelat angkur dengan memperhitungkan kekuatan beton baik pada saat transfer maupun layan.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PRAKATA	iii
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Tujuan	2
1.3 Manfaat	2
1.4 Batasan Masalah dan Ruang Lingkup	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Konsep Dasar Beton Prategang	4
2.1.1 Sistem Prategang untuk Mengubah Beton Menjadi Bahan yang Elastis	4
2.1.2 Sistem Prategang untuk Kombinasi Baja Mutu Tinggi dengan Beton	7
2.1.3 Sistem Prategang untuk Mencapai Perimbangan Beban (<i>load balancing</i>)	8

2.2 Cara Penegangan	10
2.2.1 Pratarik (<i>pre-tensioning</i>)	10
2.2.2 Pasca tarik (<i>post-tensioning</i>)	10
2.3 Tahap-tahap Pembebanan pada Beton Prategang	11
2.4 Kehilangan Gaya Prategang	12
2.5 Pengertian <i>Flat Plate</i> Beton Prategang	13
2.6 Karakteristik <i>Flat Plate</i> Beton Prategang	14
2.6.1 Perilaku	14
2.6.2 Jalur Pembebanan	14
2.6.3 Distribusi Tendon	15
2.7 Pengangkuran Ujung (<i>end blocks</i>)	16

BAB III ANALISIS DAN DISAIN *FLAT PLATE* BETON PRATEGANG

3.1 Pengertian	18
3.2 Disain Pendahuluan	18
3.2.1 Analisis Penampang <i>Flat Plate</i> Beton Prategang	18
3.2.2 Penempatan Profil Tendon	19
3.2.3 Tegangan Rata-rata	20
3.3 Analisis Struktur <i>Flat Plate</i>	21
3.3.1 Pendekatan Portal Ekuivalen	21
3.3.2 Momen Disain	23
3.4 Analisis Lentur	24
3.4.1 Tegangan Lentur Ijin	24
3.4.2 Analisis Lentur pada Saat Kekuatan Batas (<i>ultimit</i>)	26
3.5 Transfer Momen dari Pelat ke Kolom	29

3.6 Analisis Geser	34
3.6.1 Kapasitas Geser Beton	34
3.6.2 Disain Penulangan Geser	35
3.7 Analisis Lendutan	40
3.8 Perhitungan <i>End Block</i>	42
3.9 <i>Flowchart</i> Disain <i>Flat Plate</i> Beton Prategang	45
BAB IV PENERAPAN DAN PERHITUNGAN	
4.1 Penerapan	51
4.2 Perhitungan	52
4.2.1 Perhitungan Portal 2A - 2D	52
4.2.2 Perhitungan Tulangan Geser	89
4.2.3 Perhitungan Lendutan	92
4.2.4 Perencanaan Daerah Ujung (<i>endblock</i>)	97
BAB V PEMBAHASAN	
5.1 Lentur	100
5.2 Geser	102
5.3 Lendutan	103
5.4 <i>Endblock</i>	105
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1 Kesimpulan	106
6.2 Saran-saran	107

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Konsentris	5
2.2 Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Eksentris	6
2.3 Kopel Penahan Internal Beton Prategang	7
2.4 Balok Prategang Dengan Tumpuan Sederhana	8
2.5 Konsep <i>Flat Plate</i> dijadikan Portal Ekuivalen	14
3.1 Tata Letak Tendon Ideal	19
3.2 Tata Letak Tendon Sebenarnya	20
3.3 Batang-batang Rangka Ekuivalen	21
3.4 Blok Tegangan dan Regangan Batas yang Diasumsikan	27
3.5 Bidang Kritis Akibat Momen Transfer Sebagai Lentur	30
3.6 Distribusi Tegangan Geser pada Kolom Interior	31
3.7 Distribusi Tegangan Geser pada Kolom Eksterior	32
3.8 Distribusi Tegangan Geser pada Kolom Sudut	33
3.9 Penampang Kritis Geser <i>Flat Plate</i>	38
3.10 Analisis Lendutan pada <i>Flat Plate</i>	40
3.11 Tegangan pada <i>Endblock</i>	43
4.1 Denah <i>Flat Plate</i>	52
4.2 Penempatan Profil Tendon	53
4.3 Portal 2A-2D	57

4.4	Grafik hubungan antara jumlah tendon dengan fpc portal 2A-2D	73
4.5	Grafik hubungan antara tegangan beton saat layan dengan fpc portal 2A-2D	73
4.6	Grafik hubungan antara kapasitas momen dengan fpc portal 2A-2D	73
4.7	Grafik hubungan antara tegangan geser dengan fpc portal 2A-2D	73
4.8	Grafik hubungan antara jumlah tendon dengan fpc portal 1A-1D	76
4.9	Grafik hubungan antara tegangan beton saat layan dengan fpc portal 1A-1D	76
4.10	Grafik hubungan antara kapasitas momen dengan fpc portal 1A-1D	76
4.11	Grafik hubungan antara gaya geser dengan fpc portal 1A-1D	76
4.12	Grafik hubungan antara jumlah tendon dengan fpc portal C1-C4	79
4.13	Grafik hubungan antara tegangan beton saat layan dengan fpc portal C1-C4	79
4.14	Grafik hubungan antara kapasitas momen dengan fpc portal C1-C4	79
4.15	Grafik hubungan antara tegangan geser dengan fpc portal C1-C4	79
4.16	Grafik hubungan antara jumlah tendon dengan fpc portal D1-D4	82
4.17	Grafik hubungan antara tegangan beton saat layan dengan fpc portal D1-D4	82
4.18	Grafik hubungan antara kapasitas momen dengan fpc portal D1-D4	82
4.19	Grafik hubungan antara tegangan geser dengan fpc portal D1-D4	82
4.20	Grafik hubungan antara beban dengan tebal penutup beton portal 2A-2D	85
4.21	Grafik hubungan antara tegangan beton saat layan dengan penutup beton portal 2A-2D	85
4.22	Grafik hubungan antara kapasitas momen dengan penutup beton portal 2A-2D.	85
4.23	Grafik hubungan antara gaya geser dengan penutup beton portal 2A-2D.....	85
4.24	Grafik hubungan antara beban dengan penutup beton portal C1-C4	88
4.25	Grafik hubungan antara tegangan beton saat layan dengan penutup beton	

portal C1-C4	88
4.26 Grafik hubungan antara kapasitas momen dengan penutup beton portal C1-C4..	88
4.27 Grafik hubungan antara gaya geser dengan penutup beton portal C1-C4	88
4.28 Penempatan Tulangan Geser	91
4.29 Diagram Tegangan dan Momen di Daerah Ujung	98

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
2.1	Macam-macam Kehilangan Prategang pada Struktur	12
2.2	Perkiraan Kehilangan Prategang	13
2.3	Prosentase Momen dari Jalur Kolom	15
3.1	Lendutan Maksimum	43
4.1	Distribusi Momen Sebagian Beban Mati	58
4.2	Distribusi Momen <i>Unbalance Load</i>	60
4.3	Distribusi Momen <i>Balance Load</i>	62
4.4	Distribusi Momen Beban Terfaktor	63
4.5	Momen Rencana Akhir	64
4.6	Perhitungan Portal 2A-2D	71
4.7	Perhitungan Portal 1A-1D	74
4.8	Perhitungan Portal C1-C4	77
4.9	Perhitungan Portal D1-D4	80
4.10	Perhitungan Portal 2A-2D dengan variasi pb	83
4.11	Perhitungan Portal C1-C4 dengan variasi pb	86
4.12	Hasil Perhitungan yang Digunakan untuk Disain	89
4.13	Perhitungan Tulangan Geser	91
4.14	Hasil Perhitungan Lendutan dengan Variasi pb	96
4.15	Perhitungan Tegangan dan Momen pada <i>Endblock</i>	97

DAFTAR NOTASI

- a = tinggi blok tegangan tekan ekivalen, mm
- a_p = jarak distribusi sengkang dari muka kolom, mm
- A_1 = luas pelat baja pada penjangkaran, mm²
- A_2 = luasan maksimum pelat angkur ekivalen, mm²
- A_c = luas penampang beton, mm²
- A_{ps} = luas tulangan pratekan dalam daerah tarik, mm²
- A_v = luas tulangan geser, mm²
- A_s = luas tulangan tarik non-pratekan, mm²
- b = lebar penampang tekan pelat beton yang ditinjau, mm
- b_o = penampang kritis di sisi kolom, mm
- c = jarak titik berat penampang terhadap serat terluar beton, mm
- C = konstanta penampang untuk menentukan kekakuan puntir
- c_1 = ukuran kolom persegi diukur dalam arah bentang momen yang dihitung, mm
- c_2 = ukuran kolom persegi diukur dalam arah melintang bentang momen yang dihitung, mm
- C_{AB} = jarak titik pusat penampang kritis ke sisi AB, mm
- C_{CD} = jarak titik pusat penampang kritis ke sisi CD, mm
- d = jarak dari serat terluar tekan ke pusat tulangan tarik, mm
- DF = faktor distribusi untuk analisa struktur
- e = eksentrisitas tendon terhadap titik berat penampang, mm
- E_c = modulus elastisitas beton, MPa
- E_s = modulus elastisitas baja, MPa
- E_{cs} = modulus elastisitas pelat beton, MPa

f'_c	= kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
f'_{ci}	= kuat tekan beton pada saat pemberian pratekan awal, MPa
f_{pc}	= nilai tegangan rata-rata yang diakibatkan oleh prategang efektif, MPa
f_{ps}	= tegangan dalam tulangan prategang pada kuat nominal, Mpa
f_{pu}	= kuat tarik tendon prategang, MPa
f_{se}	= tegangan efektif tulangan prategang, MPa
f_y	= kuat leleh tulangan non-prategang, MPa
f_t	= tegangan tarik beton, MPa
f_b	= tegangan desak beton, MPa
FEM	= momen jepit ujung, KNm
g	= jarak dari pusat berat penampang kritis terhadap pusat berat kolom, mm
h	= tinggi total komponen struktur, mm
h_v	= tinggi penampang profil geser, mm
I_c	= momen inersia penampang terhadap pusat penampang, mm ⁴
I_s	= momen inersia profil baja, mm ⁴
J_c	= momen inersia polar dari bidang geser kritis, mm ⁴
K_c	= kekakuan lentur kolom, momen per unit rotasi
K_s	= kekakuan lentur pelat, momen per unit rotasi
K_t	= kekakuan puntir komponen torsi struktur, momen per unit rotasi
l_t	= panjang penyaluran, mm
L	= lebar bentang, mm
l_v	= panjang dari lengan kepala geser, mm
M_n	= kuat momen nominal pada suatu penampang, KNm
M_p	= kuat momen plastis perlu dari penampang, KNm
M_v	= tahanan momen yang disumbangkan oleh tulangan kepala geser, KNm
M_{unb}	= momen <i>unbalance</i> , KNm

- M_t = momen tak seimbang beban ultimit, KNm
 M_u = momen akibat beban ultimit, KNm
 M_{bal} = momen akibat *balanced load*, KNm
 M_{unb} = momen akibat *unbalanced load*, KNm
 M_{Dsisa} = momen akibat sebagian beban mati yang tak terimbangi, KNm
 n = jumlah tulangan prategang
 N_c = gaya tarik pada beton akibat beban mati dan beban hidup tidak terfaktor, KN
 P_e = gaya prategang akhir setelah dikurangi kehilangan prategangan, KN
 P_o = gaya prategang awal, KN
 R = kehilangan gaya prategang total, %
 S = modulus penampang, mm³
 s = jarak distribusi tulangan, mm
 V_c = gaya geser yang disediakan beton, KN
 V_u = gaya geser ultimit pada penampang, KN
 V_s = kuat geser yang disediakan oleh tulangan geser, KN
 V_n = kuat geser nominal pada penampang, KN
 V_p = komponen vertikal dari gaya prategang efektif yang memotong penampang kritis, KN
 W_{bal} = beban perimbangan, KN/m²
 W_{unb} = beban eksternal yang tidak diimbangi, KN/m²
 W_{Dsisa} = sebagian beban mati yang tidak diimbangi, KN/m²
 x = dimensi keseluruhan yang lebih pendek dari bagian persegi penampang, mm
 y = dimensi keseluruhan yang lebih pendek dari bagian persegi penampang, mm
 ϵ_{cu} = batas regangan tekan beton
 γ_f = koefisien transfer momen tak seimbang sebagai lentur
 γ_v = koefisien transfer momen tak seimbang sebagai geser

- ϕ = faktor reduksi kekuatan
- ρ = rasio penulangan
- η = jumlah lengan pada profil penahan geser
- β_c = rasio perbandingan antara panjang dan lebar
- α_v = perbandingan antara kekakuan relatif profil kepala geser (*shearhead*) dengan penampang beton yang ada di sekitarnya
- δ = defleksi akibat momen, mm
- θ = defleksi akibat rotasi, mm
- Δ = defleksi total yang terjadi, mm

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin pesatnya pembangunan di bidang konstruksi dewasa ini, membutuhkan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk memecahkan masalah yang dihadapi. Adanya keterbatasan lahan khususnya di kota-kota besar menyebabkan struktur bangunan harus menyesuaikan dengan lahan yang ada, sehingga perluasan areal bangunan tidak lagi ke arah horisontal melainkan ke arah vertikal. Struktur bangunan semakin tinggi akan mengakibatkan peningkatan harga dari bangunan tersebut.

Salah satu cara untuk mengurangi tinggi bangunan adalah dengan penggunaan struktur lantai tanpa balok atau *flat plate*. Dengan penggunaan *flat plate*, balok balok atau panel-panel di bawah pelat dapat dihilangkan, sehingga akan terjadi pengurangan terhadap total tinggi struktur. Dengan adanya pengurangan tinggi bangunan ini, maka berat total struktur bangunan dapat dikurangi karena sesungguhnya berat yang paling besar dari bangunan adalah berat sendiri struktur, dengan demikian dimensi struktur kolom dan pondasi yang dipergunakan dapat pula diperkecil, yang pada akhirnya menghasilkan penghematan biaya yang harus dikeluarkan untuk volume beton, penggunaan acuan dan lain-lain. Untuk mendapatkan struktur yang lebih kecil, penggunaan *flat plate* beton prategang menjadi alternatif bagi para perencana dalam mendisain suatu konstruksi, sebab seluruh penampang dipakai secara efektif.

Disain *flat plate* beton prategang dengan konsep *load balancing* dipengaruhi oleh eksentrisitas dan prategang rata-rata yang dipergunakan, untuk itu perlu adanya

analisa dengan menggunakan eksentrisitas dan prategang rata-rata yang bervariasi agar diperoleh suatu disain yang efektif yang aman terhadap retak, geser dan lendutan yang terjadi. Kontrol dan antisipasi terhadap gaya-gaya tersebut sangat diperlukan, karena *flat plate* beton prategang mempunyai penampang yang kecil dan ramping sehingga rentan terhadap gaya-gaya tersebut di atas.

1.2 Tujuan

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk menganalisa dan merencanakan *flat plate* beton prategang yang aman terhadap gaya-gaya yang bekerja pada struktur tersebut.

1.3 Manfaat

Manfaat penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. menganalisa dan mengantisipasi gaya-gaya yang bekerja pada struktur *flat plate* beton prategang,
2. untuk mengetahui pengaruh eksentrisitas dan asumsi tegangan rata-rata terhadap kapasitas geser, kapasitas momen penampang dan lendutan,
3. dapat menghasilkan suatu disain *flat plate* beton prategang yang efektif,
4. sebagai alternatif disain *flat plate*.

1.4 Batasan Masalah dan Ruang Lingkup

Guna menyederhanakan proses analisis, maka permasalahan dan obyek pembahasan dibatasi hal-hal berikut :

1. beban yang diperhitungkan adalah beban gravitasi,

2. tegangan yang dianalisis adalah tegangan lentur, geser dan lendutan,
3. beton prategang yang dianalisis menggunakan sistem pasca tarik dan tendon tidak terekat,
4. konsep yang dipakai untuk menganalisa adalah metode *load balancing*,
5. analisis struktur digunakan dengan menggunakan metode Cross,
6. kehilangan prategang total diasumsikan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Dasar Beton Prategang

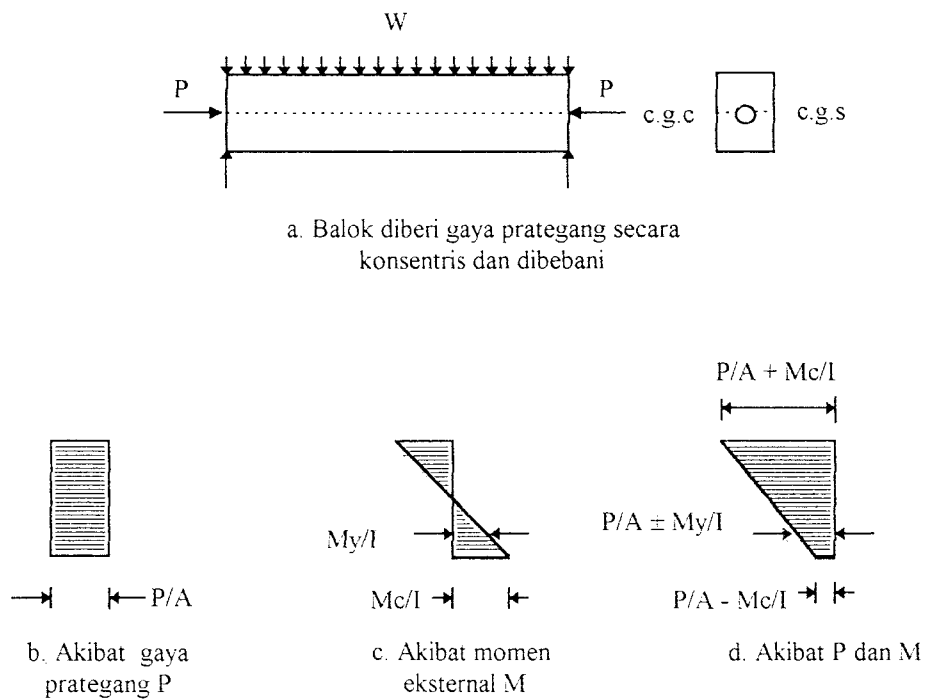
Beton prategang adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban luar, prategang pada umumnya diberikan dengan menarik baja tulangnya (T.Y. Lin, 1993). Beton prategang memerlukan material beton dengan kekuatan tekan tinggi pada usia cukup muda, dan baja (tendon) dengan kekuatan tarik tinggi. Ada tiga konsep yang berbeda yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisis sifat-sifat dasar dari beton prategang. Ketiga konsep tersebut adalah sebagai berikut (T.Y. Lin, 1993).

2.1.1 Sistem Prategang untuk Mengubah Beton menjadi Bahan yang Elastis

Konsep ini dikemukakan oleh Eugene Freyssinet, yang memvisualisasikan beton prategang adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan gaya desak terlebih dahulu (pratekan) pada beton. Dari konsep ini lahirlah kriteria tidak ada tegangan tarik pada beton. Umumnya telah diketahui jika tidak ada tegangan tarik pada beton berarti tidak akan terjadi retak, dan beton tidak merupakan bahan yang getas lagi melainkan berubah menjadi bahan yang elastis. Atas dasar pandangan ini, beton dianggap sebagai benda yang mengalami dua sistem pembebanan yaitu gaya internal dan gaya eksternal.

1. Tendon Konsentris

Gaya prategang P menghasilkan gaya tekan P yang bekerja pada titik berat beton, seperti diperlihatkan pada gambar 2.1a. Akibat gaya prategang P , maka akan terjadi tegangan tekan merata seperti ditunjukkan oleh gambar 2.1b. Jika M adalah momen eksternal yang bekerja pada penampang, maka tegangan pada setiap titik sepanjang bentang sebesar gambar 2.1c. Kombinasi kedua keadaan di atas akan menghasilkan kombinasi tegangan pada gambar 2.1d.



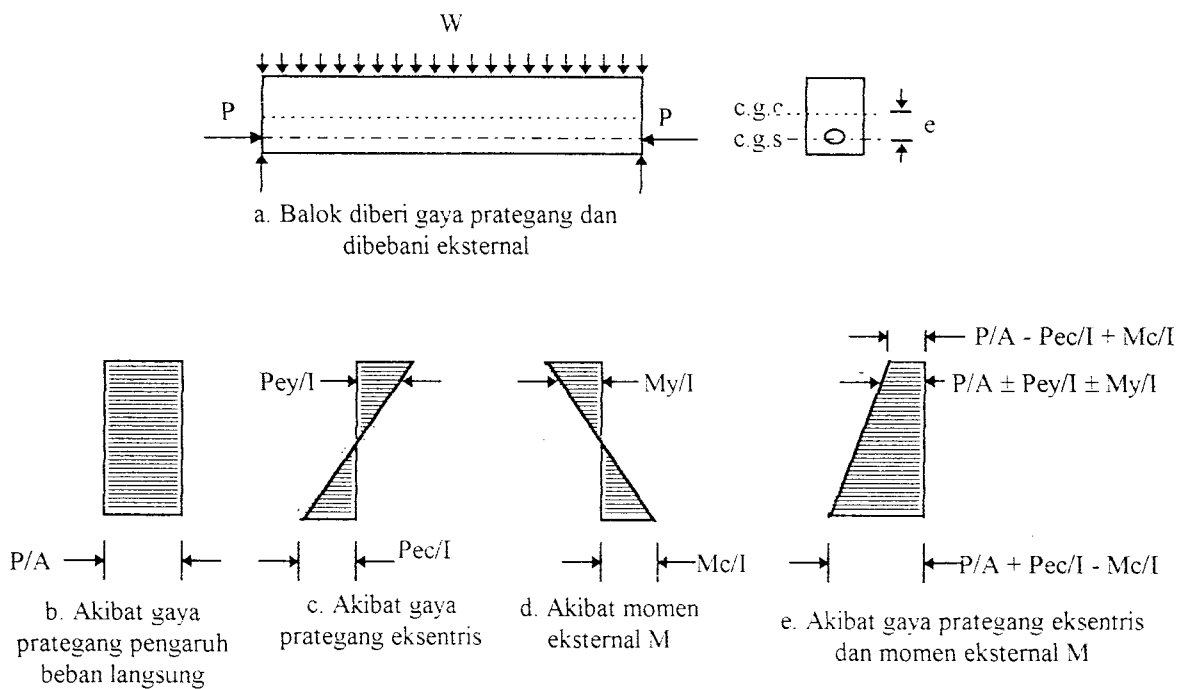
Gambar 2.1 Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Konsentris

Distribusi tegangan yang dihasilkan pada penampang konsentris akibat gaya prategang dan momen eksternal adalah :

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M y}{I} \dots\dots\dots (2.1)$$

2. Tendon Eksentris

Pada gambar 2.2a ditunjukkan suatu balok dengan beban eksternal W diberi gaya prategang P dengan eksentrisitas e dari titik c.g.c. Eksentrisitas tersebut akan menghasilkan momen dan tegangan seperti gambar 2.2c. Tegangan yang bekerja akibat gaya prategang P, menghasilkan tegangan merata seperti pada gambar 2.2b.



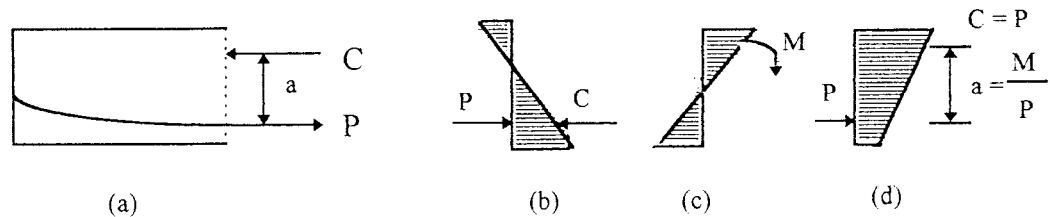
Gambar 2.2 Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Eksentris

Adanya momen eksternal M menghasilkan diagram tegangan gambar 2.2d. Gabungan dari distribusi tegangan yang dihasilkan pada penampang eksentris akibat gaya prategang dan beban eksternal ditunjukkan pada gambar 2.2e, besar tegangan yang terjadi pada penampang beton tersebut adalah :

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{P e y}{I} \pm \frac{M y}{I} \dots\dots\dots (2.2)$$

2.1.2 Sistem Prategang untuk Kombinasi Baja Mutu Tinggi dengan Beton

Konsep ini menganggap beton prategang sebagai kombinasi (gabungan) dari baja mutu tinggi dan beton mutu tinggi, seperti pada beton bertulang, tulangan baja digunakan untuk menahan tarik dan beton menahan tekan. Dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahan untuk melawan momen eksternal. Sebagai contoh, suatu penampang balok dengan tegangan tekan beton C dan tegangan tarik P membentuk kopel dengan lengan kopel a pada gambar 2.3a.



Gambar 2.3 Gambar Kopel Penahan Internal Beton Prategang

Ditinjau balok di atas dua perletakan bebas.

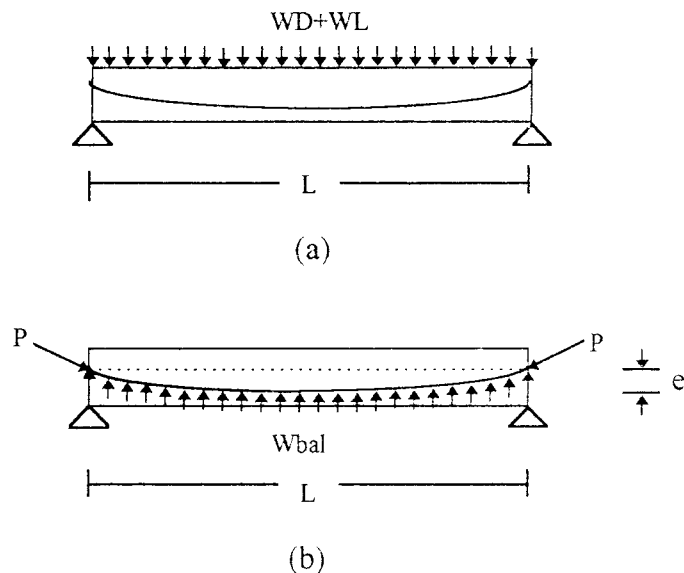
1. Bila balok diasumsikan tanpa berat, maka gaya tekan C pada penampang besarnya sama dengan gaya prategang P (gambar 2.3b).
2. Bila ada momen lentur yang bekerja pada penampang, maka diagram tegangan akan seperti gambar 2.3c.
3. Gambar 2.3d, merupakan resultan tegangan yang bekerja. Jumlah gaya-gaya pada penampang itu sama, $C = P$.

Tegangan yang terjadi pada penampang beton prategang dirumuskan,

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{P e y}{I} \dots\dots\dots (2.3)$$

2.1.3 Sistem Prategang untuk Mencapai Perimbangan Beban (*load balancing*)

Konsep *load balancing* pada prinsipnya adalah gaya-gaya luar (beban mati dan sebagian beban hidup) pada struktur akan diimbangi oleh gaya-gaya dalam yang disebabkan oleh gaya prategangan. Penerapan dari konsep ini beton dianggap sebagai benda bebas dan mengefektifkan gaya prategang untuk mengantisipasi beban luar yang bekerja pada beton sepanjang bentangan. Sebagai contoh pada gambar 2.4a, sebuah balok prategang di atas dua tumpuan (*simple beam*) dengan tendon berbentuk parabola serta menerima beban terbagi rata.



Gambar 2.4 Balok Prategang dengan Tumpuan Sederhana

Gaya prategang dengan eksentrisitas e menimbulkan reaksi ke atas (*balanced load*) seperti ditunjukkan pada gambar 2.4b, dengan besar beban W_{bal} dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$W_{bal} = \frac{8 P e}{L^2} \dots\dots\dots (2.4)$$

Apabila beban melebihi dari beban imbang (*balanced load*), maka kelebihan dari beban tersebut akan menjadi beban yang tidak diimbangi (*unbalanced load*) yang akan mengakibatkan momen beban tidak terimbangi (*unbalance moment*). Untuk lebih jelasnya akan terlihat dalam persamaan berikut:

$$W_{unb} = W_{tot} - W_{bal} \dots\dots\dots (2.5)$$

Konsep beban berimbang ini seringkali menghasilkan analisa yang lebih sederhana. Pada kondisi imbang, momen lentur akibat beban luar yang diimbangi sama dengan nol, sehingga beton hanya dibebani oleh gaya prategang. Pada kondisi ini tegangan pada beton yang timbul merata sebesar :

$$f = \frac{P}{A_c} \dots\dots\dots (2.6)$$

Momen beban tidak terimbangi (*unbalance moment*) akan menimbulkan tegangan tambahan pada penampang beton, yang akan didukung oleh tegangan dalam beton, sehingga persamaan tegangan-tegangan yang terjadi adalah sebagai berikut:

$$f = \frac{P}{A_c} \pm \frac{M_{unb}}{S} \dots\dots\dots (2.7)$$

Konsep *load balancing* ini cocok untuk diterapkan pada struktur statis tak tentu seperti pada konstruksi *flat plate* bentang menerus. Hal ini disebabkan prinsip-prinsip perimbangan beban pada *flat plate* dilakukan dengan dua arah penegangan, sehingga pada masing-masing arah memiliki distribusi tegangan yang merata dan tidak melendut akibat pembebanan.

2.2 Cara Penegangan

Metode yang paling luas dipakai untuk memberikan gaya prategang pada elemen beton struktural adalah dengan menarik tendon dengan alat mekanik. Terdapat dua prinsip yang berbeda dalam proses penegangan yaitu dengan cara pratarik dan pascatarik (Winarni Hadipratomo, 1994).

2.2.1 Pratarik (*Pre-tensioning*)

Pada prinsip ini tendon ditegangkan dengan alat bantu sebelum beton dicor dan gaya prategang dipertahankan sampai beton mencapai kekuatan yang diperlukan, kemudian tegangan pada jangkar dilepas perlahan-lahan dan tendon dijangkarkan pada ujung-ujung struktur. Untuk sistem pratarik, cara yang sederhana yaitu dengan menarik tendon di antara dinding penahan (*bulkhead*) kemudian diangkurkan pada ujung dinding penahan dan selanjutnya beton dicor serta dipadatkan sesuai bentuk yang diinginkan. Setelah beton mencapai kekuatan yang disyaratkan, maka tendon dipotong atau dilepas dari dinding penahan dan gaya prategang dialihkan ke beton.

2.2.2 Pasca tarik (*Post-tensioning*)

Pada prinsip ini beton dicor dulu dan dibiarkan mengeras, kemudian tendon ditegangkan. Tendon ditempatkan dalam selubung sesuai posisi yang telah ditentukan, kemudian dicor. Bila kekuatan beton yang diperlukan telah tercapai, maka tendon ditegangkan diujung-ujungnya dan dijangkar. Gaya prategang ditransfer ke beton melalui jangkar pada saat tendon ditegangkan. Untuk sistem pasca tarik, ada dua macam selubung (*conduit*) yang digunakan yaitu untuk sistem prategang dengan rekatan (*bonded*) dan tanpa rekatan (*unbonded*).

1. Tendon terikat (*bonded tendon*)

Jika tendon direncanakan dengan rekatan, maka setelah kabel dijangkar, pada selubung dimasukkan adukan beton disertai tekanan ke dalam ruang antara kabel dan beton (*grouting*). Pada umumnya selubung terbuat dari pipa logam besi yang digalvanis.

2. Tendon tidak terikat (*unbonded tendon*)

Jika tendon direncanakan tanpa rekatan, biasanya selubung dipakai plastik atau kertas tebal dan tendon diberi minyak untuk mempermudah penarikan dan pencegah karat.

2.3 Tahap-tahap Pembebanan pada Beton Prategang

Salah satu pertimbangan istimewa pada beton prategang adalah banyaknya tahapan pembebanan yang harus diperhatikan. Adapun tahap pembebanan meliputi tahap awal, tahap antara dan tahap akhir (T.Y. Lin, 1993). Dalam analisa ini hanya dibahas pada tahap awal yaitu saat pemberian gaya prategang dan tahap akhir pada kondisi beban batas dan pada pembebanan tetap.

1. Saat Pemberian Gaya Prategang

Tahap awal pembebanan, saat struktur diberi gaya prategang dan belum menerima beban eksternal, kekuatan tendon harus disesuaikan dengan tegangan ijin untuk menghindari putusya sebagian atau seluruh tendon. Untuk beton belum cukup umur, kehancuran beton pada pengangkuran saat penarikan tendon dapat terjadi jika mutunya rendah atau jika beton kropos, untuk itu perlu adanya kontrol tegangan beton pada tahap ini.

2. Saat Beban Batas (*ultimate load*)

Kekuatan batas dari struktur didefinisikan sebagai beban maksimum yang dapat dipikul sebelum hancur. Struktur yang didisain berdasarkan tegangan kerja mungkin tidak mempunyai ketahanan yang cukup terhadap kelebihan beban. Karena disyaratkan bahwa sebuah struktur memiliki kapasitas minimum memikul beban yang lebih besar, maka perlu ditentukan kekuatan batasnya (*ultimate strength*).

3. Saat Beban Bekerja Tetap (*sustained load*)

Saat beban bekerja tetap yang sesungguhnya (sering terdiri hanya dari beban mati) akan terjadi lendutan ke atas atau ke bawah yang merupakan faktor penentu dalam disain, sehingga seringkali harus membatasi besar lendutan akibat beban tetap.

2.4 Kehilangan Gaya Prategang

Gaya prategang yang diberikan pada beton mengalami pengurangan secara berangsur-angsur sejak tahap transfer akibat berbagai sebab, secara umum hal ini dinyatakan sebagai kehilangan prategang. Berbagai kehilangan gaya prategang yang dijumpai dalam sistem pratarik dan pasca tarik dapat dilihat dalam tabel 2.1 (N. Krishna Raju, 1989).

Tabel 2.1 Macam-macam Kehilangan Prategang pada Struktur

Pratarik	Pasca tarik
<ul style="list-style-type: none"> • Deformasi elastis beton • Relaksasi tegangan pada baja • Penyusutan beton • Rangkak beton 	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak ada kehilangan prategang akibat deformasi elastis kalau semua kawat ditarik secara bersamaan. Kalau kawat-kawat ditarik secara berurutan, akan terdapat kehilangan prategang akibat deformasi elastis beton • Relaksasi tegangan pada baja • Penyusutan beton • Rangkak beton • Gesekan • Tergelincirnya angkur

Sulit untuk mengambil rata-rata jumlah kehilangan gaya prategang, karena hal ini tergantung dari banyak faktor, sifat-sifat beton dan baja, pemeliharaan dan keadaan kelembaban, besar dan waktu penggunaan prategang. Di dalam disain beton prategang sudah menjadi kebiasaan untuk mengasumsikan kehilangan prategang total, prosentase dari kehilangan prategang dalam kondisi normal dapat dilihat pada tabel di bawah ini (T.Y.Lin, 1993).

Tabel 2.2 Perkiraan Kehilangan Prategang

	Pratarik (%)	Pasca tarik (%)
• Perpendekan elastik dan lenturan	4	1
• Rangkak beton	6	5
• Susut beton	7	6
• Relaksasi baja	8	8
Kehilangan total	25	20

Dalam tabel 2.2 dianggap bahwa telah dilakukan pemberian tegangan yang lebih besar untuk mengurangi rangkak pada baja dan mengatasi kehilangan gaya prategang akibat gesekan dan pengangkutan.

