

TUGAS AKHIR

**ANALISIS DAN PERENCANAAN PELAT BETON
PRATEGANG DUA ARAH PADA PANEL TUNGGAL
DENGAN METODE PERIMBANGAN BEBAN**



Disusun Oleh :

ZULKARNAIN

No. Mhs. : 92 310 029

NIRM : 920051013114120029

YUSUF RIZA Y.A

No. Mhs. : 92 310 043

NIRM : 920051013114120043

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

1997

TUGAS AKHIR

**ANALISIS DAN PERENCANAAN PELAT BETON
PRATEGANG DUA ARAH PADA PANEL TUNGGAL
DENGAN METODE PERIMBANGAN BEBAN**

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh
derajat Sarjana Teknik Sipil

Disusun Oleh :

Z U L K A R N A I N

No. Mhs. : 92 310 029

NIRM : 920051013114120029

YUSUF RIZA Y.A

No. Mhs. : 92 310 043

NIRM : 920051013114120043

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

1997

TUGAS AKHIR

ANALISIS DAN PERENCANAAN PELAT BETON PRATEGANG DUA ARAH PADA PANEL TUNGGAL DENGAN METODE PERIMBANGAN BEBAN

Disusun oleh :

ZULKARNAIN

No. Mhs. : 92 310 029
NIRM : 920051013114120029


YUSUF RIZA Y.A

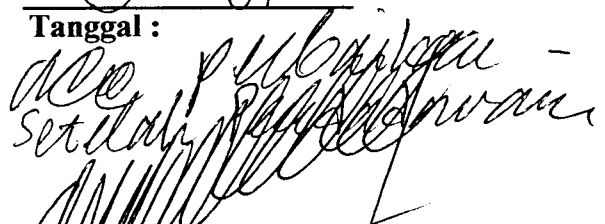
No. Mhs. : 92 310 043
NIRM : 920051013114120043

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. Susastrawan, MS
Dosen Pembimbing I

Ir. A. Kadir Aboe, MS
Dosen Pembimbing II


Tanggal : 9/10/1997


Tanggal : 8/10/1997

MOTTO

“..... Katakanlah: “ Adakah orang-orang yang mengetahui dengan orang-orang yang tidak mengetahui ? Sesungguhnya orang yang berakallah yang dapat menerima pelajaran.” (Q.S. Az-Zumar : 9)

“..... Allah meninggikan orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat....” (Q.S. Al-Mujaadilah : 11)

PERSEMBAHAN

*Dengan perasaan bahagia berkat limpahan karunia Allah SWT,
Kupersembahkan Laporan Tugas Akhir ini kepada
Ayah dan Ibuku tercinta,
serta kakak-kakakku dan adikku tersayang,
yang telah memberikan dorongan semangat..*

ABSTRAKSI

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam perencanaan elemen lentur struktur beton prategang, khususnya perencanaan pelat beton prategang maka dituntut untuk menghasilkan desain-desain pelat yang ekonomis dan mempunyai kemampuan yang tinggi. Dengan demikian perlu adanya analisis pengaruh lentur yang mencakup momen lentur, geser, defleksi, dan retak lentur yang terjadi akibat beban-beban yang bekerja dan sangat berpengaruh terhadap struktur pelat itu sendiri.

Dalam merencanakan pelat beton prategang perlu pengetahuan yang luas tentang perilaku-perilaku struktur tersebut agar didapatkan pelat yang ekonomis dan aman. Kapasitas penampang pelat dan kekuatan bahan sangat berpengaruh terhadap kemampuan struktur untuk menahan beban.

Pelat beton prategang adalah pelat yang diberikan tegangan awal tertentu untuk mendukung beban-beban luar yang bekerja. Tujuan prategangan tersebut adalah untuk menimbulkan tegangan awal pada beton yang nantinya akan timbul tegangan tarik pada saat struktur mendukung beban sedemikian rupa sehingga diharapkan pada saat beban seluruhnya bekerja, tegangan tarik total berkurang atau bahkan lenyap sama sekali.

Keuntungan dari pelat beton prategang adalah dimensi penampang yang lebih tipis dibandingkan dengan pelat beton bertulangan biasa, yang akan mengurangi berat struktur tersebut.

KATA PENGANTAR

Assalamu”alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada seluruh makhluk ciptaan-Nya. Salam dan sholawat ditujukan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa manusia ke jalan yang diridhoi Allah SWT.

Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan jenjang strata I (S1) sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Tidak sedikit kendala yang kami alami baik dalam mencari permasalahan, sumber tulisan, maupun dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir itu sendiri. Sehingga setelah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini, kami merasa berbahagia, karena ada sesuatu yang kami dapatkan.

Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, kami mendapat bimbingan serta pengarahan dari beberapa pihak. Oleh sebab itu kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu. Ucapan terima kasih ini kami tujukan kepada :

1. Bapak Ir. H. Susastrawan, MS, selaku Dosen pembimbing I dan Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Bambang Sulistiono, MSCE, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

3. Bapak Ir. Tadjuddin, MS, selaku Koordinator Tugas Akhir, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Ir. A. Kadir Aboe, MS, selaku Dosen pembimbing II.
5. Orang tua dan keluarga kami, yang telah memberikan dorongan baik material maupun spiritual.
6. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya Laporan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Kami menyadari dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan, untuk itu kami mengharapkan saran yang bersifat membantu pengembangan permasalahan dalam Laporan Tugas Akhir ini sebagai masukan, sehingga menjadi lebih baik.

Akhirnya kami berharap semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat menjadikan sesuatu yang bermanfaat bagi semua pihak yang tertarik dan ingin mempelajarinya.

Yogyakarta, 17 Agustus 1997

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iii
ABSTRAKSI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR GRAFIK	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Ruang Lingkup dan Batasan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian Pelat Beton Prategang	5
2.1.1 Perilaku Pelat Beton Prategang Satu Arah	10
2.1.2 Perilaku Pelat Beton Prategang Dua Arah	11
2.2 Konsep Dasar Beton Prategang	12

2.2.1 Sistem Prategang untuk Mengubah Beton menjadi Bahan yang Elastis	13
2.2.2 Sistem Prategang untuk Kombinasi Baja Mutu Tinggi dengan Beton	16
2.2.3 Sistem Prategang dengan Metode Perimbangan Beban	17
2.3 Tahap-tahap Pembebanan pada Beton Prategang	20
2.4 Dasar-dasar Analisis Perencanaan	21
2.5 Metode Analisis	22
BAB III ANALISIS DAN PERENCANAAN	24
3.1 Pengertian	24
3.2 Sistem Prategang Sebagian	24
3.3 Kehilangan Gaya Prategang Total	25
3.4 Perencanaan Penampang Pelat Beton Prategang	27
3.5 Metode Perimbangan Beban pada Pelat Beton Prategang Dua Arah	30
3.6 Analisis Lentur terhadap Tegangan Ijin pada Pelat Beton Prategang	36
3.7 Analisis Lentur pada Saat Kekuatan Batas (Ultimit) dan Saat Kekuatan Layan	38
3.7.1 Pada Saat Kekuatan Batas (Ultimit)	38
3.7.2 Pada Saat Kekuatan Layan	46
3.8 Kapasitas Geser	49
3.9 Kapasitas Momen Retak	52

BAB IV PERENCANAAN PELAT BETON PRATEGANG	56
4.1 Gambaran Umum	56
4.2 Perencanaan Pelat Beton Prategang	57
BAB V PEMBAHASAN	70
5.1 Hasil Analisis Hitungan	70
5.2 Hasil Pembahasan dari Berbagai Analisis	72
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	84
6.1 Kesimpulan	84
6.2 Saran	85
PENUTUP	86
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN-LAMPIRAN	88

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Prosentase kehilangan gaya prategang total	26
Tabel 3.2	Tebal minimum pelindung beton menurut ACI-Code	29
Tabel 3.3	Tegangan-tegangan ijin beton yang disyaratkan dalam batang-batang lentur prategang	36
Tabel 3.4	Tegangan ijin baja prategang yang disyaratkan	37
Tabel 3.5	Faktor-faktor beban karakteristik dan kombinasinya	39
Tabel 3.6	Faktor reduksi kekuatan momen batas (ultimit)	40
Tabel 3.7	Lendutan maksimum yang diijinkan	48
Tabel 5.1	Perhitungan dengan lebar pelat 5 meter	72
Tabel 5.2	Perhitungan dengan lebar pelat 6 meter	74
Tabel 5.3	Perhitungan dengan lebar pelat 7 meter	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pelat yang ditumpu oleh balok sepanjang dua sisi yang sejajar	7
Gambar 2.2	Pelat yang ditumpu oleh balok pada keempat sisinya	7
Gambar 2.3	Pelat datar (flat plate)	8
Gambar 2.4	Teknik pengangkatan pelat angkat (lift slab)	8
Gambar 2.5	Pelat panel turun (drop panel) dan pelat kapital kolom (column capital)	9
Gambar 2.6	Pelat anyaman (grid)	9
Gambar 2.7	Pelat beton prategang satu arah	10
Gambar 2.8	Pelat beton prategang dua arah	11
Gambar 2.9	Distribusi tegangan sepanjang penampang beton dengan tendon konsentris	14
Gambar 2.10	Distribusi tegangan sepanjang penampang beton dengan tendon eksentris	15
Gambar 2.11	Momen penahan internal pada konsep beton prategang dan beton bertulangan biasa	17
Gambar 2.12	Pelat beton dengan menggunakan baja mutu tinggi	17
Gambar 2.13	Beban terbagi merata dari tendon parabola	18
Gambar 3.1	Potongan penampang pelat beton prategang	28
Gambar 3.2	Perimbangan beban untuk pelat dua arah	30

Gambar 3.3	Konsep metode perimbangan beban pada pelat	31
Gambar 3.4	Blok tegangan ekivalen Whitney	42

DAFTAR GRAFIK

Grafik 5.1	Hubungan antara tebal penampang dengan dimensi pelat	77
Grafik 5.2	Kapasitas momen penampang pelat dengan $L_x = 5$ m	77
Grafik 5.3	Kapasitas momen penampang pelat dengan $L_x = 6$ m	78
Grafik 5.4	Kapasitas momen penampang pelat dengan $L_x = 7$ m	78
Grafik 5.5	Kapasitas momen penampang pelat dengan $L_y = 8$ m	79
Grafik 5.6	Kapasitas momen penampang pelat dengan $L_y = 9$ m	79
Grafik 5.7	Kapasitas tegangan beton penampang pelat dengan $L_x = 5$ m ..	80
Grafik 5.8	Kapasitas tegangan beton penampang pelat dengan $L_x = 6$ m ..	80
Grafik 5.9	Kapasitas tegangan beton penampang pelat dengan $L_x = 7$ m ..	81
Grafik 5.10	Kapasitas momen rencana terhadap momen retak	83

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pelat merupakan struktur yang tebalnya jauh lebih kecil dibanding dengan dimensinya yang lain. Ketebalan suatu pelat akan sangat berpengaruh terhadap perilaku-perilaku struktur pelat itu sendiri.

Ditinjau dari statika kondisi tepi pelat bisa bebas, bertumpuan sederhana dan jepit, termasuk tumpuan elastis dan pengekang elastis, bahkan dalam beberapa hal pelat dapat ditumpu secara terpusat. Berdasarkan hal tersebut, maka hal-hal penting yang harus diperhatikan dalam menganalisis struktur pelat antara lain adalah menentukan kapasitas momen, kapasitas geser, mekanisme gaya-gaya yang bekerja dan perilaku struktur pada saat beban layan telah bekerja yang nantinya akan berguna untuk mengontrol defleksi dan retak yang terjadi pada struktur pelat.

Permasalahan yang sering dijumpai di lapangan dalam merencanakan struktur pelat antara lain adalah ketebalan pelat yang tergantung pada panjang dan lebar bentang, sehingga seringkali mengakibatkan bertambahnya beban mati pelat dan akan menimbulkan defleksi yang besar pada tengah bentang pelat.

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, berbagai kemajuan teknologi perencanaan struktur pelat telah menghasilkan beberapa jenis pelat

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pelat merupakan struktur yang tebalnya jauh lebih kecil dibanding dengan dimensinya yang lain. Ketebalan suatu pelat akan sangat berpengaruh terhadap perilaku-perilaku struktur pelat tersebut.

Ditinjau dari statika kondisi tepi pelat bisa bebas, bertumpuan sederhana dan jepit, termasuk tumpuan elastis dan pengekang elastis, bahkan dalam beberapa hal pelat dapat ditumpu secara terpusat. Berdasarkan hal tersebut, maka hal-hal penting yang harus diperhatikan dalam menganalisis struktur pelat antara lain adalah menentukan kapasitas momen, kapasitas geser, mekanisme gaya-gaya yang bekerja dan perilaku struktur pada saat beban layan telah bekerja yang nantinya akan berguna untuk mengontrol defleksi dan retak yang terjadi pada struktur pelat.

Permasalahan yang sering dijumpai di lapangan dalam merencanakan struktur pelat antara lain adalah ketebalan pelat yang tergantung pada panjang dan lebar bentang, sehingga seringkali mengakibatkan bertambahnya beban mati pelat dan akan menimbulkan defleksi yang besar pada tengah bentang pelat.

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, berbagai kemajuan teknologi perencanaan struktur pelat telah menghasilkan beberapa jenis pelat

yang diharapkan dapat menjadi struktur pelat yang bebas dan aman terhadap perilaku struktur yang terjadi pada pelat tersebut.

Salah satu hasil dari pengembangan teknologi tersebut adalah pelat beton prategang dua arah. Yaitu pelat yang baja prategangnya diletakkan dalam dua arah yang saling tegak lurus yang bertujuan untuk mengimbangi beban-beban yang bekerja. Jenis pelat ini memiliki beberapa keunggulan sehingga diharapkan akan memberikan manfaat bila ditinjau dari berbagai aspek perencanaan struktur bangunan secara keseluruhan.

1.2 Tujuan

Tujuan dari studi literatur dalam rangka penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. mampu menganalisis mekanisme gaya-gaya yang bekerja pada struktur pelat beton prategang dua arah khususnya untuk panel tunggal,
2. mampu menganalisis struktur pelat terhadap pengaruh geser, defleksi dan retak yang disebabkan oleh beban-beban yang bekerja,
3. mampu menganalisis tegangan-tegangan yang terjadi pada penampang pelat sehingga didapat kapasitas penampang yang efisien dan aman,
4. mampu merencanakan suatu disain penampang pelat beton prategang dua arah berdasarkan gaya-gaya yang bekerja,
5. hasil dari seluruh proses perencanaan diharapkan dapat dijadikan pedoman didalam pemanfaatan teknologi khususnya pada struktur pelat beton prategang.

1.3 Ruang Lingkup dan Batasan

Analisis dan perencanaan pelat beton prategang dua arah pada panel tunggal dalam rangka Tugas Akhir ini dibatasi oleh ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

1. pembahasan ditujukan untuk menganalisis dan merencanakan dimensi ketebalan penampang pelat beton prategang dua arah pada panel tunggal,
2. perkiraan ketebalan pelat dihitung dengan pendekatan dari panjang rata-rata pada masing-masing bentang dibagi dengan 45, $h = \left(\frac{L_x + L_y}{2} \right) \cdot \frac{1}{45}$
3. beton prategang yang dianalisis menggunakan sistem pasca tarik dan tendon tidak terekat,
4. perhitungan mekanika didasarkan pada metode perimbangan beban,
5. analisis gaya-gaya eksternal yang bekerja berupa gaya aksial yang terjadi pada struktur,
6. pelat dianggap menumpu secara bebas pada dinding atau balok,
7. perencanaan pelat dianggap pada tumpuannya tidak terjadi kekangan dan dimungkinkan terjadi defleksi pada saat beban layan telah bekerja,
8. kekuatan beton pada penampang dikontrol pada saat pelimpahan gaya prategang (transfer) dan pada saat beban layan telah bekerja,
9. perbandingan antara panjang dan lebar pelat tidak melebihi 2 dan koefisien momen diambil dari grafik yang dikeluarkan oleh Edward G. Nawy yang disesuaikan dengan peraturan ACI-Code (lihat lampiran),

10. pada struktur pelat beton prategang ditambahkan tulangan non prategang hanya pada bagian angkur, tetapi tidak termasuk dalam analisis dan perencanaan,
11. baja prategang dipasang pada masing-masing arah bentang pelat, sehingga perimbangan beban dapat merata pada seluruh luasan pelat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Pelat Beton Prategang

Pelat beton prategang adalah suatu struktur pelat yang dibentuk dengan memberikan tegangan awal tertentu pada baja tulangnya untuk mendukung beban-beban eksternal yang terjadi. Tujuan memberikan tegangan awal atau prategang adalah untuk menimbulkan tegangan awal tekan beton pada bagian penampang, yang nantinya akan timbul tegangan tarik pada waktu komponen struktur mendukung beban, sehingga pada saat beban bekerja seluruhnya tegangan tarik total berkurang atau bahkan lenyap sama sekali.

Sistem pelat beton prategang sangat cocok untuk struktur lantai atau atap dari bangunan-bangunan industri yang memikul beban-beban hidup dengan tingkat yang lebih tinggi dan diinginkan luasan lantai yang tidak terpotong, sehingga diperlukan bentang-bentang yang lebih panjang di antara unsur-unsur tumpuannya. Pelat beton prategang dapat ditumpu oleh dinding, tetapi lebih sering ditumpu oleh balok yang dicor secara monolit dengan pelat atau langsung ditumpu oleh kolom tanpa balok atau girder (balok penopang).

Pelat yang didukung oleh balok sepanjang dua sisi yang sejajar disebut dengan pelat beton aksi satu arah (one-way slab), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. Beban-beban yang terjadi ditahan oleh pelat pada arah yang tegak

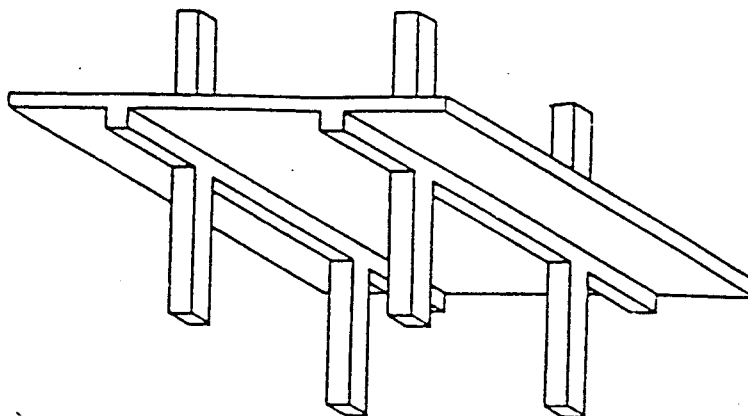
lurus terhadap gelagar-gelagar penunjang. Tetapi pelat dapat juga didukung oleh balok pada keempat sisinya, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2. Pelat jenis ini dapat juga ditumpu oleh dinding dari pasangan batu atau dinding beton bertulang. Pelat yang didukung oleh balok pada keempat sisinya dan pelat tersebut tidak menerus disebut pelat beton panel tunggal.

Dalam keadaan tertentu pelat dapat ditumpu langsung oleh kolom-kolom tanpa menggunakan balok penumpu/girder. Pelat tersebut disebut pelat datar (flat plate) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3. Pada umumnya pelat seperti itu dipakai untuk panjang bentang dan beban yang bekerja yang tidak terlalu besar. Untuk jenis pelat datar yang dicor di atas tanah, kemudian diangkat dengan menggunakan dongkrak yang ditempatkan pada kolom sampai elevasi yang diinginkan, disebut pelat angkat (lift slab) dengan teknik pengangkatannya ditunjukkan pada Gambar 2.4.

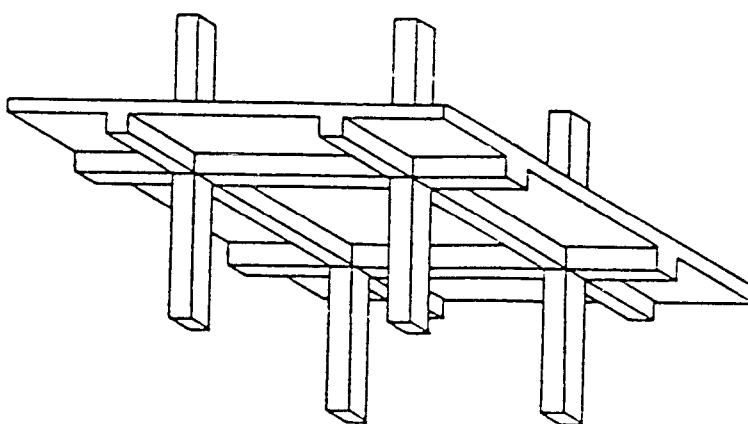
Struktur pelat tanpa menggunakan balok penumpu/girder tetapi pada bagian kolom dibawah pelat mempunyai ketebalan yang lebih besar dan berfungsi sebagai kepala kolom disebut panel turun (drop panel) dan kapital kolom (column capital), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5. Kedua jenis pelat tersebut digunakan untuk mengurangi tegangan-tegangan yang terjadi akibat geser dan momen negatif di sekitar kolom.

Jenis pelat yang didukung oleh balok-balok yang membentuk suatu anyaman (balok grid) disebut pelat anyaman (grid slab), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6. Jenis pelat ini bertujuan untuk mengurangi beban mati dari struktur pelat,

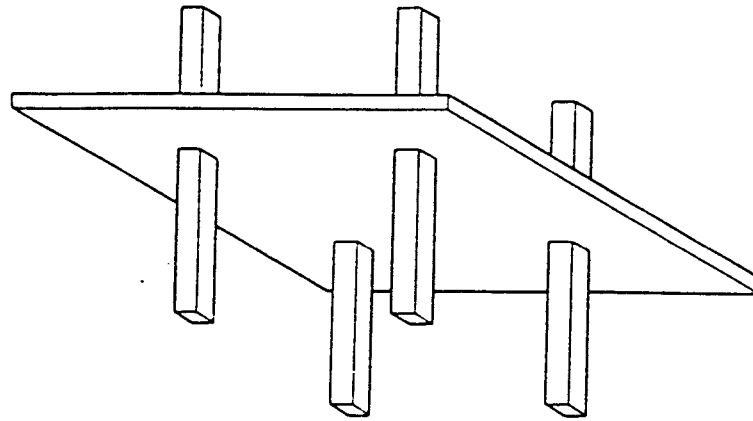
sehingga dibentuk rongga-rongga dengan pola menyerupai garis lurus yang saling berlawanan arahnya.



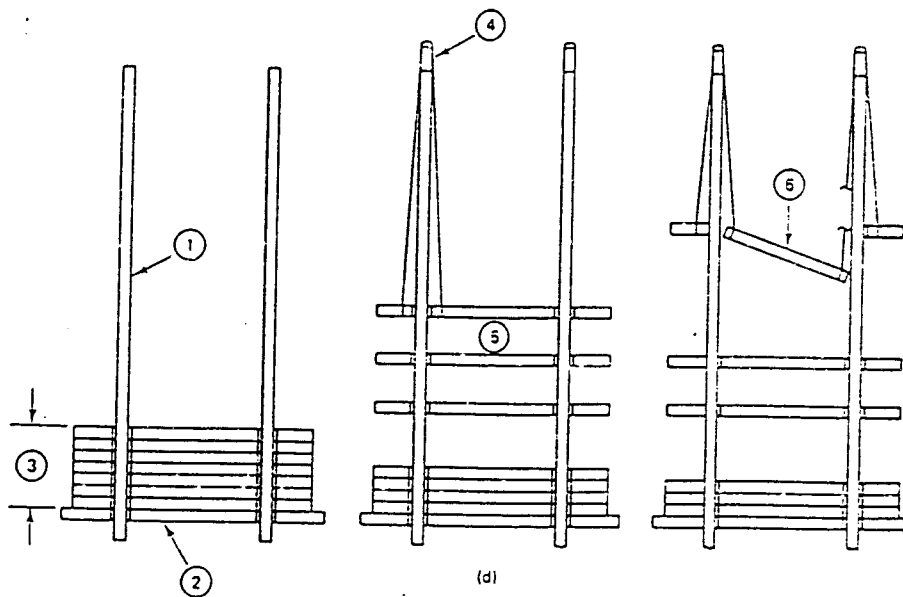
Gambar 2.1 Pelat yang ditumpu oleh balok sepanjang dua sisi yang sejajar



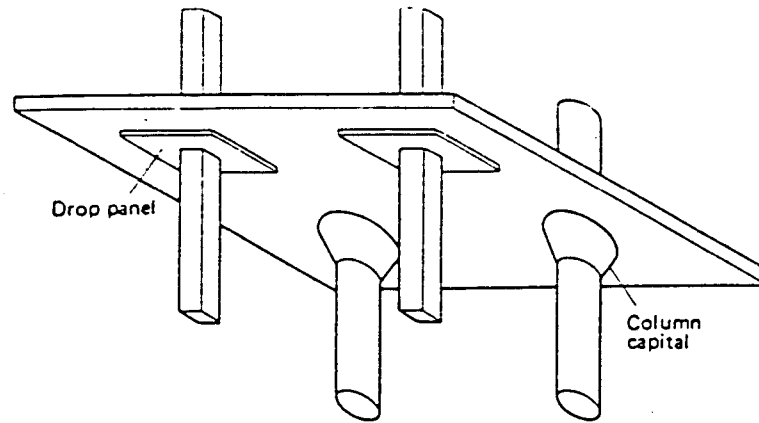
Gambar 2.2 Pelat yang ditumpu oleh balok pada keempat sisinya



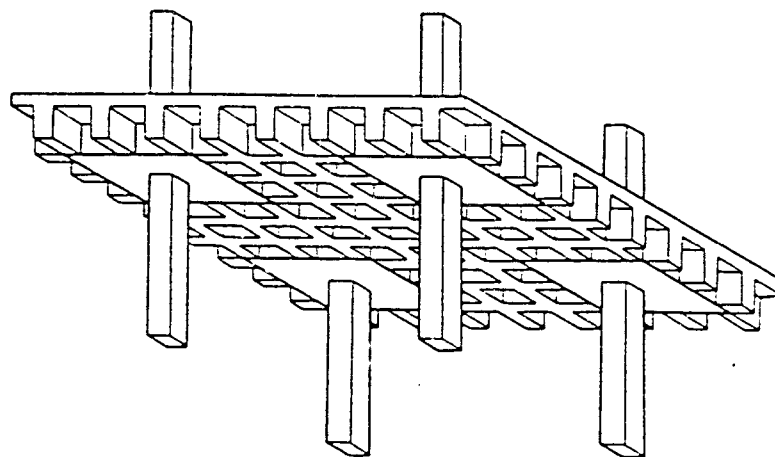
Gambar 2.3 Pelat datar (flat plate)



Gambar 2.4 Teknik pengangkatan pelat angkat (lift slab)



Gambar 2.5 Pelat panel turun (drop panel)
dan pelat kapital kolom (column capital)

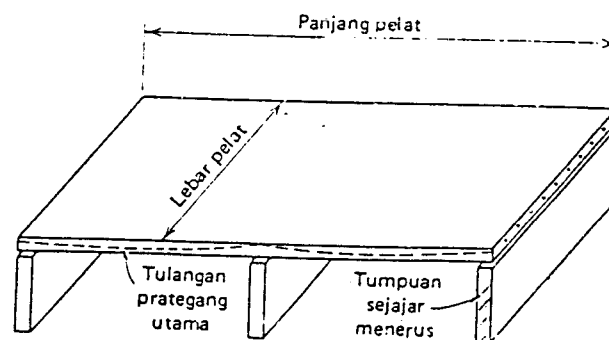


Gambar 2.6 Pelat anyaman (grid slab)

2.1.1 Perilaku Pelat Beton Prategang Satu Arah

Pelat beton prategang satu arah adalah struktur pelat yang baja prategangnya diletakkan sepanjang sisi yang pendek. Hampir semua tumpuan pelat tersebut menerus selebar pelat, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7. Kadang-kadang tumpuan tersebut terputus sebelum mencapai seluruh lebar pelat, dalam hal ini bagian yang tidak tertumpu harus didisain sebagai kondisi yang berbeda.

Apabila perbandingan panjang terhadap lebar sebuah panel pelat lebih besar dari 2, maka sebagian besar beban akan ditahan oleh pelat dalam arah pendek terhadap gelagar-gelagar penunjang, sehingga tulangan-tulangan utama ditempatkan sepanjang bentang arah pendek pelat tersebut. Namun perlu juga ditambahkan tulangan non prategang pada arah melintang yang bertujuan untuk mengatasi susut dan mendistribusikan beban terpusat.

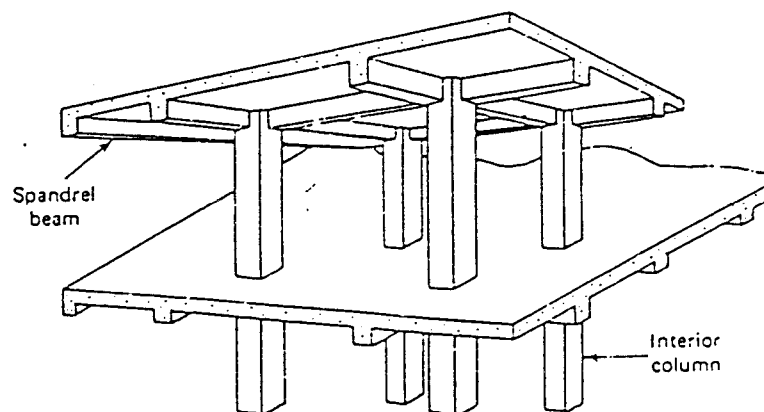


Gambar 2.7 Pelat beton prategang satu arah

Pada umumnya didalam mendisain pelat satu arah adalah dengan meninjau suatu pias pelat selebar 1 meter panjang (m'), dan pias tersebut diperlakukan sebagai suatu balok. Gaya prategang dan eksentrisitas dari tendon ditetapkan berdasarkan tipe tendon yang digunakan. Umumnya digunakan tendon-tendon konsentris untuk prapenegangan transversal dari pelat satu arah, yang berguna untuk mencegah defleksi. Selanjutnya analisis perilaku pelat satu arah hampir sama dengan perilaku pada balok prategang.