2.5 Pengertian *Flat Plate* Beton Prategang

Flat plate beton prategang adalah pelat beton prategang yang diperkuat oleh baja prategang dalam dua arah sedemikian hingga meneruskan bebannya secara langsung ke kolom-kolom yang mendukungnya tanpa adanya balok atau pertebalan pelat di sekeliling kolom (*drop panel*), umumnya dipakai apabila panjang bentangan tidak terlalu besar dan beban yang bekerja bukan merupakan beban yang berat (Phill M. Ferguson, 1986).

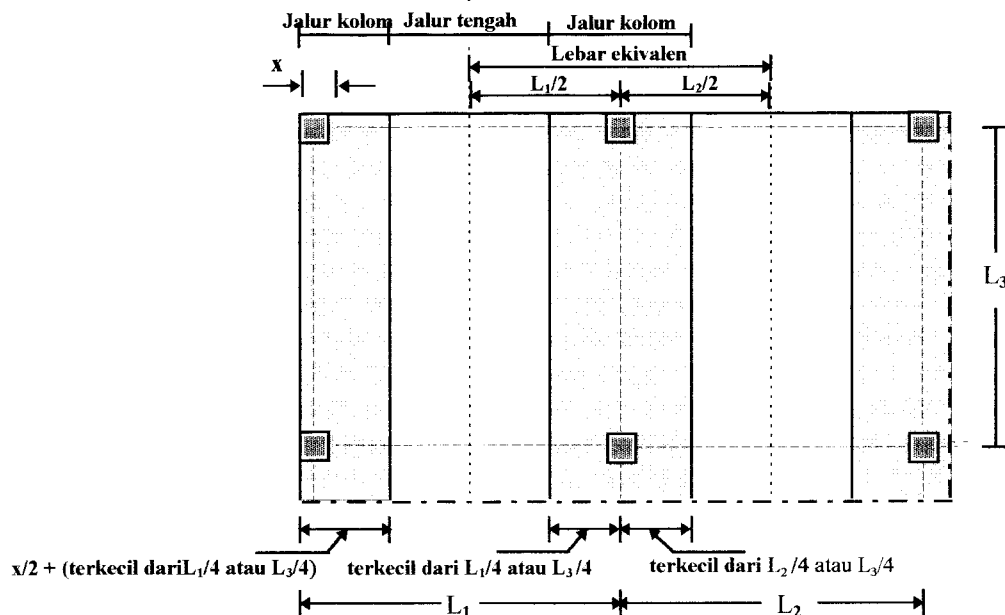
2.6 Karakteristik *Flat Plate* Beton Prategang

2.6.1 Perilaku

Flat plate beton prategang mempunyai karakteristik aksi pelat dua arah, apabila pelat dibebani, maka pelat tersebut akan melengkung menyerupai permukaan piring, hal ini berarti pada sembarang titik pada pelat tersebut akan melengkung pada dua arah utamanya. Besar momen lentur yang terjadi sebanding dengan kelengkungannya, berarti pada kedua arah tersebut juga terdapat momen lentur. Untuk memikul momen-momen ini, pelat tersebut harus diberikan tendon pada kedua arahnya saling tegak lurus terhadap ujung-ujung pelat (Winter dan Nilson, 1993).

2.6.2 Jalur Pembebanan

Beban-beban yang bekerja pada *flat plate* langsung ditransfer dari pelat ke kolom. Dengan menganggap jalur kolom (*column strip*) yang memberikan aksi sebagai balok-balok dan jalur tengah dengan jarak di antara kolom pada masing-masing arah dengan beban merata per-satuan luas, sebagaimana terlihat dalam gambar 2.5.



Gambar 2.5 Konsep *Flat Plate* Dijadikan Balok Ekuivalen

SK SNI T-15 1991 pasal 3.6.6.4 telah mengatur distribusi momen-momen positif dan negatif pada jalur kolom, besarnya presentasi dari momen perencanaan dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Prosentase Momen dari Jalur Kolom.

Perbandingan ukuran L_2/L_1			0,5	1,0	2,0
Momen negatif pada tumpuan luar	$\alpha L_1/L_2 = 0$	$\beta t = 0$	100	100	100
		$\beta \geq 2,5$	75	75	75
	$\alpha L_1/L_2 \geq 1,0$	$\beta t = 0$	100	100	100
		$\beta \geq 2,5$	90	75	45
Momen positif	$\alpha L_1/L_2 = 0$		60	60	60
	$\alpha L_1/L_2 \geq 1,0$		90	75	45
Momen negatif pada tumpuan dalam	$\alpha L_1/L_2 = 0$		75	75	75
	$\alpha L_1/L_2 \geq 1,0$		90	75	45

Sedangkan untuk jalur tengah prosentase momennya adalah sisa dari momen jalur kolom tersebut dalam setiap arah, untuk nilai-nilai di antara nilai yang ada pada tabel 2.3 di atas perlu dilakukan interpolasi secara linier.

2.6.3 Distribusi Tendon

Penempatan tendon dimaksudkan untuk memberikan tegangan internal pada pelat guna mengantisipasi tegangan eksternal yang terjadi akibat beban yang bekerja. Momen total pada tumpuan jauh lebih besar pada jalur kolom dibandingkan pada jalur tengah, komisi ACI menyarankan distribusi tendon pada panel dengan perbandingan panjang dan lebar yang tidak melebihi 1,33 adalah sebagai berikut (T.Y.Lin, 1993) :

1. pada bentang sederhana yaitu dengan menempatkan 55% sampai 60% tendon pada jalur kolom dan sisanya pada jalur tengah,

2. untuk bentang menerus ditempatkan 65% sampai 75% tendon pada jalur kolom dan sisanya pada jalur tengah.

SK SNI T-15 1991 3.11.12 mensyaratkan jarak tendon atau kelompok tendon harus tidak lebih dari 8 kali tebal pelat ataupun 1,5 m. Spasi dari tendon tersebut harus mampu menghasilkan tegangan tekan rata-rata minimum (sesudah memperhitungkan kehilangan prategang) sebesar 0,9 Mpa pada penampang pelat. Pada penampang geser kritis kolom harus disediakan dua tendon dalam setiap arah.

2.7 Pengangkuran Ujung

Prinsip pengangkuran ujung dalam prakteknya terdapat perbedaan cara pelaksanaannya menurut sistem prategang yang dipakai. Pada sistem pratarik, rekatan antara tendon dan beton berfungsi untuk mentransfer gaya prategang yang terjadi. Ketergantungan pada rekatan untuk memindahkan gaya prategang antara tendon dan beton mengakibatkan dibutuhkan kabel yang berdiameter kecil. Untuk kabel yang lebih besar dari 3,18 mm daya rekat kabel prategang dapat ditingkatkan dengan membentuk ciri-ciri khusus pada permukaan, misalnya kabel dibuat bergelombang atau berulir. Untuk kabel yang besar diperlukan tambahan pengangkuran ujung untuk menghindari retak-retak yang terjadi di dekat ujung beton yang akan mengakibatkan lepasnya rekatan dan bergesernya tendon. Tambahan pengangkuran ujung ini menguntungkan meskipun menurut pengalaman dengan tendon untaian tujuh kawat sampai diameter 15.2 mm telah menunjukkan tidak diperlukannya angkur ujung pada struktur pratarik.

Pada metode pasca tarik semua tendon dipasang di dalam lubang atau selubung tendon, yang dibentuk terlebih dahulu dan kemudian diangkurkan pada permukaan

ujung beton. Gaya prategang didistribusikan terpusat oleh pelat angkur baja, sehingga menimbulkan tegangan-tegangan pada daerah ujung (*endblock*). Pada sistem pasca tarik ada tiga prinsip yang dipakai dalam perencanaan pengangkuran ujung.

1. Dengan prinsip kerja pasak yang menghasilkan penjepit gesek pada kabel.
2. Dengan perletakan langsung dari kepala paku keling atau baut yang dibuat pada ujung kabel.
3. Dengan melilitkan kabel ke sekeliling beton.

Pada umumnya metode yang sering dipakai dan telah dikembangkan adalah berdasarkan prinsip kerja pasak dan perletakan langsung. Metode yang terakhir, melilitkan kabel di sekeliling beton belum dipakai secara luas.

BAB III

ANALISIS DAN DISAIN *FLAT PLATE* BETON PRATEGANG

3.1 Pengertian

Analisis *flat plate* beton prategang adalah suatu proses penentuan parameter-parameter yang berkaitan dengan perencanaan struktur *flat plate* beton prategang. Parameter yang dimaksudkan di sini meliputi dimensi, luas penulangan, tegangan tendon dan beton dan sebagainya.

Sedangkan disain *flat plate* beton prategang adalah proses penentuan dimensi penampang dan kemampuan struktur *flat plate* beton prategang untuk dapat menahan perilaku-perilaku struktur pelat yang terjadi, seperti gaya lentur, gaya geser dan lendutan.

3.2 Disain Pendahuluan

3.2.1 Analisis Penampang *Flat Plate* Beton Prategang

Penampang *flat plate* beton prategang direncanakan dengan memperhitungkan tahanan minimum yang diperlukan pada kekuatan batas tertentu. Untuk masing-masing nilai tahanan rencana, diperhitungkan harus lebih besar atau sama dengan jumlah beban rencana yang diperoleh dengan mengalikan beban-beban eksternal terhadap faktor-faktor beban yang telah ditetapkan.

Untuk mendisain ketebalan *flat plate* beton prategang beberapa ahli telah memberikan batasan untuk mempermudah dalam disain. Menurut Arthur H. Nilson tebal pelat beton prategang diambil antara $1/45$ sampai $1/50$ dari panjang bentangan.

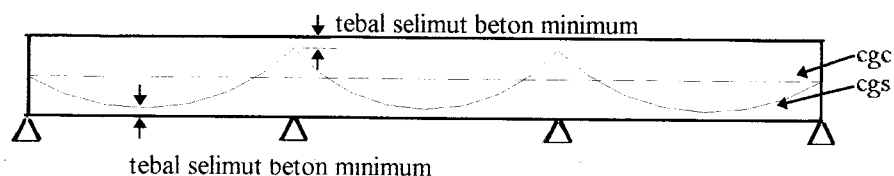
Sedangkan Antonie E. Naaman memberikan nilai tebal pelat untuk muatan hidup sebesar $2,4 \text{ kN/m}^2$ biasanya diambil antara $1/40$ sampai dengan $1/55$ dari panjang bentang. Untuk tebal pelat yang lebih kecil dari $1/55$ dipakai pelat dengan balok atau pelat dengan penebalan keliling kolom (*drop panel*). Dalam perencanaan ini diambil pendekatan tebal pelat :

$$h = \frac{L}{45} \dots\dots\dots (3.1)$$

Tebal selimut beton (p_b) yang dianjurkan berkisar antara 19 mm sampai dengan 32 mm untuk pelat yang ditumpu tidak bebas, sedang pelat yang ditumpu bebas adalah 19 mm sampai dengan 50 mm.

3.2.2 Penempatan Profil Tendon

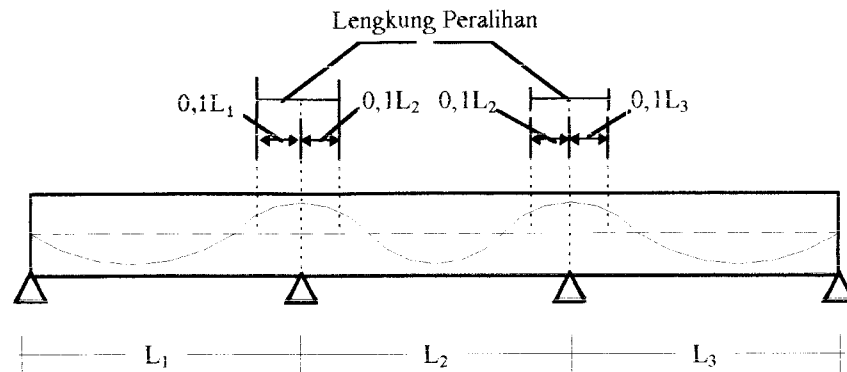
Untuk mendapatkan disain yang lebih ekonomis, gaya prategang harus diperhitungkan seefektif mungkin, jadi pada perletakan dalam, letak kabel harus seatas mungkin dan bagian lapangan harus sebawah mungkin, diusahakan letak garis c.g.s bertemu dengan garis c.g.c pada tumpuan ujung, seperti diperlihatkan pada gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Tata Letak Tendon Ideal

Pada gambar di atas merupakan tata letak tendon dalam perhitungan, pada kenyataannya tata letak tendon ini tidak dapat digunakan karena adanya belokan tajam pada tumpuan dalam, tata letak tendon yang sebenarnya akan membentuk kurva

terbalik yang disebut lengkung peralihan. Panjang dari lengkung ini adalah 0,1 dari panjang tiap bentangan seperti ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Tata Letak Tendon Sebenarnya

Dalam konsep *load balancing* lengkung peralihan pada gambar di atas dapat diabaikan dalam disain, sehingga tata letak tendon ideal menjadi titik penentu dalam perencanaan (T.Y.Lin, 1993).

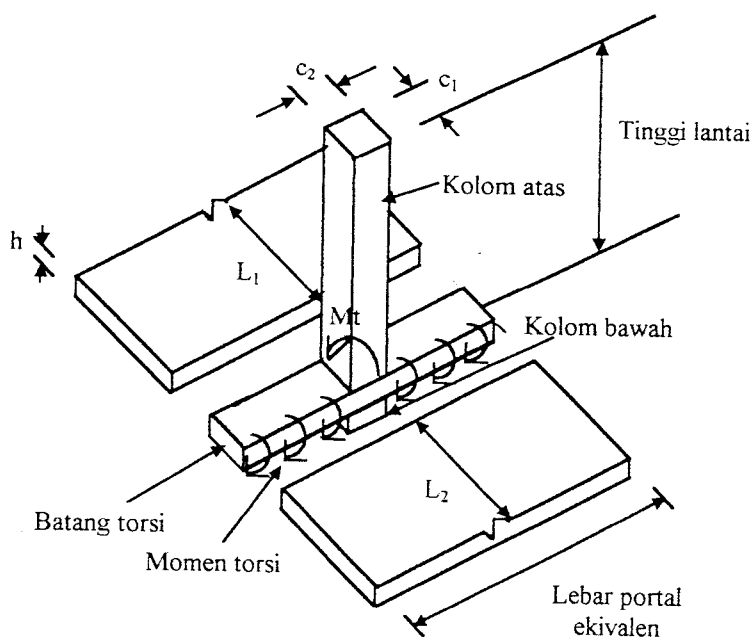
3.2.3 Tegangan Rata-rata

Tegangan rata-rata adalah gaya prategang akhir (setelah kehilangan prategangan) dibagi dengan luas penampang total dari beton. Menurut ACI untuk pelat beton prategang dengan *unbonded tendon*, tegangan rata-rata minimum adalah 0,86 dan maksimum adalah 3,5 MPa. Nilai minimum ini dimaksudkan untuk membatasi adanya tarikan dan keretakan yang berlebihan, sedangkan harga maksimum dimaksudkan untuk membatasi adanya perpendekan elastis dan *creep* yang berlebihan (Antonie E. Naaman, 1982).

3.3 Analisa Struktur *Flat Plate*

3.3.1 Pendekatan Portal Ekivalen

Pendekatan portal ekivalen digunakan untuk menganalisis distribusi momen total pada pelat dua arah. Pada pendekatan ini, struktur dibagi menjadi portal (*frame*) menerus yang berpusat pada kolom dalam masing-masing arah yang saling tegak lurus. Masing-masing portal ini terdiri atas sederetan kolom dan slab lebar dengan balok (*column strips*), di antara garis pusat panel. Berdasarkan statika, beban yang bekerja harus diperhitungkan untuk dua arah yang saling tegak lurus (Edward G. Nawy, 1995).



Gambar 3.3 Batang-Batang Rangka Ekivalen

Dari gambar 3.3 dapat dilihat bahwa daya dukung terhadap rotasi tidak hanya dipengaruhi oleh kekakuan lentur dari kolom-kolom, tetapi juga oleh kekakuan puntir dari gelagar jalur pelat. Dengan adanya tahanan puntiran M_t pada kolom, maka penampang pada kolom tersebut akan berotasi dengan sudut yang lebih kecil dari

penampang-penampang lainnya yang bekerja momen torsi, hal ini disebabkan adanya deformasi puntir pada penampang tersebut. Untuk memperhitungkan deformasi torsional balok tumpuan, dipakai kolom ekuivalen yang fleksibilitasnya merupakan jumlah dari fleksibilitas kolom aktual dan fleksibilitas balok transversal atau jalur slab.

Asumsi ini dirumuskan dengan persamaan :

$$\frac{1}{K_{ec}} = \frac{1}{\sum K_c} + \frac{1}{K_t} \dots\dots\dots (3.2)$$

Atau dapat dirumuskan :

$$K_{ec} = \frac{\sum K_c}{1 + (\sum K_c / K_t)} \dots\dots\dots (3.3)$$

Kekakuan kolom untuk portal ekuivalen :

$$K_c = \frac{4E I}{L_n - 2h} \dots\dots\dots (3.4)$$

Kekakuan torsional balok transversal pada jalur kolom :

$$K_t = \sum \frac{9E_{cs} C}{L_2 (1 - c_2/L_2)} \dots\dots\dots (3.5)$$

dengan besar konstanta torsional $C = \sum (1 - 0,63x/y) x^3 y/3$

Kekakuan slab dirumuskan :

$$K_s = \frac{4E_{cs} I_s}{L_n - c_1/2} \dots\dots\dots (3.6)$$

Faktor distribusi untuk momen jepit ujung (FEM) adalah :

$$DF = \frac{K_s}{\sum K} \dots\dots\dots (3.7)$$

dengan $\sum K = K_{ec} + K_{s(kiri)} + K_{s(kanan)}$

Besar momen jepit ujung dihitung dengan $wl^2/12$ dan faktor induksi (COF) sebesar 0,5. Selanjutnya besarnya momen disain dapat dicari dengan menggunakan metode Cross.

3.3.2 Momen Disain

Momen disain dengan pendekatan teori statis didapatkan dengan kombinasi distribusi momen rangka M_u yang dihasilkan dari penjumlahan beban mati dan beban hidup berfaktor dengan momen sekunder M_s yang dihasilkan dari tendon. Metode *load balancing* memperhitungkan kedua momen primer M_p dan momen sekunder M_s . Oleh karena itu, untuk nilai beban layan (*service load*), hanya beban unbalance W_{unb} yang diperhitungkan dalam momen jepit ujung (FEM), dan W_{bal} digunakan untuk analisa kekuatan lentur (Edward G. Nawy, 1995).

Jika $M_p = P_e e$ adalah momen primer, dan M_{bal} adalah momen yang dihasilkan oleh W_{bal} , maka momen sekunder dapat dicari dengan persamaan :

$$M_s = M_{bal} - M_p \dots\dots\dots (3.8)$$

Jika \overline{M}_u adalah FEM yang dihasilkan oleh beban terfaktor W_u , maka momen disain dirumuskan dengan persamaan :

$$M_u = \overline{M}_u - M_s \dots\dots\dots (3.9)$$

Momen disain tersebut di atas dalam perencanaan harus dikalikan dengan faktor reduksi yang disyaratkan oleh SK SNI T 15 1991.

3.4 Analisis Lentur

3.4.1 Tegangan Lentur Ijin

Pada saat transfer beban yang terjadi hanyalah beban mati sedangkan pada saat layan beban yang terjadi merupakan beban hidup dan beban mati. Penjumlahan tegangan-tegangan yang terjadi pada kedua keadaan tersebut harus lebih kecil atau sama dengan tegangan-tegangan total yang diijinkan.

SK SNI T 15 1991 pasal 3.11.4, mensyaratkan tegangan ijin yang terjadi pada serat terluar baik pada saat transfer maupun saat layan diatur sebagai berikut :

1. Tegangan beton segera setelah transfer gaya prategang (sebelum kehilangan prategang), tidak boleh melampaui nilai berikut :
 - a) serat terluar yang mengalami tekan adalah $0,6f_{ci}$,
 - b) serat terluar yang mengalami tarik adalah $0,25\sqrt{f_{ci}}$,
 - c) serat terluar pada ujung komponen struktur yang didukung secara sederhana mengalami tegangan tarik adalah $0,5\sqrt{f_{ci}}$,

Bila tegangan tarik melampaui nilai tersebut di atas, maka harus dipasang tulangan tambahan (non pratekan atau pratekan), yang dihitung berdasarkan asumsi suatu penampang utuh.

2. Tegangan beton pada saat *service load* (setelah memperhitungkan semua kehilangan prategang), tidak boleh melampaui nilai berikut :
 - a) serat terluar yang mengalami tegangan tekan adalah $0,45f_c$,
 - b) serat terluar dalam daerah tarik adalah $0,5\sqrt{f_c}$.

Persamaan tegangan beton adalah sebagai berikut :

$$f = \frac{P}{A_c} \pm \frac{M}{S} \dots\dots\dots (3.10)$$

Tulangan tambahan untuk struktur *flat plate* yang didefinisikan sebagai pelat masif dengan tebal merata, luas minimum dan distribusi tulangnya harus memenuhi ketentuan berikut :

1. tulangan lekatan tidak diperlukan pada daerah momen positif apabila tegangan tarik beton yang didapatkan pada beban kerja (setelah dikurangi kehilangan prategang) tidak melampaui $\sqrt{f'_c}/6$,
2. apabila tegangan tarik beton pada daerah positif yang didapat dari perhitungan beban kerja melampaui $\sqrt{f'_c}/6$, luas minimum tulangan lekatan harus dihitung sebesar :

$$A_s = \frac{N_c}{0,5 f_y} \dots\dots\dots (3.11)$$

tulangan lekatan harus didistribusikan merata pada daerah tarik yang pada awalnya mengalami tekan sedekat mungkin pada serat terluar penampang dan tegangan leleh rencana f_y tidak melampaui 400 Mpa,

3. dalam daerah momen negatif pada kolom penumpu, luas tulangan lekatan minimum dalam setiap arah harus dihitung dengan :

$$A_s = 0,00075 h l \dots\dots\dots (3.12)$$

tulangan lekatan didistribusikan dalam suatu lebar pelat antara dua garis yang berjarak $1,5 h$ di luar muka kolom yang berhadapan. Paling sedikit dalam setiap arah harus dipasang empat batang tulangan dan jarak spasi tulangan tidak boleh lebih dari 300 mm.

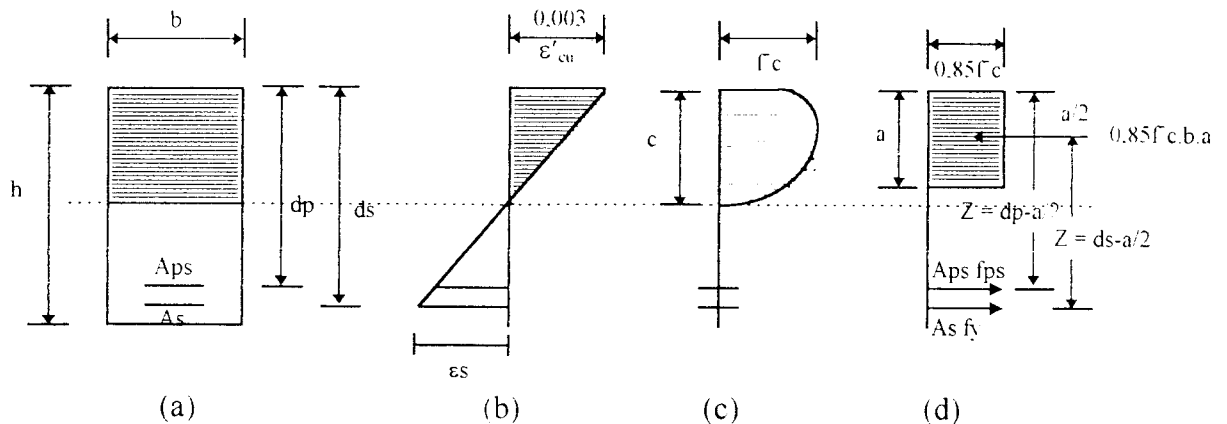
3.4.2 Analisis Lentur pada Saat Kekuatan Batas (Ultimit)

Beton prategang yang dipakai dalam perencanaan *flat plate* menggunakan konstruksi beton yang penampangnya mempunyai dua macam tulangan, yaitu tulangan aktif (kabel prategang) dan tulangan pasif (tulangan non prategang) atau yang disebut beton prategang parsial. Pada beton prategang parsial tegangan tarik diperbolehkan, tetapi kemungkinan retak sangat kecil dengan kata lain tegangan tarik yang timbul harus lebih kecil dari kekuatan ijin tarik beton (Winarni Hadipratomo, 1994).

Untuk menentukan momen ketahanan nominal suatu penampang beton prategang, hal yang harus diketahui yaitu dimensi penampang, sifat bahan dan jumlah penulangan. Dalam menentukan momen ketahanan nominal diperlukan suatu anggapan-anggapan sebagai berikut :

1. penampang yang rata tetap rata setelah pembebanan, akibatnya diasumsikan bahwa ada distribusi regangan linier sepanjang penampang beton sampai beban batas,
2. terdapatnya rekatan yang sempurna antara baja dan beton, hasil langsung dari asumsi ini bahwa perubahan regangan baja sama dengan perubahan regangan beton pada beban yang sama,
3. batas regangan tekan beton, $\epsilon_{cu} = 0,003$,
4. kekuatan tarik beton diabaikan, $f_{ct} = 0$,
5. blok tegangan tekan didekati dengan blok tegangan tekan persegi dengan tegangan merata $0,85 f'_c$ dengan lebar balok b dan tinggi $a = \beta_1 c$,

Analisa tegangan dan regangan serta kopel tegangan dalam pada kondisi kekuatan batas diperlihatkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Blok Tegangan dan Regangan Batas yang Diasumsikan

Pada gambar 3.4a, diperlihatkan suatu penampang beton prategang persegi dengan baja prategang A_{ps} ditempatkan dalam jarak d_p dan tulangan non prategang A_s dalam jarak d_s dari sisi tekan atas. Pada saat kondisi ultimit, regangan tarik baja (tendon) sama dengan saat beton tekan mencapai regangan batas (0,003) seperti ditunjukkan oleh gambar 3.4b.

Distribusi tegangan tekan beton pada penampang tersebut berupa garis lengkung dengan nilai nol pada garis netral, dari gambar 3.4c tampak bahwa f_c yang merupakan tegangan maksimum posisinya tidak pada serat tepi terluar tetapi agak masuk ke dalam. Untuk tujuan penyederhanaan, Whitney memberi usulan merubah menjadi bentuk persegi panjang dengan intensitas tegangan beton ditentukan sebesar $0,85f_c$ dan dianggap bekerja pada daerah tekan selebar b dan sedalam a , seperti diperlihatkan pada gambar 3.4d (Istimawan Dipohusodo, 1994).

Gaya tarik dan gaya tekan dalam yang timbul pada penampang beton, arah garis kerjanya sejajar tetapi berlawanan arah dan dipisahkan sejauh z , sehingga membentuk kopel momen tahanan dalam maksimum yang disebut momen kapasitas nominal penampang terlentur. Untuk menentukan jarak z pada gambar 3.4d, harus dicari dulu

nilai a yang didapat dari keseimbangan gaya-gaya dari blok tegangan pada gambar 3.4 yang akan menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$0,85 f_c b a = A_{ps} f_{ps} + A_s f_y \quad \dots\dots\dots (3.13)$$

Dari persamaan di atas, maka nilai a dapat dihitung,

$$a = \frac{A_s f_y - A_{ps} f_{ps}}{0,85 f_c b} \quad \dots\dots\dots (3.14)$$

Momen kapasitas nominal penampang tersebut didapatkan dengan persamaan berikut :

$$M_n = A_s f_y (d_s - a/2) + A_{ps} f_{ps} (d_p - a/2) \quad \dots\dots\dots (3.15)$$

Dalam penentuan harga f_{ps} dapat dicari berdasarkan ketentuan berikut, harga ini dapat dipakai bila gaya prategang efektif, f_{se} lebih besar dari $0,5f_{pu}$.

1. Untuk struktur yang menggunakan *unbonded tendon* dan perbandingan antara panjang bentang terhadap tinggi struktur tidak lebih dari 35,

$$f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f_c}{100\rho_p} \quad \dots\dots\dots (3.16)$$

dengan batasan : $f_{ps} < f_{py}$

$$f_{ps} < f_{se} + 400$$

2. Untuk struktur yang menggunakan *unbonded tendon* dan perbandingan antara panjang bentang terhadap tinggi komponen struktur lebih dari 35,

$$f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f_c}{200\rho_p} \quad \dots\dots\dots (3.17)$$

dengan batasan : $f_{ps} < f_{pu}$

$$f_{ps} < f_{se} + 200$$

Momen kapasitas nominal beton setelah dikalikan dengan faktor reduksi harganya harus lebih besar dibandingkan dengan kekuatan momen yang diakibatkan oleh beban (M_u), seperti yang ditunjukkan dalam persamaan berikut :

$$\phi M_n \geq M_u \dots\dots\dots (3.18)$$

Bila didapatkan bahwa kapasitas nominal rencana lebih kecil dari momen yang terjadi, maka dilakukan disain ulang dengan alternatif berikut :

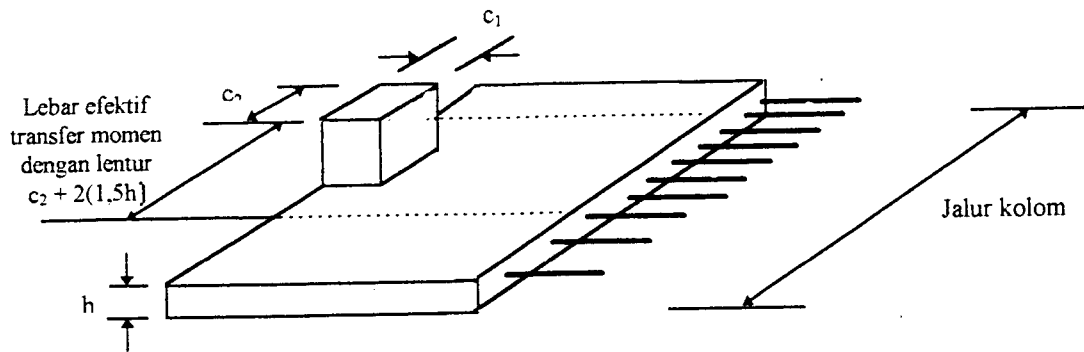
1. menambah penulangan non prategang, atau tulangan prategang.
2. bila mungkin menambah eksentrisitas tendon,
3. merubah mutu bahan atau dimensi penampang.

3.5 Transfer Momen dari Pelat ke Kolom

Apabila ada momen-momen utama yang disalurkan dari pelat ke kolom yang terjadi karena tidak seimbang beban-beban gravitasi di kedua sisi kolom, atau adanya pembebanan horisontal akibat angin atau gempa, maka tegangan geser pada penampang kritis tidak lagi terdistribusi secara seragam. Sebagian dari momen tidak seimbang harus dianggap disalurkan sebagai lentur yang bekerja pada lebar pelat efektif di antara garis-garis yang jauhnya 1,5 kali tebal pelat dari kolom tumpuannya.. untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.5 (Arthur H. Nilson, 1993).

Koefisien transfer momen tak seimbang sebagai lentur diberikan oleh SK SNI T 15 1991 pasal 3.6.3.3 sebesar :

$$\gamma_t = \frac{1}{1 + 2/3 \sqrt{(c_1 + d)(c_2 + d)}} \dots\dots\dots (3.19)$$



Gambar 3.5 Bidang Kritis Akibat Momen Transfer Sebagai Lentur

Momen kapasitas penampang pada lebar efektif tersebut harus lebih besar dari momen tidak seimbang dikalikan dengan koefisien transfer.

$$\phi M_n \geq \gamma_f M_t \dots\dots\dots (3.20)$$

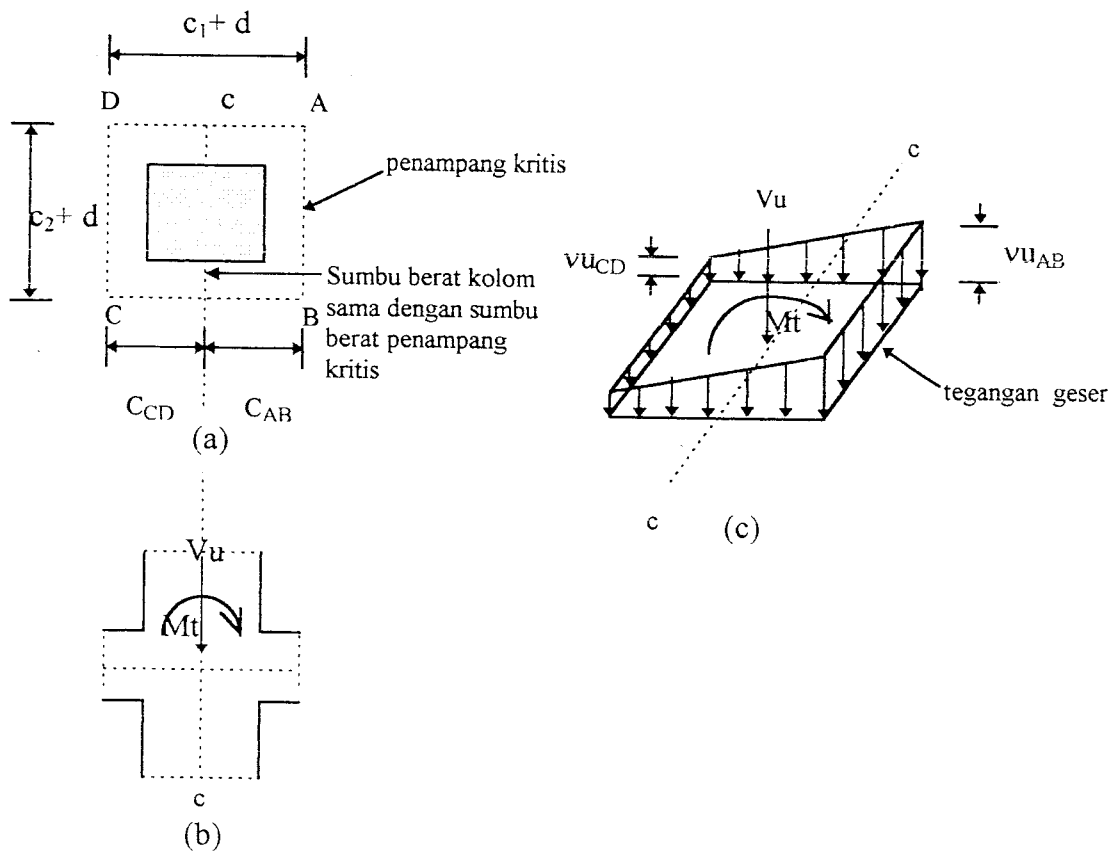
Sisa dari momen yang ditransfer oleh lentur tersebut dianggap sebagai geser eksentris terhadap pusat dari penampang kritis yang jaraknya $d/2$ dari perimeter kolom. Koefisien transfer geser dirumuskan persamaan 3.21.

$$\gamma_v = 1 - \gamma_f \dots\dots\dots (3.21)$$

Faktor geser dan faktor momen tidak seimbang yang ditransfer sebagai geser apabila disuperposisikan akan menghasilkan tegangan geser maksimum yang digunakan untuk perencanaan geser. Selanjutnya masing-masing distribusi tegangan geser di sekitar kolom dapat dilihat pada penjelasan berikut ini.

1. Kolom interior,

Gaya geser rencana V_u dan momen rencana tak seimbang M_u pada gambar 3.6b dianggap bekerja pada muka kolom dan harus ditransfer ke sumbu berat penampang kritis, yaitu sumbu c-c.