2.1.2 Perilaku Pelat Beton Prategang Dua Arah

Pelat beton prategang dua arah, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8 adalah struktur pelat yang baja prategangnya ditempatkan dalam dua arah yang saling tegak lurus untuk menyalurkan beban-beban yang bekerja. Tendon atau baja prategang diletakkan sepanjang bentang pada masing-masing arah untuk mendapatkan kekuatan lentur pada seluruh luasan pelat.



Gambar 2.8 Pelat beton prategang dua arah

Pelat beton prategang dapat direncanakan dengan menggunakan metode perimbangan beban (load balancing) atau dengan metode balok (beam method). Kedua metode tersebut akan menghasilkan momen lawan (resisting momen) yang sama pada masing-masing arah.

Sistem pelat prategang dua arah dapat ditumpu oleh dinding atau balok pada keempat sisinya. Perencanaan dari jenis pelat tersebut meliputi perhitungan momen-momen lenturan dalam arah-arahan utama pelat. Beban-beban eksternal ditahan dengan aksi pelat dua arah yang akan menghasilkan momen dalam masing-masing arah. Besar dan sifat momen yang terjadi pada pelat dua arah sangat tergantung pada tipe beban, perbandingan sisi-sisi pelat dan derajat kekangan pada tumpuan-tumpuannya.

2.2 Konsep Dasar Beton Prategang

Struktur-struktur modern cenderung berkembang menuju struktur yang lebih ekonomis dengan menggunakan metode-metode perencanaan dan penggunaan material berkekuatan tinggi. Konsep tersebut dikenal dengan sistem beton prategang. Hal ini akan menghasilkan suatu penampang yang lebih ramping dan akan memberikan pengurangan pada berat struktur.

Beton prategang adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi tertentu sehingga dapat mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban eksternal sampai pada batas tertentu.

Menurut T.Y Lin dan H. Burns (1988), ada tiga konsep dasar dalam menganalisis sifat-sifat dari beton prategang, yaitu sebagai berikut ini.

2.2.1 Sistem Prategang untuk Mengubah Beton Menjadi Bahan yang Elastis

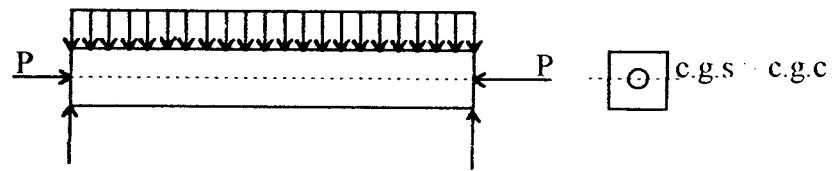
Beton merupakan material getas yang dapat ditransformasikan menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tegangan awal pada beton. Pemberian tegangan desak ini dilakukan dengan menarik baja prategang (tendon).

Kriteria tidak terjadinya tegangan tarik beton, pertama kali dikemukakan oleh Eugene Freyssinet, 1928. Dari konsep ini dapat diambil kesimpulan bahwa tidak akan terjadi retak tarik pada beton. Dengan demikian beton tidak lagi menjadi bahan yang getas, melainkan sebagai material yang elastis. Sehingga beton prategang dapat digambarkan sebagai benda yang mengalami dua sistem peribebanan yaitu gaya internal prategang dan gaya eksternal. Gaya yang diakibatkan oleh penarikan tendon akan menghasilkan gaya tekan pada beton dan dapat dilakukan secara konsentris maupun eksentris terhadap titik berat penampang beton.

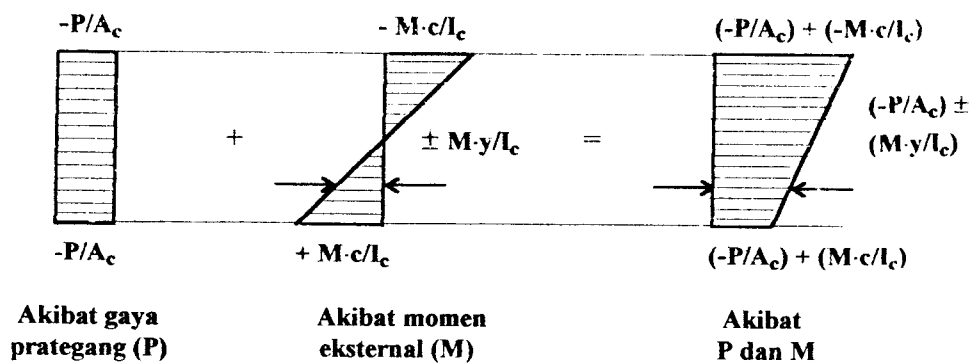
1. Tendon Konsentris

Tendon prategang ditempatkan tepat pada titik berat penampang atau garis netral penampang seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9, sehingga akan menghasilkan distribusi tegangan pada penampang akibat gaya prategang dan momen eksternal sebesar :

$$f = -\frac{P}{A_c} \pm \frac{M \cdot c}{I_c} \dots\dots\dots (2.1)$$



Pelat yang diberi gaya prategang dan beban eksternal

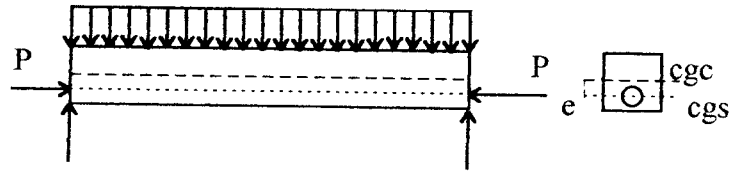


Gambar 2.9 Distribusi tegangan sepanjang penampang beton dengan tendon konsentris

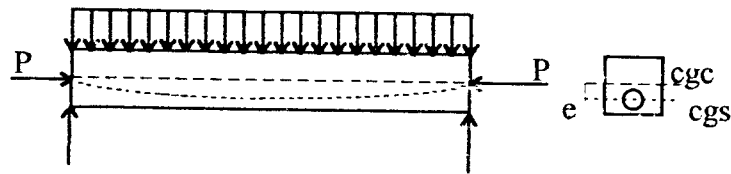
2. Tendon Eksentris

Tendon prategang ditempatkan dengan menggunakan eksentrisitas baik sejajar dengan garis netral penampang beton maupun membentuk parabola yang eksentrisitasnya selalu berubah dan pada ujung bentang eksentrisitasnya nol atau sama dengan garis netral penampang beton, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10. Distribusi tegangan yang terjadi pada penampang beton sebesar :

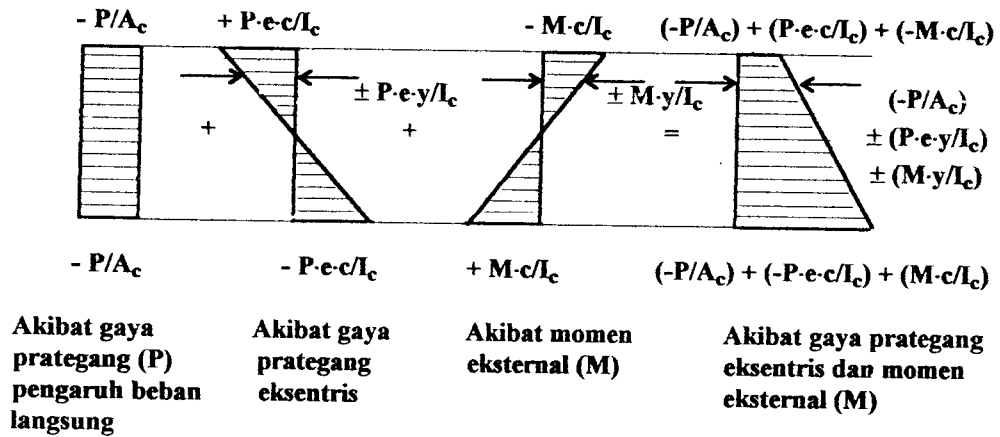
$$f = -\frac{P}{A_c} \pm \frac{P \cdot e \cdot c}{I_c} \pm \frac{M \cdot c}{I_c} \dots\dots\dots (2.2)$$



Pelat yang diberi gaya prategang dan beban eksternal dengan tata letak tendon eksentris yang eksentrisitasnya tetap (konstan)



Pelat yang diberi gaya prategang dan beban eksternal dengan tata letak tendon eksentris yang eksentrisitasnya selalu berubah (variabel)



Gambar 2.10 Distribusi tegangan sepanjang penampang beton dengan tendon eksentris

dengan :

P = gaya prategang tendon (kN)

A_c = luas penampang beton (m^2)

I_c = momen inersia penampang (m^4)

- M = momen akibat beban eksternal (kN-m)
- f = tegangan yang terjadi pada serat penampang beton (Mpa)
- e = eksentrisitas tendon terhadap titik berat penampang (mm)
- c = jarak titik berat penampang terhadap serat terluar beton (mm)
- y = jarak yang ditinjau terhadap titik berat penampang (mm)

2.2.2 Sistem Prategang untuk Kombinasi Baja Mutu Tinggi dengan Beton

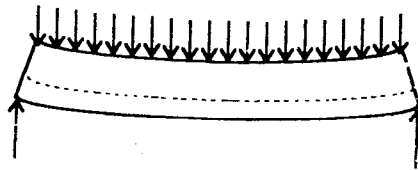
Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai kombinasi (gabungan) dari baja dan beton seperti pada struktur beton bertulangan biasa, dengan baja tulangan untuk menahan gaya tarik dan beton menahan gaya desak. Aksi dari dua material yang bekerja tersebut membentuk momen kopel penahan untuk melawan momen eksternal, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11.

Pada konsep beton prategang baja mutu tinggi dipakai dengan jalan menarik baja tersebut sebelum kekuatannya dimanfaatkan secara penuh. Jika baja mutu tinggi ditanamkan pada beton bertulangan biasa, sebelum seluruh kemampuan baja dikerahkan maka pada beton akan terjadi retak berat akibat beban luar yang bekerja, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12.

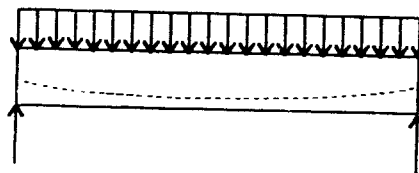
Sedangkan didalam konsep beton prategang baja ditarik lebih dahulu, maka pada saat beban luar bekerja diharapkan pada saat beton bagian tarik mencapai tegangan ijin, tegangan pada baja juga telah mencapai tegangan ijin.



Gambar 2.11 Momen penahan internal pada konsep beton prategang dan beton bertulangan biasa



Beton bertulang dengan baja mutu tinggi, terjadi retak - retak dan lendutan besar.



Beton prategang dengan baja mutu tinggi, tidak terjadi retak - retak dan lendutan kecil sekali.

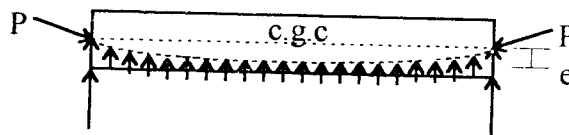
Gambar 2.12 Pelat beton dengan menggunakan baja mutu tinggi

2.2.3 Sistem Prategang dengan Metode Perimbangan Beban

Sistem ini didasarkan pada penggunaan gaya vertikal ke atas dari tendon (baja prategang) dengan cara menempatkan kabel tendon sesuai dengan diagram momen yang terjadi untuk mengimbangi beban-beban eksternal yang dialami pelat.

Gaya prategang dipandang sebagai suatu usaha untuk membuat kondisi yang seimbang, sehingga komponen-komponen struktur yang melentur tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan tertentu.

Jika tendon terbungkus beton akibat penarikan, akan timbul gaya ke atas yang merata. Akibat aksi gaya prategang tersebut, tendon akan memberikan beban aksial tekan dan beban terbagi merata ke atas. Adanya eksentrisitas tendon (e) pada komponen struktur prategang tersebut, akan menghasilkan momen negatif yang akan mengimbangi momen-momen eksternal, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Beban terbagi merata dari tendon parabola

Tendon dipasang melengkung dan diletakkan dalam posisi sedemikian rupa sehingga eksentrisitas gaya prategang disepanjang komponen menyesuaikan besar momen akibat beban luar.

Prinsip-prinsip perimbangan beban dapat dilakukan dengan dua arah penegangan. Hal ini sangat cocok diterapkan dalam menganalisis pelat beton, karena tujuan dari penggunaan metoda perimbangan beban tersebut adalah mengimbangi beban luar sehingga seluruh struktur akan memiliki distribusi tegangan yang merata dalam masing-masing arah dan tidak melendut akibat pembebanan tersebut.

Besarnya gaya perimbangan yang dihasilkan oleh tendon dengan gaya-gaya yang terdistribusi secara merata ke atas adalah sebagai berikut :

$$W_{(bal)} = \frac{8 \cdot P \cdot e}{L^2} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$W_{netto} = W_{(total\ ke\ bawah)} - W_{(bal)}$$

$$M_{netto} = \frac{1}{8} \cdot W_{(netto)} \cdot L^2 \dots \dots \dots (2.4)$$

Adapun tegangan-tegangan yang terjadi pada serat penampang adalah :

$$f = -\frac{P}{A_c} \pm \frac{M_{(netto)} \cdot c}{I_c} \dots \dots \dots (2.5)$$

dengan :

$W_{(bal)}$ = beban perimbangan (kN/m^2)

$W_{(net)}$ = beban bersih eksternal (kN/m^2)

P = gaya prategang tendon (kN)

A_c = luas penampang beton (m^2)

I_c = momen inersia penampang (m^4)

$M_{(net)}$ = momen bersih eksternal ($kN-m$)

f = tegangan pada serat penampang beton (Mpa)

e = eksentrisitas tendon terhadap titik berat penampang (mm)

L = panjang bentang bersih (m)

c = jarak titik berat penampang terhadap serat terluar beton (mm)

2.3 Tahap - Tahap Pembebanan pada Beton Prategang

1. Tahap Awal

Struktur yang diberi gaya prategang tetapi tidak dibebani oleh beban eksternal. Tahap ini terdiri dari 4 macam, yaitu :

- a. Sebelum diberi gaya prategang.
- b. Pada saat diberi gaya prategang.
- c. Pada saat peralihan gaya prategang.
- d. Pada saat penarikan kembali.

2. Tahap Antara

Tahap ini adalah tahapan selama pengangkutan dan pengangkatan. Hal ini terjadi hanya pada komponen-komponen struktur pracetak pada saat diangkut ke lapangan dan dipasang pada posisinya.

3. Tahap Akhir

Tahap ini adalah tahapan bila beban kerja yang sesungguhnya telah bekerja pada struktur. Untuk struktur beton prategang, terutama pada kasus-kasus tertentu sangat perlu untuk mengontrol retak dan beban batasnya. Sehingga perlu analisis terhadap beban-beban dibawah ini, yaitu :

- a. Beban yang bekerja tetap

Akibat beban-beban tetap yang bekerja, menyebabkan terjadinya lendutan ke atas atau ke bawah dari komponen struktur prategang. Sehingga lendutan akibat beban tetap tersebut harus dibatasi sesuai dengan rencana.

b. Beban kerja

Untuk mendisain struktur prategang, harus ada pemeriksaan terhadap tegangan dan regangan yang berlebihan akibat beban kerja pada penampang struktur.

c. Beban retak

Terjadinya retak pada struktur prategang berarti adanya perubahan yang mendadak pada tegangan rekat dan tegangan geser. Untuk struktur-struktur yang terkena pengaruh korosi dan tanpa rekatan pada tendon yang tidak menerima pengaruh retak akan berakibat terjadinya lendutan yang besar, maka penting sekali adanya perhatian pada beban retak tersebut.

d. Beban batas

Struktur yang didisain berdasarkan tegangan kerja, mungkin tidak selalu mempunyai nilai keamanan yang cukup terhadap kelebihan beban. Kekuatan batas dari struktur diartikan sebagai beban maksimum yang dapat dipikul sebelum struktur beton hancur. Oleh karena itu perlu adanya analisis terhadap kapasitas minimum struktur pada saat memikul beban yang lebih besar, sehingga perlu ditentukan kekuatannya.

2.4 Dasar-Dasar Analisis Perencanaan

Didalam mendisain dan menganalisis perilaku pelat beton prategang dua arah, khususnya pada panel tunggal harus diperhitungkan beberapa faktor yang berhubungan dengan perilaku struktur tersebut.

Faktor-faktor yang berhubungan dengan perencanaan pelat beton prategang, khususnya pada panel tunggal adalah :

1. jenis pembebanan yang akan dipikul oleh struktur pelat,
2. sistem gaya-gaya yang bekerja pada pelat,
3. karakteristik bahan yang digunakan pada pelat,
4. batas-batas tegangan ijin tegangan pada struktur,
5. dasar-dasar asumsi yang akan digunakan dalam perencanaan.

2.5 Metode Analisis

1. Menetapkan metode analisis

Metode analisis yang digunakan harus disesuaikan dengan tinjauan yang akan dianalisis dan tujuan yang akan dicapai. Pada analisis lentur pelat beton prategang dua arah digunakan metode kekuatan batas (ultimit) sehingga didapatkan hasil analisis lentur yang lebih akurat.

2. Memahami karakteristik bahan dan perilaku struktur

Sebelum menganalisis suatu penampang, pemahaman rumus dasar yang akan digunakan harus sesuai dengan metode analisisnya. Karakteristik bahan, seperti mutu beton, baja, tata letak tendon dan besaran-besaran seperti tebal pelat, panjang bentang, modulus elastis, dan batasan-batasan lain yang sangat mendukung dalam melakukan analisis.

3. Analisis hitungan

Setelah memenuhi kriteria untuk hitungan dilakukan analisis terhadap perilaku-perilaku struktur yang akan ditinjau, sehingga dapat dihasilkan suatu analisis yang tepat.

4. Pengambilan kesimpulan

Dari hasil analisis tersebut dapat diambil suatu kesimpulan mengenai suatu perencanaan pelat yang efisien dan efektif terhadap pengaruh perilaku-perilaku struktur khususnya pada pelat itu sendiri.

5. Saran

Dari hasil kesimpulan diharapkan dapat memberikan suatu gambaran dan pertimbangan dalam merencanakan suatu elemen struktur khususnya pada pelat beton prategang panel tunggal, sehingga didapatkan dimensi penampang pelat yang ekonomis dan kuat terhadap pengaruh perilaku struktur yang bekerja.

BAB III

ANALISIS DAN PERENCANAAN

3.1 Pengertian

Analisis adalah suatu penentuan tegangan-tegangan yang terjadi pada baja dan beton khususnya dalam pelat beton prategang dengan bentuk dan ukuran penampang pelat tersebut telah diketahui.

Sedangkan perencanaan adalah proses merencanakan suatu bentuk penampang pelat beton prategang dengan kekuatan penampang yang direncanakan tersebut dapat menahan dengan aman perilaku-perilaku struktur pelat yang terjadi, seperti gaya lentur, gaya geser, dan pengaruh retak lentur.

Untuk mendisain dan merencanakan struktur pelat beton prategang, perlu adanya pengetahuan yang luas tentang perilaku elemen-elemen struktur yang bersangkutan. Keadaan pembebanan yang bervariasi juga sangat penting diketahui untuk menghasilkan perencanaan struktur yang lebih ekonomis.

3.2 Sistem Prategang Sebagian

Elemen struktur prategang sebagian adalah elemen struktur prategang yang direncanakan dengan mengijinkan terjadinya tegangan tarik pada saat beban kerja. Namun demikian tidak semua struktur yang direncanakan dengan prategang sebagian akan mengalami tegangan tarik pada saat beban kerja. Demikian juga

sebaliknya, pada struktur yang direncanakan dengan sistem prategang penuh mungkin akan mengalami tegangan tarik pada beban kerja berlebihan.

Pada pelat beton prategang sebagian akibat diijinkannya tegangan tarik pada beton kadang-kadang mengalami permasalahan karena beton mungkin sudah retak sebelumnya, sehingga tidak dapat menahan tarikan. Sistem prategang penuh juga mengalami permasalahan, yaitu akan terjadinya lendutan ke atas berlebihan yang tidak dikehendaki.

Sistem prategang sebagian bertujuan untuk menghilangkan atau mengontrol lebar retak pada beban kerja dengan menetapkan tegangan tarik yang diijinkan sedikit lebih kecil dari tegangan retak beton. Meskipun demikian tetap dibutuhkan kewaspadaan pada sistem prategang sebagian, jika kemungkinan terjadinya retak akibat beban kerja. Jika dibandingkan dengan beton bertulang, tegangan tarik tinggi dan retak biasanya terjadi pada beban kerja maka cukup logis untuk mengijinkan terjadinya retak rambut pada beton prategang.

3.3 Kehilangan Gaya Prategang Total

Analisis dan perencanaan keseluruhan dari komponen struktur beton prategang akan menyertakan pertimbangan terhadap gaya-gaya efektif dari tendon prategang pada setiap tahap pembebanan. Adapun tahapan-tahapan untuk mengetahui tegangan dan perilaku pelat beton prategang menurut T.Y Lin dan H. Burns, 1988 adalah sebagai berikut ini.

1. Segera setelah pelimpahan gaya prategang pada penampang beton, tegangan-tegangan yang terjadi dievaluasi sebagai tolak ukur perilaku

struktur. Pengecekan ini termasuk gaya terbesar pada tendon yang mungkin jauh di bawah kekuatan beton pada umur 28 hari (f'_c).

Peraturan ACI-Code memberikan persyaratan terhadap kekuatan beton (f'_{ci}) pada tahap permulaan, yaitu batas tegangan ijin beton pada saat transfer yang terjadi penampang beton sebesar $f'_{ci} \leq f'_c$.

2. Pada saat beban kerja dan semua kehilangan gaya prategang telah terjadi dengan tingkatan gaya prategang efektif untuk jangka panjang telah tercapai, tegangan-tegangan dicek lagi sebagai tolak ukur perilaku dan kekuatan bahan.

Untuk sifat baja dan beton pada kondisi normal menurut T.Y Lin dan H. Burns, 1988 memberikan prosentase kehilangan gaya prategang total, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Prosentase kehilangan gaya prategang total

Kehilangan gaya prategang akibat :	Pratarik (%)	Pasca-tarik (%)
- Perpendekan elastik dan lenturan balok	4	1
- Rangkak beton	6	5
- Susut beton	7	6
- Relaksasi baja	8	8
Kehilangan gaya prategang total	25	20

Sumber : T. Y. Lin dan H. Burns, 1982

Kehilangan gaya prategang total untuk pra-tarik yang diijinkan sebesar 25% dan pasca-tarik sebesar 20%. Untuk gaya prategang efektif yang terjadi adalah

gaya prategang awal dikalikan dengan faktor reduksi (R). Untuk lebih jelasnya dapat ditunjukkan pada rumus dibawah ini.

$$P_e = R \cdot P_o \dots\dots\dots (3.1)$$

dengan :

P_e = gaya prategang efektif tendon (kN)

P_o = gaya prategang awal tendon (kN)

R = faktor reduksi gaya prategang

3.4 Perencanaan Penampang Pelat Beton Prategang

Penampang pelat beton prategang direncanakan dengan memperhitungkan tahanan minimum yang diperlukan pada keadaan-keadaan batas tertentu, seperti keruntuhan, lendutan, dan retak. Untuk masing-masing keadaan batas tersebut, nilai tahanan rencana harus sama atau melebihi jumlah beban rencana yang diperoleh dengan mengalikan beban-beban eksternal terhadap faktor-faktor beban yang telah ditetapkan.

Dalam merencanakan pelat beton prategang dua arah beberapa ahli telah memberikan batasan yaitu untuk nilai perbandingan antara panjang bentang dengan tebal pelat menurut Antoine E. Naaman, 1982 ditetapkan sebesar 40 sampai 55 dan menurut Arthur H. Nilson, 1987 memberikan nilai antara 45 sampai 50. Pendapat kedua ahli tersebut telah disesuaikan dengan ketentuan-ketentuan yang disyaratkan oleh ACI-Code. Dalam analisis ini diambil sebesar 45 sebagai nilai perbandingan antara jumlah rata-rata panjang bentang pada masing-

masing arah terhadap tebal pelat, yang diharapkan dapat diperoleh ketebalan pelat yang efisien, ekonomis dan mampu menahan gaya lentur, geser dan bebas terhadap pengaruh retak lentur. Sehingga untuk merencanakan ketebalan pelat tersebut dihitung dengan pendekatan rumus berikut ini.

$$h = \left(\frac{L_x + L_y}{2} \right) \cdot \frac{1}{45} \dots\dots\dots (3.2)$$

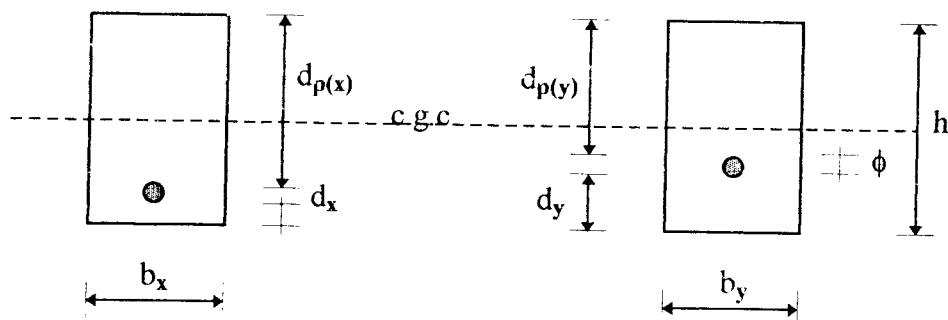
dengan :

h = tebal pelat (mm)

L_x = panjang bentang pelat arah - x (m)

L_y = panjang bentang pelat arah - y (m)

Gambar dari potongan penampang pelat beton ditinjau sepanjang 1 meter panjang (m') pada masing-masing arah dapat ditunjukkan seperti Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Potongan penampang pelat beton prategang

dengan :

h = tebal pelat total (mm)

$d_{p(x)}$ = jarak serat terluar dengan titik berat tendon arah - x (mm)

$d_{p(y)}$ = jarak serat terluar dengan titik berat tendon arah - y (mm)

b_x = lebar pias pelat arah - x (m')

b_y = lebar pias pelat arah - y (m')

d_x = tebal selimut beton arah - x (mm)

d_y = tebal selimut beton arah - y (mm)

ϕ = diameter tendon (mm)

Penentuan tebal pelindung beton yang terletak di bawah tulangan prategang harus mengikuti rekomendasi yang ditentukan oleh ACI-Code yang ditunjukkan dalam Tabel 3.2, kecuali apabila kondisi yang dihadapi berbeda dengan kondisi yang telah ditentukan dalam pedoman ACI-Code.

Tabel 3.2 Tebal minimum pelindung beton menurut ACI-Code

Kondisi Struktur	Tebal minimum (mm)
- Beton yang dicor langsung dan permanen berhubungan langsung dengan tanah	70
- Beton yang berhubungan langsung dengan tanah atau cuaca : - Dinding panel, pelat dan balok rusuk - Struktur lainnya	30 40
- Beton yang terlindung terhadap cuaca atau berhubungan dengan tanah : - Pelat, dinding dan balok rusuk - Balok dan kolom : - Tulangan primer - Balok ikat, tangga dan spiral	20 40 20
- Pelat cangkang, pelat lipat : - Tulangan No. 5, kawat W31 atau D31 atau kurang	10

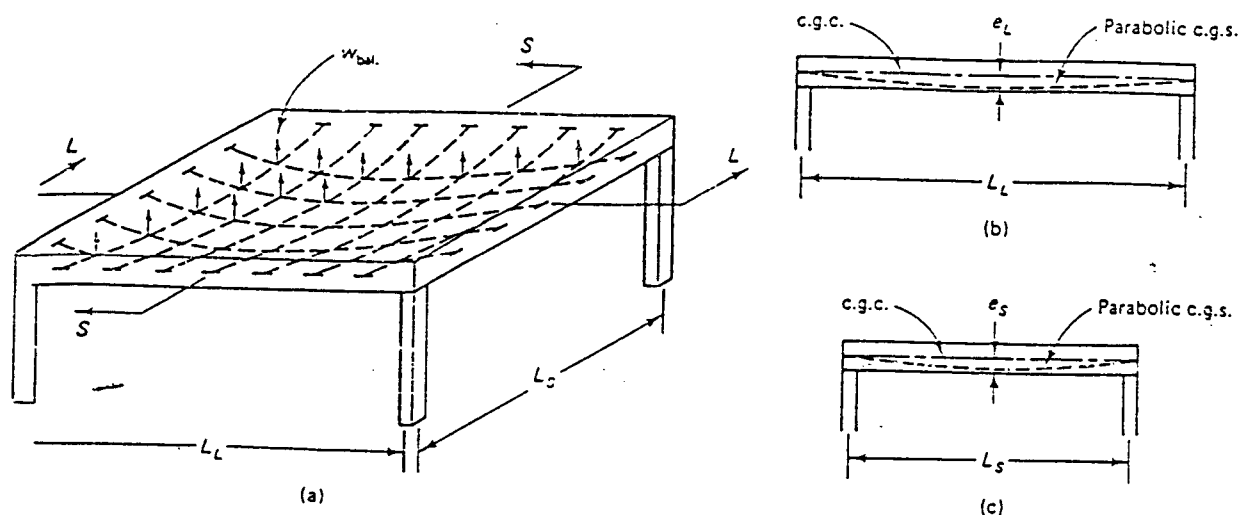
- Jenis penulangan lain yang lebih kecil	20
--	----

Sumber : Arthur H. Nilson, 1987

3.5 Metode Perimbangan Beban pada Pelat Beton Prategang Dua Arah

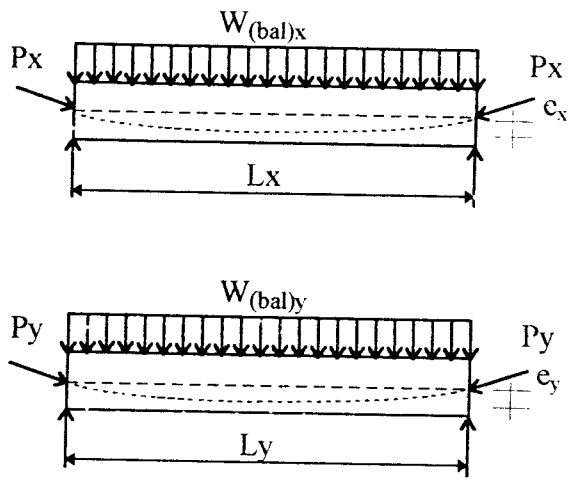
Prinsip-prinsip perimbangan beban dapat dilakukan dengan dua arah penegangan. Hal ini sangat cocok diterapkan dalam menganalisis pelat beton prategang karena tujuan dari penggunaan metoda perimbangan beban tersebut adalah mengimbangi beban-beban luar, sehingga seluruh struktur akan memiliki distribusi tegangan yang merata dalam masing-masing arah dan tidak melendut akibat pembebanan tersebut.