Gambar 3.6 Distribusi Tegangan Geser pada Kolom Interior

Dari gambar 3.6a dapat dicari luas penampang kritis A_c , jarak dari pusat berat ke sebelah kiri dan kanan penampang kritis penampang terluar c dan momen inersia polar J_c pada kolom interior dapat dicari.

$$A_c = 2(c_1 + c_2 + 2d)d \dots\dots\dots (3.22)$$

$$J_c = \frac{d(c_1 + d)^3}{6} + \frac{(c_1 + d)d^3}{6} + \frac{d(c_2 + d)(c_1 + d)^2}{2} \dots\dots\dots (3.23)$$

$$C_{AB} = C_{CD} = 0,5(c_1 + d) \dots\dots\dots (3.24)$$

Momen tak seimbang dan reaksi vertikal yang diteruskan ke kolom, menyebabkan tegangan geser yang besarnya dianggap berubah secara linier dengan

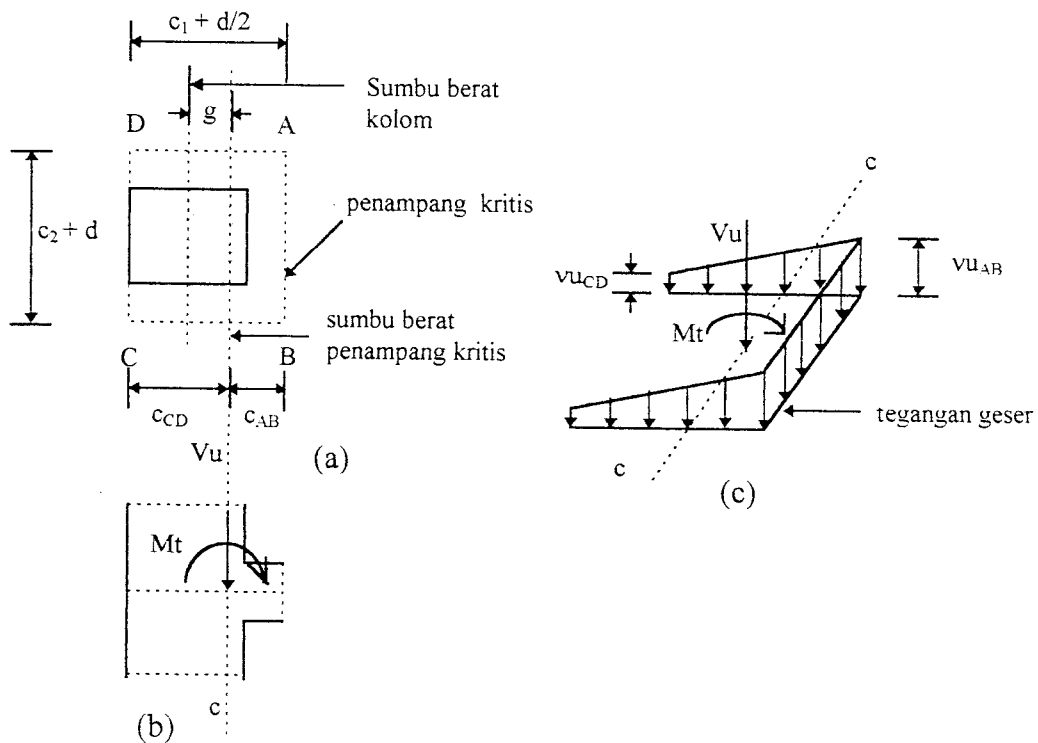
bertambahnya jarak dari pusat penampang kritis, seperti pada gambar 3.6c. Besar tegangan geser yang disuperposisikan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$v_{uAB} = \frac{V_u}{A_c} + \frac{\gamma_v M_t C_{AB}}{J_c} \dots\dots\dots (3.25)$$

$$v_{uCD} = \frac{V_u}{A_c} - \frac{\gamma_v M_t C_{CD}}{J_c} \dots\dots\dots (3.26)$$

Dengan cara seperti di atas, maka dapat dicari tegangan geser maksimum untuk kolom eksterior dan kolom sudut.

2. Kolom eksterior,



Gambar 3.7 Distribusi Tegangan Geser pada Kolom Eksterior

Besar tegangan geser dihitung dengan persamaan berikut :

$$v_{uAB} = \frac{V_u}{A_c} + \frac{\gamma_v (M_t - V_u g) C_{AB}}{J_c} \dots\dots\dots (3.27)$$

$$v_{uCD} = \frac{V_u}{A_c} - \frac{\gamma_v (M_t - V_u g) C_{CD}}{J_c} \dots\dots\dots (3.28)$$

dengan,

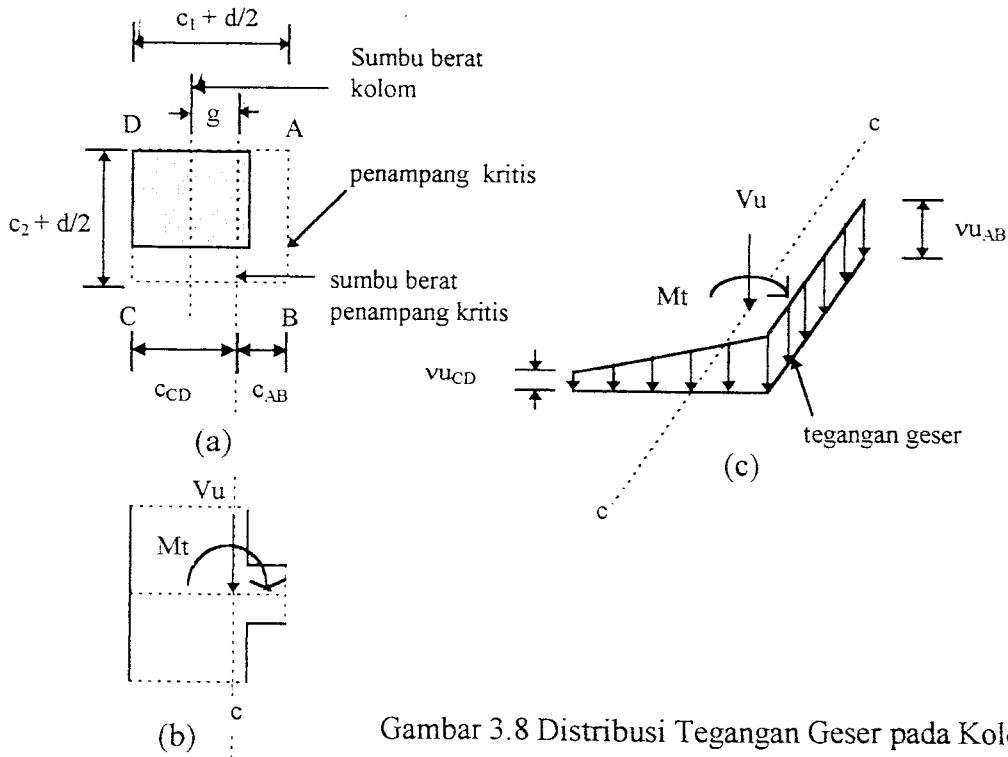
$$A_c = (2c_1 + c_2 + 2d) d \dots\dots\dots (3.29)$$

$$C_{AB} = \frac{(c_1 + d/2)^2 d}{A_c} \dots\dots\dots (3.30)$$

$$C_{CD} = (c_1 + d/2) d - C_{AB} \dots\dots\dots (3.31)$$

$$J_c = \frac{(c_1 + d/2) d^3}{6} + \frac{2d}{3} (C_{AB}^3 + C_{CD}^3) + (c_2 + d) d (C_{AB}^2) \dots\dots\dots (3.32)$$

3. Kolom sudut,



Gambar 3.8 Distribusi Tegangan Geser pada Kolom Sudut

Besarnya tegangan geser yang disuperposisikan dihitung dengan persamaan :

$$V_{uAB} = \frac{V_u}{A_c} + \frac{\gamma_v (M_t - V_u g) C_{AB}}{J_c} \dots\dots\dots (3.33)$$

$$V_{uCD} = \frac{V_u}{A_c} - \frac{\gamma_v (M_t - V_u g) C_{CD}}{J_c} \dots\dots\dots (3.34)$$

dengan,

$$A_c = (c_1 - c_2 + d) d \dots\dots\dots (3.35)$$

$$C_{AB} = \frac{1/2(c_1 + d/2)^2 d}{A_c} \dots\dots\dots (3.36)$$

$$C_{CD} = (c_1 - d/2) - C_{AB} \dots\dots\dots (3.37)$$

$$g = C_{CD} - c_1/2 \dots\dots\dots (3.38)$$

$$J_c = \frac{d (c_1 - d/2)^3}{12} + \frac{d^3 (c_1 + d/2)}{12} + d (c_1 + d/2) \left[\frac{(c_1 + d/2)}{2} - C_{AB} \right]^2 + d (c_2 - d/2) C_{AB}^2 \dots\dots\dots (3.39)$$

3.6 Analisis Geser

3.6.1 Kapasitas Geser Beton

Analisa gaya geser pada *flat plate* dilakukan dengan menganggap bahwa gaya geser V_u ditahan oleh tahanan geser yang terdistribusi secara seragam di sekeliling penampang kritis b_o pada suatu jarak sebesar $d/2$ dari sisi kolom pendukungnya yang sering disebut sebagai daerah *punching shear* (geser pons).

SK SNI T 15 1991 pasal 3.4.12.4 memberikan batasan kapasitas geser yang dapat ditahan oleh kolom beton prategang pada pelat dua arah adalah sebagai berikut :

$$V_c = 0,3 \sqrt{f_c} + 0,3 f_{pc} + \frac{V_p}{b_o d} \dots\dots\dots (3.40)$$

Persamaan 3.40 dapat digunakan jika dipenuhi syarat-syarat di bawah ini :

1. tidak ada bagian dari penampang kolom yang jaraknya lebih dekat dari 4 kali tebal pelat ke suatu tepi yang tidak menerus,
2. f_c tidak boleh diambil lebih besar dari 35 Mpa,
3. f_{pc} pada tiap arah tidak boleh kurang dari 0,9 Mpa dan tidak boleh lebih dari 3,5 Mpa.

Bila tegangan geser ijin tidak memenuhi persamaan 3.40, maka tegangan geser ijin dihitung dengan persamaan untuk beton non prategang, persamaan 3.41.

$$V_c = (1 + 2 \beta_c) \sqrt{f_c} / 6 \leq \sqrt{f_c} / 3 \dots\dots\dots (3.41)$$

3.6.2 Disain Penulangan Geser

Tulangan geser digunakan apabila gaya geser yang terjadi melebihi kapasitas geser beton. Tulangan geser tersebut harus dapat memikul kelebihan gaya geser yang tidak ditahan oleh beton. Kapasitas geser penampang beton apabila dipakai tulangan geser, tidak boleh melampaui $(\sqrt{f_c} / 6) b_o d$.

Jenis-jenis tulangan geser yang dipakai pada perencanaan *flat plate* dapat berupa tulangan biasa yang diangkerkan, profil kepala geser (*shearhead*) berupa profil baja I atau kanal yang saling tegak lurus satu sama lain tanpa pemutusan di dalam penampang kolom. SK SNI T 15 1991 pasal 3.4.5.6 memberikan rekomendasi kuat geser tulangan geser harus dihitung berdasarkan ketentuan sebagai berikut :

1. Untuk tulangan geser yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur,

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{S} \dots\dots\dots (3.42)$$

2. Bila tulangan geser terdiri dari batang tunggal atau satu group batang tulangan sejajar, dan semuanya dibengkokkan pada jarak yang sama dari tumpuan, maka :

$$V_s = A_v f_y \sin\alpha \leq (\sqrt{f_c}/4) b_o d \dots\dots\dots (3.43)$$

Jarak spasi tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial untuk beton prategang harus lebih kecil dari $3/4h$ atau 600 mm. Apabila penulangan geser digunakan profil kepala geser (*shearhead*), maka profil baja yang dibuat harus dengan proses las penetrasi penuh membentuk lengan yang sama dan saling tegak lurus. Lengan *shearhead* tersebut tidak boleh terputus di dalam penampang kolom, ujung setiap lengan *shearhead* boleh dipotong membentuk sudut tidak kurang dari 30° terhadap horisontal, apabila kuat momen plastis penampang miring sisa cukup untuk menahan bagian gaya geser yang bekerja padanya.

SK SNI T 15 1991 pasal 3.4.11.4, juga mensyaratkan tinggi profil baja yang digunakan tidak boleh lebih besar dari 70 kali tebal badan profil baja dan semua flens tekan dari profil baja yang digunakan harus ditempatkan dalam jarak $0,3d$ dari bagian permukaan pelat yang tertekan. Besar gaya geser pada seluruh panjang dari lengan *shearhead* adalah konstan dan bagian dari gaya geser total yang ditahan oleh lengan *shearhead* berbanding lurus dengan α_v , yang merupakan perbandingan antara kekakuan lentur relatif dengan penampang beton yang ada disekitarnya.

Besar nilai α_v dihitung dengan persamaan berikut :

$$\alpha_v = \frac{E_s I_s}{E_c I_c} \dots\dots\dots (3.44)$$

Penampang beton yang dipakai mempunyai lebar efektif $c_2 + d$, dengan c_2 merupakan lebar kolom yang diukur tegak lurus terhadap arah lengan. *Shearhead* yang fleksibel ternyata tidak efektif, sehingga SK SNI T 15 1991 mensyaratkan harga kekakuan relatif lengan *shearhead* paling sedikit 0,15.

Shearhead dipasang pada kepala kolom dan dicor pada pelat beton, sehingga antara *shearhead* dan pelat membentuk penampang komposit yang akan bekerja sama dalam menahan geser. *Shearhead* mempunyai pengaruh yang dapat memindahkan letak penampang kritis hingga berada di luar kolom, sehingga akan diperoleh keuntungan ganda yang juga merupakan tujuan dari perencanaan geser pelat yaitu, bertambahnya besar keliling efektif b_o dan berkurangnya gaya geser total.

Penampang kritis geser *flat plate* tegak lurus terhadap bidang pelat dan memotong setiap lengan *shearhead* sejauh $(3/4)[l_v - (c_1/2)]$ diukur dari muka kolom ke ujung lengan *shearhead*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.9.

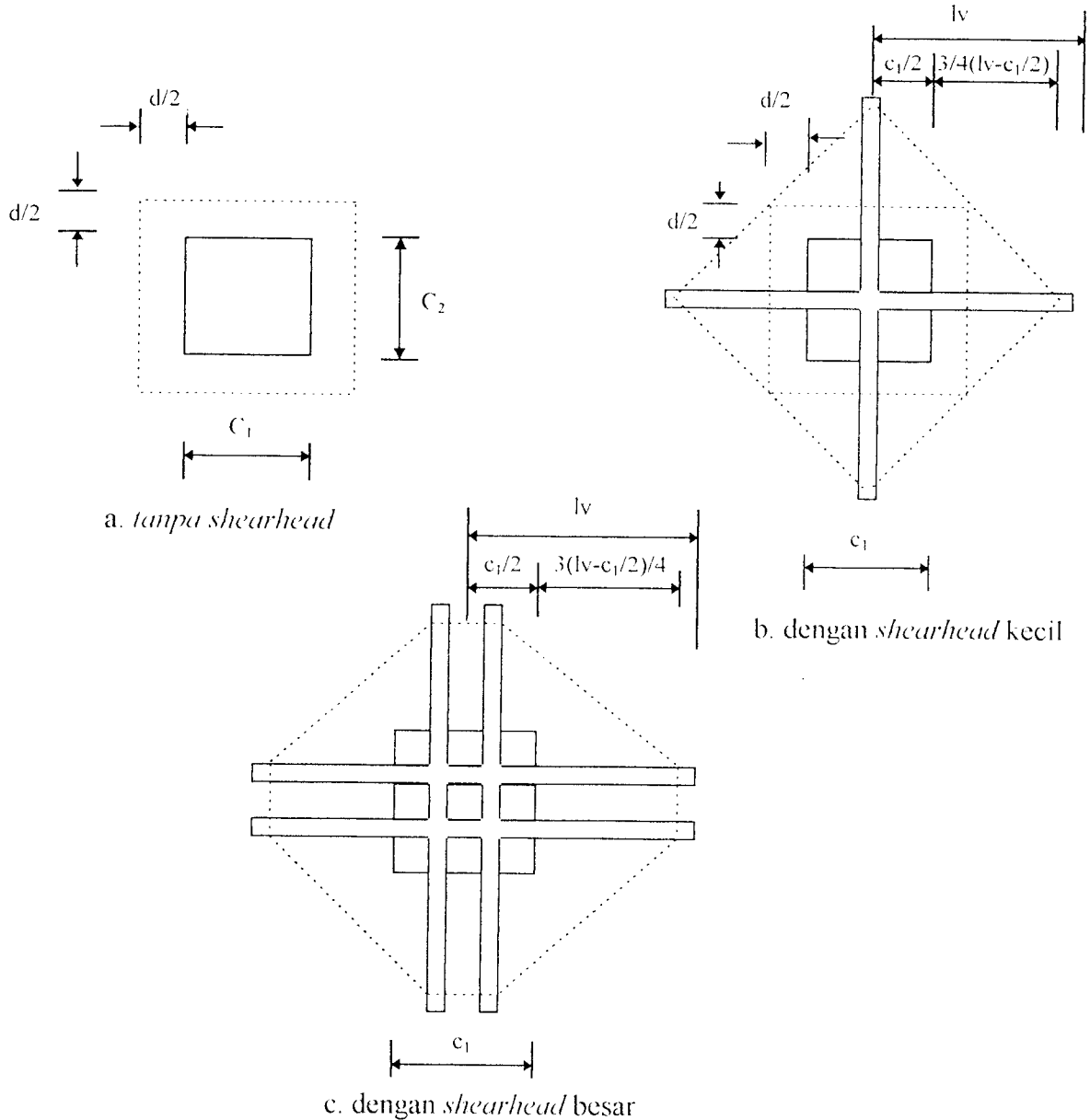
Besar keliling penampang kritis dapat dicari dengan menyamakan V_u dengan kuat geser maksimal pada penampang kritis. Sebagai contoh pada penampang kritis pada gambar 3.9b, dengan menggabungkan kedua persamaan itu, maka besar keliling penampang kritis dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$V_u = \phi(\sqrt{f_c/3}) b_o d \dots\dots\dots (3.45)$$

$$b_o = \frac{3V_u}{d\sqrt{f_c}} \dots\dots\dots (3.46)$$

Panjang profil baja yang dibutuhkan untuk menahan gaya geser (l_v) dapat dihitung dari tinjauan gambar 3.9b. Dengan menggunakan teorema segitiga siku-siku, maka l_v dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$\left\{ \frac{3}{4} (l_v - c_1/2) + c_1/2 \right\} \sqrt{2} = b_v/4 \quad \dots\dots\dots (3.47)$$



Gambar 3.9 Penampang Kritis Geser Flat Plate

Kuat momen plastis perlu untuk setiap lengan profil penahan geser dihitung dengan persamaan berikut :

$$M_p = \frac{V_u}{\phi 2\eta} [h_v + \alpha_v (L_v - c_1/2)] \dots\dots\dots (3.48)$$

Shearhead tersebut dapat mengurangi momen jalur kolom, karena lebar perletakan efektif bertambah besar. Besar pengurangan momen berbanding lurus dengan ukuran dan bagian dari beban yang ditahan oleh *shearhead*. Besar momen secara konservatif dapat diperkirakan dengan persamaan berikut ini.

$$M_v = \frac{\phi \alpha_v V_u (l_v - c_1/2)}{2\eta} \dots\dots\dots (3.49)$$

SK SNI T 15 1991 memberikan batasan untuk pengurangan momen tersebut tidak boleh lebih besar dari nilai terkecil dari :

1. 30% dari momen terfaktor total yang perlu untuk setiap jalur kolom pelat,
2. perubahan dalam momen jalur kolom sepanjang l_v ,
3. kuat momen plastis perlu (M_p).

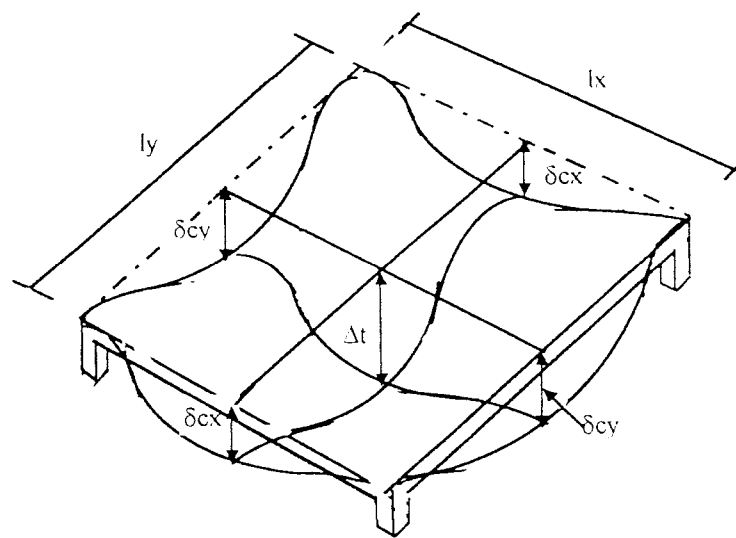
Kuat geser disain terfaktor tidak boleh melampaui kuat geser nominal yang disediakan oleh penampang beton dan tulangan geser.

$$V_u \leq \phi V_n \dots\dots\dots (3.50)$$

SK SNI T 15 1991 pasal 3.4.11 memberikan batasan untuk tulangan geser biasa, kuat geser nominal tidak boleh diambil lebih dari $(0,5\sqrt{f'_c})b_0d$, sedangkan untuk profil kepala geser (*shearhead*) adalah $(0,6\sqrt{f'_c})b_0d$.

3.7 Analisis Lendutan

Lendutan pada *flat plate* terjadi pada dua arahnya dan lendutan maksimum terletak pada tengah bentang dari jalur kolom dalam satu arah ditambah lendutan tengah bentang dari jalur tengah dalam arah lainnya. Untuk lebih jelasnya diperlihatkan dalam gambar 3.10.



Gambar 3.10 Analisa Lendutan pada *Flate Plate*

Lendutan dalam arah X dan Y pada bentang *flat plate* dapat diperhitungkan dengan menjumlahkan komponen lendutan berikut (Edward G. Nawy, 1996) :

1. Perletakan diasumsikan terjepit sepenuhnya, sehingga lendutan dirumuskan :

$$\delta' = \frac{W l^4}{384 E_c I_{frame}} \dots\dots\dots (3.51)$$

Untuk jalur kolom :

$$\delta_c = \delta' \frac{M_{col strip}}{M_{frame}} \frac{E_c I_{cs}}{E_c I_c} \dots\dots\dots (3.52)$$

Untuk jalur tengah :

$$\delta_s = \delta' \frac{M_{\text{slab strip}}}{M_{\text{frame}}} \frac{E_c I_{cs}}{E_c I_s} \dots\dots\dots (3.53)$$

2. Lendutan di tengah bentang, $\delta''\theta L = \theta L/8$, dengan memperhitungkan rotasi ujung kiri sedang ujung kanannya jepit sempurna, θL (bagian kiri) sama dengan M_{net}/K_{ec} dan K_{ec} kekakuan dari kolom yang ekuivalen,

3. Lendutan di tengah bentang, $\delta''\theta R = \theta R/8$, akibat rotasi ujung kanan sedangkan ujung kirinya jepit sempurna, dengan θR sama dengan M_{net}/K_{ec} , sehingga :

$$\delta_{cx} \text{ atau } \delta_{cy} = \delta_c + \delta''\theta L + \delta''\theta R \dots\dots\dots (3.54)$$

$$\delta_{sx} \text{ atau } \delta_{sy} = \delta_s + \delta''\theta L + \delta''\theta R \dots\dots\dots (3.55)$$

Dari persamaan 3.54 dan 3.55, didapatkan total lendutan :

$$\Delta_t = \delta_{sx} + \delta_{cy} = \delta_{sy} + \delta_{cx} \dots\dots\dots (3.56)$$

4. Untuk lendutan pada kedua arah, dijumlahkan lendutan yang terjadi pada kedua arah x dan y,

$$\Delta_t = \frac{(\Delta_{tx} + \Delta_{ty})}{2} \dots\dots\dots (3.57)$$

5. Lendutan total untuk jangka panjang harus memperhitungkan beban yang akan bekerja tetap W_{sust} ,

$$W_{\text{sust}} = (W_{\text{unb}} - WL) + 0,65WL \dots\dots\dots (3.58)$$

$$\delta_{\text{long-t}} = \frac{W_{\text{sust}}}{W_{\text{unb}}} \times \Delta_t \times \text{Faktor Creep} \dots\dots\dots (3.59)$$

6. Total defleksi tengah panel arah x dan y setelah memperhitungkan pengaruh waktu,

$$\Delta_{\text{tot}} = \Delta_t + \delta_{\text{long-t}} \dots\dots\dots (3.60)$$

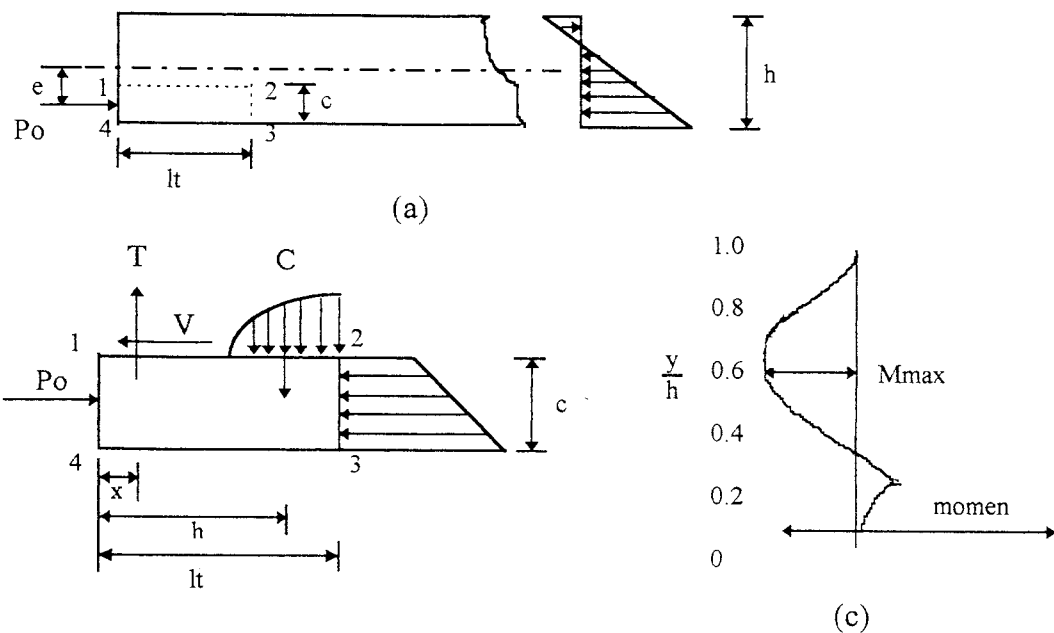
Lendutan yang terjadi tidak boleh melampaui batas lendutan maksimum yang telah ditetapkan oleh SK SNI T 15 1991 pasal 3.2.5.3 seperti yang diperlihatkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Lendutan Maksimum

TIPE KOMPONEN STRUKTUR	LENDUTAN YANG DIPERHITUNGGAN	BATAS LENDUTAN
Atap datar tidak menahan atau berhubungan dengan komponen non struktural yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar	Lendutan akibat beban hidup, L	$\frac{1}{180}$
Lantai tidak menahan atau berhubungan dengan komponen nonstruktural yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar	Lendutan akibat beban hidup, L	$\frac{1}{360}$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau berhubungan dengan komponen nonstruktural yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural (jumlah dari lendutan jangka panjang akibat semua beban yang bekerja dan lendutan seketika yang terjadi akibat penambahan sembarang beban hidup)	$\frac{1}{480}$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau berhubungan dengan komponen nonstruktural yang mungkin tidak rusak akibat lendutan yang besar		$\frac{1}{240}$

3.8 Perhitungan *End Block*

Untuk lebih jelasnya mengenai analisis daerah pengankuran diperlihatkan pada gambar 3.11. Gambar 3.11a menunjukkan daerah ujung dari sebuah gelagar pasca tarik dengan gaya prategang awal P_0 dikerjakan pada eksentrisitas e . Pada suatu jarak l_t dari ujung, distribusi tegangan tekan berbentuk linier.



Gambar 3.11 Tegangan pada *End Block*

Gambar 3.11b menunjukkan gaya yang bekerja pada *free body* 1-2-3-4, yang dibatasi oleh ujung-ujung batang dan ujung permukaan sebelah dalam daerah pengangkuran, dengan asumsi retak horizontal. Pada umumnya, dari gaya-gaya horizontal pada permukaan 1-2 akan dihasilkan baik momen maupun geser. Gaya geser yang terjadi ditahan oleh lekatan agregat, sedang daya tahan terhadap momen yang diperlukan diberikan oleh gaya tarik T dari tulangan dan resultan gaya tekan C dari beton, yang diperkirakan bekerja pada suatu jarak h dari ujung permukaan. Tinggi c dari *free body*, yang ditentukan oleh ketinggian retak, ditentukan berdasarkan persyaratan bahwa momen yang terjadi akibat gaya horizontal akan mempunyai harga maksimum pada ketinggian tempat terjadinya retak. Gambar 3.11c merupakan contoh dari diagram momen yang dapat dihasilkan dari perhitungan.

Dalam merencanakan luas pelat angkur, ACI memberikan batasan tegangan beton yang tidak boleh dilampaui,

1. segera setelah pengangkutan,

$$f_b = 0,8f_c \sqrt{A_2/A_1 - 0,2} \leq 1,25f_{ci} \dots\dots\dots (3.61)$$

2. setelah kehilangan prategangan,

$$f_b = 0,6f_c \sqrt{A_2/A_1} \leq f_c \dots\dots\dots (3.62)$$

Perbandingan luasan pelat ekivalen A_2 dengan A_1 diambil maksimal 2,7, dikarenakan pada perbandingan tersebut, penyaluran tegangan dari pelat A_1 ke pelat A_2 masih efektif.