Sebagai suatu contoh analisis sederhana tentang metode perimbangan beban, dapat tinjau pelat beton prategang dua arah yang ditumpu oleh dinding atau balok pada masing-masing sisinya, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2.

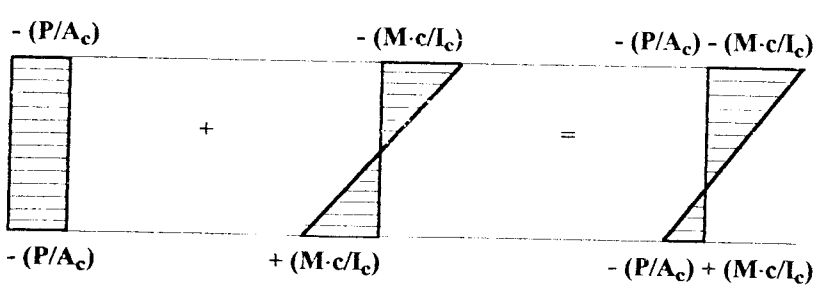


Gambar 3.2 Perimbangan beban untuk pelat dua arah

Kabel-kabel prategang pada masing-masing arah akan menimbulkan gaya ke atas pada pelat. Jika jumlah komponen vertikalnya mengimbangi beban luar ke bawah sebesar (W), maka dapat diperoleh disain beban berimbang pada masing-masing arah. Adapun diagram tegangan dan regangan yang terjadi pada penampang pelat untuk masing-masing arah, dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 3.3 berikut ini.



(a) beban yang bekerja akibat beban eksternal



(b) tegangan beton pada saat beban aksial dan momen eksternal.

Gambar 3.3 Konsep metode perimbangan beban pada pelat

Besarnya gaya perimbangan yang dihasilkan oleh tendon dengan gaya-gaya yang terdistribusi secara merata ke atas adalah sebagai berikut ini.

$$W_{(\text{bal})x} = \frac{8 \cdot P_{e(x)} \cdot c_x}{L_x^2} \dots\dots\dots (3.3.a)$$

$$W_{(\text{bal})y} = \frac{8 \cdot P_{e(y)} \cdot e_y}{L_y^2} \dots\dots\dots (3.3.b)$$

Dengan demikian gaya perimbangan total yang terjadi adalah sebagai berikut ini.

$$W_{(\text{bal}) \text{ total}} = W_{(\text{bal})x} + W_{(\text{bal})y}$$

$$W_{(\text{bal}) \text{ total}} = \frac{8 \cdot P_{e(x)} \cdot e_x}{L_x^2} + \frac{8 \cdot P_{e(y)} \cdot e_y}{L_y^2} \dots\dots\dots (3.4)$$

Sedangkan untuk menghitung besar momen yang terjadi pada pelat beton prategang adalah sebagai berikut ini.

a. Pada saat beban mati total bekerja :

- arah - x

$$M_{D(x)} = \alpha_x \cdot (W_o + W_D) \cdot L_x^2 \dots\dots\dots (3.5.a)$$

- arah - y

$$M_{D(y)} = \alpha_y \cdot (W_o + W_D) \cdot L_y^2 \dots\dots\dots (3.5.b)$$

b. Pada saat beban hidup bekerja

- arah - x

$$M_{L(x)} = \alpha_x \cdot (W_L) \cdot L_x^2 \dots\dots\dots (3.6.a)$$

- arah - y

$$M_{L(y)} = \alpha_y \cdot (W_L) \cdot L_y^2 \dots\dots\dots (3.6.b)$$

Untuk mendapatkan koefisien momen (α) pada masing-masing arah pelat, didasarkan pada perbandingan antara panjang bentang arah - y dengan bentang arah - x, kemudian dicari besarnya koefisien tersebut pada grafik yang dikeluarkan oleh Edward G. Nawy, 1996.

Tegangan-tegangan yang terjadi pada serat penampang pelat beton saat beban hidup bekerja adalah sebagai berikut ini.

arah - x

$$f_{t(x)} = -\frac{P_{e(x)}}{b \cdot h} - \frac{M_{L(x)} \cdot c_x}{I_c} \dots\dots\dots (3.7.a)$$

$$f_{b(x)} = -\frac{P_{e(x)}}{b \cdot h} + \frac{M_{L(x)} \cdot c_x}{I_c} \dots\dots\dots (3.7.b)$$

arah - y

$$f_{t(y)} = -\frac{P_{e(y)}}{b \cdot h} - \frac{M_{L(y)} \cdot c_y}{I_c} \dots\dots\dots (3.8.a)$$

$$f_{b(y)} = -\frac{P_{e(y)}}{b \cdot h} + \frac{M_{L(y)} \cdot c_y}{I_c} \dots\dots\dots (3.8.b)$$

Sedangkan tegangan-tegangan yang terjadi pada serat penampang pelat beton saat beban mati total bekerja adalah sebagai berikut ini.

arah - x

$$f_{t(x)} = -\frac{P_{\alpha(x)}}{b \cdot h} + \frac{M_{D(x)} \cdot c_x}{I_c} \dots\dots\dots (3.9.a)$$

$$f_{b(x)} = -\frac{P_{\alpha(x)}}{b \cdot h} - \frac{M_{D(x)} \cdot c_x}{I_c} \dots\dots\dots (3.9.b)$$

arah - y

$$f_{t(y)} = -\frac{P_{\alpha(y)}}{b \cdot h} + \frac{M_{D(y)} \cdot c_y}{I_c} \dots\dots\dots (3.10.a)$$

$$f_{b(y)} = -\frac{P_{\alpha(y)}}{b \cdot h} - \frac{M_{D(y)} \cdot c_y}{I_c} \dots\dots\dots (3.10.b)$$

dengan :

$W_{(bal) x}$ = gaya perimbangan beban arah - x (kN/m²)

$W_{(bal) y}$ = gaya perimbangan beban arah - y (kN/m²)

$P_{e(x)}$ = gaya prategang efektif arah - x (kN)

$P_{e(y)}$ = gaya prategang efektif arah - y (kN)

$P_{o(x)}$ = gaya prategang awal tendon arah - x (kN)

$P_{o(y)}$ = gaya prategang awal tendon arah - y (kN)

e_x = eksentrisitas tendon terhadap titik berat penampang arah - x (mm)

e_y = eksentrisitas tendon terhadap titik berat penampang arah - y (mm)

L_x = panjang bentang bersih arah - x (m)

- L_y = panjang bentang bersih arah - y (m)
- b = lebar penampang pelat beton yang ditinjau (m^2)
- h = tinggi penampang pelat bersih (mm)
- c_x = jarak titik berat penampang pelat arah - x (mm)
- c_y = jarak titik berat penampang pelat arah - y (mm)
- I_c = momen inersia penampang pelat beton (m^4)
- α_x = koefisien momen arah - x
- α_y = koefisien momen arah - y
- $M_{L(x)}$ = momen akibat beban hidup arah - x (kN-m)
- $M_{L(y)}$ = momen akibat beban hidup arah - y (kN-m)
- $M_{D(x)}$ = momen akibat beban mati total arah - x (kN-m)
- $M_{D(y)}$ = momen akibat beban mati total arah - y (kN-m)
- $f_t(x)$ = tegangan yang terjadi pada serat atas penampang pelat arah - x
(Mpa)
- $f_b(x)$ = tegangan yang terjadi pada serat bawah penampang pelat arah - x
(Mpa)
- $f_t(y)$ = tegangan yang terjadi pada serat atas penampang pelat arah - y
(Mpa)
- $f_b(y)$ = tegangan yang terjadi pada serat bawah penampang pelat arah - y
(Mpa)

3.6 Analisis Lentur terhadap Tegangan Ijin pada Pelat Beton Prategang

Penampang pelat beton prategang yang menerima aksi lentur harus memenuhi batas-batas tegangan ijin yang telah ditentukan, baik itu tegangan ijin beton maupun tegangan ijin baja prategang.

Untuk pelat beton prategang yang telah mengalami kehilangan gaya prategang mempunyai tegangan rata-rata pada penampang beton sebesar 0,86 Mpa sampai 3,5 Mpa, seperti yang telah ditetapkan oleh Antoine E. Naaman 1982 yang didasarkan ketentuan-ketentuan ACI-Code. Sedangkan tegangan beton yang diijinkan oleh ACI-Code untuk pelat beton prategang ditunjukkan pada Tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Tegangan-tegangan ijin beton yang disyaratkan dalam batang-batang lentur prategang

Tegangan pada beton sesaat setelah terjadinya penyaluran gaya-gaya prategang, sebelum terjadinya kehilangan gaya prategang yang tergantung pada waktu, tidak boleh melebihi ketentuan-ketentuan berikut ini :	
a. tegangan serat terluar tekan	$0,60 \cdot f'_{ci}$
b. tegangan serat terluar tarik, kecuali seperti yang diijinkan dalam ketentuan (c)	$0,25 \cdot \sqrt{f'_{ci}}$
c. tegangan tarik serat terluar pada ujung-ujung batang atau pada batang-batang statis tertentu	$0,50 \cdot \sqrt{f'_{ci}}$
Pada daerah-daerah dimana tegangan tariknya melampaui harga-harga ini, dapat diberikan tambahan tulangan (biasa atau prategang), untuk memikul gaya tarik total pada beton yang dihitung berdasarkan anggapan bahwa penampangnya tidak melampaui retak.	
Tegangan-tegangan beton pada beban kerja, setelah diperhitungkan adanya kehilangan gaya-gaya prategang yang terjadi, tidak boleh melampaui ketentuan-ketentuan berikut :	

a. tegangan tekan pada serat terluar	$0,45 \cdot f_c$
b. tegangan serat luar pada daerah tarik yang mengalami prategang	$0,50 \cdot \sqrt{f_c}$
c. tegangan serat terluar pada daerah tarik batang yang mengalami prategang, kecuali untuk sistem pelat dua arah, yang analisisnya didasarkan pada penampang transformasi yang mengalami retak serta pada hubungan momen lenturan dua arah, menunjukkan bahwa lenturan jangka pendek dan jangka panjang sesuai dengan batasan-batasan yang dikemukakan pada pedoman.	$\sqrt{f_c}$
Tegangan-tegangan yang diijinkan pada beton seperti yang dikemukakan di atas dapat dilampaui besarnya apabila melalui percobaan dan analisis struktur dapat ditunjukkan bahwa penampilan dari struktur tidak akan dirugikan.	

Sumber : Tim Editor dan Penerjemah ITB (George Winter dan Arthur H. Nilson)

Sedangkan tegangan ijin baja prategang yang disyaratkan oleh ACI-Code ditunjukkan pada Tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3.4 Tegangan ijin baja partegang yang disyaratkan

Tegangan-tegangan baja tidak boleh melebihi :	
a. akibat gaya penjangkaran tendon	$0,94 \cdot f_{py} \leq 0,80 \cdot f_{pu}$
b. setelah pelimpahan gaya prategang	$0,82 \cdot f_{py} \leq 0,74 \cdot f_{pu}$
c. tendon pasca-tarik setelah penjangkaran tendon	$0,70 \cdot f_{pu}$
dimana : $f_{py} = 0,85 \cdot f_{pu}$ $f_{py} = 0,90 \cdot f_{pu}$ untuk baja dengan relaksasi rendah	

Sumber : Edward G. Nawy, 1996

3.7 Analisis Lentur pada Saat Kekuatan Batas (Ultimit) dan Saat Kekuatan Layan

Perencanaan komponen struktur pelat beton prategang direncanakan sedemikian rupa sehingga masih mempunyai keamanan serta cadangan kekuatan untuk menahan beban eksternal yang bekerja. Dan tegangan-tegangan yang tersedia tidak melebihi dari tegangan-tegangan yang terjadi, sehingga tidak timbul retak lentur yang berlebihan pada penampang sewaktu mendukung beban kerja.

Timbulnya tegangan-tegangan lentur tersebut diakibatkan oleh adanya momen eksternal, sehingga hal itu merupakan faktor yang penting didalam merencanakan penampang struktur pelat beton prategang.

Proses perencanaan dan analisis umumnya dimulai dengan memenuhi persyaratan terhadap lentur itu sendiri, kemudian terhadap persyaratan kapasitas geser, defleksi dan kapasitas retak lentur.

3.7.1 Pada Saat Kekuatan Batas (Ultimit)

Ada beberapa kriteria didalam merencanakan pelat beton prategang pada keadaan batas (ultimit) menurut N. Krisna Raju, 1989 adalah sebagai berikut ini.

1. Keruntuhan akibat lentur, geser, puntir atau kombinasinya pada satu atau lebih dari penampang kritis.
2. Pecahnya blok ujung (end block) pada struktur beton prategang.
3. Keruntuhan bantalan pada tumpuan, angkur atau akibat beban terpasang yang terpusat.
4. Keruntuhan tulangan akibat rekatan dan angkur.

5. Keruntuhan sambungan antara elemen-elemen pracetak dan yang dicor ditempat (cast in situ).
6. Keruntuhan akibat ketidakstabilan elastis batang.

Kekuatan batas (ultimit) dihitung dengan menggunakan beban-beban karakteristik yang telah ditetapkan oleh ACI-Code, yaitu beban-beban eksternal yang telah dikalikan dengan faktor-faktor beban sesuai kondisi pembebanannya. Adapun besarnya faktor-faktor beban dan kondisi pembebanan yang ditetapkan menurut ACI-Code, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.5 berikut ini.

Tabel 3.5 Faktor-faktor beban karakteristik dan kombinasinya

Kombinasi beban	Faktor Beban
Akibat beban hidup dan mati	$U = 1,4D + 1,7L$
Akibat beban hidup, mati dan beban angin	$U = 0,75(1,4D + 1,7L + 1,7W)$ $U = 0,90D + 1,3 W$ $U = 1,4D + 1,7L$
Akibat beban hidup, mati dan beban gempa	$U = 0,75(1,4D + 1,7L + 1,87 E)$ $U = 0,9D + 1,43E$ $U = 1,4D + 1,7L$
Akibat beban hidup, mati dan tekanan tanah	$U = 1,4D + 1,7L + 1,7 H$ $U = 0,9D + 1,7H$ $U = 1,4D + 1,7 L$
Akibat beban-beban khusus : - penurunan - rangkai dan susut - perbedaan suhu	$U = 0,75(1,4D + 1,4T + 1,7L)$ $U = 1,4(D + T)$

Sumber : Arthur H. Nilson, 1987

Selain faktor-faktor dan kombinasi beban yang menentukan dalam merencanakan pelat beton prategang, juga harus diperhitungkan faktor reduksi

kekuatan yaitu dengan membagi kuat momen batas (ultimit) terhadap faktor tersebut, sehingga didapatkan kuat momen nominal yang terjadi. Sedangkan kuat momen nominal yang terjadi pada penampang pelat beton prategang harus lebih kecil atau sama dengan kuat momen nominal yang direncanakan. Menurut peraturan ACI-Code, besarnya faktor reduksi kekuatan momen batas (ultimit) ditetapkan, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.6 berikut ini.

Tabel 3.6 Faktor reduksi kekuatan momen batas (ultimit)

Jenis Struktur	Faktor Reduksi (ϕ)
Lentur tanpa beban aksial	0,90
Beban aksial dan beban aksial dengan lentur	
- Aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur	0,90
- Aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur	
- sengkang spiral	0,75
- sengkang biasa	0,70
Geser dan torsi	0,85
Tumpuan pada beton	0,70

Sumber : Arthur H. Nilson, 1987

Untuk lebih jelasnya, besar momen yang terjadi pada masing-masing arah bentang pelat dapat ditunjukkan pada rumus dibawah ini.

arah - x

$$M_{u(x)} = (\alpha_x \cdot (1,4 \cdot W_{D-tot} + 1,7 \cdot W_L) \cdot L_x^2) \dots \dots \dots (3.11.a)$$

$$M_{n(x)} = \frac{M_{u(x)}}{\phi} \dots \dots \dots (3.11.b)$$

arah - y

$$M_{u(y)} = (\alpha_y \cdot (1,4 \cdot W_{D-tot} + 1,7 \cdot W_L) \cdot L_y^2) \dots\dots\dots (3.12.a)$$

$$M_{n(y)} = \frac{M_{u(y)}}{\phi} \dots\dots\dots (3.12.b)$$

dengan :

$M_{u(x)}$ = momen batas runtuh pelat yang terjadi pada arah - x (kN-m)

$M_{u(y)}$ = momen batas runtuh pelat yang terjadi pada arah - y (kN-m)

$M_{n(x)}$ = momen nominal pelat yang terjadi pada arah - x (kN-m)

$M_{u(y)}$ = momen nominal pelat yang terjadi pada arah - y (kN-m)

W_{D-tot} = beban mati total (kN/m²)

W_L = beban hidup (kN/m²)

α_x = koefisien momen batas (ultimit) pada arah - x

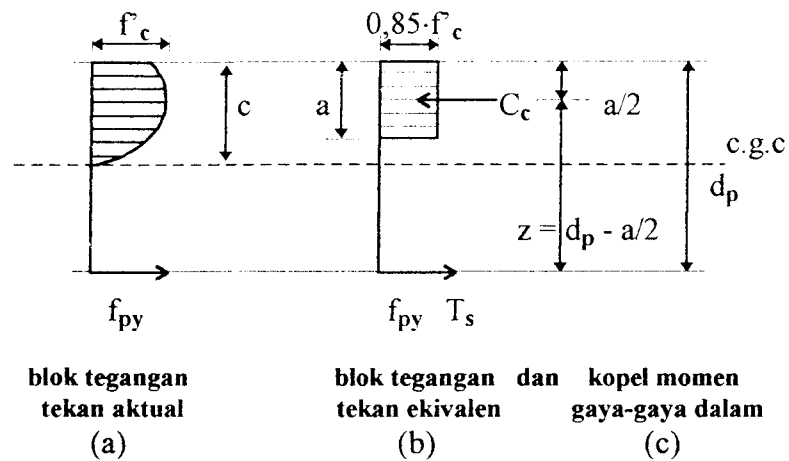
α_y = koefisien momen batas (ultimit) pada arah - y

ϕ = faktor reduksi kekuatan

L_x = panjang bentang arah - x (m)

L_y = panjang bentang arah - y (m)

Kuat lentur yang tersedia pada pelat beton prategang disebabkan oleh adanya mekanisme tegangan-tegangan dalam yang timbul di dalam pelat itu sendiri, sehingga gaya-gaya dalam yang ada dapat mengimbangi pengaruh lentur yang terjadi. Untuk lebih jelasnya dapat ditunjukkan pada Gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4 Blok tegangan ekuivalen Whitney

Dari keterangan gambar di atas, keseimbangan gaya-gaya dalam yang terjadi pada penampang pelat beton adalah sebagai berikut :

$$C_c = T_s$$

dimana :

$$C_c = 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot a \dots\dots\dots (3.13.a)$$

$$T_s = A_{ps} \cdot f_{ps} \dots\dots\dots (3.13.b)$$

maka diperoleh :

$$a = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps}}{0,85 \cdot f_c \cdot b} \dots\dots\dots (3.14)$$

“b” adalah lebar daerah tekan pelat, dengan $a = \beta_1 \cdot c$ sehingga akan diperoleh :

$$c = \frac{a}{\beta_1} \dots\dots\dots (3.15)$$

Untuk mendapatkan harga β_1 , dilakukan pendekatan terhadap kuat desak beton sebagai berikut :

jika $f'_c \leq 30$ Mpa maka $\beta_1 = 0,85$

jika $30 < f'_c \leq 55$ Mpa maka $\beta_1 = 0,85 - 0,008 \cdot (f'_c - 30)$

jika $f'_c > 55$ Mpa maka $\beta_1 = 0,65$

Menurut peraturan ACI-Code, tegangan baja pada pelat prategang untuk tendon yang tak terekat, adalah sebesar :

a. Untuk pelat dengan $L/h \leq 35$

$$f_{ps} = f_{pe} + 70 + \frac{f'_c}{100 \cdot \rho_p} \dots\dots\dots (3.16.a)$$

dengan : $f_{ps} \leq f_{py}$ dan $f_{ps} \leq f_{pe} + 400$

b. Untuk pelat dengan $L/h \geq 35$

$$f_{ps} = f_{pe} + 70 + \frac{f'_c}{300 \cdot \rho_p} \dots\dots\dots (3.16.b)$$

dengan : $f_{ps} \leq f_{py}$ dan $f_{ps} \leq f_{pe} + 200$

dengan :

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b \cdot d_p} \dots\dots\dots (3.17)$$

Sedangkan tegangan baja untuk pelat beton prategang dengan tendon yang terekat menurut ACI-Code adalah sebesar :

a. Untuk pelat dengan tulangan prategang

$$f_{ps} = f_{pu} \cdot \left(1 - 0,5 \cdot \rho_p \cdot \frac{f_{pu}}{f'_c} \right) \dots \dots \dots (3.18.a)$$

b. Untuk pelat dengan tulangan non-prategang

$$f_{ps} = f_{pu} \cdot \left[1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \cdot \left(\rho_p \cdot \frac{f_{pu}}{f'_c} + \frac{d_s}{d_p} \cdot (\omega - \omega') \right) \right] \dots \dots \dots (3.18.b)$$

dengan :

$$\gamma_p = 0,40 \quad \text{jika} \quad \frac{f_{py}}{f_{pu}} \geq 0,85$$

$$\gamma_p = 0,28 \quad \text{jika} \quad \frac{f_{py}}{f_{pu}} \geq 0,90$$

$$\omega = \rho \cdot \frac{f_y}{f'_c} \quad \text{dengan} \quad \rho = \frac{A_s}{b \cdot d_s}$$

$$\omega' = \rho' \cdot \frac{f_y}{f'_c} \quad \text{dengan} \quad \rho' = \frac{A_s'}{b \cdot d_s}$$

Dengan demikian akan didapatkan kapasitas momen nominal sebesar :

a. Untuk pelat dengan tulangan prategang

$$M_n = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot (d_p - a / 2) \dots \dots \dots (3.19.a)$$

Kekuatan momen batas (ultimit) diperoleh dari momen nominal rencana

dibagi dengan faktor reduksi sebesar ϕ , maka :

$$M_u = \frac{M_n}{\phi} \dots\dots\dots (3.19.b)$$

b. Untuk pelat dengan tulangan non-prategang

$$M_n = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot (d_p - a / 2) + A_s \cdot f_y \cdot (d_{ps} - a / 2) \dots\dots\dots (3.20.a)$$

Kekuatan momen batas (ultimit) rencana diperoleh dari momen nominal rencana dibagi dengan faktor reduksi sebesar ϕ , maka :

$$M_u = \frac{M_n}{\phi} \dots\dots\dots (3.20.b)$$

dengan :

C_c = gaya tekan internal akibat beton (kN)

T_s = gaya tarik internal akibat baja (kN)

f_c = kuat tekan beton (Mpa)

a = tinggi blok tegangan tekan ekivalen (mm)

b = lebar pias pelat beton prategang (m')

c = jarak serat terluar pelat beton terhadap titik berat penampang (mm)

L = panjang bentang pelat (m)

h = tinggi penampang pelat beton (mm)

f_y = tegangan leleh baja tulangan non-prategang (Mpa)

f_{py} = tegangan leleh baja tulangan prategang (Mpa)

f_{ps} = tegangan baja tulangan prategang pada taraf kuat nominal (Mpa)

f_{pe} = tegangan tekan pada beton akibat gaya prategang efektif (Mpa)

f_{pu} = kuat tarik tendon prategang (Mpa)



- A_{ps} = luas penampang baja tulangan prategang (mm^2)
 A_s = luas penampang baja tulangan tarik non-prategang (mm^2)
 A_s' = luas penampang baja tulangan tekan non-prategang (mm^2)
 ρ_p = rasio tulangan prategang
 ρ = rasio tulangan tarik non-prategang
 ρ' = rasio tulangan tekan non-prategang
 γ_p = faktor jenis tendon prategang
 d_p = jarak serat luar penampang pelat terhadap titik berat tendon (mm)
 d_{ps} = jarak serat luar penampang pelat terhadap titik berat tulangan non-prategang (mm)
 $\omega = \omega'$ = rasio tulangan prategang
 M_n = momen nominal rencana (kN-m)
 M_u = momen batas (ultimit) rencana (kN-m)
 ϕ = faktor reduksi kekuatan
 β_1 = faktor reduksi tinggi blok tegangan tekan ekuivalen beton

3.7.2 Pada Saat Kekuatan Layan

Pada pelat beton prategang yang direncanakan, defleksi yang terjadi diperhitungkan hanya pada saat beban hidup telah bekerja. Dalam hal ini kekakuan struktur sangat penting karena hal tersebut akan membantu membatasi lendutan yang terjadi. Kekakuan struktur tersebut dapat mempengaruhi kekuatan

dan kemampuan penampang beton terhadap lentur, sehingga diusahakan tidak akan dapat terjadi lendutan yang besar pada saat beban kerja.

Untuk itu kontrol terhadap lendutan sangat penting didalam merencanakan suatu struktur pelat beton prategang dengan alasan-alasan sebagai berikut ini.

1. Lendutan yang berlebihan pada suatu pelat beton prategang tidak mudah dilihat, sehingga membuat pelat menjadi tidak sesuai untuk pemakaian.
2. Lendutan yang besar akibat pengaruh dinamis dan akibat pengaruh beban yang berubah-ubah dapat mengurangi kenyamanan pemakainya.
3. Lendutan yang berlebihan cenderung menyebabkan kerusakan pada permukaan pelat tersebut dan struktur-struktur yang berkaitan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi lendutan pada pelat beton prategang adalah sebagai berikut ini.

1. Beban terpasang dan berat sendiri.
2. Besarnya gaya prategang.
3. Profil tendon.
4. Momen inersia potongan melintang.
5. Modulus elastis beton.
6. Susut, rangkai, dan relaksasi tegangan baja.
7. Kondisi penjepitan.

Menurut peraturan ACI-Code lendutan maksimum yang disyaratkan adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 3.7 berikut ini.

Tabel 3.7 Lendutan maksimum yang diijinkan

Tipe struktur	Lendutan yang harus dipertimbangkan	Batas lendutan
- Atap datar yang tidak memikul atau dipasang pada elemen-elemen non-struktural yang cenderung rusak oleh lendutan yang besar.	- Lendutan seketika akibat beban hidup.	<u>Bentang</u> 180
- Lantai yang tidak memikul atau dipasang pada elemen-elemen non-struktural yang cenderung rusak oleh lendutan yang besar.	- Lendutan seketika akibat beban hidup.	<u>Bentang</u> 360
- Struktur atap atau lantai yang memikul atau dipasang pada elemen-elemen non-struktural yang cenderung rusak oleh lendutan yang besar.	- Lendutan total yang terjadi setelah pemasangan elemen - elemen non-struktural, jumlah lendutan jangka panjang akibat semua beban secara terus - menerus dan lendutan seketika akibat suatu beban hidup	<u>Bentang</u> 480
- Struktur atap atau lantai yang memikul atau dipasang pada elemen-elemen non-struktural yang cenderung tidak rusak oleh lendutan yang besar.		<u>Bentang</u> 240

Sumber : N. Krisna Raju, 1989

Dalam analisis ini besarnya lendutan akibat beban hidup yang terjadi pada pelat untuk masing-masing arah adalah sebagai berikut :

arah - x

$$\Delta_x = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{L(x)} \cdot L_x^2}{E_c \cdot I_c} \dots \dots \dots (3.21.a)$$

arah - y

$$\Delta_y = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{L(y)} \cdot L_y^2}{E_c \cdot I_c} \dots\dots\dots (3.21.b)$$

dengan :

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (3.22)$$

Sedangkan lendutan rata-rata dari kedua arah bentang tersebut adalah :

$$\Delta_{rt} = \frac{\Delta_x + \Delta_y}{2} \dots\dots\dots (3.23)$$

Adapun lendutan maksimum yang diijinkan adalah sebesar :

$$\Delta' = \frac{L_x}{360} \dots\dots\dots (3.24)$$

dengan :

Δ' = lendutan yang diijinkan (mm)

Δ_x = lendutan yang terjadi pada arah -x (mm)

Δ_y = lendutan yang terjadi pada arah -y (mm)

E_c = modulus elastis beton (Mpa)

3.8 Kapasitas Geser

Kekuatan tarik pada beton harus diperhitungkan secara teliti, karena sifat beton yang tidak tahan/kuat terhadap pengaruh tarik. Kekuatan tarik beton yang

cenderung lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan tekannya, maka kontrol terhadap pengaruh geser merupakan hal yang sangat penting.

Perilaku pelat beton prategang pada keadaan batas (ultimit) akibat pengaruh geser berbeda dengan keruntuhan akibat pengaruh lentur. Akibat pengaruh geser tersebut beton akan mengalami hancur secara langsung tanpa adanya gejala-gejala terlebih dahulu. Retak diagonal akibat geser juga akan lebih lebar dibandingkan dengan retak yang diakibatkan oleh pengaruh lentur.