Besar dari tegangan ujung yang akan diantisipasi oleh *end block* dirumuskan :

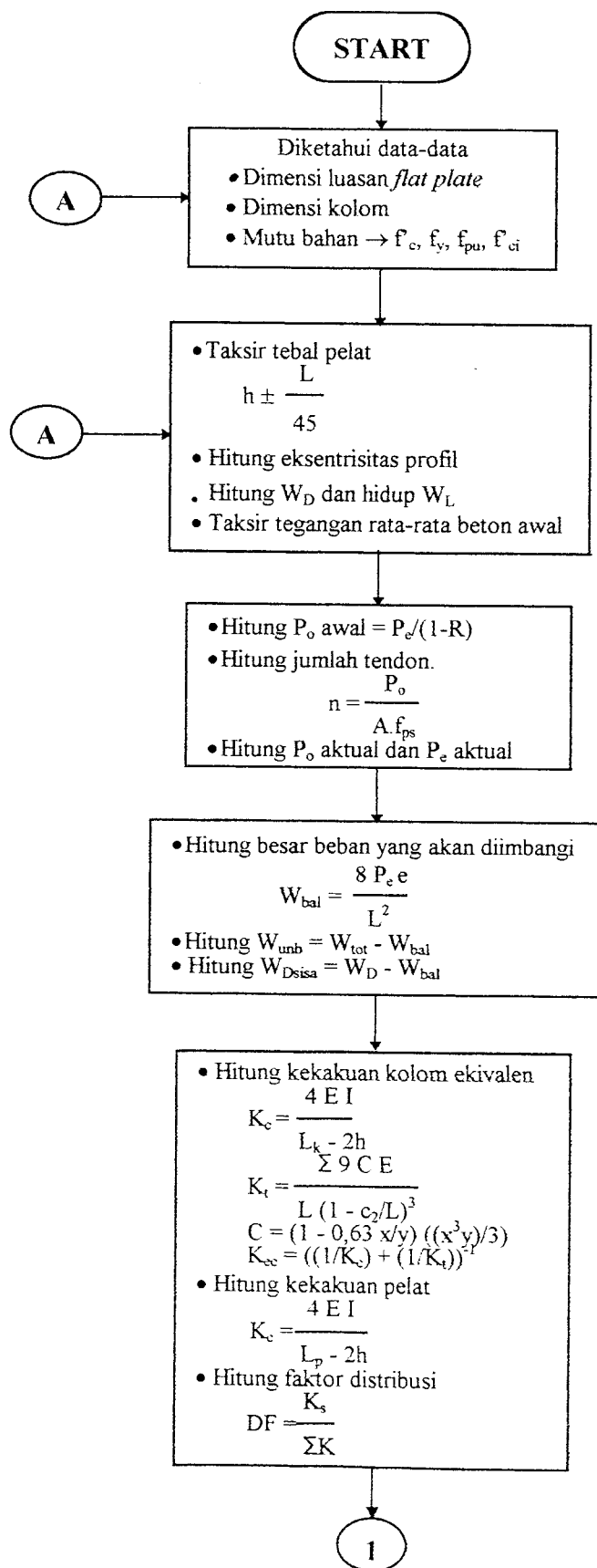
$$T = \frac{M_{max}}{h - x} \dots\dots\dots (3.63)$$

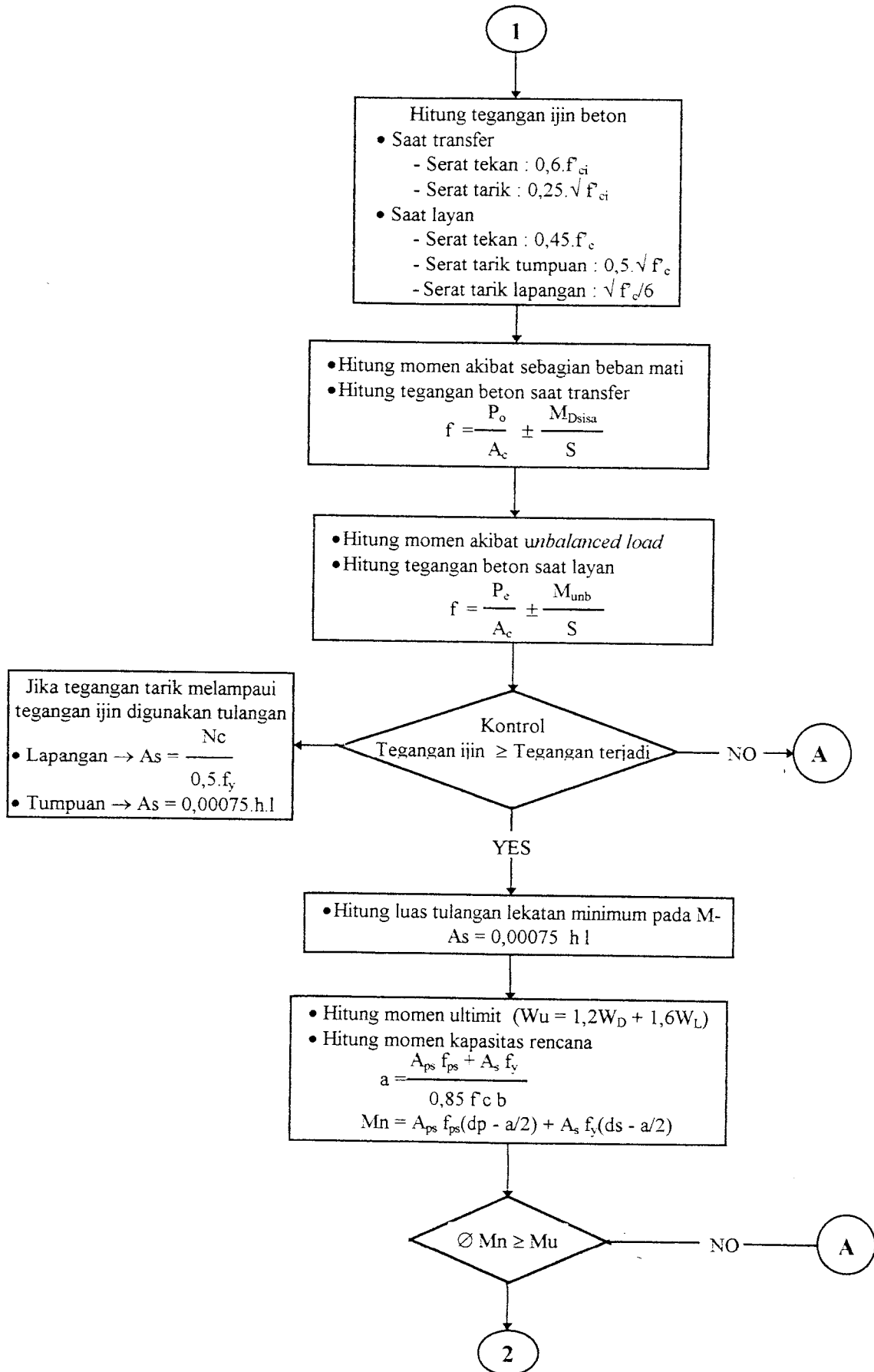
Kebutuhan tulangan sengkang ujung :

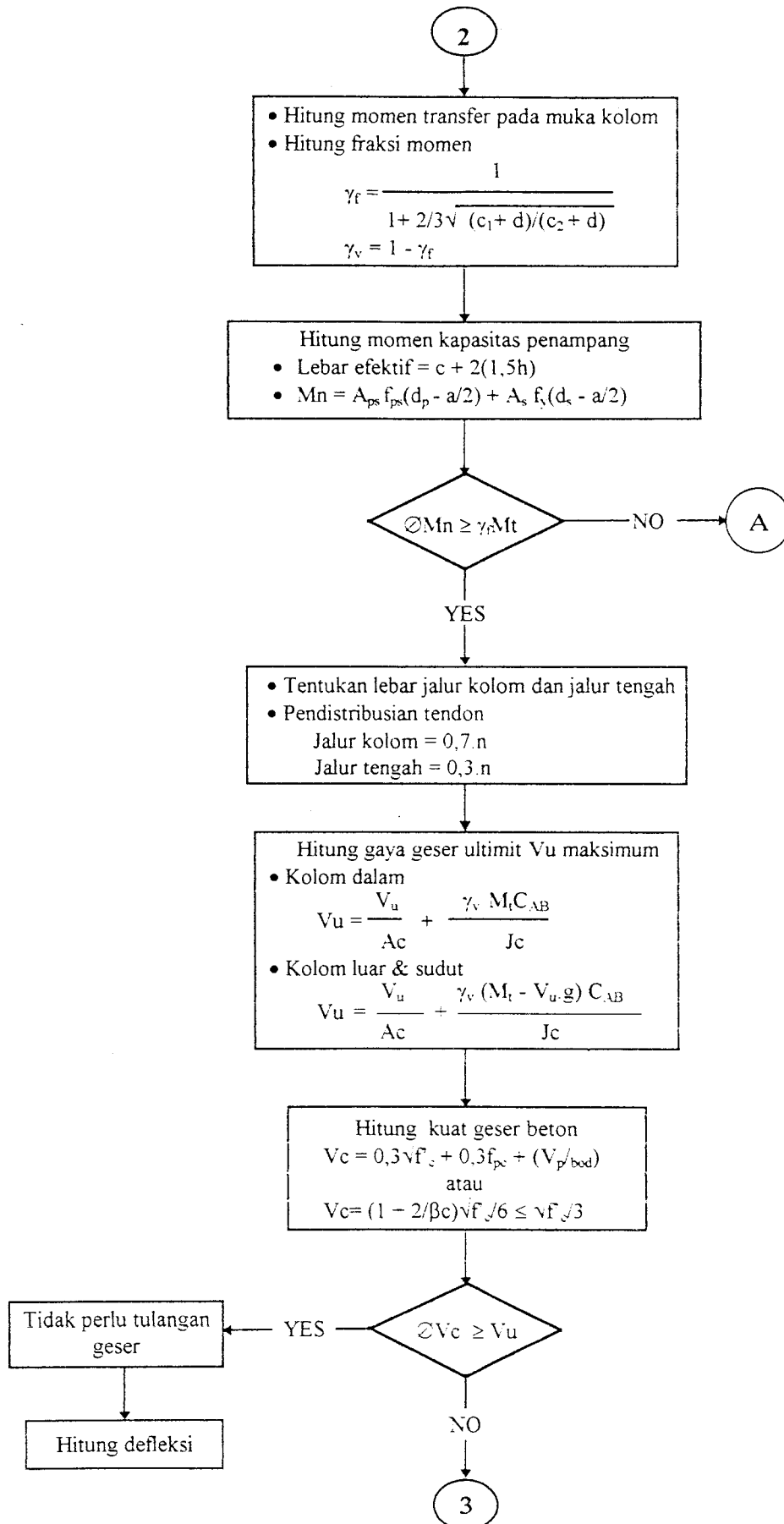
$$A_s = \frac{T}{f_y} \dots\dots\dots (3.64)$$

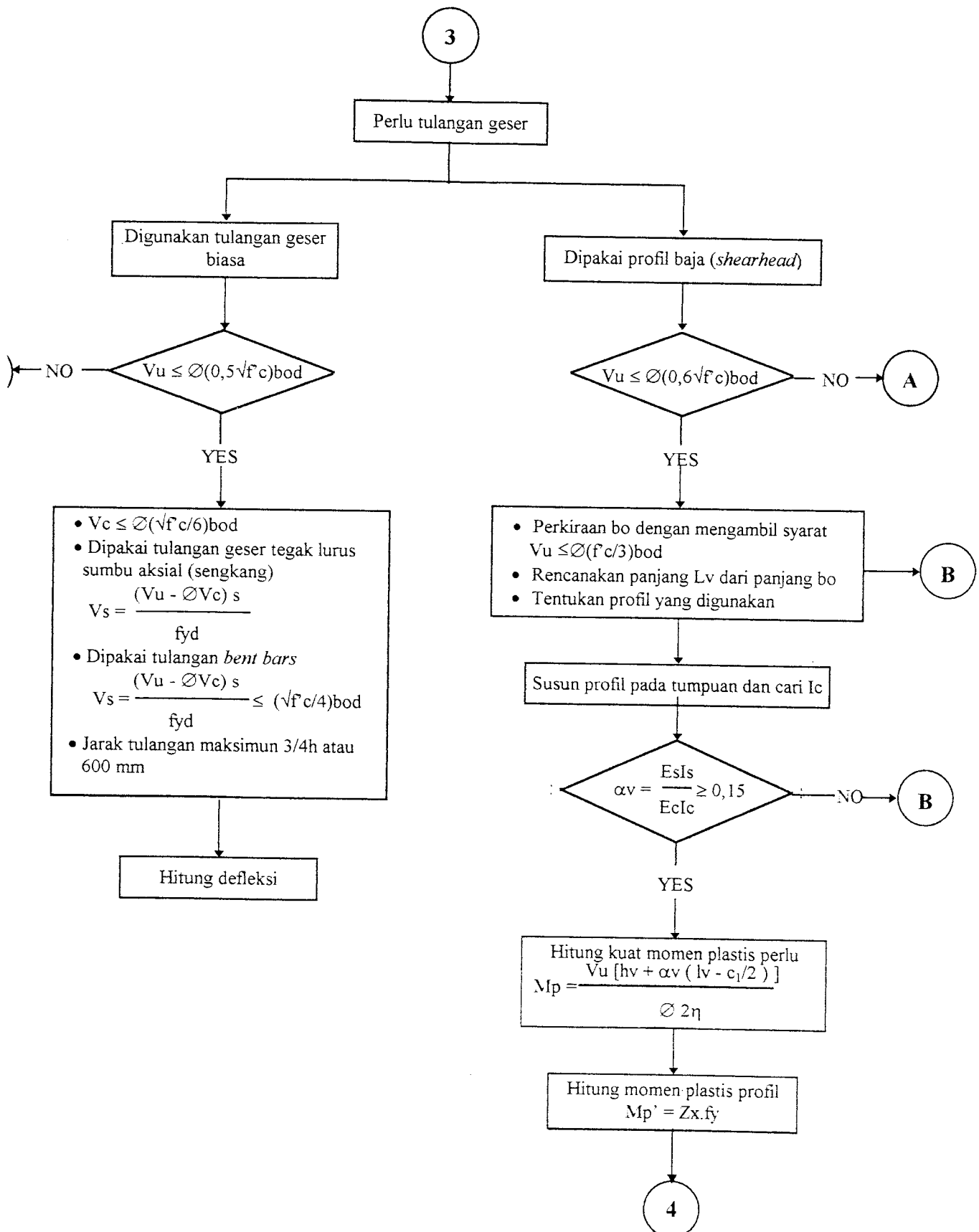
Untuk beton pasca tarik, sengkang tersebut harus didistribusikan pada jarak $h/2$ dari ujung permukaan.

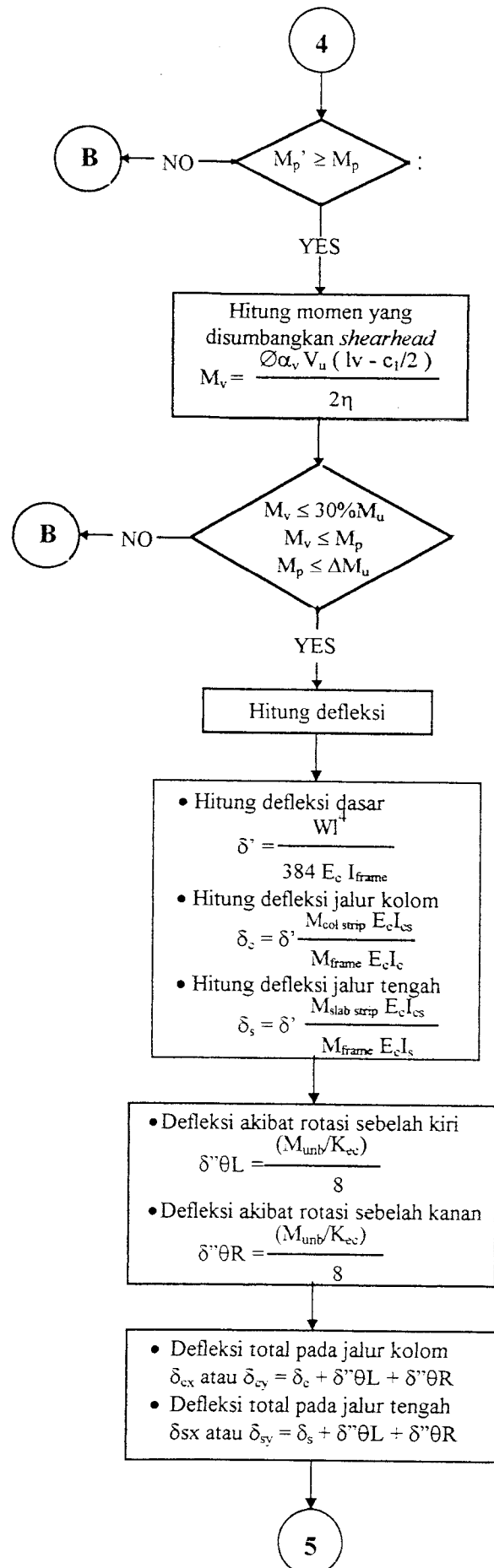
3.9 Flow Chart Disain Flat Plate Beton Prategang

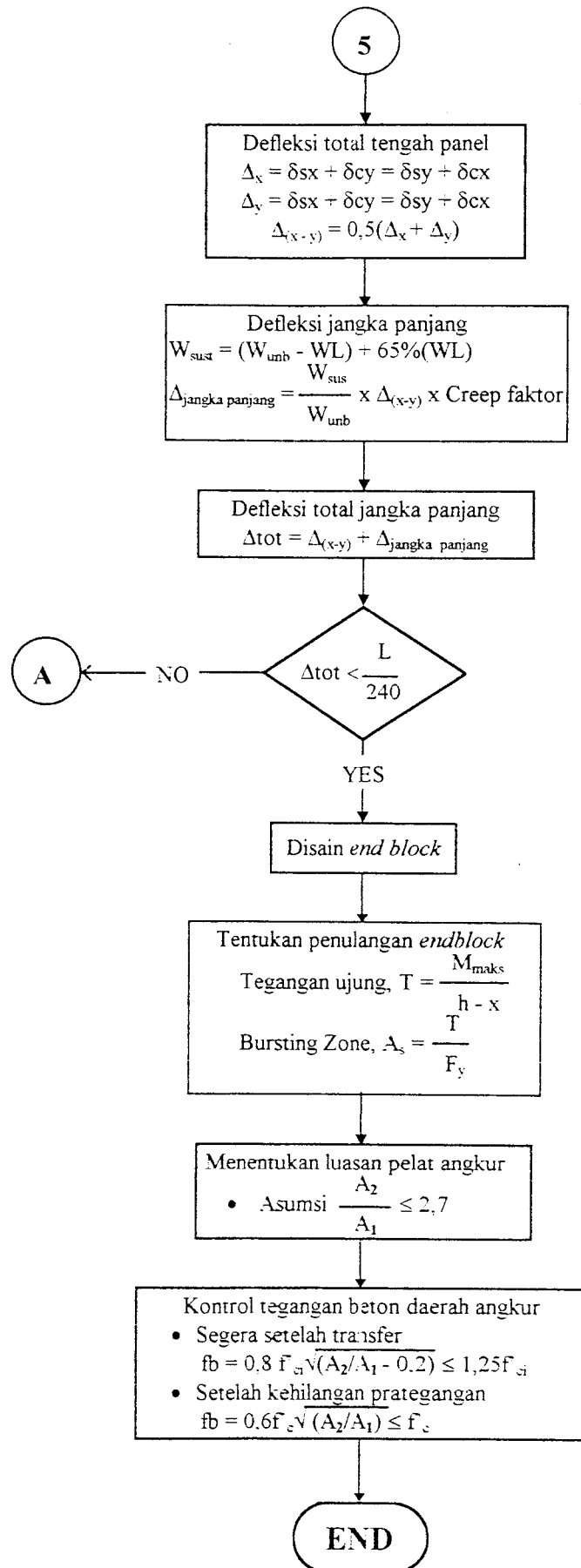












BAB IV

PENERAPAN DAN PERHITUNGAN

4.1 Penerapan

Untuk lebih jelasnya mengenai proses penyelesaian disain *flat plate* beton prategang dengan *unbonded tendon*, maka pada bagian ini akan disajikan suatu contoh disain dan kemudian diselesaikan berdasarkan apa yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya. Sebagai contoh yaitu pada perencanaan suatu gedung perkantoran dengan struktur pelat menerus tiga bentangan. Panjang bentangan pelat yang akan dianalisis direncanakan berukuran 8 m x 6 m. Kolom yang digunakan berukuran 0,5 m x 0,5 m dan tinggi kolom 3 m.

Mutu bahan yang digunakan yaitu :

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$f'_{ci} = 0,75 f'_c = 26,25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$f_{pu} = 1863 \text{ MPa}$$

$$f_{se} = 0,7f_{pu} = 1304,1 \text{ MPa}$$

$$\text{BJ beton} = 24 \text{ KN/m}^3$$

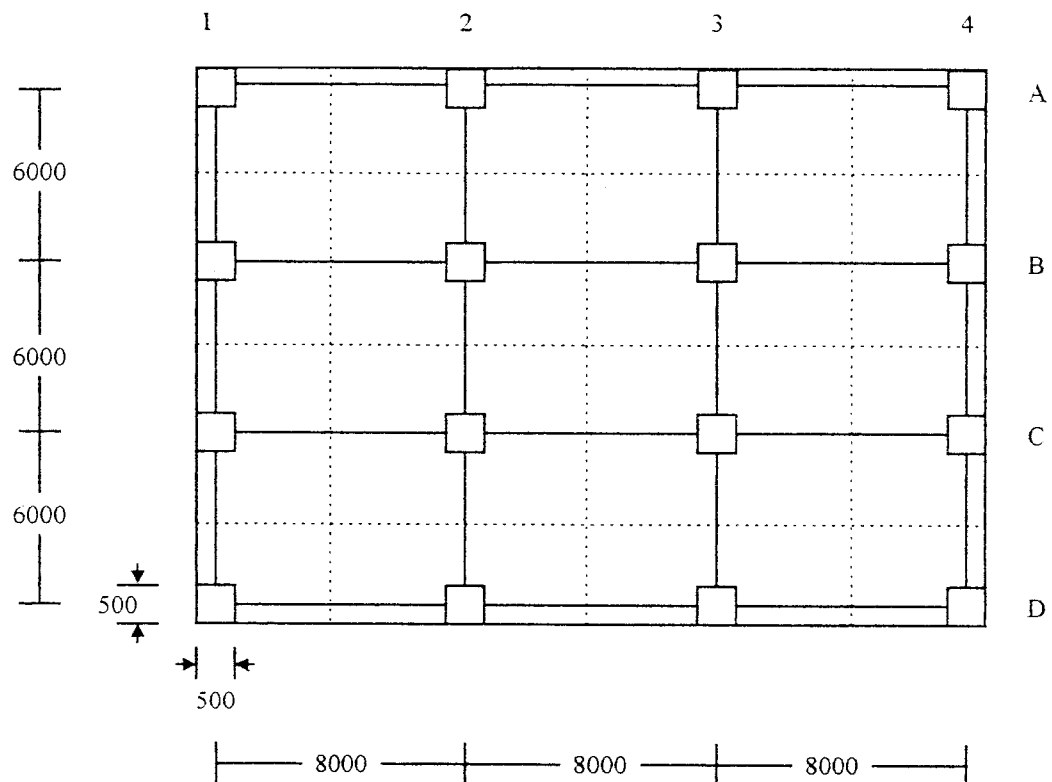
$$R = 20\%$$

$$\phi \text{ tendon} = 12,7 \text{ mm}$$

$$\phi \text{ tulangan non prategang} = 12 \text{ mm}$$

4.2 Perhitungan

Pada bagian ini, hitungan disain dan perencanaan hanya untuk portal 2A - 2D, sedangkan untuk portal lainnya akan disajikan dalam bentuk tabel.



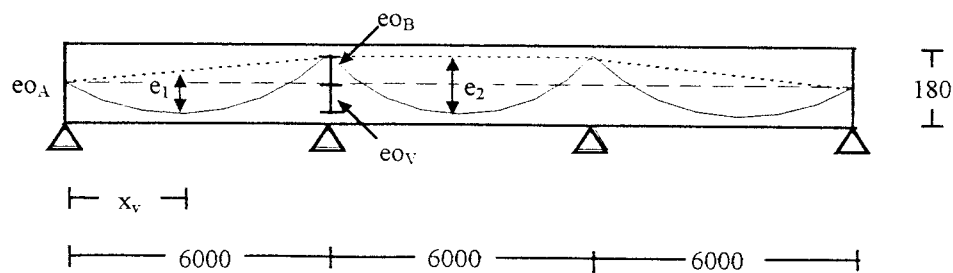
Gambar 4.1 Denah *Flat Plate*

4.2.1 Portal 2A - 2D

1. Tebal pelat dan profil tendon

a. Tebal pelat

$$h \pm \frac{L}{45} = \frac{8000}{45} = 177 \text{ mm} \rightarrow \text{diambil tebal pelat } 180 \text{ mm}$$



Gambar 4.2 Profil Tendon Portal 2A-2D

b. Besarnya eksentrisitas

Selimut beton yang digunakan = 20 mm

Bentang luar,

$$x_v^2 = \left[\frac{eo_V - eo_A}{eo_V - eo_B} \right] (l - x_v)^2 = \left[\frac{63,65 - 0,00}{63,65 - (-50,95)} \right] \times (6000 - x_v)^2$$

$$x_v = 2560 \text{ mm}$$

$$e_1 = eo_V - (eo_A + eo_B) \frac{x_v}{l}$$

$$e_1 = 63,65 + 50,95 \times \frac{2560}{6000} = 85,39 \text{ mm} \longrightarrow 0,08539 \text{ m}$$

Bentang dalam,

$$e_2 = 180 - (2 \times 20) - (2 \times 0,5 \times 12,7) - 12,7 = 114,6 \text{ mm} \longrightarrow 0,1146 \text{ m}$$

2. Pembebanan

a. Beban mati (W_D)

- berat pelat $0,18 \times 24 = 4,32 \text{ KN/m}^2$
 - berat penutup lantai $= 1,2 \text{ KN/m}^2$
- 5,52 KN/m^2

b. Beban hidup (W_L) $= 2,5 \text{ KN/m}^2$

c. $W_{total} = 8,02 \text{ KN/m}^2$

3. Gaya prategang efektif

Asumsi tegangan rata-rata = 0,90 MPa

Perkiraan awal gaya prategang,

$$P_e = 0,90 \times 180 = 162 \text{ KN/m}$$

$$P_o = \frac{P_e}{(1 - 20\%)} = \frac{162}{0,80} = 202,5 \text{ KN/m}$$

Dipakai tendon diameter 12,7 mm, $A_{ps} = 98,7 \text{ mm}^2$, $f_{pu} = 1863 \text{ MPa}$ (lampiran 1).

Jumlah tendon yang diperlukan,

$$n = \frac{P_o}{A_{ps} f_{ps}} = \frac{202,5 \times 8 \times 10^3}{98,7 \times 0,7 \times 1863} = 12,59 \rightarrow \text{dipakai 13 tendon}$$

Gaya prategang aktual,

$$P_o \text{ aktual} = \frac{13 \times 0,90 \times 0,7 \times 1863}{8000} = 209,161 \text{ KN/m}$$

$$P_e \text{ aktual} = \frac{13 \times 98,7 \times 0,80 \times 0,7 \times 1863}{8000} = 167,329 \text{ KN/m}$$

Tegangan rata-rata aktual,

$$f_{pc} = \frac{P_e \text{ aktual}}{h} = \frac{167,329}{180} = 0,93 \text{ MPa}$$

4. Perimbangan beban (*load balancing*)

a. Pada bentang luar,

$$W_{bal} = \frac{8 P_e e_1}{l^2} = \frac{8 \times 167,329 \times 0,8539}{6^2} = 3,175 \text{ KN/m}^2$$

$$W_{\text{unb}} = W_{\text{tot}} - W_{\text{bal}} = 8,02 - 3,175 = 4,845 \text{ KN/m}^2$$

Sebagian beban mati yang belum diimbangi,

$$W_{\text{Dsisa}} = W_{\text{D}} - W_{\text{bal}} = 5,52 - 3,175 = 2,345 \text{ KN/m}^2$$

b. Pada bentang dalam,

$$W_{\text{bal}} = \frac{8 \times 167,329 \times 0,1146}{6^2} = 4,261 \text{ KN/m}^2$$

$$W_{\text{unb}} = W_{\text{tot}} - W_{\text{bal}} = 8,02 - 4,261 = 3,759 \text{ KN/m}^2$$

Sebagian beban mati yang belum diimbangi,

$$W_{\text{Dsisa}} = 5,52 - 4,261 = 1,259 \text{ KN/m}^2$$

5. Pendekatan portal ekuivalen

a. Kekakuan dasar kolom untuk portal ekuivalen,

$$\text{Inersia kolom} = \frac{500 \times 500^3}{12} = 5,21 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$\text{Asumsi } \frac{E \text{ kolom}}{E \text{ pelat}} = 1$$

Kolom yang dihitung yaitu kolom atas dan bawah,

$$K_c = \frac{4 E I}{L_n - 2h} = \frac{4 \times 1 \times 5,21 \times 10^9}{3000 - (2 \times 180)} \times 2 = 1,578 \times 10^7$$

b. Kekakuan torsi dari pelat dalam garis kolom,

Besar konstanta torsional,

$$C = \sum (1 - 0,63x/y) \frac{x^3 y}{3} = (1 - 0,63 \frac{180}{500}) \frac{180^3 \times 500}{3}$$

$$= 7,52 \times 10^8$$

$$K_t = \sum \frac{9E_{cs} C}{L_2 (1 - c_2/L_2)} = \frac{9 \times 1 \times 7,52 \times 10^8}{8000(1 - 500/8000)} \times 2 = 2,05 \times 10^6$$

c. Kekakuan kolom ekivalen,

$$\frac{1}{K_{ec}} = \frac{1}{\Sigma K_c} + \frac{1}{\Sigma K_t} = \frac{1}{1,578 \times 10^7} + \frac{1}{2,05 \times 10^6}$$

$$K_{ec} = 1,82 \times 10^6$$

d. Kekakuan slab,

$$\text{Inersia slab} = \frac{8000 \times 180^3}{12} = 3,88 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Nilai K_s sebelah kanan dan kiri kolom sama, karena kolom dan bentang sama:

$$K_s = \frac{4E_{cs} I_s}{L_n - C_1/2} = \frac{4 \times 1 \times 3,88 \times 10^9}{(6000 - 500/2)} = 2,70 \times 10^6$$

5. Kontrol tegangan beton

a. Tegangan ijin beton,

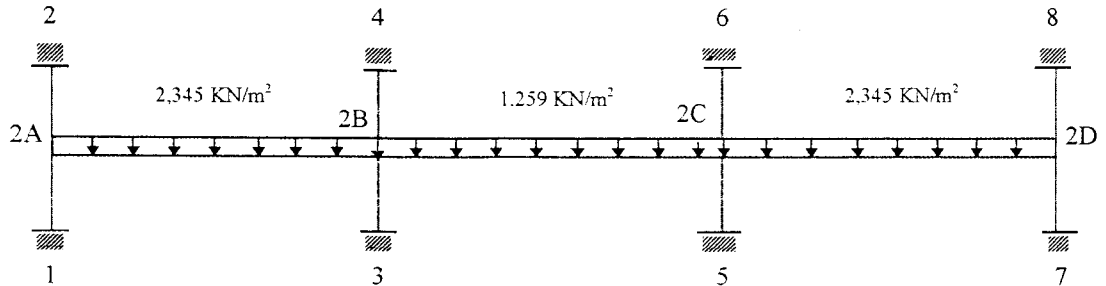
Saat transfer :

- serat tekan = $0,6 f'_{ci} = 0,6 \times 26,25 = 15,75 \text{ MPa}$
- serat tarik = $0,25 \sqrt{f'_{ci}} = 0,25 \times \sqrt{26,25} = 1,28 \text{ MPa}$

Saat layan :

- serat tekan = $0,45 f'_c = 0,45 \times 35 = 15,75 \text{ MPa}$
- serat tarik (M -) = $0,5 \sqrt{f'_c} = 0,50 \times \sqrt{35} = 2,96 \text{ MPa}$
- serat tarik (M +) = $\sqrt{f'_c}/6 = \sqrt{35}/6 = 0,986 \text{ MPa}$

b. Tegangan beton saat transfer,



Gambar 4.3 Portal 2A - 2D

Faktor distribusi

$$DF_{2A-1} = DF_{2A-2} = DF_{2D-7} = DF_{2D-8} = \frac{9,1 \times 10^5}{2,7 \times 10^6 + 1,82 \times 10^6} = 0,201$$

$$DF_{2B-3} = DF_{2B-4} = DF_{2C-5} = DF_{2C-6} = \frac{9,1 \times 10^5}{2,7 \times 10^6 + 2,7 \times 10^6 + 1,82 \times 10^6} = 0,126$$

$$DF_{2A-2B} = DF_{2D-2C} = \frac{2,7 \times 10^6}{2,7 \times 10^6 + 1,82 \times 10^6} = 0,598$$

$$DF_{2B-2A} = DF_{2B-2C} = DF_{2C-2B} = DF_{2C-2D} = \frac{2,7 \times 10^6}{2,7 \times 10^6 + 2,7 \times 10^6 + 1,82 \times 10^6} = 0,374$$

Untuk FEM $W_{D_{\text{sisia}}}$ bentang luar,

$$FEM = \frac{2,345 \times 6^2}{12} = 7,035 \text{ KNm}$$

Untuk FEM $W_{D_{\text{sisia}}}$ bentang dalam,

$$FEM = \frac{1,259 \times 6^2}{12} = 3,776 \text{ KNm}$$

Tabel 4.1 Distribusi Momen Sebagian Beban Mati

Joint	Momen Distribusi													
	2A			2B				2C				2D		
Batang	2A-1	2-A2	2A-2B	2B-2A	2B-4	2B-3	2B-2C	2C-2B	2C-6	2C-5	2C-2D	2D-2C	2D-28	2D-27
COF	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
DF	0,201	0,201	0,598	0,374	0,126	0,126	0,374	0,374	0,126	0,126	0,374	0,598	0,201	0,201
FEM			7,035	-7,035			3,776	-3,776			7,035	-7,035		
	-1,414	-1,414	-4,209	-2,104							2,104	4,209	1,414	1,414
			1,004	2,007	0,676	0,676	2,007	1,004						
							-1,004	-2,007	-0,676	-0,676	-2,007	-1,004		
	-0,202	-0,202	-0,601	-0,300							0,300	0,601	0,202	0,202
			0,244	0,488	0,164	0,164	0,488	0,244						
							-0,244	-0,488	-0,164	-0,164	-0,488	-0,244		
	-0,049	-0,049	-0,146	-0,073							0,073	0,146	0,049	0,049
			0,059	0,119	0,040	0,040	0,119	0,059						
							-0,059	-0,119	-0,040	-0,040	-0,119	-0,059		
	-0,012	-0,012	-0,036	-0,018							0,018	0,036	0,012	0,012
			0,014	0,029	0,010	0,010	0,029	0,014						
							-0,014	-0,029	-0,010	-0,010	-0,029	-0,014		
	-0,003	-0,003	-0,009	-0,004							0,004	0,009	0,003	0,003
			0,004	0,007	0,002	0,002	0,007	0,004						
							-0,004	-0,007	-0,002	-0,002	-0,007	-0,004		
Total	-1,680	-1,680	3,358	-6,883	0,893	0,893	5,103	-5,103	-0,893	-0,893	6,883	-3,358	1,680	1,680
Wunb	-	-	2,345	2,345	-	-	1,259	1,259	-	-	2,345	2,345	-	-
L	-	-	6	6	-	-	6	6	-	-	6	6	-	-
Geser	-	-	6,447	7,622	-	-	3,776	3,776	-	-	7,622	6,447	-	-
M lap	-	-	3,595		-	-	0,562		-	-	3,595		-	-

Momen yang dipergunakan untuk perencanaan pelat yaitu momen pada batang 2A-2B, 2B-2A, 2B-2C, 2C-2B, 2C-2D, dan 2D-2C (bagian yang diblok).

$M_{D_{\text{sis}}} \text{ maks} = 6,883 \text{ KNm}$ (dari Tabel 4.1).

$$M_{\text{maks muka kolom}} = 6,883 - \frac{(2,345 \times 0,5 \times 6 \times 0,5)}{3} = 5,004 \text{ KNm}$$

$$\text{Modulus penampang} = \frac{1000 \times 180^2}{6} = 5,4 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

Tegangan yang terjadi,

$$f_b = - \frac{P_o l}{A} - \frac{M_{D_{\text{sis}}}}{S}$$

$$= - \frac{209,161 \times 8000}{8000 \times 180} - \frac{5,004 \times 10^6}{5,4 \times 10^6} = -2,089 \text{ MPa} \leq 15,75 \text{ MPa Aman!}$$

$$f_t = - \frac{P_o l}{A} + \frac{M_{Dsisa}}{S}$$

$$= - \frac{209,161 \times 8000}{8000 \times 180} + \frac{5,004 \times 10^6}{5,4 \times 10^6} = -0,235 \text{ MPa} \leq 1,28 \text{ MPa Aman!}$$

c. Tegangan beton saat layan,

Untuk FEM_{unb} bentang luar,

$$FEM = \frac{4,845 \times 6^2}{12} = 14,535 \text{ KNm}$$

Untuk FEM_{unb} bentang dalam,

$$FEM = \frac{3,758 \times 6^2}{12} = 11,276 \text{ KNm}$$

Tabel 4.2 Distribusi Momen *Unbalanced Load*

Joint	Momen Distribusi													
	2A			2B				2C				2D		
Batang	2A-1	2A-2	2A-2B	2B-2A	2B-4	2B-3	2B-2C	2C-2B	2C-6	2C-5	2C-2D	2D-2C	2D-28	2D-27
COF	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
DF	0,201	0,201	0,598	0,374	0,126	0,126	0,374	0,374	0,126	0,126	0,374	0,598	0,2	0,2
FEM			14,535	-14,535			11,276	-11,276			14,535	-14,535		
	-2,921	-2,921	-8,696	-4,348							4,348	8,696	2,921	2,921
			1,424	2,847	0,958	0,958	2,847	1,424						
							-1,424	-2,847	-0,958	-0,958	-2,847	-1,424		
	-0,286	-0,286	-0,852	-0,426							0,426	0,852	0,286	0,286
			0,346	0,692	0,233	0,233	0,692	0,346						
							-0,346	-0,692	-0,233	-0,233	-0,692	-0,346		
	-0,070	-0,070	-0,207	-0,104							0,104	0,207	0,070	0,070
			0,084	0,168	0,057	0,057	0,168	0,084						
							-0,084	-0,168	-0,057	-0,057	-0,168	-0,084		
	-0,017	-0,017	-0,050	-0,025							0,025	0,050	0,017	0,017
			0,020	0,041	0,014	0,014	0,041	0,020						
							-0,020	-0,041	-0,014	-0,014	-0,041	-0,020		
	-0,004	-0,004	-0,012	-0,006							0,006	0,012	0,004	0,004
			0,005	0,010	0,003	0,003	0,010	0,005						
							-0,005	-0,010	-0,003	-0,003	-0,010	-0,005		
Total	-3,299	-3,299	6,594	-15,683	1,266	1,266	13,158	-13,158	-1,266	-1,266	15,683	-6,594	3,299	3,299
Wunb	-	-	4,845	4,845	-	-	3,759	3,759	-	-	4,845	4,845	-	-
L	-	-	6,000	6,000	-	-	6,000	6,000	-	-	6,000	6,000	-	-
Geser	-	-	13,020	16,049	-	-	11,276	11,276	-	-	16,049	13,020	-	-
M lap	-	-	6,829		-	-	3,756		-	-	6,829		-	-

Momen yang dipergunakan untuk perencanaan pelat yaitu momen pada batang 2A-2B, 2B-2A, 2B-2C, 2C-2B, 2C-2D, dan 2D-2C.