Suatu tendon dengan eksentrisitas yang berbeda akan bekerja sebagai suatu kabel gantung, berfungsi untuk meringankan sebagian beban-beban eksternal yang mengakibatkan tegangan lentur dan tegangan geser. Jadi gaya lintang yang ditahan oleh tendon itu dapat dihitung, baik sebagai komponen vertikal dari tarikan tendon atau sebagai geseran yang ditimbulkan oleh perimbangan beban. Untuk itu kapasitas geser yang terjadi pada struktur pelat beton prategang sangat perlu dilakukan analisis yang teliti. Analisis terhadap pengaruh geser pada perencanaan ini didasarkan pada ketentuan-ketentuan yang telah ditetapkan oleh ACI-Code. Adapun ketentuan-ketentuan terhadap batas tahanan geser nominal yang terjadi pada struktur pelat yang mempunyai gaya prategang efektifnya tidak kurang dari 40% dari kekuatan tarik tendon oleh ACI-Code ditetapkan sebagai berikut ini.

$$V_c = \left(\frac{1}{20} \cdot \sqrt{f'_c} + \frac{5 \cdot V_u \cdot d_p}{M_u} \right) \cdot b_w \cdot d_p \dots\dots\dots (3.25)$$

dengan :

$$\frac{V_u \cdot d_p}{M_u} \leq 1,0$$

$$V_c < (0,4 \cdot \sqrt{f'_c}) \cdot b_w \cdot d_p \dots\dots\dots (3.26.a)$$

$$V_c \geq \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c}\right) \cdot b_w \cdot d_p \dots\dots\dots (3.26.b)$$

Sedangkan gaya geser yang terjadi pada pelat beton prategang dua arah khususnya pada panel tunggal menurut Edward G. Nawy (1996) adalah sebagai berikut ini.

arah - x

$$V_{u(x)} = \frac{1}{3} \cdot W_u \cdot L_x \dots\dots\dots (3.27.a)$$

arah - y

$$V_{u(y)} = \left(\frac{k \cdot W_u \cdot L_x}{2 \cdot k + 1}\right) \dots\dots\dots (3.27.b)$$

Sehingga kapasitas gaya geser yang terjadi harus kurang dari gaya geser yang diijinkan, seperti ditunjukkan pada rumus di bawah ini.

$$V_{u(x,y)} \leq V_u' = \phi \cdot V_c \dots\dots\dots (3.28)$$

dengan :

V_c = gaya geser yang disyaratkan (kN)

V_u' = gaya geser batas (ultimit) yang disyaratkan (kN)

$V_{u(x)}$ = gaya geser batas (ultimit) yang terjadi pada arah - x (kN)

$V_{u(y)}$ = gaya geser batas (ultimit) yang terjadi pada arah - y (kN)

W_u = beban batas (ultimit) yang terjadi (kN/m^2)

M_u = momen batas (ultimit) yang terjadi (kN-m)

b_w = lebar pias yang ditinjau (m^2)

d_p = jarak serat terluar penampang beton dengan titik berat tendon (mm)

L_x = panjang bentang arah - x (m)

k = perbandingan antara bentang arah - y dengan arah - x

ϕ = faktor reduksi kekuatan

3.9 Kapasitas Momen Retak

Terjadinya retak pada suatu elemen struktur diakibatkan karena terlampauinya tegangan tarik bahan. Dalam beberapa struktur, retak masih diijinkan dalam batas-batas tertentu sepanjang masih menjamin keamanan struktur. Menurut peraturan Inggris, India, dan CEB-FIP struktur beton prategang dikelompokkan kedalam tiga kelas, yaitu :

1. Struktur kelas I yaitu suatu struktur yang tidak mengijinkan adanya tegangan tarik dan oleh karena itu tidak akan terjadinya retakan akibat beban kerja. Pada kasus ini sering disebut prategang penuh (Full Prestressed).
2. Struktur kelas II yaitu suatu struktur dengan tegangan tariknya terbatas tetapi tidak diperkenankan adanya retakan yang terlihat akibat beban

kerja. Tegangan tarik dibatasi sampai nilai-nilai yang lebih kecil daripada modulus retak beton. Pada kasus ini sering disebut prategang sedang (Moderately Prestressed).

3. Struktur kelas III yaitu suatu struktur dengan tegangan tarik dan retakan diperkenankan akibat beban kerja. Pada kasus ini sering disebut prategang sebagian (Partially Prestressed).

Keadaan yang menunjukkan terjadinya retak adalah perubahan tegangan pada serat bawah, dimulai dari timbulnya kelebihan tegangan tarik akibat gaya prategang dan menjadi tegangan tarik sebesar modulus retak akibat beban eksternal. Momen yang menyebabkan retak-retak rambut dianalisis dengan metode perimbangan beban. Analisis ini berdasarkan anggapan bahwa retak mulai terjadi pada saat tegangan ekstrim mencapai modulus retak, sedangkan modulus retak yang disyaratkan ACI-Code adalah sebesar :

$$f_r = 0,620 \cdot \sqrt{f_c} \dots\dots\dots (3.29)$$

Momen retak lentur dihitung dengan persamaan tegangan serat tarik ekstrim berdasarkan pada penampang homogen. Sehingga dapat ditulis :

$$f_b = -\frac{P_e}{A_c} + \frac{M \cdot c}{I_c} \dots\dots\dots (3.30)$$

karena $f_b = f_r$, maka :

$$f_r = -\frac{P_e}{A_c} + \frac{M \cdot c}{I_c} \dots\dots\dots (3.31)$$

sehingga persamaan momen retak lentur adalah :

$$\frac{M_{cr} \cdot c}{I_c} = f_r + \frac{P_e}{A_c}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_c}{c} + \frac{P_e \cdot I_c}{A_c \cdot c}$$

$$M_{cr} = S_b \cdot \left(f_r + \frac{P_e}{A_c} \right) \dots \dots \dots (3.32)$$

dengan :

$$S_b = \frac{I_c}{c} \dots \dots \dots (3.33)$$

Sehingga momen retak lentur yang terjadi harus kurang dari momen batas (ultimit) rencana, seperti ditunjukkan pada rumus di bawah ini :

$$\phi \cdot M_n \geq 1,2 \cdot M_{cr} \dots \dots \dots (3.34)$$

dengan :

f_r = tegangan runtuh beton akibat lentur (Mpa)

f_b = tegangan serat tarik beton akibat lentur (Mpa)

M_{cr} = momen retak lentur yang terjadi (kN-m)

S_b = modulus penampang beton serat tarik (mm³)

c = titik berat penampang pelat beton (mm)

Tegangan tarik akibat lentur yang terjadi dalam beton, jika melampaui nilai modulus retaknya akan menghasilkan retak lentur penampang. Dalam kondisi retak beton prategang memerlukan perhatian khusus karena pemakaian baja mutu tinggi lebih sensitif terhadap kondisi lingkungan. Selain hal itu yang lebih penting adalah kemampuan struktur akibat retak. Terjadinya retak sedapat mungkin dihindari karena menyangkut kemampuan struktur dan harus dilakukan analisis kondisi retak terhadap perilaku struktur yang berkaitan dengan keamanan struktur itu sendiri.

Ada beberapa parameter yang mempengaruhi lebar retak yang terjadi pada penampang elemen struktur, antara lain :

- a. Karakteristik permukaan tulangan tarik, termasuk tendon prategang dan batang baja non-prategang.
- b. Letak baja pada penampang.
- c. Tebal selimut beton.
- d. Rasio total luasan baja dengan beton.
- e. Kenaikan tegangan baja pada penampang batang yang dibebani.
- f. Kekuatan tarik beton.
- g. Dimensi dan bentuk batang.

Secara ideal metode yang mengevaluasi retak harus berhubungan dengan pengaruh setiap variabel diatas.

BAB IV

PERENCANAAN PELAT BETON PRATEGANG

4.1 Gambaran Umum

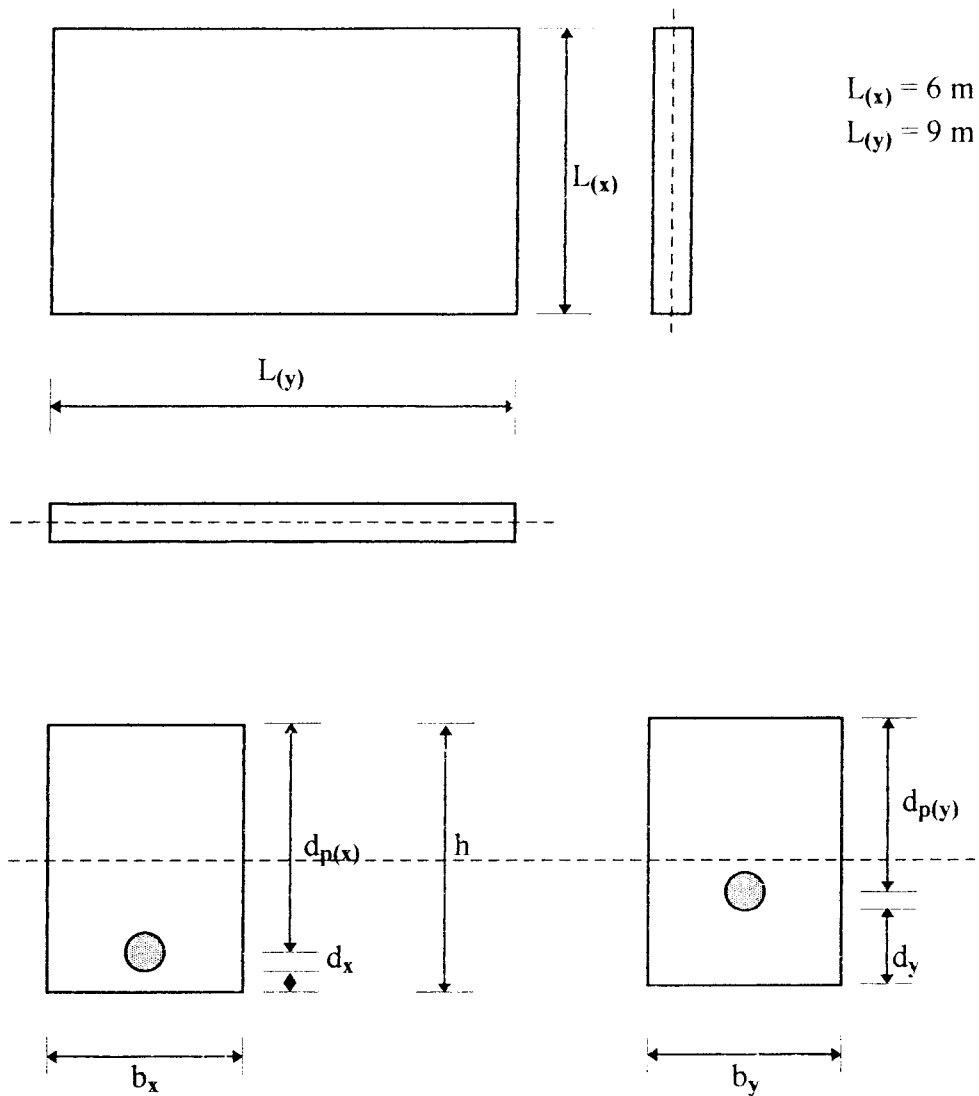
Untuk membuktikan dan memperjelas uraian yang telah diungkapkan pada bab-bab sebelumnya, pada bagian ini akan diberikan suatu aplikasi perencanaan pelat beton prategang dua arah khususnya pada panel tunggal dengan menggunakan metode perimbangan beban. Pembahasan yang akan dilakukan meliputi perhitungan kapasitas penampang pelat terhadap perilaku-perilaku struktur, yaitu defleksi, geser dan retak lentur.

Kondisi tumpuan diasumsikan bahwa pelat menumpu secara bebas pada dinding atau balok pada keempat sisinya. Kondisi struktur tumpuan tidak termasuk dalam analisis dan perencanaan. Tidak diperhitungkan adanya kekangan pada tumpuan terhadap pelat.

Panjang bentang pelat yang dianalisis untuk arah - x direncanakan bervariasi yaitu 5 m, 6 m, dan 7 m. Sedangkan untuk panjang bentang arah - y juga direncanakan bervariasi dengan pembatasan bahwa perbandingan panjang bentang arah - y terhadap arah - x lebih besar dari satu dan lebih kecil dari

$$\text{dua, } \left(1 < \frac{L_y}{L_x} < 2 \right).$$

4.2 Perencanaan Pelat Beton Prategang



Diketahui :

- Suatu struktur pelat beton prategang panel tunggal dua arah dihitung dengan metode perimbangan beban yang ditumpu secara bebas pada keempat sisinya. Sistem prategang pasca-tarik dengan tendon tidak terekat.

- Material yang digunakan :

- Beton :

$$f'_c = 40 \text{ Mpa}$$

$$f'_{ci} = 0.75 \cdot f'_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_{c(y)} = 1,379 \text{ Mpa (diasumsikan)}$$

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

- Baja :

tendon prategang yang digunakan adalah 7 kawat strand dengan ϕ

12,7 mm dengan $f_{pu} = 270 \text{ ksi}$

- Pembebanan :

$$W_D = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

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

- Kehilangan gaya prategang 20 %.

- Penyelesaian :

diambil :

$$d_x = 20 \text{ mm dan } d_y = 58 \text{ mm}$$

- Tebal pelat : dicari dengan pendekatan rumus (3.1)

$$h = \left(\frac{L_x + L_y}{2} \right) \cdot \frac{1}{45} = \left(\frac{6000 + 9000}{2} \right) \cdot \frac{1}{45} = 166,67 \text{ mm} \approx 170 \text{ mm} = 0,17 \text{ m}$$

- Jarak serat terluar penampang dengan titik berat tendon (tinggi efektif) :

$$d_{p(x)} = h - d_x - 0,5 \cdot \phi = 170 - 20 - (0,5 \cdot 12,7) = 143,65 \text{ mm}$$

$$d_{p(y)} = h - d_y - 0,5 \cdot \phi = 170 - 58 - (0,5 \cdot 12,7) = 105,65 \text{ mm}$$

- Eksentrisitas :

$$e_x = \frac{h}{2} - d_x - 0,5 \cdot \phi = \frac{170}{2} - 20 - 0,5 \cdot 12,7 = 58,65 \text{ mm}$$

$$e_y = \frac{h}{2} - d_y - 0,5 \cdot \phi = \frac{170}{2} - 58 - 0,5 \cdot 12,7 = 20,65 \text{ mm}$$

- Pelat ditinjau tiap 1 meter panjang (m').
 - Beban mati berat sendiri (W_o) = $0,17 \cdot 1 \cdot 24 = 4,08 \text{ kN/m'}$
 - Beban mati total (W_{D-tot}) = $0,8 + 4,08 = 4,88 \text{ kN/m'}$

- Tegangan-tegangan :

- Tegangan ijin beton :

- saat transfer :

$$\text{serat tekan} : 0,60 \cdot f'_{ci} = 0,60 \cdot 30 = 18 \text{ Mpa}$$

$$\text{serat tarik} : 0,25 \cdot \sqrt{f'_{ci}} = 0,25 \cdot \sqrt{30} = 1,3693 \text{ Mpa}$$

- saat layan/beban kerja :

$$\text{serat tekan} : 0,45 \cdot f'_c = 0,45 \cdot 40 = 18 \text{ Mpa}$$

$$\text{serat tarik} : 0,50 \cdot \sqrt{f'_c} = 0,50 \cdot \sqrt{40} = 3,1623 \text{ Mpa}$$

- Tegangan ijin baja :

$$f_{pu} = 270 \text{ ksi} = 1861,65 \text{ Mpa}$$

$$f_{py} = 0,85 \cdot f_{pu} = 0,85 \cdot 1861,65 = 1582,4025 \text{ Mpa}$$

- sesaat setelah transfer :

$$f_{ps} = 0,82 \cdot f_{py} = 0,82 \cdot 1582,4025 = 1297,5701 \text{ Mpa}$$

$$f_{ps} = 0,74 \cdot f_{pu} = 0,74 \cdot 1861,65 = 1377,6210 \text{ Mpa}$$

dipakai $f_{ps} = 1297,5701$ Mpa

- Gaya prategang efektif arah - y

$$P_{e(y)} = 1379 \cdot 1 \cdot 0,17 = 234,43 \text{ kN}$$

kehilangan prategang 20 %, atau $R = 0,80$ sehingga :

- Gaya prategang awal arah - y

$$P_{o(y)} = \frac{234,43}{1 - 0,20} = 293,0375 \text{ kN}$$

- Beban imbang arah -y

$$W_{(bal) y} = \frac{8 \cdot P_{e(y)} \cdot e_y}{L_y^2} = \frac{8 \cdot 234,43 \cdot 0,02065}{9^2} = 0,4781 \text{ kN/m}^2$$

- Beban imbang arah -x

$$\begin{aligned} W_{(bal) x} &= W_{D-tot} - W_{(bal) y} \\ &= 4,88 - 0,4781 = 4,4019 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- Gaya prategang efektif arah-x

$$P_{e(x)} = \frac{W_{(bal)x} \cdot L_x^2}{8 \cdot e_x} = \frac{4,4019 \cdot 6^2}{8 \cdot 0,05865} = 337,7417 \text{ kN}$$

- Gaya prategang awal arah-x

$$P_{o(x)} = \frac{337,7417}{1 - 0,20} = 422,1771 \text{ kN}$$

- Dari tabel yang dikeluarkan oleh Edward G. Nawy, didapat gaya prategang awal untuk 1 tendon setelah kawat diangkur, untuk jenis tendon 7 strand $\varnothing \frac{1}{2}$ " (12,7 mm) dengan $f_{pu} = 270$ ksi adalah sebesar $P_t = 28,9$ kips = 128,5472 kN.