M_{unb} maks tumpuan = 15,683 KNm (dari Tabel 4.2)

$$M_{\text{maks muka kolom}} = 15,683 - \frac{(4,845 \times 0,5 \times 6 \times 0,5)}{3} = 15,053 \text{ KNm}$$

Tegangan yang terjadi,

$$f_b = \frac{P_e l}{A} - \frac{M_{\text{unb}}}{S}$$

$$= - \frac{167,329 \times 8000}{8000 \times 180} - \frac{15,053 \times 10^6}{5,4 \times 10^6} = -3,717 \text{ MPa} \leq 15,75 \text{ MPa Aman!}$$

$$f_t = \frac{P_e l}{A} + \frac{M_{\text{unb}}}{S}$$

$$= - \frac{167,329 \times 8000}{8000 \times 180} + \frac{15,053 \times 10^6}{5,4 \times 10^6} = 1,858 \text{ MPa} \leq 2,96 \text{ MPa Aman!!}$$

M_{unb} maks lapangan = 6,829 KNm (dari Tabel 4.2)

Tegangan yang terjadi,

$$f_b = \frac{P_e l}{A} - \frac{M_{\text{unb}}}{S}$$

$$= - \frac{167,329 \times 8000}{8000 \times 180} - \frac{6,829 \times 10^6}{5,4 \times 10^6} = 0,335 \text{ MPa} \leq 0,986 \text{ MPa Aman!}$$

6. Tulangan lekatan minimum

Luas tulangan yang diperlukan,

$$A_s = 0,00075 h l = 0,00075 \times 180 \times 6000 = 810,00 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan non prategang, D12, $A_s = 0,25 \times 3,14 \times 12^2 = 113,04 \text{ mm}^2$

Jumlah tulangan,

$$n = \frac{810,00}{113,04} = 7,166 \text{ dipakai } 8 \text{ tulangan}$$

Distribusi tulangan = $1,5h \times 2 \times \text{lebar kolom} = 1,5 \times 180 \times 2 \times 500 = 1040,00 \text{ mm}$

Jarak tulangan,

$$s = \frac{1040}{8} = 130 \text{ mm}$$

Dipakai panjang tulangan 2500 mm dan jarak antar tulangan 130 mm.

7. Kontrol momen kapasitas penampang

a. Perhitungan momen rencana,

- Momen *balanced load*

Untuk W_{bal} bentang luar,

$$FEM = \frac{3,175 \times 6^2}{12} = 9,525 \text{ KNm}$$

Untuk W_{bal} bentang dalam,

$$FEM = \frac{4,261 \times 6^2}{12} = 12,784 \text{ KNm}$$

Tabel 4.3 Distribusi Momen *Balanced Load*

Joint	Momen Distribusi													
	2A			2B				2C				2D		
Batang	2A-1	2A-2	2A-2B	2B-2A	2B-4	2B-3	2B-2C	2C-2B	2C-6	2C-5	2C-2D	2D-2C	2D-28	2D-27
COF	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
DF	0,201	0,201	0,598	0,374	0,126	0,126	0,374	0,374	0,126	0,126	0,374	0,598	0,201	0,201
FEM			9,525	-9,525			12,784	-12,784			9,525	-9,525		
	-1,915	-1,915	-5,699	-2,849							2,849	5,699	1,915	1,915
			-0,077	-0,153	-0,052	-0,052	-0,153	-0,077						
							0,077	0,153	0,052	0,052	0,153	0,077		
	0,015	0,015	0,046	0,023							-0,023	-0,046	-0,015	-0,015
			-0,019	-0,037	-0,013	-0,013	-0,037	-0,019						
							0,019	0,037	0,013	0,013	0,037	0,019		
	0,004	0,004	0,011	0,006							-0,006	-0,011	-0,004	-0,004
			-0,005	-0,009	-0,003	-0,003	-0,009	-0,005						
							0,005	0,009	0,003	0,003	0,009	0,005		
	0,001	0,001	0,003	0,001							-0,001	-0,003	-0,001	-0,001
			-0,001	-0,002	-0,001	-0,001	-0,002	-0,001						
							0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001		
	0,000	0,000	0,001	0,000							0,000	-0,001	0,000	0,000
			0,000	-0,001	0,000	0,000	-0,001	0,000						
							0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000		
Total	-1,894	-1,894	3,786	-12,547	-0,068	-0,068	12,683	-12,683	0,068	0,068	12,547	-3,786	1,894	1,894

Momen yang dipergunakan untuk perencanaan pelat yaitu momen pada batang 2A-2B, 2B-2A, 2B-2C, 2C-2B, 2C-2D, dan 2D-2C (bagian yang diblok).

Momen primer kolom luar,

$$M_p = P_e \text{ aktual} \times e = 167,329 \times 0 = 0$$

Momen sekunder kolom luar,

$$M_s = M_{\text{bal}} - M_p = 3,786 - 0 = 3,786 \text{ KNm}$$

Untuk kolom lainnya disajikan pada Tabel 4.5.

- Momen beban terfaktor

FEM beban ultimit

$$FEM = \frac{(1,2 \times 5,52 + 1,6 \times 2,5) \times 6^2}{12} = 31,872 \text{ KNm}$$

Tabel 4.4 Distribusi Momen Beban Terfaktor

Joint	Momen Distribusi													
	2A			2B				2C				2D		
Batang	2A-1	2A-2	2A-2B	2B-2A	2B-4	2B-3	2B-2C	2C-2B	2C-6	2C-5	2C-2D	2D-2C	2D-28	2D-27
COF	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
DF	0,201	0,201	0,598	0,374	0,126	0,126	0,374	0,374	0,126	0,126	0,374	0,598	0,201	0,201
FEM			31,872	-31,872			31,872	-31,872			31,872	-31,872		
	-6,406	-6,406	-19,068	-9,534							9,534	19,068	6,406	6,406
			1,784	3,569	1,201	1,201	3,569	1,784						
							-1,784	-3,569	-1,201	-1,201	-3,569	-1,784		
	-0,359	-0,359	-1,068	-0,534							0,534	1,068	0,359	0,359
			0,434	0,868	0,292	0,292	0,868	0,434						
							-0,434	-0,868	-0,292	-0,292	-0,868	-0,434		
	-0,087	-0,087	-0,260	-0,130							0,130	0,260	0,087	0,087
			0,106	0,211	0,071	0,071	0,211	0,106						
							-0,106	-0,211	-0,071	-0,071	-0,211	-0,106		
	-0,021	-0,021	-0,063	-0,032							0,032	0,063	0,021	0,021
			0,026	0,051	0,017	0,017	0,051	0,026						
							-0,026	-0,051	-0,017	-0,017	-0,051	-0,026		
	-0,005	-0,005	-0,015	-0,008							0,008	0,015	0,005	0,005
			0,006	0,012	0,004	0,004	0,012	0,006						
							-0,006	-0,012	-0,004	-0,004	-0,012	-0,006		
Total	-6,880	-6,880	13,749	-37,395	1,587	1,587	34,231	-34,231	-1,587	-1,587	37,395	-13,749	6,880	6,880

Momen yang dipergunakan untuk perencanaan pelat yaitu momen pada batang 2A-2B, 2B-2A, 2B-2C, 2C-2B, 2C-2D, dan 2D-2C (bagian yang diblok).

- Momen rencana akhir

Pada kolom luar,

Momen rencana pada kolom,

$$= M_u \text{ beban terfaktor} + M_s = -13,749 + 3,786 = -9,964 \text{ KNm}$$

Gaya geser

$$= \frac{(10,624 \times 6)}{2} + \frac{13,749}{6} - \frac{37,395}{6} = 27,931 \text{ KN}$$

$$M_{\text{maks rencana muka kolom}} = -9,964 + \frac{(27,931 \times 0,5)}{3} = -5,309 \text{ KNm}$$

Untuk momen rencana akhir lainnya disajikan dalam tabel 4.5.

Tabel 4.5 Momen Rencana Akhir

MOMEN RENCANA ($f_{pc} = 0,9 \text{ Mpa}$)						
JOINT	2A	2B		2C		2D
Mbalanced (KNm)	3,786	12,547	12,683	12,683	12,547	3,786
e (m)	0,000	0,051	0,051	0,051	0,051	0,000
P_e (KNm)	167,329	167,329	167,329	167,329	167,329	167,329
Momen Primer (KNm)	0,000	8,525	8,525	8,525	8,525	0,000
M_s (KNm)	3,786	4,021	4,158	4,158	4,021	3,786
Momen Beban Terfaktor (KNm)	-13,749	-37,395	-34,231	-34,231	-37,395	-13,749
Momen Rencana Kolom (KNm)	-9,964	-33,374	-30,073	-30,073	-33,374	-9,964
Beban ultimit (KN/m^2)	10,624	10,624	10,624	10,624	10,624	10,624
Panjang bentang (m)	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Gaya geser (KN)	27,931	35,813	31,872	31,872	35,813	27,931
Reduksi Momen ke muka kolom (KNm)	4,655	5,969	5,312	5,312	5,969	4,655
Momen Rencana akhir (KNm)	-5,309	-27,405	-24,761	-24,761	-27,405	-5,309
Momen Positif maksimum (KNm)	16,494		17,735		16,494	

b. Momen kapasitas rencana tumpuan

$$M_u = 27,405 \text{ KNm (dari Tabel 4.5)}$$

$$d = h - p_b - 0,5\phi = 180 - 20 - (0,5 \times 12,7) = 140,95 \text{ mm}$$

$$\rho = \frac{n A_{ps}}{l d} = \frac{13 \times 98,7}{8000 \times 140,95} = 0,00114$$

$$f_{se} = \frac{P_e l}{n A_{ps}} = \frac{167,329 \times 1000 \times 8}{13 \times 98,7} = 1043,28 \text{ MPa}$$

$$f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f_c}{100\rho} = 1043,28 + 70 + \frac{35}{(100 \times 0,00114)} = 1420,28 \text{ MPa}$$

$$a = \frac{A_{ps} f_{ps} + A_s f_s}{0,85 f_c b} = \frac{13 \times 98,7 \times 1420,28 + 8 \times 113,03 \times 240}{0,85 \times 35 \times 8000} = 8,572 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_{ps} f_{ps} + A_s f_s) \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= (13 \times 98,7 \times 1420,28 + 8 \times 113,03 \times 240) \times (140,950 - \frac{8,572}{2}) \times 10^{-6}$$

$$= 34,852 \text{ KNm}$$

$$M_u = \frac{M_u}{0,8} = \frac{27,405}{0,8} = 34,256 \text{ KNm} \leq M_n \quad \text{Aman !!}$$

c. Momen kapasitas rencana tengah bentang

$$M_u = 17,735 \text{ KNm (dari Tabel 4.5)}$$

$$a = \frac{A_{ps} f_{ps}}{0,85 f'c b} = \frac{13 \times 98,7 \times 1420,28}{0,85 \times 35 \times 8000} = 7,660 \text{ mm}$$

$$M_n = A_{ps} f_{ps} (d - \frac{a}{2})$$

$$= 13 \times 98,7 \times 1420,28 \times (140,95 - \frac{7,660}{2}) \times 10^{-6} = 31,248 \text{ KNm}$$

$$M_u = \frac{M_u}{0,8} = \frac{17,735}{0,8} = 22,168 \text{ KNm} \leq M_n \quad \text{Aman !!}$$

8. Distribusi tendon

a. Jumlah tendon jalur kolom

$$n \text{ kolom} = 0,70 \times 13 = 9,1 \longrightarrow \text{dipakai 9 tendon}$$

$$\text{Jarak tendon, } s = \frac{\text{Jalur kolom}}{n} = \frac{3000}{9} = 333,33 \text{ mm}$$

b. Jumlah tendon jalur tengah

$$n \text{ tengah} = 13 - 9 = 4 \text{ tendon}$$

$$\text{Jarak tendon, } s = \frac{5000}{4} = 1250 \text{ mm}$$

9. Kontrol transfer momen lentur

a. Kapasitas penampang terhadap momen transfer pada tumpuan luar,

$$M_t \text{ maks} = 5,309 \text{ KNm (dari Tabel 4.5)}$$

Lebar efektif 1040,00 mm

$$\gamma_f = \frac{1}{1 + 2/3 \sqrt{(c_1 + d)/(c_2 + d)}} = \frac{1}{1 + 2/3 \sqrt{(500 + 90)/(500 + 90)}} \\ = 0,609$$

Pada lebar efektif ditempatkan 2 buah tendon.

$$\rho = \frac{n A_s}{l_e d} = \frac{2 \times 98,7}{(1040 \times 90)} = 0,00211$$

$$f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f'_c}{100\rho} = +70 + 1043,28 \frac{35}{(100 \times 0,00211)} = 1279,237 \text{ MPa}$$

$$a = \frac{(A_{ps} f_{ps} + A_s f_s)}{0,85 f'_c b} = \frac{(2 \times 98,7 \times 1279,237) + (8 \times 113,65 \times 240)}{(0,85 \times 35 \times 1040)} = 15,176 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_{ps} f_{ps} + A_s f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= (2 \times 98,7 \times 1279,237 + 8 \times 113,04 \times 240) \times \left(90 - \frac{15,176}{2} \right) = 38,697 \text{ KNm}$$

$$M_u = \frac{\gamma_f M_t}{0,8} = \frac{0,609 \times 5,309}{0,8} = 4,044 \text{ KNm} \leq M_n \text{ Aman !!}$$

b. Kapasitas penampang terhadap momen transfer tumpuan dalam

$$M_t \text{ maksimum} = (27,405 - 24,761) = 2,644 \text{ KNm (dari Tabel 4.5)}$$

Lebar efektif 1040,00 mm

$$\gamma_f = \frac{1}{1 + 2/3 \sqrt{(c_1 + d)/(c_2 + d)}} = \frac{1}{1 + 2/3 \sqrt{(500 + 140,95)/(500 + 140,95)}} = 0,600$$

$$\rho = \frac{n A_s}{l_e d} = \frac{2 \times 98,7}{1040 \times 140,95} = 0,00135$$

$$f_{ps} = f_{se} + 70 + \frac{f_c}{100\rho} = 1043,28 + 70 + \frac{35}{(100 \times 0,00135)} = 1373,188 \text{ MPa}$$

$$a = \frac{(A_{ps} f_{ps} + A_s f_y)}{0,85 f_c b} = \frac{(2 \times 98,7 \times 1373,188 + 8 \times 113,04 \times 240)}{(0,85 \times 35 \times 1040)} = 15,776 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_{ps} f_{ps} + A_s f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= (2 \times 98,7 \times 1373,188 + 8 \times 113,04 \times 240) \times \left(123,65 - \frac{15,776}{2} \right) \times 10^{-6}$$

$$= 64,948 \text{ KNm}$$

$$M_u = \frac{\gamma_f M_t}{0,8} = \frac{0,600 \times 2,644}{0,8} = 1,983 \text{ KNm} \leq M_n \quad \text{Aman !!}$$

10. Kontrol kapasitas geser

a. Geser kolom pinggir

$$\text{Koefisien geser pinggir, } \gamma_v = 1 - \gamma_f = 1 - 0,609 = 0,391$$

$$V_u = 27,931 \times 1000 \times 8 = 223448 \text{ N (dari Tabel 4.5)}$$

$$M_t \text{ maks} = 5,309 \times 8 = 42,468 \text{ KNm} = 42468000 \text{ Nmm (dari Tabel 4.5)}$$

$$d = h/2 = 180/2 = 90 \text{ mm}$$

$$d = 0,8 h = 0,8 \times 180 = 144 \text{ mm (diambil yang terbesar)}$$

$$b_o = 2(c_1 + d/2) + 2(c_2 + d) = 2(500 + 144/2) + 2(500 + 144) = 2432,00 \text{ mm}$$

$$A_c = b_o d = 2432,00 \times 144 = 257472,00 \text{ mm}^2$$

$$C_{AB} = \frac{(c_1 + d/2)^2 d}{A_c} = \frac{(500 + 144/2)^2 \times 144}{257472} = 182,989 \text{ mm}$$

$$C_{CD} = (c_1 - d/2) - C_{AB} = (500 - 144/2) - 182,989 = 362,011 \text{ mm}$$

$$g = C_{CD} - c_1/2 = 362,011 - 500/2 = 112,011 \text{ mm}$$

$$J_c = \frac{(c_1 + d/2)d^3}{6} + \frac{2d}{3} (C_{AB}^3 + C_{CD}^3) + (c_2 + d) d (C_{AB}^2)$$

$$J_c = \frac{(500 + 144/2)^2 \times 144}{6} + \frac{(2 \times 144)}{3} (182,989^3 + 362,011^3)$$

$$+ (500 + 144) \times 144 \times 182,989^2 = 8,532 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$v_{uAB} = \frac{V_u}{A_c} + \frac{\gamma_v (M_t - V_u g) C_{AB}}{J_c}$$

$$v_{uAB} = \frac{223448}{257472} + \frac{0,391 \times (42468000 - (223448 \times 112,011)) \times 182,989}{8,532 \times 10^9}$$

$$= 1,014 \text{ MPa}$$

$$v_{uCD} = \frac{V_u}{A_c} - \frac{\gamma_v (M_t - V_u g) C_{CD}}{J_c}$$

$$v_{uCD} = \frac{223448}{257472} - \frac{0,391 \times (42468000 - (223448 \times 112,011)) \times 362,011}{8,532 \times 10^9}$$

$$= 0,579 \text{ MPa}$$

Kapasitas geser batas beton,

Komponen vertikal gaya prategang efektif (V_p) hanya sedikit sekali menyumbangkan kekuatan geser. Oleh karena itu untuk lebih menjamin keamanan V_p diambil sama dengan nol.

$$\phi V_c = 0,6(0,3 \sqrt{f_c} + 0,3f_{pc} + \frac{V_p}{b_o d}) = 0,6(0,3\sqrt{35} + 0,3 \times 0,93 + 0)$$

$$= 1,232 \text{ MPa} \geq 1,014 \text{ MPa} \quad \text{Tidak perlu tulangan geser}$$

b. Geser kolom dalam

Koefisien geser dalam, $\gamma_v = 1 - \gamma_f = 1 - 0,400 = 0,600$

$$V_u = (35,813 + 31,872) \times 1000 \times 8 = 541480 \text{ N (dari Tabel 4.5)}$$

$$M_t \text{ maks} = (27,405 - 24,761) \times 8 \times 10^6 = 21151767 \text{ Nmm (dari Tabel 4.5)}$$

$$d = h - p_b - \frac{\phi}{2} - \phi = 180 - 20 - \frac{12,7}{2} - 12,7 = 140,95 \text{ mm}$$

$$d = 0,8 h = 0,8 \times 180 = 144 \text{ mm (diambil yang terbesar)}$$

$$b_o = 2(c_1 + d) + 2(c_2 + d) = 2(500 + 144) + 2(500 + 144) = 2576 \text{ mm}$$

$$A_c = b_o d = 2576 \times 144 = 370944 \text{ mm}^2$$

$$C_{AB} = C_{CD} = 0,5(c_1 + d) = 0,5(500 + 144) = 322 \text{ mm}$$

$$J_c = \frac{d(c_1 + d)^3}{6} + \frac{d^3(c_1 + d)}{6} + \frac{d(c_2 + d)(c_1 + d)^2}{2}$$

$$J_c = \frac{144(500 + 144)^3}{6} + \frac{144^3(500 + 144)}{6} + \frac{144(500 + 144) \times (500 + 144)^2}{2}$$

$$= 2,596 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$V_{uAB} = \frac{V_u}{A_c} + \frac{\gamma_v M_t C_{AB}}{J_c}$$

$$V_{uAB} = \frac{541480}{370944} + \frac{0,600 \times 21151767 \times 322}{2,596 \times 10^{10}} = 1,565 \text{ MPa}$$

$$V_{uCD} = \frac{V_u}{A_c} - \frac{\gamma_v M_t C_{CD}}{J_c}$$

$$V_{uCD} = \frac{541480}{370944} - \frac{0,600 \times 21151767 \times 322}{2,596 \times 10^{10}} = 1,355 \text{ MPa}$$

Kapasitas geser batas beton

$$\phi V_c = \phi (0,3 \sqrt{f_c} + 0,3 f_{pc} + \frac{V_p}{b_o d}) = 0,6 (0,3 \sqrt{35} + 0,3 \times 0,93 + 0)$$

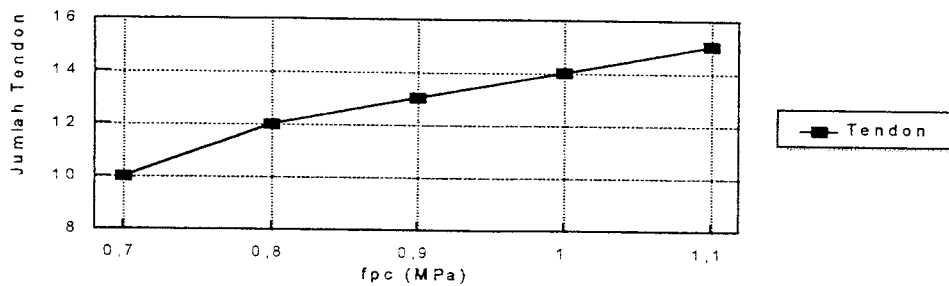
$$= 1,232 \text{ MPa} \leq 1,565 \text{ MPa} \text{ Perlu tulangan geser}$$

Untuk perhitungan portal-portal ekuivalen lainnya pada disain struktur *flat plate* pada gambar 4.1, digunakan program komputer Microsoft Excel. Perhitungan portal-portal tersebut di *trial* dengan prategang rata-rata (f_{pc}) yang berbeda untuk mendapatkan suatu hasil yang efektif. Hasil perhitungan tersebut diperlihatkan pada tabel-tabel berikut.

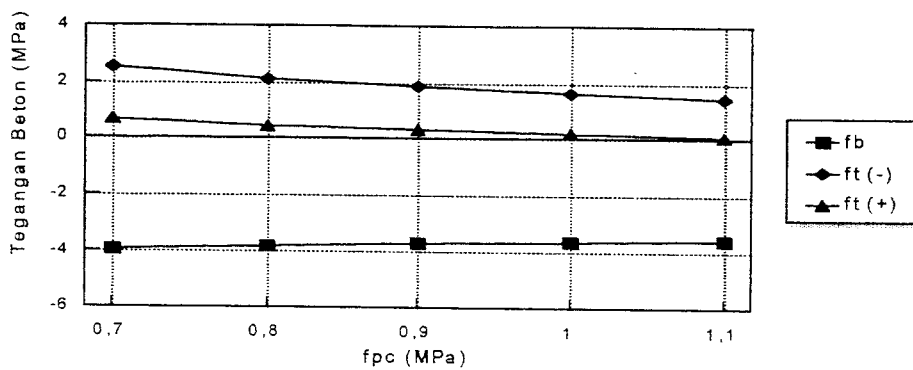
Tabel 4.6 Perhitungan Portal 2A-2D

PERHITUNGAN PORTAL 2A-2D					
Tegangan rata-rata	0,7	0,8	0,9	1	1,1
Lebar portal (mm)	8000	8000	8000	8000	8000
Panjang portal (mm)	6000	6000	6000	6000	6000
Eksentrisitas					
e bentang ujung (mm)	85,39	85,39	85,39	85,39	85,39
e bentang dalam (mm)	114,6	114,6	114,6	114,6	114,6
Gaya Prategang					
Pe awal (KN/m)	126	144	162	180	198
Po awal(KN/m)	157,5	180	202,5	225	247,5
Jumlah tendon	9,79	11,19	12,59	13,98	15,38
Dipakai tendon	10	12	13	14	15
Po aktual (KN/m)	160,893	193,072	209,161	225,251	241,340
Pe aktual (KN/m)	128,715	154,458	167,329	180,201	193,072
fpc (MPa)	0,715	0,858	0,930	1,001	1,073
Perimbangan Beban					
Wbal bentang luar (KN/m ²)	2,442	2,931	3,175	3,419	3,664
Wunb bentang luar (KN/m ²)	5,578	5,089	4,845	4,601	4,356
Wbal bentang dalam (KN/m ²)	3,278	3,934	4,261	4,589	4,917
Wunb bentang dalam (KN/m ²)	4,742	4,086	3,759	3,431	3,103
WDsisa bentang luar (KN/m ²)	3,078	2,589	2,345	2,101	1,856
WDsisa bentang dalam(KN/m ²)	2,242	1,586	1,259	0,931	0,603
Portal Ekuivalen					
DF portal luar	0,598	0,598	0,598	0,598	0,598
DF portal dalam	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374
FEMbal bentang luar (KNm)	7,327	8,793	9,525	10,258	10,991
FEMbal bentang dalam (KNm)	9,834	11,801	12,784	13,767	14,751
FEMunb bentang luar (KNm)	16,733	15,267	14,535	13,802	13,069
FEMunb bentang dalam (KNm)	14,226	12,259	11,276	10,293	9,309
FEMWDsisa bentang luar (KNm)	9,233	7,767	7,035	6,302	5,569
FEMWDsisa bentang dalam(KNm)	6,726	4,759	3,776	2,793	1,809
FEM Beban ultimit (KNm)	31,872	31,872	31,872	31,872	31,872
Kontrol Tegangan Beton					
Saat Transfer					
Mmaks (KNm) →Tabel Cross	9,778	7,848	6,883	5,918	4,953
Mmaks muka kolom (KNm)	7,407	5,805	5,004	4,202	3,401
S (mm ³)	5400000	5400000	5400000	5400000	5400000
fb (Mpa)	-2,266	-2,148	-2,089	-2,030	-1,971
ft (Mpa)	0,478	0,002	-0,235	-0,473	-0,711
Saat Layan					
Maks unb (KNm) →Tabel Cross	18,578	16,648	15,683	14,718	13,752
Mmaks muka kolom (KNm)	17,457	15,855	15,053	14,252	13,451
fb (MPa)	-3,948	-3,794	-3,717	-3,640	-3,564
ft (Mpa)	2,518	2,078	1,858	1,638	1,418
Mmaks Lapangan (KNm)	7,443	7,033	6,829	6,626	6,424
ft (Mpa)	0,663	0,444	0,335	0,226	0,117
Tulangan Lekatan Minimum					
Luas tulangan As (mm ²)	810,000	810,000	810,000	810,000	810,000
Jumlah tulangan	7,166	7,166	7,166	7,166	7,166
Dipakai tulangan	8	8	8	8	8
Kapasitas Penampang					
Momen Negatif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	28,333	27,715	27,405	27,096	26,786
d (mm)	140,950	140,950	140,950	140,950	140,950
p	0,000875	0,001050	0,001138	0,001225	0,001313
fse (Mpa)	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280
fps (Mpa)	1513,138	1446,495	1420,863	1398,893	1379,852
a (mm)	7,187	8,110	8,572	9,034	9,495

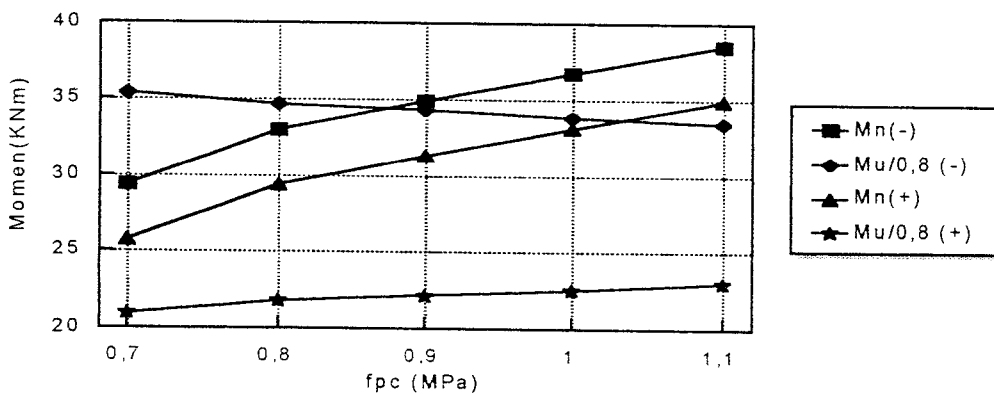
Mn (KNm)	29,369	33,030	34,852	36,667	38,476
Mu/0,8 (KNm)	35,417	34,643	34,256	33,870	33,483
Momen Positif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	16,775	17,415	17,735	18,055	18,374
a (mm)	6,275	7,198	7,660	8,122	8,583
Mn (KNm)	25,727	29,414	31,248	33,076	34,897
Mu/0,8 (KNm)	20,969	21,769	22,168	22,568	22,968
Transfer Momen Lentur					
Bentang ujung					
Mt (KNm) →Tabel Cross	6,182	5,600	5,309	5,017	4,726
Lebar efektif (mm)	1040,000	1040,000	1040,000	1040,000	1040,000
yf	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609
p	0,002109	0,002109	0,002109	0,002109	0,002109
fps	1279,237	1279,237	1279,237	1279,237	1279,237
a (mm)	15,176	15,176	15,176	15,176	15,176
Mn (KNm)	38,697	38,697	38,697	38,697	38,697
(Mu.yf)/0,8 (KNm)	4,710	4,266	4,044	3,822	3,601
Bentang dalam					
Mt (KNm) →Tabel Cross	2,613	2,634	2,644	2,654	2,665
yf	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
p	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135	0,00135
fps (MPa)	1373,188	1373,188	1373,188	1373,188	1373,188
a (mm)	15,776	15,776	15,776	15,776	15,776
Mn (KNm)	64,948	64,948	64,948	64,948	64,948
(Mu.yf)/0,8 (KNm)	1,959	1,975	1,983	1,991	1,999
Kapasitas Geser					
Geser Kolom Tepi					
Vu (N) →Tabel Cross	223448	223448	223448	223448	223448
Mt (Nmm) →Tabel Cross	49457453	44798125	42468461	40138798	37809134
d (mm)	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000
bo (mm)	2432,000	2432,000	2432,000	2432,000	2432,000
Ac (mm ²)	257472,000	257472,000	257472,000	257472,000	257472,000
Cab (mm)	182,989	182,989	182,989	182,989	182,989
Ccd (mm)	362,011	362,011	362,011	362,011	362,011
g (mm)	112,011	112,011	112,011	112,011	112,011
Jc (mm ⁴)	8532610197	8532610197	8532610197	8532610197	8532610197
Vuab (MPa)	1,072	1,033	1,014	0,994	0,975
Vucd (MPa)	0,463	0,540	0,579	0,618	0,656
0,6Vc (MPa)	1,194	1,219	1,232	1,245	1,258
Geser Kolom Tengah					
Vu (N) →Tabel Cross	541480	541480	541480	541480	541480
Mt (Nmm) →Tabel Cross	20900495	21068009	21151767	21235524	21319281
d (mm)	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000
bo (mm)	2576,000	2576,000	2576,000	2576,000	2576,000
Ac (mm ²)	370944,000	370944,000	370944,000	370944,000	370944,000
Cab (mm)	322,000	322,000	322,000	322,000	322,000
Ccd (mm)	322,000	322,000	322,000	322,000	322,000
g (mm)	-	-	-	-	-
Jc (mm ⁴)	25961134080	25961134080	25961134080	25961134080	25961134080
Vuab (MPa)	1,563	1,564	1,565	1,565	1,566
Vucd (MPa)	1,356	1,355	1,355	1,354	1,354
0,6Vc (MPa)	1,194	1,219	1,232	1,245	1,258



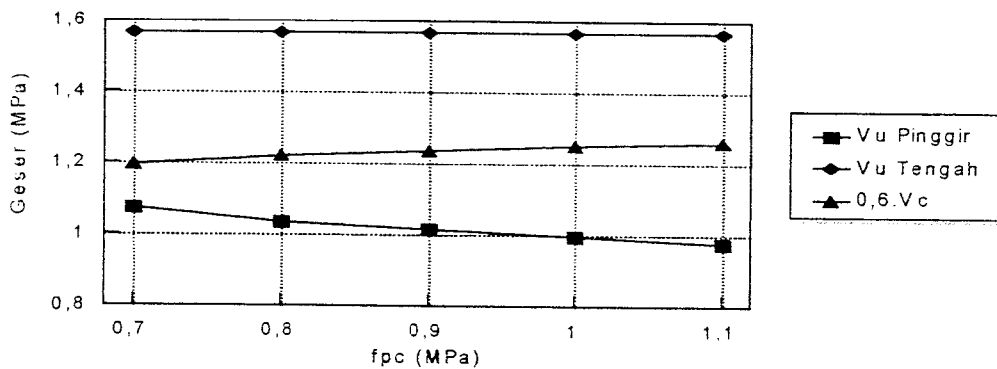
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara jumlah tendon dengan fpc portal 2A-2D



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara tegangan beton saat layan dengan fpc portal 2A-2D



Gambar 4.6 Hubungan antara kapasitas momen dengan fpc portal 2A-2D

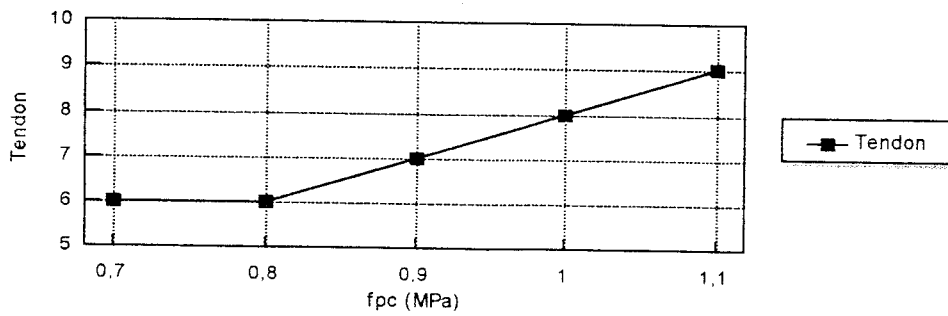


Gambar 4.7 Hubungan antara geser dengan fpc portal 2A-2D

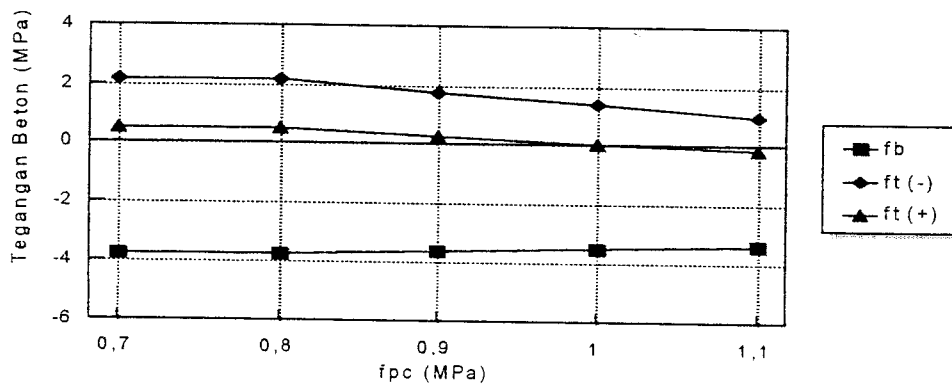
Tabel 4.7 Perhitungan Portal 1A-1D

PERHITUNGAN PORTAL 1A-1D					
Tegangan rata-rata	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
Lebar portal (mm)	4250	4250	4250	4250	4250
Panjang portal (mm)	6000	6000	6000	6000	6000
Eksentrisitas					
e bentang ujung (mm)	85,39	85,39	85,39	85,39	85,39
e bentang dalam (mm)	114,6	114,6	114,6	114,6	114,6
Gaya Prategang					
Pe awal (KN/m)	126	144	162	180	198
Po awal(KN/m)	157,5	180	202,5	225	247,5
Jumlah tendon	5,20	5,94	6,69	7,43	8,17
Dipakai tendon	6	6	7	8	9
Po aktual (KN/m)	181,715	181,715	212,001	242,286	272,572
Pe aktual (KN/m)	145,372	145,372	169,601	193,829	218,058
fpc (MPa)	0,808	0,808	0,942	1,077	1,211
Perimbangan Beban					
Wbal bentang luar (KN/m ²)	2,759	2,759	3,218	3,678	4,138
Wunb bentang luar (KN/m ²)	5,261	5,261	4,802	4,342	3,882
Wbal bentang dalam (KN/m ²)	3,702	3,702	4,319	4,936	5,553
Wunb bentang dalam (KN/m ²)	4,318	4,318	3,701	3,084	2,467
WDsisa bentang luar (KN/m ²)	2,761	2,761	2,302	1,842	1,382
WDsisa bentang dalam(KN/m ²)	1,818	1,818	1,201	0,584	-0,033
Portal Ekuivalen					
DF portal luar	0,286	0,286	0,286	0,286	0,286
DF portal dalam	0,223	0,223	0,223	0,223	0,223
FEMbal bentang luar (KNm)	8,276	8,276	9,655	11,034	12,413
FEMbal bentang dalam (KNm)	11,106	11,106	12,957	14,809	16,660
FEMunb bentang luar (KNm)	15,784	15,784	14,405	13,026	11,647
FEMunb bentang dalam (KNm)	12,954	12,954	11,103	9,251	7,400
FEMWDsisa bentang luar (KNm)	8,284	8,284	6,905	5,526	4,147
FEMWDsisa bentang dalam(KNm)	5,454	5,454	3,603	1,751	-0,100
FEM Beban ulimit (KNm)	31,872	31,872	31,872	31,872	31,872
Kontrol Tegangan Beton					
Saat Transfer					
Mmaks (KNm) →Tabel Cross	8,519	8,519	6,878	5,236	3,594
Mmaks muka kolom (KNm)	6,360	6,360	5,027	3,694	2,361
S (mm ³)	5400000	5400000	5400000	5400000	5400000
fb (Mpa)	-2,187	-2,187	-2,109	-2,030	-1,952
ft (Mpa)	0,168	0,168	-0,247	-0,662	-1,077
Saat Layan					
Maks unb (KNm) →Tabel Cross	16,839	16,839	15,197	13,555	11,914
Mmaks muka kolom (KNm)	15,930	15,930	14,597	13,264	11,930
fb (MPa)	-3,758	-3,758	-3,645	-3,533	-3,421
ft (Mpa)	2,142	2,142	1,761	1,379	0,998
Mmaks Lapangan (KNm)	7,045	7,045	6,581	6,118	5,657
ft (Mpa)	0,497	0,497	0,276	0,056	-0,164
Tulangan Lekatan Minimum					
Luas tulangan As (mm ²)	810,000	810,000	810,000	810,000	810,000
Jumlah tulangan	7,166	7,166	7,166	7,166	7,166
Dipakai tulangan	8	8	8	8	8
Kapasitas Penampang					
Momen Negatif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	27,260	27,260	26,853	26,446	26,039
d (mm)	140,950	140,950	140,950	140,950	140,950
ρ	0,000989	0,000989	0,001153	0,001318	0,001483
fse (Mpa)	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280
fps (Mpa)	1467,321	1467,321	1416,744	1378,811	1349,307
a (mm)	8,589	8,589	9,458	10,327	11,196

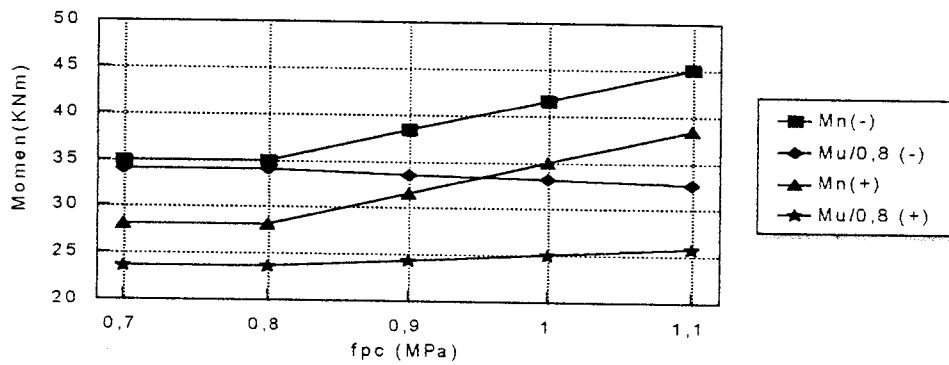
Mn (KNm)	34,919	34,919	38,330	41,718	45,084
Mu/0,8 (KNm)	34,075	34,075	33,566	33,057	32,548
Momen Positif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	18,844	18,844	19,426	20,007	20,589
a (mm)	6,873	6,873	7,742	8,611	9,480
Mn (KNm)	28,116	28,116	31,571	35,004	38,414
Mu/0,8 (KNm)	23,555	23,555	24,282	25,009	25,736
Transfer Momen Lentur					
Bentang ujung					
Mt (KNm) →Tabel Cross	12,433	12,433	11,473	10,514	9,554
Lebar efektif (mm)	770,000	770,000	770,000	770,000	770,000
γf	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609
ρ	0,002848	0,002848	0,002848	0,002848	0,002848
fps	1236,152	1236,152	1236,152	1236,152	1236,152
a (mm)	20,127	20,127	20,127	20,127	20,127
Mn (KNm)	36,855	36,855	36,855	36,855	36,855
(Mu. γf)/0,8 (KNm)	9,472	9,472	8,741	8,010	7,279
Bentang dalam					
Mt (KNm) →Tabel Cross	3,608	3,608	3,783	3,957	4,132
γf	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
ρ	0,00182	0,00182	0,00182	0,00182	0,00182
fps (MPa)	1305,712	1305,712	1305,712	1305,712	1305,712
a (mm)	20,726	20,726	20,726	20,726	20,726
Mn (KNm)	62,001	62,001	62,001	62,001	62,001
(Mu. γf)/0,8 (KNm)	2,706	2,706	2,837	2,968	3,099
Kapasitas Geser					
Geser Kolom Tepi					
Vu (N) →Tabel Cross	126820	126820	126820	126820	126820
Mt (Nmm) →Tabel Cross	52838341	52838341	48760842	44683344	40605846
d (mm)	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000
bo (mm)	2288,000	2288,000	2288,000	2288,000	2288,000
Ac (mm ²)	164736,000	164736,000	164736,000	164736,000	164736,000
Cab (mm)	143,000	143,000	143,000	143,000	143,000
Ccd (mm)	429,000	429,000	429,000	429,000	429,000
g (mm)	179,000	179,000	179,000	179,000	179,000
Jc (mm ⁴)	5756809344	5756809344	5756809344	5756809344	5756809344
Vuab (MPa)	1,062	1,062	1,023	0,983	0,944
Vucd (MPa)	-0,107	-0,107	0,011	0,130	0,249
0,6Vc (MPa)	1,210	1,210	1,234	1,259	1,283
Geser Kolom Tengah					
Vu (N) →Tabel Cross	279548	279548	279548	279548	279548
Mt (Nmm) →Tabel Cross	15335432	15335432	16076753	16818073	17559393
d (mm)	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000
bo (mm)	2432,000	2432,000	2432,000	2432,000	2432,000
Ac (mm ²)	257472,000	257472,000	257472,000	257472,000	257472,000
Cab (mm)	182,989	182,989	182,989	182,989	182,989
Ccd (mm)	362,011	362,011	362,011	362,011	362,011
g (mm)	112,011	112,011	112,011	112,011	112,011
Jc (mm ⁴)	8532610197	8532610197	8532610197	8532610197	8532610197
Vuab (MPa)	0,952	0,952	0,958	0,964	0,971
Vucd (MPa)	1,350	1,350	1,338	1,326	1,314
0,6Vc (MPa)	1,210	1,210	1,234	1,259	1,283



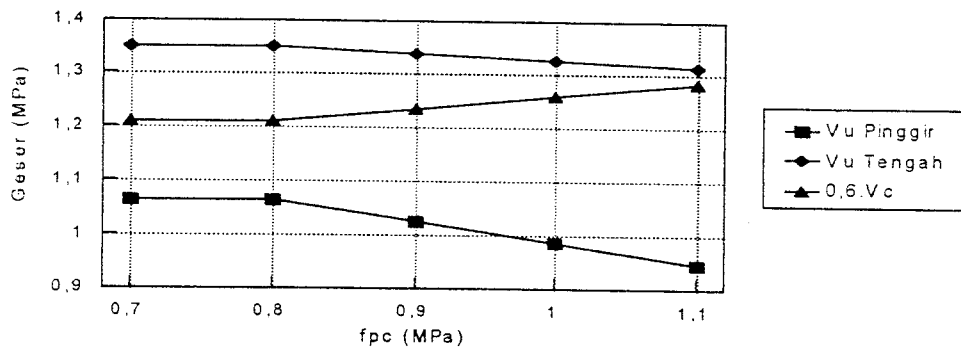
Gambar 4.8 Grafik hubungan antara jumlah tendon dengan fpc portal 1A-1D



Gambar 4.9 Grafik hubungan antara tegangan beton saat layan dengan fpc portal 1A-1D



Gambar 4.10 Hubungan antara kapasitas momen dengan fpc portal 1A-1D

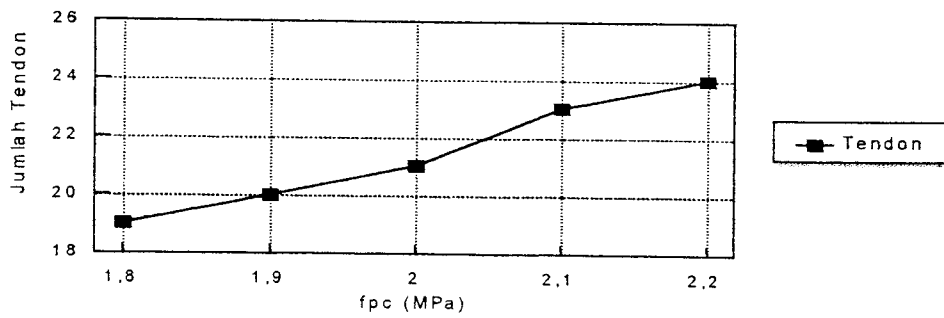


Gambar 4.11 Hubungan antara geser dengan fpc portal 1A-1D

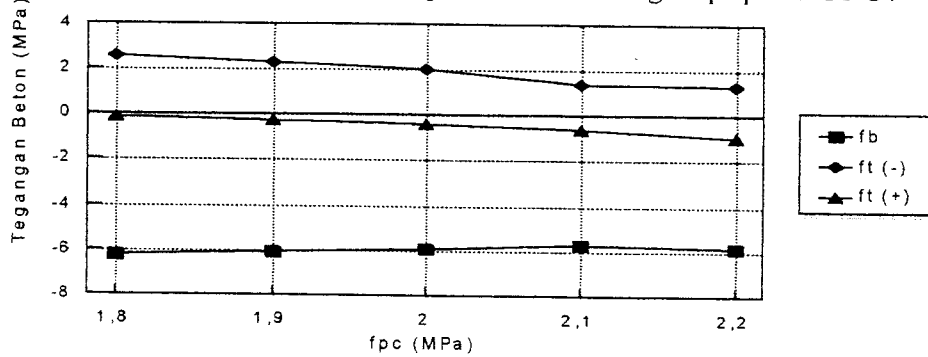
Tabel 4.8 Perhitungan Portal C1-C4

PERHITUNGAN PORTAL C1-C4					
Tegangan rata-rata	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
Lebar portal (mm)	8000	8000	8000	8000	8000
Panjang portal (mm)	500	500	500	500	500
Eksentrisitas					
e bentang ujung (mm)	90,152	90,152	90,152	90,152	90,152
e bentang dalam (mm)	127,3	127,3	127,3	127,3	127,3
Gaya Prategang					
Pe awal (KN/m)	324	342	360	378	396
Po awal(KN/m)	405	427,5	450	472,5	495
Jumlah tendon	18,88	19,93	20,98	22,03	23,07
Dipakai tendon	19	20	21	23	24
Po aktual (KN/m)	407,596	429,049	450,501	493,406	514,859
Pe aktual (KN/m)	326,077	343,239	360,401	394,725	411,887
fpc (MPa)	1,812	1,907	2,002	2,193	2,288
Perimbangan Beban					
Wbal bentang luar (KN/m ²)	3,675	3,868	4,061	4,448	4,642
Wunb bentang luar (KN/m ²)	4,345	4,152	3,959	3,572	3,378
Wbal bentang dalam (KN/m ²)	5,189	5,462	5,735	6,281	6,554
Wunb bentang dalam (KN/m ²)	2,831	2,558	2,285	1,739	1,466
WDisisa bentang luar (KN/m ²)	1,845	1,652	1,459	1,072	0,878
WDisisa bentang dalam(KN/m ²)	0,331	0,058	-0,215	-0,761	-1,034
Portal Ekvivalen					
DF portal luar	0,379	0,379	0,379	0,379	0,379
DF portal dalam	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275
FEMbal bentang luar (KNm)	19,598	20,629	21,661	23,723	24,755
FEMbal bentang dalam (KNm)	27,673	29,130	30,586	33,499	34,955
FEMunb bentang luar (KNm)	23,176	22,144	21,113	19,050	18,018
FEMunb bentang dalam (KNm)	15,100	13,644	12,187	9,274	7,818
FEMWDisisa bentang luar (KNm)	9,842	8,811	7,779	5,717	4,685
FEMWDisisa bentang dalam(KNm)	1,767	0,310	-1,146	-4,059	-5,515
FEM Beban ultimit (KNm)	56,661	56,661	56,661	56,661	56,661
Kontrol Tegangan Beton					
Saat Transfer					
Mmaks (KNm) →Tabel Cross	8,752	7,457	6,162	3,572	2,277
Mmaks muka kolom (KNm)	6,864	5,751	4,638	2,412	1,299
IS (mm ³)	5400000	5400000	5400000	5400000	5400000
fb (Mpa)	-3,536	-3,449	-3,362	-3,188	-3,101
ft (Mpa)	-0,993	-1,319	-1,644	-2,294	-2,620
Saat Layan					
Maks unb (KNm) →Tabel Cross	23,859	22,564	21,269	18,679	18,708
Mmaks muka kolom (KNm)	23,639	22,526	21,413	19,187	19,397
fb (MPa)	-6,189	-6,078	-5,968	-5,746	-5,880
ft (Mpa)	2,566	2,265	1,963	1,360	1,304
Mmaks Lapangan (KNm)	9,151	8,948	8,746	8,347	6,977
ft (Mpa)	-0,117	-0,250	-0,383	-0,647	-0,996
Tulangan Lekatan Minimum					
Luas tulangan As (mm ²)	1080,000	1080,000	1080,000	1080,000	1080,000
Jumlah tulangan	9,554	9,554	9,554	9,554	9,554
Dipakai tulangan	10	10	10	10	10
Kapasitas Penampang					
Momen Negatif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	52,686	52,484	52,281	51,876	51,673
d (mm)	153,650	153,650	153,650	153,650	153,650
ρ	0,002034	0,002141	0,002248	0,002462	0,002569
fse (Mpa)	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280
fps (Mpa)	1199,310	1195,009	1191,117	1184,348	1249,495
a (mm)	14,120	14,735	15,351	16,582	18,101

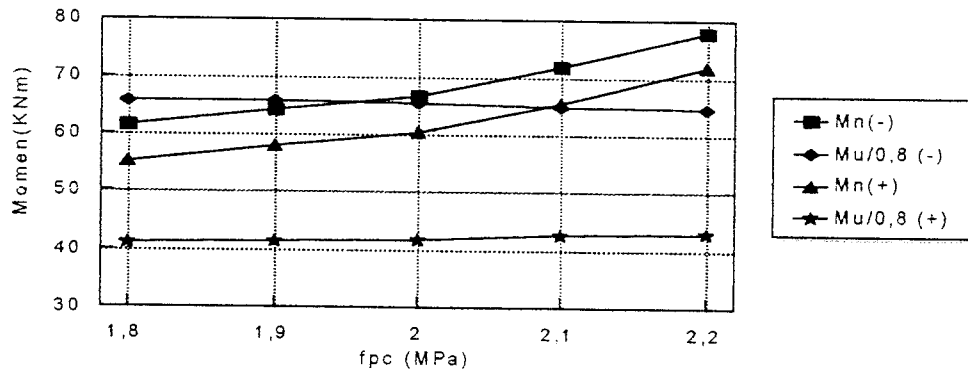
Mn (KNm)	61,577	64,126	66,665	71,708	77,869
Mu/0,8 (KNm)	65,858	65,605	65,351	64,844	64,591
Momen Positif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	32,771	33,098	33,424	34,077	34,403
a (mm)	12,600	13,215	13,831	15,062	16,582
Mn (KNm)	55,233	57,811	60,377	65,476	71,706
Mu/0,8 (KNm)	40,964	41,372	41,780	42,596	43,004
Transfer Momen Lentur					
Bentang ujung					
Mt (KNm) →Tabel Cross	18,066	17,448	16,831	15,596	14,979
Lebar efektif (mm)	1040,000	1040,000	1040,000	1040,000	1040,000
γf	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609
ρ	0,002109	0,002109	0,002109	0,002109	0,002109
fps	1196,259	1196,259	1196,259	1196,259	1279,237
a (mm)	16,401	16,401	16,401	16,401	16,930
Mn (KNm)	41,508	41,508	41,508	41,508	42,709
(Mu. γf)/0,8 (KNm)	13,763	13,293	12,823	11,882	11,411
Bentang dalam					
Mt (KNm) →Tabel Cross	7,548	7,672	7,796	8,043	8,167
γf	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
ρ	0,00124	0,00124	0,00124	0,00124	0,00124
fps (MPa)	1254,943	1254,943	1254,943	1254,943	1396,606
a (mm)	16,775	16,775	16,775	16,775	17,679
Mn (KNm)	75,394	75,394	75,394	75,394	79,209
(Mu. γf)/0,8 (KNm)	5,661	5,754	5,847	6,032	6,125
Kapasitas Geser					
Geser Kolom Tepi					
Vu (N) →Tabel Cross	234049	234049	234049	234049	234049
Mt (Nmm) →Tabel Cross	108393569	104689069	100984570	93575570	89871070
d (mm)	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000
bo (mm)	2432,000	2432,000	2432,000	2432,000	2432,000
Ac (mm ²)	257472,000	257472,000	257472,000	257472,000	257472,000
Cab (mm)	182,989	182,989	182,989	182,989	182,989
Ccd (mm)	362,011	362,011	362,011	362,011	362,011
g (mm)	112,011	112,011	112,011	112,011	112,011
Jc (mm ⁴)	8532610197	8532610197	8532610197	8532610197	8532610197
Vuab (MPa)	1,597	1,566	1,535	1,473	1,442
Vucd (MPa)	-0,453	-0,391	-0,330	-0,207	-0,146
0,6Vc (MPa)	1,391	1,408	1,425	1,460	1,477
Geser Kolom Tengah					
Vu (N) →Tabel Cross	530879	530879	530879	530879	530879
Mt (Nmm) →Tabel Cross	45288993	46031392	46773792	48258590	49000990
d (mm)	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000
bo (mm)	2576,000	2576,000	2576,000	2576,000	2576,000
Ac (mm ²)	370944,000	370944,000	370944,000	370944,000	370944,000
Cab (mm)	322,000	322,000	322,000	322,000	322,000
Ccd (mm)	322,000	322,000	322,000	322,000	322,000
g (mm)	-	-	-	-	-
Jc (mm ⁴)	25961134080	25961134080	25961134080	25961134080	25961134080
Vuab (MPa)	1,656	1,660	1,663	1,671	1,674
Vucd (MPa)	1,206	1,203	1,199	1,192	1,188
0,6Vc (MPa)	1,391	1,408	1,425	1,460	1,477



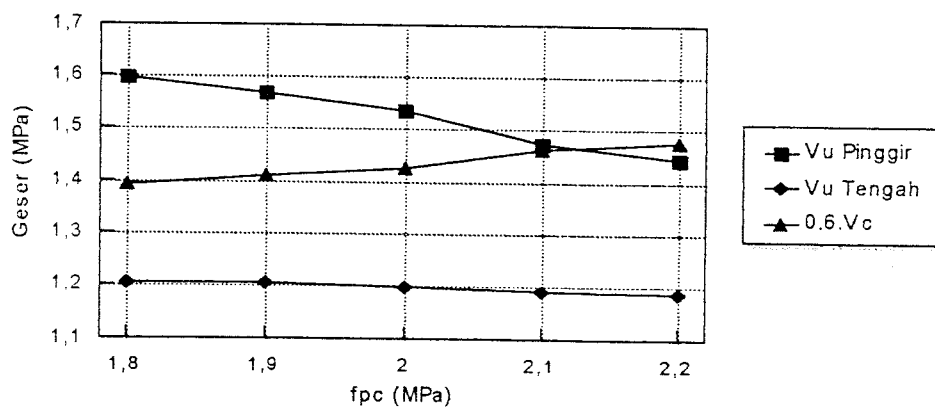
Gambar 4.12 Grafik hubungan antara jumlah tendon dengan fpc portal C1-C4



Gambar 4.13 Grafik hubungan antara tegangan beton saat layan dengan fpc portal C1-C4



Gambar 4.14 Hubungan antara kapasitas momen dengan fpc portal C1-C4

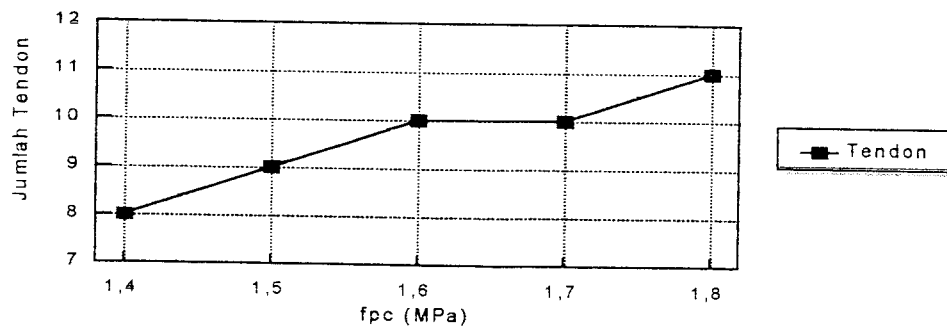


Gambar 4.15 Hubungan antara geser dengan fpc portal C1-C4

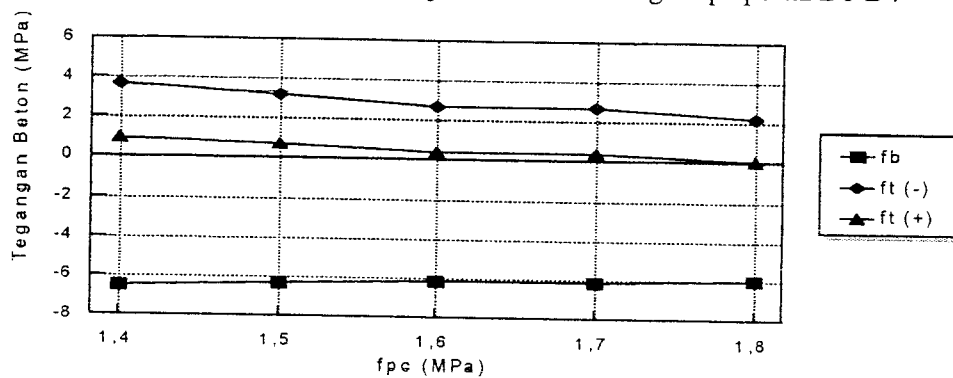
Tabel 4.9 Perhitungan Portal D1-D4

PERHITUNGAN PORTAL D1-D4					
Tegangan rata-rata	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
Lebar portal (mm)	3250	3250	3250	3250	3250
Panjang portal (mm)	8000	8000	8000	8000	8000
Eksentrisitas					
e bentang ujung (mm)	90,152	90,152	90,152	90,152	90,152
e bentang dalam (mm)	127,3	127,3	127,3	127,3	127,3
Gaya Prategang					
Pe awal (KN/m)	252	270	288	306	324
Po awal(KN/m)	315	337,5	360	382,5	405
Jumlah tendon	7,95	8,52	9,09	9,66	10,23
Dipakai tendon	8	9	10	10	11
Po aktual (KN/m)	316,836	356,441	396,045	396,045	435,650
Pe aktual (KN/m)	253,469	285,152	316,836	316,836	348,520
fpc (MPa)	1,408	1,584	1,760	1,760	1,936
Perimbangan Beban					
Wbal bentang luar (KN/m ²)	2,856	3,213	3,570	3,570	3,927
Wunb bentang luar (KN/m ²)	5,164	4,807	4,450	4,450	4,093
Wbal bentang dalam (KN/m ²)	4,033	4,537	5,042	5,042	5,546
Wunb bentang dalam (KN/m ²)	3,987	3,483	2,978	2,978	2,474
WDsisa bentang luar (KN/m ²)	2,664	2,307	1,950	1,950	1,593
WDsisa bentang dalam(KN/m ²)	1,487	0,983	0,478	0,478	-0,026
Portal Ekuivalen					
DF portal luar	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146
DF portal dalam	0,127	0,127	0,127	0,127	0,127
FEMbal bentang luar (KNm)	15,234	17,138	19,042	19,042	20,946
FEMbal bentang dalam (KNm)	21,511	24,200	26,889	26,889	29,578
FEMunb bentang luar (KNm)	27,540	25,635	23,731	23,731	21,827
FEMunb bentang dalam (KNm)	21,262	18,573	15,885	15,885	13,196
FEMWDsisa bentang luar (KNm)	14,206	12,302	10,398	10,398	8,494
FEMWDsisa bentang dalam(KNm)	7,929	5,240	2,551	2,551	-0,138
FEM Beban ultimit (KNm)	56,661	56,661	56,661	56,661	56,661
Kontrol Tegangan Beton					
Saat Transfer					
Mmaks (KNm) →Tabel Cross	14,279	12,152	10,024	10,024	7,896
Mmaks muka kolom (KNm)	11,622	9,830	8,039	8,039	6,247
S (mm ³)	5400000	5400000	5400000	5400000	5400000
fb (Mpa)	-3,912	-3,801	-3,689	-3,689	-3,577
ft (Mpa)	0,392	-0,160	-0,712	-0,712	-1,263
Saat Layan					
Maks unb (KNm) →Tabel Cross	28,455	26,328	24,200	24,200	22,073
Mmaks muka kolom (KNm)	27,464	25,673	23,881	23,881	22,090
fb (MPa)	-6,494	-6,338	-6,183	-6,183	-6,027
ft (Mpa)	3,678	3,170	2,662	2,662	2,154
Mmaks Lapangan (KNm)	12,824	12,100	11,377	11,377	10,652
ft (Mpa)	0,967	0,657	0,347	0,347	0,036
Tulangan Lektan Minimum					
Luas tulangan As (mm ²)	1080,000	1080,000	1080,000	1080,000	1080,000
Jumlah tulangan	9,554	9,554	9,554	9,554	9,554
Dipakai tulangan	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Kapasitas Penampang					
Momen Negatif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	52,030	51,919	51,808	51,808	51,697
d (mm)	153,650	153,650	153,650	153,650	153,650
p	0,001581	0,001779	0,001977	0,001977	0,002174
fse (Mpa)	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280
fps (Mpa)	1223,954	1211,657	1201,819	1201,819	1193,770
a (mm)	12,801	13,938	15,074	15,074	16,211

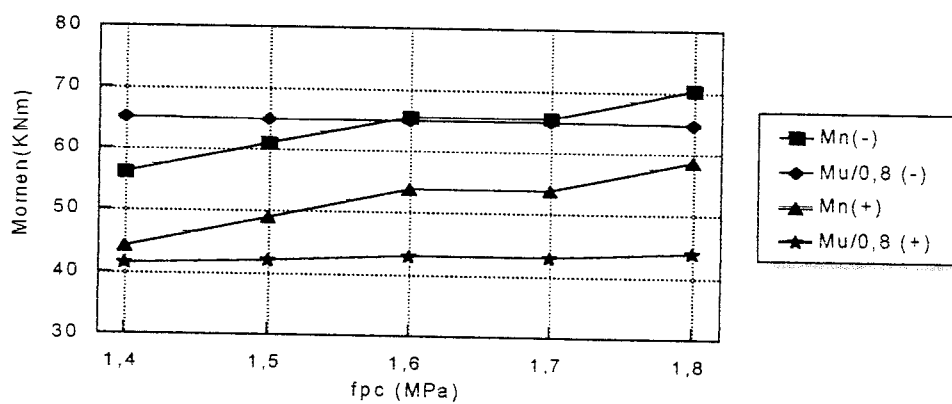
Mn (KNm)	56,078	60,821	65,526	65,526	70,192
Mu/0,8 (KNm)	65,038	64,899	64,761	64,761	64,622
Momen Positif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	33,075	33,703	34,331	34,331	34,960
a (mm)	9,995	11,132	12,268	12,268	13,405
Mn (KNm)	44,204	49,042	53,841	53,841	58,602
Mu/0,8 (KNm)	41,344	42,129	42,914	42,914	43,700
Transfer Momen Lentur					
Bentang ujung					
Mt (KNm) →Tabel Cross	29,099	27,509	25,920	25,920	24,330
Lebar efektif (mm)	770,000	770,000	770,000	770,000	770,000
γ_f	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609
ρ	0,002848	0,002848	0,002848	0,002848	0,002848
fps	1174,716	1174,716	1174,716	1174,716	1174,716
a (mm)	21,966	21,966	21,966	21,966	21,966
Mn (KNm)	39,760	39,760	39,760	39,760	39,760
(Mu. γ_f)/0,8 (KNm)	22,169	20,958	19,747	19,747	18,536
Bentang dalam					
Mt (KNm) →Tabel Cross	7,196	7,713	8,231	8,231	8,748
γ_f	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
ρ	0,00167	0,00167	0,00167	0,00167	0,00167
fps (MPa)	1218,165	1218,165	1218,165	1218,165	1218,165
a (mm)	22,340	22,340	22,340	22,340	22,340
Mn (KNm)	72,916	72,916	72,916	72,916	72,916
(Mu. γ_f)/0,8 (KNm)	5,397	5,785	6,173	6,173	6,561
Kapasitas Geser					
Geser Kolom Tepi					
Vu (N) →Tabel Cross	133405	133405	133405	133405	133405
Mt (Nmm) →Tabel Cross	94571016	89405178	84239341	84239341	79073503
d (mm)	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000
bo (mm)	2288,000	2288,000	2288,000	2288,000	2288,000
Ac (mm ²)	164736,000	164736,000	164736,000	164736,000	164736,000
Cab (mm)	143,000	143,000	143,000	143,000	143,000
Ccd (mm)	429,000	429,000	429,000	429,000	429,000
g (mm)	179,000	179,000	179,000	179,000	179,000
Jc (mm ⁴)	5756809344	5756809344	5756809344	5756809344	5756809344
Vuab (MPa)	1,496	1,445	1,395	1,395	1,345
Vucd (MPa)	-1,247	-1,097	-0,947	-0,947	-0,796
0,5Vc (MPa)	1,318	1,350	1,382	1,382	1,413
Geser Kolom Tengah					
Vu (N) →Tabel Cross	280931	280931	280931	280931	280931
Mt (Nmm) →Tabel Cross	23387800	25068655	26749510	26749510	28430365
d (mm)	153,650	153,650	153,650	153,650	153,650
bo (mm)	2460,950	2460,950	2460,950	2460,950	2460,950
Ac (mm ²)	277691,645	277691,645	277691,645	277691,645	277691,645
Cab (mm)	184,102	184,102	184,102	184,102	184,102
Ccd (mm)	360,898	360,898	360,898	360,898	360,898
g (mm)	110,898	110,898	110,898	110,898	110,898
Jc (mm ⁴)	9206923911	9206923911	9206923911	9206923911	9206923911
Vuab (MPa)	0,951	0,964	0,977	0,977	0,990
Vucd (MPa)	1,131	1,105	1,079	1,079	1,053
0,5Vc (MPa)	1,318	1,350	1,382	1,382	1,413



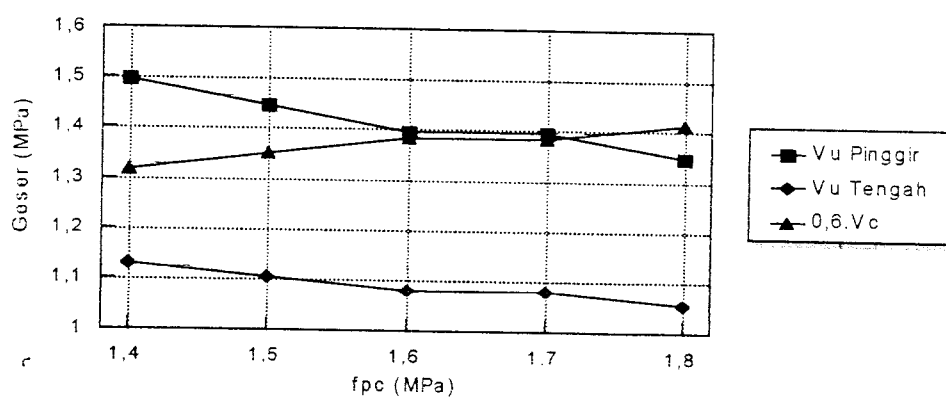
Gambar 4.16 Grafik hubungan antara jumlah tendon dengan fpc portal D1-D4



Gambar 4.17 Grafik hubungan antara tegangan beton saat layan dengan fpc portal D1-D4



Gambar 4.18 Hubungan antara kapasitas momen dengan fpc portal D1-D4

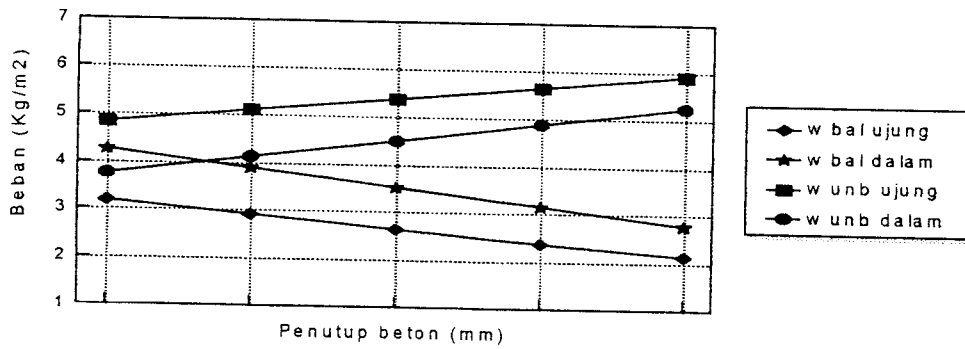


Gambar 4.19 Hubungan antara geser dengan fpc portal D1-D4

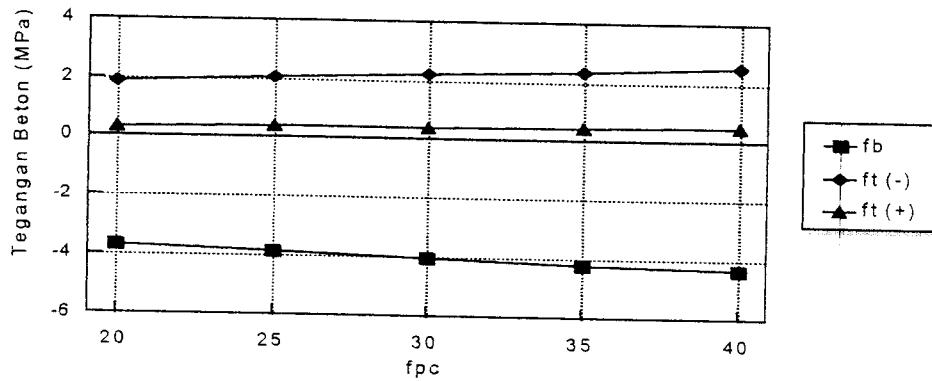
Tabel 4.10 Perhitungan Portal 2A-2D dengan Variasi Penutup Beton

PERHITUNGAN PORTAL 2A-2D					
Penutup beton (mm)	20	25	30	35	40
Lebar portal (mm)	8000	8000	8000	8000	8000
Panjang portal (mm)	6000	6000	6000	6000	6000
Eksentrisitas					
e bentang ujung (mm)	85,39	78,32	71,24	64,15	57,06
e bentang dalam (mm)	114,6	104,6	94,6	84,6	74,6
Gaya Prategang					
Pe awal (KN/m)	162	162	162	162	162
Po awal(KN/m)	202,5	202,5	202,5	202,5	202,5
Jumlah tendon	12,59	12,59	12,59	12,59	12,59
Dipakai tendon	13	13	13	13	13
Po aktual (KN/m)	209,161	209,161	209,161	209,161	209,161
Pe aktual (KN/m)	167,329	167,329	167,329	167,329	167,329
fpc (MPa)	0,930	0,930	0,930	0,930	0,930
Perimbangan Beban					
Wbal bentang luar (KN/m ²)	3,175	2,912	2,649	2,385	2,122
Wunb bentang luar (KN/m ²)	4,845	5,108	5,371	5,635	5,898
Wbal bentang dalam (KN/m ²)	4,261	3,889	3,518	3,146	2,774
Wunb bentang dalam (KN/m ²)	3,759	4,131	4,502	4,874	5,246
WDsisa bentang luar (KN/m ²)	2,345	2,608	2,871	3,135	3,398
WDsisa bentang dalam(KN/m ²)	1,259	1,631	2,002	2,374	2,746
Portal Ekuivalen					
DF portal luar	0,598	0,598	0,598	0,598	0,598
DF portal dalam	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374
FEMbal bentang luar (KNm)	9,525	8,737	7,947	7,156	6,365
FEMbal bentang dalam (KNm)	12,784	11,668	10,553	9,437	8,322
FEMunb bentang luar (KNm)	14,535	15,323	16,113	16,904	17,695
FEMunb bentang dalam (KNm)	11,276	12,392	13,507	14,623	15,738
FEMWDsisa bentang luar (KNm)	7,035	7,823	8,613	9,404	10,195
FEMWDsisa bentang dalam(KNm)	3,776	4,892	6,007	7,123	8,238
FEM Beban utimit (KNm)	31,872	31,872	31,872	31,872	31,872
Kontrol Tegangan Beton					
Saat Transfer					
Mmaks (KNm) →Tabel Cross	3,595	3,691	3,787	3,883	15,949
Mmaks muka kolom (KNm)	1,716	1,626	1,536	1,446	13,326
S (mm ²)	5400000	5400000	5400000	5400000	5400000
fb (Mpa)	-1,480	-1,463	-1,446	-1,430	-3,630
ft (Mpa)	-0,844	-0,861	-0,878	-0,894	1,306
Saat Layan					
Maks unb (KNm) →Tabel Cross	15,683	16,746	17,809	18,874	19,938
Mmaks muka kolom (KNm)	15,053	15,930	16,808	17,687	18,565
fb (MPa)	-3,717	-3,880	-4,042	-4,205	-4,368
ft (Mpa)	1,858	2,020	2,183	2,346	2,508
Mmaks Lapangan (KNm)	6,829	7,030	7,232	7,435	7,640
ft (Mpa)	0,335	0,372	0,410	0,447	0,485
Tulangan Lekatan Minimum					
Luas tulangan As (mm ²)	810,000	810,000	810,000	810,000	810,000
Jumlah tulangan	7,166	7,166	7,166	7,166	7,166
Dipakai tulangan	8	8	8	8	8
Kapasitas Penampang					
Momen Negatif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	27,405	27,531	27,858	28,086	28,314
d (mm)	140,950	135,950	130,950	125,950	120,950
ρ	0,00114	0,00118	0,00122	0,00127	0,00133
fse (Mpa)	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280
fps (Mpa)	1420,863	1409,952	1399,041	1388,130	1377,219
a (mm)	8,572	8,513	8,454	8,396	8,337

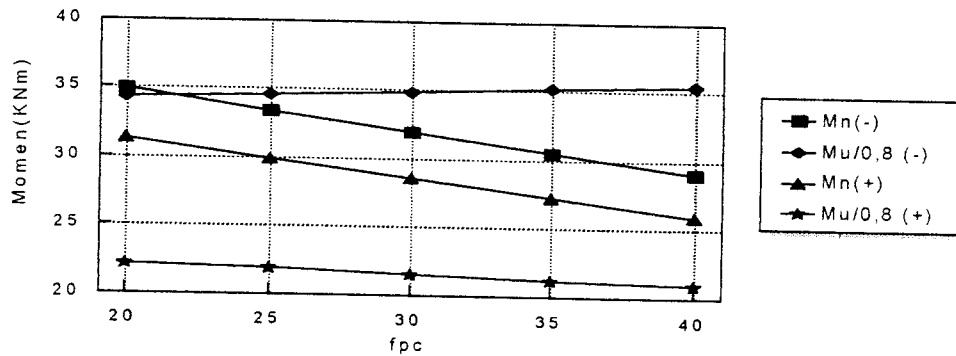
Mn (KNm)	34,852	33,354	31,873	30,410	28,964
Mu/0,8 (KNm)	34,256	34,539	34,823	35,108	35,393
Momen Positif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	17,735	17,478	17,222	16,964	16,707
a (mm)	7,660	7,601	7,542	7,484	7,425
Mn (KNm)	31,248	29,884	28,537	27,208	25,896
Mu/0,8 (KNm)	22,168	21,848	21,527	21,206	20,884
Transfer Momen Lentur					
Bentang ujung					
Mt (KNm) →Tabel Cross	5,309	5,616	5,925	6,234	6,543
Lebar efektif (mm)	1040,000	1040,000	1040,000	1040,000	1040,000
γf	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609
ρ	0,002109	0,002109	0,002109	0,002109	0,002109
fps	1279,237	1279,237	1279,237	1279,237	1279,237
a (mm)	15,176	15,176	15,176	15,176	15,176
Mn (KNm)	38,697	38,697	38,697	38,697	38,697
(Mu. γf)/0,8 (KNm)	4,044	4,279	4,514	4,749	4,985
Bentang dalam					
Mt (KNm) →Tabel Cross	2,644	2,614	2,584	2,555	2,526
γf	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
ρ	0,00135	0,00140	0,00145	0,00151	0,00157
fps (MPa)	1373,188	1363,968	1354,748	1345,528	1336,308
a (mm)	15,776	15,717	15,658	15,599	15,541
Mn (KNm)	64,948	62,289	59,648	57,025	54,420
(Mu. γf)/0,8 (KNm)	1,983	1,960	1,938	1,916	1,894
Kapasitas Geser					
Geser Kolom Tepi					
Vu (N) →Tabel Cross	223448	223448	223448	223448	223448
Mt (Nmm) →Tabel Cross	42468461	44930682	47397638	49869330	52341023
d (mm)	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000
bo (mm)	2432,000	2432,000	2432,000	2432,000	2432,000
Ac (mm ²)	257472,000	257472,000	257472,000	257472,000	257472,000
Cab (mm)	182,989	182,989	182,989	182,989	182,989
Ccd (mm)	362,011	362,011	362,011	362,011	362,011
g (mm)	112,011	112,011	112,011	112,011	112,011
Jc (mm ⁴)	8532610197	8532610197	8532610197	8532610197	8532610197
Vuab (MPa)	1,014	1,035	1,055	1,076	1,097
Vucd (MPa)	0,579	0,538	0,497	0,456	0,415
0,6Vc (MPa)	1,232	1,232	1,232	1,232	1,232
Geser Kolom Tengah					
Vu (N) →Tabel Cross	541480	541480	541480	541480	541480
Mt (Nmm) →Tabel Cross	21151767	20910044	20672171	20438147	20204123
d (mm)	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000
bo (mm)	2576,000	2576,000	2576,000	2576,000	2576,000
Ac (mm ²)	370944,000	370944,000	370944,000	370944,000	370944,000
Cab (mm)	322,000	322,000	322,000	322,000	322,000
Ccd (mm)	322,000	322,000	322,000	322,000	322,000
g (mm)	-	-	-	-	-
Jc (mm ⁴)	25961134080	25961134080	25961134080	25961134080	25961134080
Vuab (MPa)	1,565	1,563	1,562	1,561	1,560
Vucd (MPa)	1,355	1,356	1,357	1,358	1,359
0,6Vc (MPa)	1,232	1,232	1,232	1,232	1,232



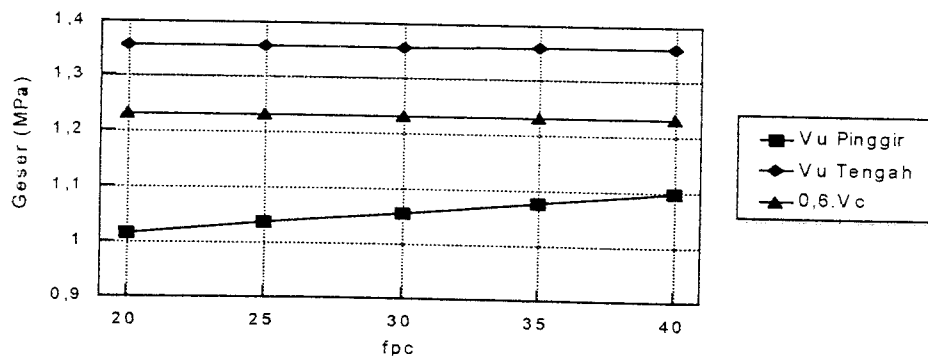
Gambar 4.20 Grafik hubungan antara beban dengan penutup beton portal 2A-2D



Gambar 4.21 Grafik hubungan antara tegangan beton saat layan dengan penutup beton portal D1-D4



Gambar 4.22 Hubungan antara kapasitas momen dengan penutup beton portal 2A-2D



Gambar 4.23 Hubungan antara gaya geser dengan penutup beton portal 2A-2D

Tabel 4.11 Perhitungan Portal C1-C4 dengan Variasi Penutup Beton

PERHITUNGAN PORTAL C1-C4					
Penutup beton (mm)	20	25	30	35	40
Lebar portal (mm)	6000	6000	6000	6000	6000
Panjang portal (mm)	8000	8000	8000	8000	8000
Eksentrisitas					
e bentang ujung (mm)	90,152	87,94	85,87	83,8	81,73
e bentang dalam (mm)	127,3	117,3	107,3	97,3	87,3
Gaya Prategang					
Pe awal (KN/m)	360	360	360	360	360
Po awal(KN/m)	450	450	450	450	450
Jumlah tendon	20,98	20,98	20,98	20,98	20,98
Dipakai tendon	21	21	21	21	21
Po aktual (KN/m)	450,501	450,501	450,501	450,501	450,501
Pe aktual (KN/m)	360,401	360,401	360,401	360,401	360,401
fpc (MPa)	2,002	2,002	2,002	2,002	2,002
Perimbangan Beban					
Wbal bentang luar (KN/m ²)	4,061	3,962	3,868	3,775	3,682
Wunb bentang luar (KN/m ²)	3,959	4,058	4,152	4,245	4,338
Wbal bentang dalam (KN/m ²)	5,735	5,284	4,834	4,383	3,933
Wunb bentang dalam (KN/m ²)	2,285	2,736	3,186	3,637	4,087
WDsisa bentang luar (KN/m ²)	1,459	1,558	1,652	1,745	1,838
WDsisa bentang dalam(KN/m ²)	-0,215	0,236	0,686	1,137	1,587
Portal Ekuivalen					
DF portal luar	0,379	0,379	0,379	0,379	0,379
DF portal dalam	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275
FEMbal bentang luar (KNm)	21,661	21,129	20,632	20,134	19,637
FEMbal bentang dalam (KNm)	30,586	28,183	25,781	23,378	20,975
FEMunb bentang luar (KNm)	21,113	21,644	22,142	22,639	23,136
FEMunb bentang dalam (KNm)	12,187	14,590	16,993	19,395	21,798
FEMWDsisa bentang luar (KNm)	7,779	8,311	8,808	9,306	9,803
FEMWDsisa bentang dalam(KNm)	-1,146	1,257	3,659	6,062	8,465
FEM Beban ultimit (KNm)	56,661	56,661	56,661	56,661	56,661
Kontrol Tegangan Beton					
Saat Transfer					
Mmaks (KNm) →Tabel Cross	5,507	5,138	4,738	4,330	3,916
Mmaks muka kolom (KNm)	3,984	3,314	2,614	1,906	1,192
S (mm ²)	5400000	5400000	5400000	5400000	5400000
fb (Mpa)	-3,240	-3,117	-2,987	-2,856	-2,723
ft (Mpa)	-1,765	-1,889	-2,019	-2,150	-2,282
Saat Layan					
Maks unb (KNm) →Tabel Cross	21,269	22,428	23,558	24,687	25,817
Mmaks muka kolom (KNm)	21,413	22,271	23,100	23,930	24,759
fb (MPa)	-5,968	-6,126	-6,280	-6,434	-6,587
ft (Mpa)	1,963	2,122	2,276	2,429	2,583
Mmaks Lapangan (KNm)	10,676	10,394	10,097	9,807	9,524
ft (Mpa)	-0,025	-0,077	-0,132	-0,186	-0,238
Tulangan Lekatan Minimum					
Luas tulangan As (mm ²)	1080,000	1080,000	1080,000	1080,000	1080,000
Jumlah tulangan	9,554	9,554	9,554	9,554	9,554
Dipakai tulangan	10	10	10	10	10
Kapasitas Penampang					
Momen Negatif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	52,281	51,637	50,965	50,293	49,621
d (mm)	153,650	148,650	143,650	138,650	120,950
ρ	0,002248	0,002324	0,002405	0,002492	0,002856
fse (Mpa)	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280	1043,280
fps (Mpa)	1191,117	1188,584	1186,051	1183,518	1235,823
a (mm)	15,351	15,321	15,292	15,263	15,870

Mn (KNm)	66,665	64,265	61,873	59,491	53,358
Mu/0,8 (KNm)	65,351	64,547	63,706	62,866	62,026
Momen Positif					
Mu (KNm) →Tabel Cross	33,424	33,114	32,811	32,507	32,204
a (mm)	13,831	13,802	13,772	13,743	14,350
Mn (KNm)	60,377	58,202	56,035	53,877	48,572
Mu/0,8 (KNm)	41,780	41,393	41,013	40,634	40,255
Transfer Momen Lentur					
Bentang ujung					
Mt (KNm) →Tabel Cross	16,831	16,980	17,105	17,229	17,353
Lebar efektif (mm)	1040,000	1040,000	1040,000	1040,000	1040,000
γ_f	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609
p	0,002109	0,002109	0,002109	0,002109	0,002109
fps	1196,259	1196,259	1196,259	1196,259	1279,237
a (mm)	16,401	16,401	16,401	16,401	16,930
Mn (KNm)	41,508	41,508	41,508	41,508	42,709
(Mu. γ_f)/0,8 (KNm)	12,823	12,937	13,031	13,126	13,221
Bentang dalam					
Mt (KNm) →Tabel Cross	7,796	6,842	5,866	4,891	3,915
γ_f	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
p	0,00124	0,00128	0,00132	0,00137	0,00157
fps (MPa)	1254,943	1250,333	1245,723	1241,113	1336,308
a (mm)	16,775	16,746	16,716	16,687	17,294
Mn (KNm)	75,394	72,679	69,973	67,276	60,091
(Mu. γ_f)/0,8 (KNm)	5,847	5,131	4,400	3,668	2,937
Kapasitas Geser					
Geser Kolom Tepi					
Vu (N) →Tabel Cross	234049	234049	234049	234049	234049
Mt (Nmm) →Tabel Cross	100984570	101882370	102628156	103373942	104119728
d (mm)	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000
bo (mm)	2432,000	2432,000	2432,000	2432,000	2432,000
Ac (mm ²)	257472,000	257472,000	257472,000	257472,000	257472,000
Cab (mm)	182,989	182,989	182,989	182,989	182,989
Ccd (mm)	362,011	362,011	362,011	362,011	362,011
g (mm)	112,011	112,011	112,011	112,011	112,011
Jc (mm ⁴)	8532610197	8532610197	8532610197	8532610197	8532610197
Vuab (MPa)	1,535	1,543	1,549	1,555	1,561
Vucd (MPa)	-0,330	-0,345	-0,357	-0,369	-0,382
0.5Vc (MPa)	1,425	1,425	1,425	1,425	1,425
Geser Kolom Tengah					
Vu (N) →Tabel Cross	530879	530879	530879	530879	530879
Mt (Nmm) →Tabel Cross	46773792	41051793	35198657	29345521	23492386
d (mm)	144,000	144,000	144,000	144,000	144,000
bo (mm)	2576,000	2576,000	2576,000	2576,000	2576,000
Ac (mm ²)	370944,000	370944,000	370944,000	370944,000	370944,000
Cab (mm)	322,000	322,000	322,000	322,000	322,000
Ccd (mm)	322,000	322,000	322,000	322,000	322,000
g (mm)	-	-	-	-	-
Jc (mm ⁴)	25961134080	25961134080	25961134080	25961134080	25961134080
Vuab (MPa)	1,663	1,635	1,606	1,577	1,548
Vucd (MPa)	1,199	1,227	1,257	1,286	1,315
0.5Vc (MPa)	1,425	1,425	1,425	1,425	1,425

Dari tabel-tabel di atas, dapat ditentukan jumlah tendon yang efektif pada struktur *flat plate* beton prategang. Untuk portal 1A-1D, walaupun dengan asumsi tegangan rata-rata, $f_{pc} = 0,8$ Mpa sudah aman, akan tetapi adanya pembatasan keretakan dan tarikan yang berlebihan, maka diambil $f_{pc} = 0,9$ Mpa. Hasil perhitungan yang digunakan untuk disain adalah sebagai berikut ini.

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan yang Digunakan Untuk Disain

	Portal 2A-2D	Portal 1A-1D	Portal C1-C4	Portal D1-D4
Asumsi tegangan rata-rata (Mpa)	0,9	0,9	2,0	1,6
Jumlah tendon	13	7	21	10
Lebar jalur kolom (mm)	3000	1750	3000	1750
Jumlah tendon jalur kolom	9,1	4,9	14,7	7
Dipakai tendon	9	5	15	7
Lebar jalur tengah (mm)	5000	2500	3000	1500
Jarak tendon (mm)	333,333	350	200	250
Lebar jalur tengah (mm)	5000	2500	3000	1500
Jumlah tendon jalur tengah	4	2	6	3
Jarak tendon (mm)	1250	1250	500	500
V_u maks kolom tepi (Mpa)	1,014	1,023	1,535	1,395
V_u maks kolom tengah (Mpa)	1,565	1,338	1,663	1,079
ϕV_c (Mpa)	1,232	1,234	1,425	1,382

4.2.2 Perhitungan Tulangan Geser

Agar lebih mudah dalam pelaksanaan, perencanaan tulangan geser diseragamkan untuk kolom pojok, kolom tepi dan kolom tengah. Gaya geser yang digunakan dalam perhitungan diambil gaya geser maksimum, V_u maks pada masing-masing jenis kolom dari tabel 4.12.

Perhitungan tulangan geser kolom tepi,

$$b_o = 2432 \text{ mm}$$

$$d = 144 \text{ mm}$$

$$V_u \text{ maks} = 1,535 \text{ MPa} = 1,535 \times 2432 \times 144 = 537569,28 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 1,425 \text{ MPa} = 1,425 \times 2432 \times 144 = 499046,4 \text{ N}$$

Kuat geser nominal penampang maksimum apabila memakai tulangan geser,

$$\phi V_n = \phi(0,5\sqrt{f'_c})$$

$$= 0,6(0,5\sqrt{35}) = 1,775 \text{ MPa} \geq V_u \longrightarrow \text{tulangan geser dapat dipakai}$$

Kapasitas geser penampang beton apabila memakai tulangan geser,

$$\phi V_c = \phi \sqrt{f'_c}/6 b_o d = 0,6 \times (\sqrt{35}/6) \times 2432 \times 144 = 207185,847 \text{ N}$$

Gaya geser yang ditahan oleh tulangan geser,

$$V_s = V_u - \phi V_c = 537569,28 - 207185,847 = 330383,433 \text{ N}$$

Dipakai sengkang U ganda D12 dengan jarak antar sengkang 130 mm,

$$A_v \text{ perlu} = \frac{V_s s}{f_y d} = \frac{330383,433 \times 140}{240 \times 144} = 1338,359 \text{ mm}^2$$

$$A_v \text{ perlu tiap sisi} = \frac{1338,359}{3} = 446,12 \text{ mm}^2$$

$$A_v \text{ ada} = 4 \times 0,25 \times 3,14 \times 12^2 = 452,16 \text{ mm}^2$$

Distribusi tulangan geser sengkang dalam daerah kritis b_o didasarkan pada kapasitas geser penampang beton maksimum,

$$V_u = (1/6)\sqrt{f'_c} b_o d$$

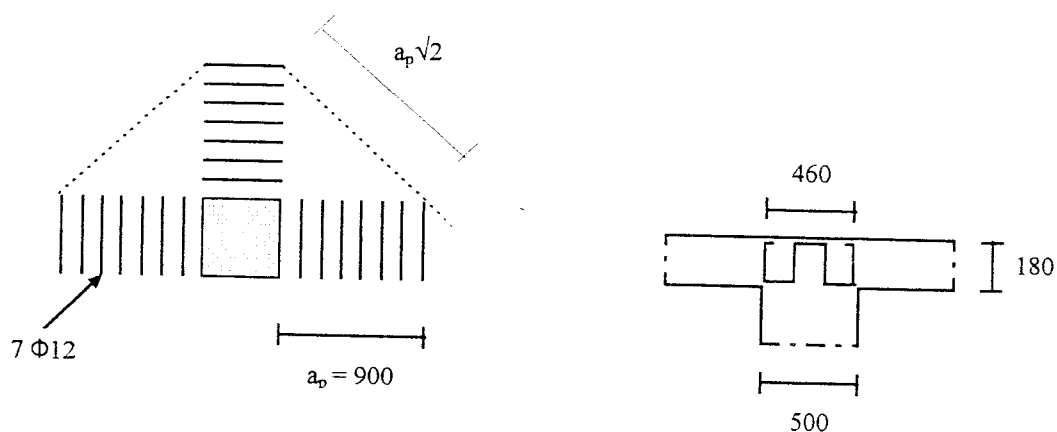
lebar sengkang 460 mm,

$$537569,28 = (1/6)\sqrt{f'_c} (3c + 2a_p\sqrt{2}) d$$

$$a_p = \left(\frac{537569,28 \times 6}{\sqrt{35} \times 144} - 3 \times 500 \right) \times \frac{1}{2\sqrt{2}} = 850,676 \text{ mm} \longrightarrow \text{dipakai } 900 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah sengkang} = \frac{900}{140} = 6,429 \longrightarrow \text{dipakai 7 sengkang}$$

Penempatan tulangan geser untuk kolom tepi dapat dilihat pada gambar 4.28.



Gambar 4.28 Penempatan Tulangan Geser

Perhitungan tulangan geser untuk kolom pojok dan kolom tengah diperlihatkan pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 Perhitungan Tulangan Geser

Jenis Kolom	Kolom tepi	Kolom pojok	Kolom tengah
V_u maks (MPa)	1,535	1,395	1,663
f_y (MPa)	240	240	240
f_c (MPa)	35	35	35
b_o (mm)	2432	2288	2576
d (mm)	144	144	144
V_n maks (MPa)	1,775	1,775	1,775
ϕV_c (N)	207185,847	194918,264	219453,430
V_s (N)	330383,433	264695,176	397426,442
Jarak sengkang (mm)	140	115	150
A_v (mm ²)	1338,359	880,785	1724,941
A_v tiap sisi (mm ²)	446,120	440,393	431,235
$A_s \phi 12$ (mm ²)	452,160	452,160	452,160
Lebar sengkang (mm)	460	460	500
Jarak penempatan sengkang, a_p (mm)	850,676	1638,391	414,480
a_p terpakai (mm)	900	1700	420
Jumlah sengkang	6,429	14,783	2,800
Sengkang terpakai	7	15	3

4.2.3 Perhitungan Lendutan

1. Arah portal 2A-2B

$$M_t = 5,309 \text{ KNm (Tabel 4.5)}$$

$$K_{ec} = 1,816 \times 10^6 \times E_c$$

Inersia portal ekivalen

$$I_{cs} = \frac{b h^3}{12} = \frac{8000 \times 180^3}{12} = 3,888 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Inersia jalur kolom

$$I_c = \frac{b h^3}{12} = \frac{3000 \times 180^3}{12} = 1,458 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Inersia jalur tengah

$$I_s = \frac{b h^3}{12} = \frac{5000 \times 180^3}{12} = 2,430 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Defleksi dasar

$$\delta' = \frac{W_{net} l^4}{384 E_c I_{cs}} = \frac{4,845 \times 10^{-3} \times 6000^4}{384 \times 27805,575 \times 3,888 \times 10^9} = 1,210 \text{ mm}$$

Di distribusi untuk jalur kolom δ_c dan jalur tengah δ_s sesuai distribusi momen

$$\delta_c = \delta' \frac{E_{cs} I_{cs}}{E_c I_c} = 1,21 \times 0,692 \times \frac{3,888 \times 10^9}{1,458 \times 10^9} = 2,234 \text{ mm}$$

$$\delta_s = \delta' \frac{E_{cs} I_{cs}}{E_s I_s} = 1,21 \times 0,308 \times \frac{3,888 \times 10^9}{2,430 \times 10^9} = 0,596 \text{ mm}$$

Rotasi yang terjadi

$$\theta_{2A} = \frac{M}{K_{ec}} = \frac{5,309 \times 10^6 \times 8}{1,816 \times 10^6 \times 27805,575} = 0,000631 \text{ rad}$$

$$\theta_{2B} = \frac{M}{K_{ec}} = \frac{2,644 \times 10^6 \times 8}{1,816 \times 10^6 \times 27805,575} = 0,000419 \text{ rad}$$

$$\delta'' = \frac{\theta l}{8} = \frac{(0,000631 + 0,000419) \times 6000}{8} = 1,050 \text{ mm}$$

Defleksi jalur kolom

$$\delta_{cy} = \delta_c + \delta'' = 2,234 + 1,050 = 3,284 \text{ mm}$$

Defleksi jalur tengah

$$\delta_{sy} = \delta_s + \delta'' = 0,596 + 1,050 = 1,645 \text{ mm}$$

2. Arah portal B1-B2

$$M_t = 16,831 \text{ KNm}$$

$$K_{ec} = 2,469 \times 10^6 \times E_c$$

Inersia portal ekivalen

$$I_{cs} = \frac{b h^3}{12} = \frac{6000 \times 180^3}{12} = 2,916 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Inersia jalur kolom

$$I_c = \frac{b h^3}{12} = \frac{3000 \times 180^3}{12} = 1,458 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Inersia jalur tengah

$$I_s = \frac{b h^3}{12} = \frac{3000 \times 180^3}{12} = 1,458 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Defleksi dasar

$$\delta' = \frac{W_{\text{net}} l^4}{384 E_c I_{cs}} = \frac{3,959 \times 10^{-3} \times 8000^4}{384 \times 27805,575 \times 2,916 \times 10^9} = 3,125 \text{ mm}$$

Di distribusi untuk jalur kolom δ_c dan jalur tengah δ_s sesuai distribusi momen

$$\delta_c = \delta' \cdot 0,667 \frac{E_{cs} I_{cs}}{E_c I_c} = 3,125 \times 0,714 \times \frac{2,916 \times 10^9}{1,458 \times 10^9} = 4,464 \text{ mm}$$

$$\delta_s = \delta' \cdot 0,316 \frac{E_{cs} I_{cs}}{E_s I_s} = 3,125 \times 0,286 \times \frac{2,916 \times 10^9}{1,458 \times 10^9} = 1,785 \text{ mm}$$

Rotasi yang terjadi

$$\theta_{B1} = \frac{M}{K_{ec}} = \frac{16,831 \times 10^6 \times 6}{2,469 \times 10^6 \times 27805,575} = 0,002 \text{ rad}$$

$$\theta_{B2} = \frac{M}{K_{ec}} = \frac{7,796 \times 10^6 \times 6}{2,469 \times 10^6 \times 27805,575} = 0,00068 \text{ rad}$$

$$\delta'' = \frac{\theta l}{8} = \frac{(0,002 + 0,00068) \times 8000}{8} = 1,982 \text{ mm}$$

Defleksi jalur kolom

$$\delta_{cx} = \delta_c + \delta'' = 4,464 + 1,982 = 6,446 \text{ mm}$$

Defleksi jalur tengah

$$\delta_{sx} = \delta_s + \delta'' = 1,785 + 1,982 = 3,767 \text{ mm}$$

3. Total defleksi

$$\Delta = \delta_{sx} + \delta_{cy} = \delta_{sy} + \delta_{cx}$$

$$\Delta_{\text{tot}} = \frac{(\Delta_{(2A-2B)} + \Delta_{(B1-B2)})}{2} = \frac{(3,767 + 3,284) + (1,645 + 6,446)}{2}$$

$$= 7,571 \text{ mm}$$

4. Lendutan jangka panjang

Arah 2A - 2B

$$W_{\text{sust}} = (W_{\text{unb}} - WL) + 0,65WL = (4,845 - 2,5) + 0,65 \times 2,5 = 3,970 \text{ KN/m}^2$$

$$\delta_{\text{long-t}} = \frac{W_{\text{sust}}}{W_{\text{unb}}} \times \Delta_{\text{tot}} \times \text{Faktor Creep} = \frac{3,970}{4,845} \times \frac{(3,767 + 3,284)}{2} \times 2$$

$$= 5,778 \text{ mm}$$

Arah B1 - B2

$$W_{\text{sust}} = (W_{\text{unb}} - WL) + 0,65WL = (3,104 - 2,5) + 0,65 \times 2,5 = 2,229 \text{ KN/m}^2$$

$$\delta_{\text{long-t}} = \frac{W_{\text{sust}}}{W_{\text{unb}}} \times \Delta_{\text{tot}} \times \text{Faktor Creep} = \frac{2,229}{3,104} \times \frac{(1,645 + 6,446)}{2} \times 2$$

$$= 6,303 \text{ mm}$$

$$\text{Kedua arah} = 5,778 + 6,303 = 12,080 \text{ mm}$$

Defleksi total setelah jangka panjang,

$$\Delta_{\text{tot-long-t}} = 12,080 + 7,571 = 19,652 \text{ mm}$$

Defleksi batas

$$\Delta = \frac{l}{240} = \frac{6000}{240} = 25,0 \text{ mm} \geq 19,652 \text{ mm } (\Delta_{\text{tot-long-t}} \text{ yang terjadi}) \text{ Aman !!}$$

Untuk mengetahui pengaruh eksentrisitas terhadap lendutan, berikut ini tabel hasil perhitungan lendutan dengan variasi penutup beton.

Tabel 4.14 Perhitungan Lendutan dengan Variasi Penutup Beton

Penutup Beton	20 mm		25 mm		30 mm		35 mm		40 mm	
	Portal 2A-2B	Portal B1-B2	Portal 2A-2B	Portal B1-B2	Portal 2A-2B	Portal B1-B2	Portal 2A-2B	Portal B1-B2	Portal 2A-2B	Portal B1-B2
Tinjau	8000	6000	8000	6000	8000	6000	8000	6000	8000	6000
lebar portal ekuivalen(mm)	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
lebar jalur kolom (mm)	5000	3000	5000	3000	5000	3000	5000	3000	5000	3000
panjang portal (mm)	6000	8000	6000	8000	6000	8000	6000	8000	6000	8000
Mt tepi (KNm)	5,309	16,831	5,616	16,980	5,925	17,105	6,234	17,229	6,543	17,353
Mt tengah (KNm)	2,644	7,796	2,614	6,842	2,584	5,866	2,555	4,891	2,526	3,915
Wbal (KN/m ²)	3,175	4,061	2,912	3,962	2,649	3,868	2,385	3,775	2,122	3,682
Wunb (KN/m ²)	4,845	3,959	5,108	4,058	5,371	4,152	5,635	4,245	5,898	4,338
Jumlah tendon	13	21	13	21	13	21	13	21	13	21
Tendon jalur kolom	9	15	9	15	9	15	9	15	9	15
(ncol/ntot)	0,692	0,714	0,692	0,714	0,692	0,714	0,692	0,714	0,692	0,714
(nteng/ntot)	0,308	0,286	0,308	0,286	0,308	0,286	0,308	0,286	0,308	0,286
Faktor creep	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Kec	5049424165	68651964627	5049424165	68651964627	5049424165	68651964627	5049424165	68651964627	5049424165	68651964627
I port ekv (mm ⁴)	3888000000	2916000000	3888000000	2916000000	3888000000	2916000000	3888000000	2916000000	3888000000	2916000000
I jalur kolom (mm ⁴)	1458000000	1458000000	1458000000	1458000000	1458000000	1458000000	1458000000	1458000000	1458000000	1458000000
I jalur tengah (mm ⁴)	2430000000	1458000000	2430000000	1458000000	2430000000	1458000000	2430000000	1458000000	2430000000	1458000000
δ' (mm)	1,210039	3,124688	1,275723	3,203345	1,341406	3,276954	1,407250	3,350562	1,473093	3,424170
δc (mm)	2,23392	4,46384	2,35518	4,57621	2,47644	4,68136	2,59800	4,78652	2,71956	4,89167
δs (mm)	0,59571	1,78554	0,62805	1,83048	0,66038	1,87255	0,69280	1,91461	0,72521	1,95667
θ kolom tepi (rad/mm)	0,000631	0,001961	0,000667	0,001979	0,000704	0,001993	0,000741	0,002008	0,000777	0,002022
θ kolom tengah (rad/mm)	0,000419	0,000681	0,000414	0,000598	0,000409	0,000513	0,000405	0,000427	0,000400	0,000342
δ'' (mm)	1,050	1,982	1,081	1,933	1,113	1,879	1,145	1,826	1,178	1,773
δc tot (mm)	3,284	6,446	3,437	6,509	3,590	6,561	3,743	6,613	3,897	6,665
δs tot (mm)	1,645	3,767	1,710	3,763	1,774	3,752	1,838	3,741	1,903	3,730
Δ Total dua arah (mm)	7,571	7,709	7,708	7,838	7,968	8,097	8,097	8,226	8,355	8,484
Lendutan jangka panjang										
W _{sust} (KN/m ²)	3,970	3,084	4,233	3,183	4,496	3,277	4,760	3,370	5,023	3,463
δ long-t (mm)	5,778	6,303	5,966	6,446	6,146	6,578	6,322	6,709	6,496	6,840
δ tot long-t (mm)	12,080	12,413	12,424	12,724	12,724	13,031	13,031	13,335	13,335	13,639
Δ Jangka panjang (mm)	19,652	19,652	20,122	20,562	20,562	20,999	20,999	21,433	21,433	21,867
Δ Batas (mm)	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000

4.2.4. Perencanaan Daerah Ujung (*End Block*)

1. Perhitungan momen dan tegangan daerah *endblock*

Diambil tinjauan $b = 200 \text{ mm}$

Siar tegangan $= h/9 = 20 \text{ mm}$

$$A_c = b h = 200 \times 180 = 3,6 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$I_c = \frac{b h^3}{12} = \frac{200 \times 180^3}{12} = 9,72 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

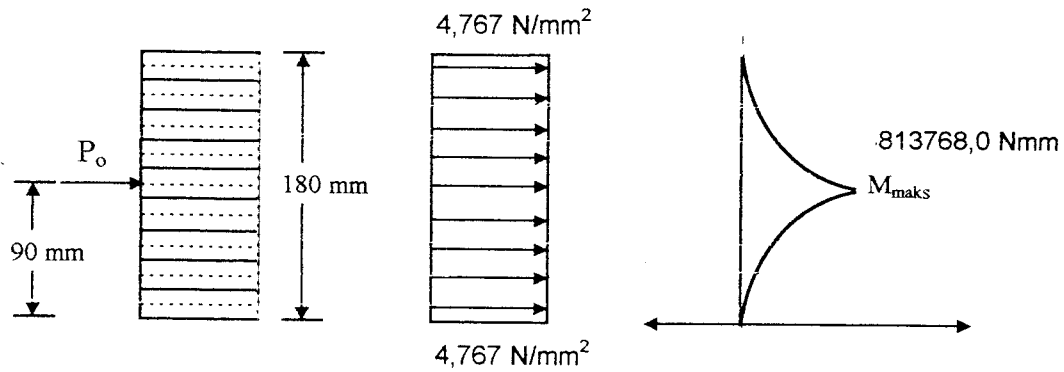
$$P_o \text{ per tendon} = \frac{P_o l}{n} = \frac{407,596 \times 8 \times 1000}{19} = 171619,56 \text{ N}$$

Perhitungan tegangan dan momen pada *end block* disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4.15 Perhitungan Tegangan dan Momen pada *End Block*

h	b (mm)	f_b (N/mm ²)	M teg (Nmm)	M P_o (Nmm)	M net (Nmm)
180	200	-4,767	-15445760,40	15445760,40	0,00
170		-4,767			
160	200		-12204057,60	12013369,20	-190688,40
150		-4,767			
140	200		-9343731,60	8580978,00	-762753,60
130		-4,767			
120	200		-6864782,40	5148586,80	-1716195,60
110		-4,767			
100	200		-4767210,00	1716195,60	-3051014,40
90	200	-4,767	-3813768,00	0,00	-3813768,00
80	200		-3051014,40	0,00	-3051014,40
70		-4,767			
60	200		-1716195,60	0,00	-1716195,60
50		-4,767			
40	200		-762753,60	0,00	-762753,60
30		-4,767			
20	200		-190688,40	0,00	-190688,40
10		-4,767			
0	200	-4,767	0,00	0,00	0,00

Tegangan dan momen yang terjadi akibat penegangan pada daerah ujung diperlihatkan pada gambar 4.29.



(a) Penampang Tinjauan (b) Diagram Tegangan (c) Diagram Momen

Gambar 4.29 Diagram Tegangan dan Momen di Daerah Ujung

2. Perhitungan tulangan *endblock*

a. Perhitungan tulangan,

$$M_{\text{maks}} = 3813768,00 \text{ Nmm}$$

Asumsi tegangan tarik pada jarak x dari permukaan ujung,

$$x = \frac{h}{4} = \frac{180}{4} = 45 \text{ mm}$$

$$T = \frac{M_{\text{maks}}}{(h - x)} = \frac{3813768,00}{(180 - 45)} = 28250,133 \text{ N}$$

Kebutuhan tulangan sengkang ujung,

$$A_s = \frac{T}{f_y} = \frac{28250,133}{240} = 117,709 \text{ mm}^2$$

$$A_s \phi 12 \text{ mm} = 2(0,25 \times 3,14 \times 12^2) = 226,080 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan,

$$n = \frac{A_s}{A_s \phi 12} = \frac{117,709}{226,080} = 0,5206 \quad \text{dipakai 2 buah sengkang tertutup}$$

Didistribusikan pada jarak $h/2 = 90$ mm

b. Penentuan luasan pelat angkur,

Tendon yang digunakan dari jenis Inryco CONA tipe CM, dengan luas pelat angkur 114,3 mm x 57,2 mm. Spesifikasi lain dari tendon tersebut dapat dilihat pada lampiran 2.

Diambil $A_2/A_1 = 2,0$

$$A_1 \text{ dipakai } (114,3 \times 57,20) \text{ mm}^2 = 17967,960 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 2,0 A_1 = 2,0 \times 17967,960 = 26053,543 \text{ mm}^2 \quad (200 \times 130) \text{ mm}^2$$

Kontrol tegangan blok ujung saat transfer

$$f_b = 0,8f_c \sqrt{((A_2/A_1) - 0,2)}$$

$$f_b = 0,8 \times 35 \sqrt{((26053,543 / 17967,960) - 0,2)}$$

$$= 31,305 \text{ MPa} \leq 1,25f_{ci} = 32,813 \text{ MPa} \quad \text{Aman !!}$$

Kontrol tegangan blok ujung saat layan

$$f_b = 0,6f_c \sqrt{(A_2/A_1)}$$

$$f_b = 0,6 \times 35 \sqrt{(26053,543 / 17967,960)} = 25,287 \text{ Mpa} \leq f_c = 35 \text{ MPa Aman !!}$$

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Analisa Lentur

Permukaan tarik pada pelat datar (*flat plate*) beton prategang, pada saat menerima beban diperbolehkan terjadi tegangan tarik atau diperbolehkan terjadi retak-retak halus, tapi tidak boleh melebihi tegangan ijin. Untuk itu perlu dilakukan kontrol tegangan pada saat beban transfer dan layan. Saat transfer, ketika beton belum mencapai kekuatan tekan maksimum (f'_c), kekuatan beton diambil sebesar f'_{ci} ($0,75f'_c$). Pada kondisi ini gaya prategang yang digunakan belum mengalami kehilangan prategangan dan beban belum sepenuhnya bekerja. Pada saat layan, gaya prategang telah mengalami kehilangan gaya prategangan dan beban telah sepenuhnya bekerja sehingga untuk kontrol diambil kekuatan beton maksimum (f'_c).

Prategang efektif (f_{se}) diambil dengan memperhitungkan kehilangan gaya prategang yang diakibatkan oleh relaksasi tegangan baja, penyusutan beton, rangkai beton, gesekan dan tergelincirnya angkur yang dalam analisis ini diasumsikan sebesar 20% dari total prategang. Disyaratkan oleh ACI Code untuk pelat prategang dua arah untuk memperkirakan tegangan rata-rata yang diakibatkan oleh gaya prategang efektif sebesar 0,86 MPa sampai 3,5 MPa. Dalam analisa ini diambil besar asumsi tegangan rata rata sedemikian rupa, sehingga tegangan beton yang terjadi pada saat transfer dan layan tidak melebihi tegangan ijin. Hasil perhitungan tabel 4.6 sampai tabel 4.11 dapat disimpulkan bahwa semakin besar asumsi tegangan rata-rata dan eksentrisitas, maka gaya prategang efektif semakin bertambah sehingga tegangan tarik berkurang hal ini

disebabkan W_{unb} semakin kecil sehingga M_{unb} juga berkurang. Tegangan desak yang terjadi juga sangat kecil, jauh dari tegangan ijinnya hal ini disebabkan M_{unb} kecil.

Perhitungan momen total dilakukan dengan pendekatan portal ekuivalen (*equivalent frame method*), yaitu dengan cara membagi panel menjadi dua bagian portal yang saling tegak lurus, kemudian dianalisa untuk masing masing arahnya. Portal ini terdiri dari kolom, jalur kolom dan jalur tengah. Kekakuan kolom aktual, kolom ekuivalen, dan slab digunakan untuk menentukan koefisien distribusi momen (DF). Besar momen jepit ujung (FEM) dihitung $wl^2/12$ dan faktor induksi (COF) diambil sebesar 0,5. Selanjutnya besar dari momen disain dicari dengan menggunakan metode Cross. Hasil perhitungan tabel 4.6 sampai dengan tabel 4.11 dan gambar 4.6, gambar 4.10, gambar 4.14, gambar 4.18, gambar 4.22, gambar 4.26 dapat disimpulkan bahwa kapasitas momen penampang bertambah besar apabila asumsi tegangan rata-rata yang diberikan semakin besar. Begitu juga apabila eksentrisitas yang direncanakan semakin besar maka kapasitas momen penampang semakin besar.

Analisa perimbangan beban digunakan untuk menentukan besar beban yang dapat diimbangi oleh prategang (W_{bal}) yang tergantung pada eksentrisitas dan besar gaya prategangan. Jika momen primer (M_p) adalah momen akibat gaya prategang dan M_{bal} adalah momen akibat W_{bal} , maka selisih antara keduanya merupakan momen sekunder. Momen disain terfaktor (M_u) didapat dari selisih antara momen akibat beban ultimit dan momen sekunder. Dengan demikian momen sekunder akan mengurangi momen ultimit yang disebabkan oleh beban luar ($1,2WD + 1,6WL$).

Kapasitas penampang (M_n) harus lebih besar dari momen disain terfaktor (M_u) yang terjadi, apabila M_n kurang dari momen yang terjadi, maka bila mungkin

memperbesar eksentrisitas atau dilakukan penambahan tulangan prategang atau non prategang. Tulangan prategang (tendon) yang dipergunakan untuk menahan lentur pada lebar portal ekuivalen tersebut akan didistribusikan ke jalur kolom (*column strip*) sebanyak 65% sampai 75%, sisanya didistribusikan ke jalur tengah (*middle strip*). Pada perencanaan di atas jumlah tendon yang diberikan pada jalur kolom lebih besar karena harus menahan beban dari jalur tengah.

Sebagian momen tak seimbang disalurkan sebagai lentur yang bekerja pada lebar pelat efektif, untuk itu perlu dilakukan kontrol kapasitas penampang pada lebar efektif tersebut. Pada perencanaan di atas transfer momen ultimit (M_t) sebagai lentur yang terjadi jauh lebih kecil dari kapasitas lentur penampang, baik pada tumpuan luar maupun dalam, hal ini disebabkan oleh panjang bentangan yang sama, sehingga momen tak seimbang yang terjadi menjadi kecil.

5.2 Geser

Analisa geser di sini adalah analisa tegangan geser yang disebabkan oleh gaya geser vertikal V_u dan transfer momen total M_t yang diantisipasi oleh keliling penampang kritis b_o di sisi kolom pada kedalaman d dari sisi tekan beton. Kuat geser nominal V_n didapatkan dari kapasitas geser beton V_c dan kapasitas tulangan geser V_s . Disain ini akan dicapai angka keamanan apabila tegangan geser yang terjadi lebih kecil dari kapasitas geser total V_n . Apabila tegangan geser yang terjadi melebihi kapasitas geser beton V_c , maka dilakukan penambahan tulangan geser, dan apabila masih belum terantisipasi oleh tulangan geser biasa, maka perlu penggunaan profil kepala geser (*shearhead*).

Hasil analisa geser tabel 4.6 sampai tabel 4.9 dan gambar 4.7, gambar 4.11, gambar 4.15, gambar 4.19 dapat disimpulkan bahwa apabila asumsi tegangan rata-rata yang diberikan semakin besar maka kuat geser beton bertambah besar, sedangkan gaya geser yang terjadi akan semakin kecil sebab momen yang ditransfer sebagai geser (M_t) semakin kecil. Hasil perhitungan tabel 4.10 dan tabel 4.10 menunjukkan bahwa eksentrisitas tidak berpengaruh pada kapasitas geser beton karena tinggi penampang kritis diambil sebesar $0,8h$, sedangkan gaya geser yang terjadi akan semakin besar apabila eksentrisitas semakin besar dikarenakan M_t semakin besar.

Pada disain pelat datar (*flat plate*) beton prategang di atas, tulangan geser berupa profil I tidak dapat digunakan dikarenakan syarat minimum untuk meletakkan *flens* tekan profil I dari serat tekan beton sebesar $0,3d$ tidak terpenuhi, sehingga untuk mengantisipasi kelebihan tegangan geser digunakan tulangan geser berupa sengkang tertutup $\phi 12$ mm. Geser pada kolom pojok merupakan geser paling kritis dibandingkan pada kolom lainnya dikarenakan momen yang tidak terimbangi (M_t) lebih besar sedangkan luas penampang kritis lebih kecil, sehingga prosentase tulangan geser sengkang yang dipakai pada tiap sisi lebih besar.

5.3 Lendutan

Perhitungan lendutan pada tengah panel dilakukan dengan menjumlahkan lendutan yang terjadi pada kedua arahnya, yaitu dengan cara menjumlahkan lendutan tengah bentang dari jalur kolom dalam satu arah dengan lendutan tengah bentang dari jalur tengah dalam arah lainnya. Analisa lendutan maksimum mengambil batasan lendutan sebesar $1/240$ dikarenakan struktur diperkirakan tidak akan rusak akibat

lendutan yang besar dan lendutan yang dihitung adalah lendutan jangka panjang akibat dari semua beban.

Dalam menghitung lendutan pada panel pelat datar, langkah pertama menganggap panel tersebut terjepit penuh pada semua sisinya, sehingga panel pelat akan mengalami deformasi berbentuk silindris yang diakibatkan oleh beban yang tidak terimbangi W_{umb} . Lendutan tersebut dipengaruhi oleh distribusi momen pada jalur kolom dan jalur tengah yang diambil berdasarkan distribusi tendon. Lendutan juga dipengaruhi oleh kekakuan portal ekivalen, jalur kolom dan jalur tengah. Karena anggapan awal bahwa dukungan dianggap jepit penuh, maka perlu adanya koreksi rotasi rangka pada kedua perletakkan sebesar perbandingan M_{umb} dengan kekakuan kolom ekivalen, sehingga lendutan tengah bentang akibat rotasi dapat diperhitungkan. Selanjutnya lendutan total pada jalur kolom dan jalur tengah didapatkan dengan menjumlahkan lendutan akibat W_{umb} dan akibat rotasi. Lendutan total akhir memperhitungkan defleksi jangka panjang yang dipengaruhi faktor *creep* beton. Dalam analisa ini diambil faktor *creep* sama dengan 2.

Hasil perhitungan tabel 4.14 dengan beberapa variasi eksentrisitas dapat disimpulkan bahwa semakin besar eksentrisitas maka lendutan yang terjadi semakin kecil, hal ini dikarenakan momen yang tidak terimbangi (M_{umb}) yang terjadi semakin kecil. Lendutan yang ditinjau hanya pada bentangan pinggir karena eksentrisitas bentangan pinggir lebih kecil dibandingkan bentangan tengah. Lendutan total jangka panjang yang terjadi lebih kecil dari lendutan batas, sehingga perencanaan layak digunakan.

5.4 Endblock

Pada daerah ujung (*endblock*) diperlukan pelat angkur untuk menyalurkan gaya prategang ke permukaan penampang dan penulangan untuk mengantisipasi tegangan yang terjadi pada daerah pembengkakan (*spalling zone*), daerah penonjolan (*bursting zone*) dan daerah tarik (*tensile stress zone*). Perubahan tegangan tekan longitudinal, dari terpusat menjadi terdistribusi secara linier menghasilkan tegangan tarik transversal (vertikal) yang dapat menyebabkan terjadinya retak longitudinal pada daerah ujung penampang. Pada perencanaan di atas hanya terjadi penulangan sengkang pada daerah penonjolan, dikarenakan momen maksimum yang terjadi (tabel 4.15) hanya momen negatif tekan, hal ini disebabkan letak tendon tepat pada c.g.c sehingga eksentrisitas nol.

Luas pelat angkur A_1 dicari dengan mengambil perbandingan A_2/A_1 maksimal 2,7, dikarenakan pada perbandingan itu penyaluran tegangan dari pelat A_1 ke pelat A_2 masih efektif. Dari hasil analisa perhitungan tegangan yang terjadi pada pelat *endblock* yang direncanakan tidak melampaui kekuatan tekan ijin beton, baik pada saat transfer maupun layan sehingga dapat disimpulkan perencanaan penulangan daerah ujung (*endblock*) aman digunakan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari analisa dan pembahasan tentang disain pelat datar (*flat plate*) beton prategang pasca tarik dengan tendon tidak terekat (*unbonded tendon*), maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Kapasitas nominal penampang *flat plate*, baik kapasitas momen, maupun geser sangat bergantung dari besar eksentrisitas, dikarenakan semakin besar eksentrisitas maka kekuatan nominal penampang semakin besar.
2. Analisa geser *flat plate* merupakan hal yang harus diperhatikan dalam perencanaan, dikarenakan tidak adanya balok sehingga tegangan geser beton terkonsentrasi di daerah penampang kritis b_o di sekeliling kolom.
3. Metode perimbangan beban (*load balancing*) dapat digunakan dengan hasil efektif apabila penampang yang didisain mempunyai eksentrisitas besar, dikarenakan momen imbang yang dihasilkan sangat bergantung pada eksentrisitas.
4. Asumsi tegangan rata-rata pada penampang pelat beton akan menentukan besar beban yang diimbangi (W_{bal}) serta jumlah tendon yang diperlukan dan pada akhirnya berpengaruh pada besar kapasitas penampang tersebut.
5. Untuk mendapatkan lendutan yang kecil diperlukan perencanaan dengan eksentrisitas yang besar.

6. Perencanaan penulangan daerah ujung harus dilakukan dengan baik karena transfer gaya prategang hanya diterima oleh permukaan ujung berkaitan dengan pemakaian tendon tidak terekat (*unbonded tendon*).

6.2 Saran-saran

Saran-saran yang dapat diberikan berkaitan dengan disain *flat plate* beton prategang adalah sebagai berikut ini.

1. Asumsi tegangan rata-rata untuk disain *flat plate* beton prategang sebaiknya dilakukan dari nilai terkecil antara 0,86 MPa dan 3,5 MPa agar didapatkan disain yang efektif.
2. Untuk analisa *flat plate* beton prategang selanjutnya, perlu direncanakan pelat dengan variasi bentangan yang berbeda untuk tebal pelat yang sama, sehingga didapatkan bentangan maksimum yang masih bisa digunakan.
3. Untuk pembahasan selanjutnya perlu tinjauan dengan dimensi kolom yang berbeda sehingga dapat diketahui pengaruhnya terhadap tegangan geser.
4. Perlu analisa lebih lanjut dengan pemberian kantilever sehingga eksentrisitas dan penampang kritis geser untuk bentangan tepi dapat diperbesar, yang pada akhirnya berpengaruh terhadap kapasitas momen dan geser penampang.

DAFTAR PUSTAKA

1. Antonie E. Naaman, **Prestressed Concrete Analysis And Design**, Mc. Graw Hill Inc, New York, 1982.
2. Arthur H. Nilson, **Design Of Prestressed Concrete**, Second Edition, John Wiley & Son Inc, New York, 1987.
3. Arthur H. Nilson, George Winter, Tim Penerjemah dan Editor ITB, **Perencanaan Struktur Beton Bertulang**, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1993.
4. American Concrete Institut, **Building Code Requirements For Reinforced Concrete (ACI 318-83)**, Michigan, 1983.
5. Departemen Pekerjaan Umum, **Tata Cara Perhitungan Struktur Untuk Bangunan Gedung (SK SNI T-15-1991-03)**, Yayasan LPMB, Bandung, 1991.
6. Edward G. Nawy, **Prestressed Concrete A Fundamental Approach**, Prentice-Hill Inc, New Jersey, 1996.
7. Lin T.Y. Ned, H. Burns, **Desain Struktur Beton Prategang**, Jilid 1 dan 2, Edisi Ketiga, Erlangga, Jakarta, 1993.
8. Krisna Raju, **Beton Prategang**, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta, 1989.
9. Phil M. Ferguson, **Dasar-Dasar Beton Bertulang**, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta, 1986.
10. Winarni Hadipratomo, **Struktur Beton Prategang Teori Dan Prinsip Desain**, Edisi Kedua, Nova, Bandung, 1994.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Properties of Prestressing Steels^a

Seven-Wire Strand, $f_{pu} = 270$ ksi						
Nominal Diameter (in.)	Area (sq in.)	Weight (plf)	$0.7 f_{pu} A_p$ (kips)	$0.75 f_{pu} A_p$ (kips)	$0.8 f_{pu} A_p$ (kips)	$f_{pu} A_p$ (kips)
$\frac{3}{8}$ (0.375)	0.085	0.29	16.1	17.2	18.4	23.0
$\frac{7}{16}$ (0.438)	0.115	0.40	21.7	23.3	24.8	31.0
$\frac{1}{2}$ (0.500)	0.153	0.53	28.9	31.0	33.0	41.3
$\frac{9}{16}$ (0.563)	0.192	0.65	36.3	38.9	41.4	51.8
$\frac{3}{4}$ (0.600)	0.215	0.74	40.7	43.5	46.5	58.1

Seven-wire strand, $f_{pu} = 250$ ksi					
Nominal Diameter (in.)	Area (sq in.)	Weight (plf)	$0.7 f_{pu} A_p$ (kips)	$0.8 f_{pu} A_p$ (kips)	$f_{pu} A_p$ (kips)
$\frac{1}{4}$ (0.250)	0.036	0.12	6.3	7.2	9.0
$\frac{5}{16}$ (0.313)	0.058	0.20	10.2	11.6	14.5
$\frac{3}{8}$ (0.375)	0.080	0.27	14.0	16.0	20.0
$\frac{7}{16}$ (0.438)	0.108	0.37	18.9	21.6	27.0
$\frac{1}{2}$ (0.500)	0.144	0.49	25.2	28.8	36.0
$\frac{3}{4}$ (0.600)	0.215	0.74	37.6	43.0	53.8

Three- and Four-wire Strand, $f_{pu} = 250$ ksi						
Nominal Diameter (in.)	Number of wires	Area (sq in.)	Weight (plf)	$0.7 f_{pu} A_p$ (kips)	$0.8 f_{pu} A_p$ (kips)	$f_{pu} A_p$ (kips)
$\frac{1}{4}$ (0.250)	3	0.036	0.13	6.3	7.2	9.0
$\frac{5}{16}$ (0.313)	3	0.058	0.20	10.2	11.6	14.5
$\frac{3}{8}$ (0.375)	3	0.075	0.26	13.2	15.0	18.8
$\frac{7}{16}$ (0.438)	4	0.106	0.36	18.6	21.2	26.5

Prestressing Wire						
Diameter	Area (sq in.)	Weight (plf)	Ult. strength f_{pu} (ksi)	$0.7 f_{pu} A_p$ (kips)	$0.8 f_{pu} A_p$ (kips)	$f_{pu} A_p$ (kips)
0.105	0.0087	0.030	279	1.70	1.94	2.43
0.120	0.0114	0.039	273	2.18	2.49	3.11
0.135	0.0143	0.049	268	2.68	3.06	3.83
0.148	0.0173	0.059	263	3.18	3.64	4.55
0.162	0.0206	0.070	259	3.73	4.26	5.33
0.177	0.0246	0.083	255	4.39	5.02	6.27
0.192	0.0289	0.098	250	5.05	5.78	7.22
0.196	0.0302	0.100	250	5.28	6.04	7.55
0.250	0.0491	0.170	240	8.25	9.42	11.76
0.276	0.0598	0.200	235	9.84	11.24	14.05

Smooth Prestressing Bars, $f_{pu} = 145$ ksi ^b					
Nominal Diameter (in.)	Area (sq in.)	Weight (plf)	$0.7 f_{pu} A_p$ (kips)	$0.8 f_{pu} A_p$ (kips)	$f_{pu} A_p$ (kips)
$\frac{3}{4}$ (0.750)	0.442	1.50	44.9	51.3	64.1
$\frac{7}{8}$ (0.875)	0.601	2.04	61.0	69.7	87.1
1 (1.000)	0.785	2.67	79.7	91.0	113.8
$1\frac{1}{8}$ (1.125)	0.994	3.33	100.9	115.3	144.1
$1\frac{1}{4}$ (1.250)	1.227	4.17	124.5	142.3	177.6
$1\frac{3}{8}$ (1.375)	1.485	5.05	150.7	172.0	215.6

LAMPIRAN 2

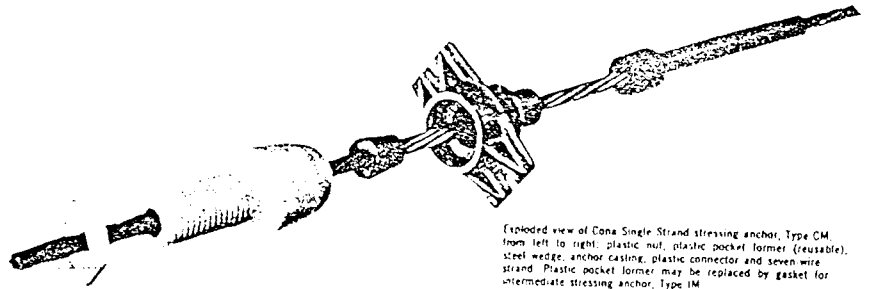
Inryco CONA Single-Strand Post Tensioning System

Inland-Ryerson single strand tendons use the Cona wedge anchor system developed by the designers of the BBRV system. Tendons employ cold drawn, stress relieved, seven-wire strands of 0.5" or 0.6" diameter, conforming to ASTM A-416.

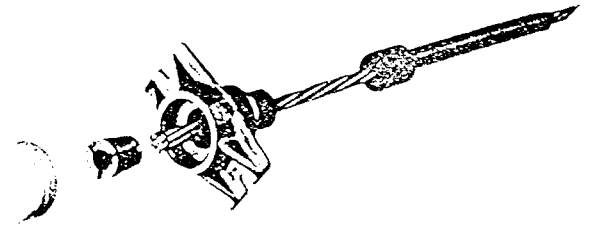
Cona Single strand tendons are normally used in unbonded construction, but may be used as bonded tendons where specifications require. The small diameter strand bundle is particularly suited for use in thin, one-way slabs, two-way flat plates and flat slabs and topping slabs.

Differentiae of the Cona single-strand system are:

- Very small tendon diameter allows optimum eccentricities, hence efficient use of P-T steel.
- Small anchor plate meets edge-size restrictions of thin slabs and light structural shapes. (0.5" Anchors require only 3 1/2" concrete thickness; 0.6" Anchor require 4 1/4" concrete thickness.)
- Oversize anchor plates are available to accommodate stressing at low concrete strengths.
- Like all wedge-grip, strand systems, anchorage develops slightly less than ultimate capacity of the tendon, but two-piece wedge design reduces seating losses to a minimum.
- Design of anchor components and stressing equipment allows accurate overstress and back-off to lock-off force without premature, uncontrolled seating of wedges.
- Coupling is never necessary. There are essentially no length restrictions, and tension can be applied separately to successive sections of total length by stressing at any intermediate point, and then continuing the same strand.
- No large pockets to form and patch. Re-usable pocket-former comes with anchor hardware; attaches to formwork for quick positioning of anchor, and creates small, clean, stressing void that's easily patched.
- Tendons are "built" at the job site from pre-assembled anchor components and wrapped lengths of strand. (Excess can be burned off.) So special accuracy in cutting to length and fabricating is not required.
- Stressing equipment is small and light — easily handled by one man.

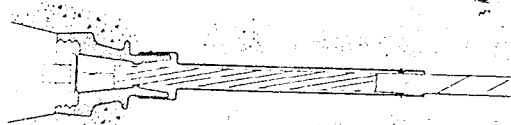


Exploded view of Cona Single Strand stressing anchor, Type CM, from left to right: plastic nut, plastic pocket former (reusable), steel wedge, anchor casting, plastic connector and seven-wire strand. Plastic pocket former may be replaced by gasket for intermediate stressing anchor, Type IM.



Exploded view of Cona Single Strand anchor, Type EM, from left to right: plastic cap, steel wedges, anchor casting, plastic connector and button-headed seven-wire strand.

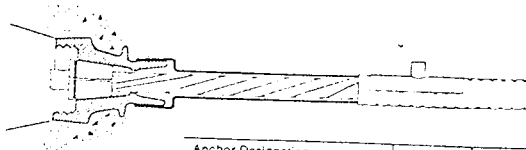
CONA SINGLE STRAND ANCHOR



Type CM (stressing)

Anchor Designation	0.5 CM	0.6 CM	
Base Plate Size (inches)	(A)	4 1/2 x 2 1/4	5 1/4 x 2 1/4
	(B)	6 1/4 x 2 1/4	7 1/4 x 2 1/4
Pocket Former O.D. (inches)	2 1/4	2 1/4	
Pocket Former Length (inches)	1 1/2	1 1/2	
Bundle O.D. (inches)	0.5	0.6	

The fixed Cona anchors, Types EM and EG, are identical in basic design and size to the stressing anchors. The end of the strand is button-headed. Wedges are hydraulically power seated, providing a positive non-slip, fixed-end anchorage.



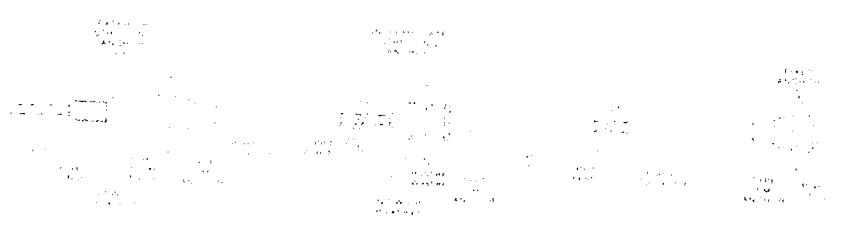
Type CG (stressing)

Anchor Designation	0.5 CG	0.6 CG	
Base Plate Size (inches)	(A)	4 1/2 x 2 1/4	5 1/4 x 2 1/4
	(B)	6 1/4 x 2 1/4	7 1/4 x 2 1/4
Pocket Former O.D. (inches)	2 1/4	2 1/4	
Pocket Former Length (inches)	1 1/2	1 1/2	
Conduit O.D. (inches)	1	1 1/2	

Also available on special order is Type LM anchorage for special applications or repair work. It consists of a wedge grip contained within a short steel collar, backed by a steel bearing plate.

Bearing plate "A" is designed to accommodate stressing of a concrete compressive strength of 2,500 to 3,000 psi, depending on the geometry of the concrete and tendon spacing. Bearing plate "B" is designed to accommodate stressing at concrete strength of 1,500 to 2,000 psi, depending on geometry of concrete and tendon spacing.

TYPICAL CONA SINGLE STRAND TENDON INSTALLATION



LAMPIRAN 3

The Westrand Mono-System

Tendons and Anchors

Westrand Mono-System tendons use 1/2" diameter seven-wire strand in single or multiple groups. The strand is stress relieved and conforms to ASTM A-416. Features of the Mono-System are:

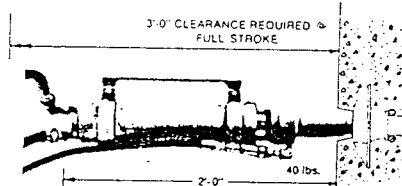
- Rectangular anchor plate provides flexibility to meet the restrictions of thin slabs or narrow beams.
- Fixed end anchorages are attached and pre-set at factory to reduce field labor and prevent strand slippage at the fixed end.
- Coupling is never necessary since tension can be applied separately to successive sections of total length by stressing at any intermediate point, and then continuing the same strand.
- No large pockets to form and patch. Re-usable pocket former comes with anchor. The entire assembly attaches to form work and when removed after concreting, leaves a small, clean stressing pocket that is easily patched.
- Stressing equipment is small and light-weight, easily handled by one man. Operation is semi-automatic and fast.

The advantages of the Westrand Mono-System of post-tensioning place the flexibility of prestressing within the scope of any project. With this flexibility long spans, cantilevers and heavy loading are no longer a problem.

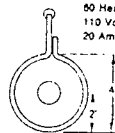
Design Data

Strand Area	.153	sq
Maximum Jacking Force 0.80 f's	33.0	kips
Maximum Anchoring Force 0.70 f's	28.9	kips
Maximum Effective Force 0.60 f's	24.8	kips
Anchor Castings are 2 1/2" x 5"		

Stressing Equipment

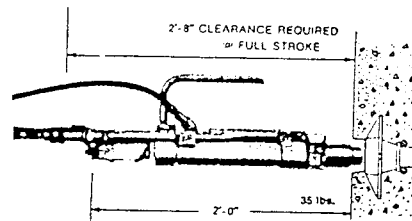


Westrand Center Hole Jack
Used at Stressing End

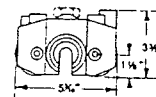


ELECTRICAL POWER REQUIREMENTS

50 Hertz
110 Volts
20 Amps per jack

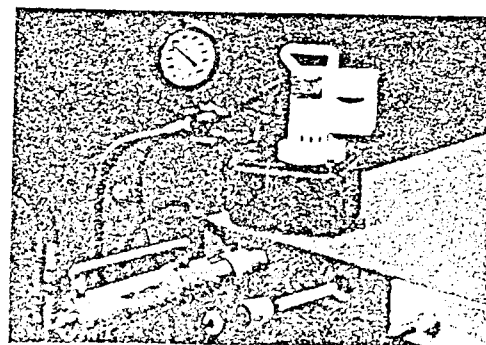
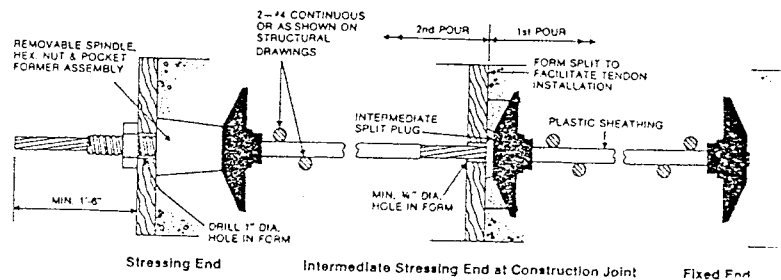


Westrand Open-Throat Jack
Used at Intermediate Stressing End
and at Stressing End



Mono-System Installation

1. All Westrand Mono-System tendons are fabricated and coiled in multiples whenever possible to facilitate field placement; by this method up to 4 tendons are placed in a single operation.
2. Intermediate and fixed end anchors are attached to the tendon in the factory so that only the required portion of a particular tendon need be uncoiled for each pour.
3. The stressing anchor is attached to the edge form by means of a pocket former, spindle and hex nut. The anchor is now ready to receive the stressing end of the tendon which is easily pushed through the entire assembly.
4. Once the concrete sets, the hex nuts, spindles, edge form and pocket formers are removed. Upon reaching the required strength, generally about 5 days, stressing proceeds.
5. The stressing ram is placed over the tendon and set against the anchor. The tendon is then gripped and pulled to the specified elongation and force. As the hydraulic pressure is released the ram automatically seats the wedges and then retracts. The stressing time is approximately 30 seconds per tendon.



Photos of the stressing operation

Short Form Specification

1.0 Material

- 1.1 Strand used in post-tensioning shall conform to ASTM A-416 (Specification for uncoated seven-wire stress relieved strand for prestressed concrete.)
- 1.2 Strand anchorages shall develop at least 95% of the minimum specified ultimate strength of the prestressing steel without exceeding anticipated set.
- 1.3 Sheathing shall have sufficient strength to resist damage during transport, storage at jobsite, and during installation. It shall prevent the intrusion of cement paste and the escape of coating material.

2.0 Placing

- 2.1 Anchorage assemblies shall be securely fastened to the edge forms and shall be perpendicular to the longitudinal axis of the tendon.
- 2.2 Post-Tensioning tendons shall be secured at regular intervals to prevent vertical or lateral movement during the placement of the concrete.

3.0 Stressing

- 3.1 Post-Tensioning shall not be started until the concrete has attained a minimum strength of 3,000 psi.
- 3.2 The strand may be temporarily stressed up to 80% of f's to overcome friction.
- 3.3 The anchor force shall not exceed 70% of f's.
- 3.4 The effective force shall be assumed to be 60% of f's assuming losses of 10%, unless there is data to prove otherwise.