- Menghitung jarak tendon arah - x :

$$s_x = \frac{P_t}{P_{\alpha(x)}} = \frac{128,5472}{422,1771} = 0,3045 \text{ m}$$

- Jumlah tendon arah - x setiap 1 (m²) adalah :

$$n = \frac{1000}{304,5} = 3,2841 \approx 4 \text{ buah}$$

- Menghitung jarak tendon arah - y :

$$s_y = \frac{P_t}{P_{\alpha(y)}} = \frac{128,5472}{293,0375} = 0,4387 \text{ m}$$

- Jumlah tendon arah - y setiap 1 (m²) adalah :

$$n = \frac{1000}{438,7} = 2,2795 \approx 3 \text{ buah}$$

- Untuk memperkuat penampang pelat beton dari pengaruh retak yang diakibatkan oleh gaya prategang khususnya pada daerah angkur, ditambahkan tulangan non-prategang.
- Menghitung momen :

Untuk mencari koefisien momen pada keadaan beban mati total dan beban hidup bekerja, dapat dilihat dari grafik yang dikeluarkan oleh Edward G.

Nawy (1996). Untuk $\frac{L_y}{L_x} = \frac{9}{6} = 1,50$ didapat koefisien momen pada

masing-masing arah sebagai berikut :

- $\alpha_x = 0,105$
- $\alpha_y = 0,020$

- sehingga momen akibat beban mati total adalah :

$$M_{D(x)} = 0,105 \cdot (4,88) \cdot 6^2 = 18,4464 \text{ kN-m}$$

$$M_{D(y)} = 0,020 \cdot (4,88) \cdot 9^2 = 7,9056 \text{ kN-m}$$

- momen akibat beban hidup :
- Beban hidup (W_L) = 2,50 kN/m²

$$M_{L(x)} = 0,105 \cdot 2,5 \cdot 6^2 = 9,450 \text{ kN-m}$$

$$M_{L(y)} = 0,020 \cdot 2,5 \cdot 9^2 = 4,050 \text{ kN-m}$$

- momen Inersia penampang :

$$I_c = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 1000 \cdot 170^3 = 4,0942 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$c = \frac{h}{2} = \frac{170}{2} = 85 \text{ mm}$$

- Tegangan-tegangan yang terjadi pada saat layan (beban hidup bekerja) :

- arah - x

$$\begin{aligned} f_{t(x)} &= - \frac{P_{e(x)}}{b \cdot h} - \frac{M_{L(x)} \cdot c_x}{I_c} \\ &= - \frac{337,7417 \cdot 10^3}{1000 \cdot 170} - \frac{9,450 \cdot 10^6 \cdot 85}{4,0942 \cdot 10^8} \\ &= - 1,9867 - 1,9619 = - 3,9486 \text{ Mpa} < - 18 \text{ Mpa (OK)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{b(x)} &= - \frac{P_{e(x)}}{b \cdot h} + \frac{M_{L(x)} \cdot c_x}{I_c} \\ &= - \frac{337,7417 \cdot 10^3}{1000 \cdot 170} + \frac{9,450 \cdot 10^6 \cdot 85}{4,0942 \cdot 10^8} \\ &= - 1,9867 + 1,9619 = - 0,0248 \text{ Mpa} < 3,1623 \text{ Mpa (OK)} \end{aligned}$$

- arah - y

$$\begin{aligned}
 f_{t(y)} &= -\frac{P_{e(y)}}{b \cdot h} - \frac{M_{L(y)} \cdot c_y}{I_c} \\
 &= -\frac{234,43 \cdot 10^3}{1000 \cdot 170} - \frac{4,050 \cdot 10^6 \cdot 85}{4,0942 \cdot 10^8} \\
 &= -1,379 - 0,8408 = -2,2198 \text{ Mpa} < -18 \text{ Mpa (OK)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{b(y)} &= -\frac{P_{e(y)}}{b \cdot h} + \frac{M_{L(y)} \cdot c_y}{I_c} \\
 &= -\frac{234,43 \cdot 10^3}{1000 \cdot 170} + \frac{4,050 \cdot 10^6 \cdot 85}{4,0942 \cdot 10^8} \\
 &= -1,379 + 0,8408 = -0,5382 \text{ Mpa} < 3,1623 \text{ Mpa (OK)}
 \end{aligned}$$

- Tegangan-tegangan yang terjadi pada saat transfer (beban mati total bekerja):

- arah - x

$$\begin{aligned}
 f_{t(x)} &= -\frac{P_{o(x)}}{b \cdot h} + \frac{M_{D(x)} \cdot c_x}{I_c} \\
 &= -\frac{422,1771 \cdot 10^3}{1000 \cdot 170} + \frac{18,4464 \cdot 10^6 \cdot 85}{4,0942 \cdot 10^8} \\
 &= -2,4834 + 3,8297 = 1,3463 \text{ Mpa} < 1,3693 \text{ Mpa (OK)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{b(x)} &= -\frac{P_{o(x)}}{b \cdot h} - \frac{M_{D(x)} \cdot c_x}{I_c} \\
 &= -\frac{422,1771 \cdot 10^3}{1000 \cdot 170} - \frac{18,4464 \cdot 10^6 \cdot 85}{4,0942 \cdot 10^8} \\
 &= -2,4834 - 3,8297 = -6,3131 \text{ Mpa} < -18 \text{ Mpa (OK)}
 \end{aligned}$$

- arah - y

$$\begin{aligned}
 f_{t(y)} &= -\frac{P_{o(y)}}{b \cdot h} + \frac{M_{D(y)} \cdot c_y}{I_c} \\
 &= -\frac{293,0375 \cdot 10^3}{1000 \cdot 170} + \frac{7,9056 \cdot 10^6 \cdot 85}{4,0942 \cdot 10^8} \\
 &= -1,7238 + 1,6413 = -0,0825 \text{ Mpa} < 1,3693 \text{ Mpa (OK)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{b(y)} &= -\frac{P_{o(y)}}{b \cdot h} - \frac{M_{D(y)} \cdot c_y}{I_c} \\
 &= -\frac{293,0375 \cdot 10^3}{1000 \cdot 170} - \frac{7,9056 \cdot 10^6 \cdot 85}{4,0942 \cdot 10^8} \\
 &= -1,7238 - 1,6413 = -3,3651 \text{ Mpa} < -18 \text{ Mpa (OK)}
 \end{aligned}$$

• Kontrol defleksi pada saat layan :

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} = 4700 \cdot \sqrt{40} = 29725,41 \text{ Mpa}$$

- arah - x

$$\Delta_x = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{L(x)} \cdot L_x^2}{E_c \cdot I_c} = \frac{5}{48} \cdot \frac{9,450 \cdot 10^6 \cdot (6000)^2}{29725,41 \cdot 4,0942 \cdot 10^8} = 2,9118 \text{ mm}$$

- arah - y

$$\Delta_y = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{L(y)} \cdot L_y^2}{E_c \cdot I_c} = \frac{5}{48} \cdot \frac{4,050 \cdot 10^6 \cdot (9000)^2}{29725,41 \cdot 4,0942 \cdot 10^8} = 2,8078 \text{ mm}$$

- defleksi rata-rata :

$$\Delta_{rt} = \frac{2,9118 + 2,8078}{2} = 2,8598 \text{ mm}$$

- Batas defleksi yang yang diijinkan :

$$\Delta = \frac{L_x}{360} = \frac{6000}{360} = 16,6667 \text{ mm} \gg 2,8598 \text{ mm (OK !!)}$$

1. Kapasitas Lentur

- arah - x

- Beban ultimit :

$$W_u = (1,4 \cdot 4,88) + (1,7 \cdot 2,5) = 11,082 \text{ kN/m}'$$

- Menghitung momen :

Untuk mencari koefisien momen pada keadaan batas (ultimit), dapat dilihat dari grafik yang dikeluarkan oleh Edward G. Nawy (1996). Untuk

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{9}{6} = 1,50 \text{ didapat koefisien momen pada masing-masing arah}$$

sebagai berikut :

- $\alpha_x = 0,105$

- $\alpha_y = 0,020$

- Momen batas (ultimit) yang terjadi adalah :

- $M_{u(x)} = 0,105 \cdot (11,082) \cdot 6^2 = 41,8900 \text{ kN-m}$

- Momen nominal yang terjadi adalah :

- $M_{n(x)} = \frac{41,8900}{0,9} = 46,5444 \text{ kN-m}$

- $A_{ps} = 98,7095 \text{ mm}^2$ dengan jarak $s_x = 0,3045 \text{ m}$

$$f_{pe} = \frac{P_t \cdot R}{A_{ps}} = \frac{128,5472 \cdot 0,8}{98,7095} = 1041,8223 \text{ Mpa}$$

$$- A_{ps(x)} = \frac{A_{ps}}{s_x} = \frac{98,7095}{0,3045} = 324,1691 \text{ mm}^2/\text{m}$$

- rasio tulangan prategang :

$$\rho_{p(x)} = \frac{A_{ps(x)}}{b_x \cdot d_{p(x)}} = \frac{324,1691}{1000 \cdot 143,65} = 0,0022567$$

- tegangan baja prategang :

$$f_{ps(x)}' = f_{pe} + 70 + \frac{f_c}{300 \cdot \rho_{p(x)}} \leq f_{py} = 1582,4025 \text{ Mpa}$$

$$f_{ps(x)} = 1041,8223 + 70 + \frac{40}{300 \cdot 0,0022567} = 1170,9056 < 1582,4025 \text{ Mpa}$$

(OK)

- tinggi blok tegangan tekan :

$$a_x = \frac{A_{ps(x)} \cdot f_{ps(x)}}{0,85 \cdot f_c \cdot b_x} = \frac{324,1691 \cdot 1170,9056}{0,85 \cdot 40 \cdot 1000} = 11,1639 \text{ mm}$$

- kuat momen nominal rencana :

$$M_{n(x)}' = A_{ps(x)} \cdot f_{ps(x)} \cdot \left(d_{p(x)} - \frac{a_x}{2} \right) \geq M_{n(x)}$$

$$M_{n(x)}' = 324,1691 \cdot 1170,9056 \cdot \left(143,65 - \frac{11,1639}{2} \right) = 52,4067 \text{ kN-m} >$$

$$46,5444 \text{ kN-m}$$

(OK)

- kuat momen batas (ultimit) rencana :

$$M_{u(x)}' = 0,9 \cdot M_{n(x)}' = 0,9 \cdot 52,4067 = 47,1660 \text{ kN-m}$$

- arah - y

- momen batas (ultimit) yang terjadi :

$$M_{u(y)} = 0,020 \cdot (11,082) \cdot 9^2 = 17,9528 \text{ kN-m}$$

- momen nominal yang terjadi :

$$M_{n(y)} = \frac{17,9528}{0,9} = 19,9476 \text{ kN-m}$$

- $A_{ps} = 98,7095 \text{ mm}^2$ dengan jarak $s_y = 0,4387 \text{ m}$

$$A_{ps(y)} = \frac{A_{ps}}{s_y} = \frac{98,7095}{0,4387} = 225,0046 \text{ mm}^2/\text{m}$$

- rasio tulangan prategang :

$$\rho_{p(y)} = \frac{A_{ps(y)}}{b_y \cdot d_{p(y)}} = \frac{225,0046}{1000 \cdot 105,65} = 0,0021297$$

- tegangan baja prategang :

$$f_{ps(y)} = f_{pe} + 70 + \frac{f'_c}{300 \cdot \rho_{p(y)}} \leq f_{py} = 1582,4025 \text{ Mpa}$$

$$f_{ps(y)} = 1041,8223 + 70 + \frac{40}{300 \cdot 0,0021297} = 1174,4289 < 1582,4025 \text{ Mpa}$$

(OK)

- tinggi blok tegangan tekan :

$$a_y = \frac{A_{ps(y)} \cdot f_{ps(y)}}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_y} = \frac{225,0046 \cdot 1174,4289}{0,85 \cdot 40 \cdot 1000} = 7,7721 \text{ mm}$$

- kuat momen nominal rencana :

$$M_{n(y)}' = A_{ps(y)} \cdot f_{ps(y)} \cdot \left(d_{p(y)} - \frac{a_y}{2} \right) \geq M_{n(y)}$$

$$M_{n(y)'} = 225,0046 \cdot 1174,4289 \cdot \left(105,65 - \frac{7,7721}{2}\right) = 26,8913 \text{ kN-m} >$$

$$46,5444 \text{ kN-m} \quad (\text{OK})$$

- kuat momen batas (ultimit) rencana :

$$M_{u(y)'} = 0,9 \cdot M_{n(y)'} = 0,9 \cdot 26,8913 = 24,2022 \text{ kN-m}$$

2. Kapasitas Geser

- arah-x

$$V_{u(x)} = \frac{1}{3} \cdot W_u \cdot L_x = \frac{1}{3} \cdot 11,082 \cdot 6 = 22,1640 \text{ kN}$$

- Gaya geser maksimum yang diijinkan :

$$V_{c(x)} = 0,4 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d_{p(x)}$$

$$V_{c(x)} = 0,4 \cdot \sqrt{40} \cdot 1000 \cdot 143,65 = 363,4080 \text{ kN}$$

$$V_{u(x)'} = \phi \cdot V_{c(x)} = 0,85 \cdot 363,4080 = 308,8968 \text{ kN}$$

- arah-y

$$V_{u(y)} = \left(\frac{k \cdot W_u \cdot L_x}{2 \cdot k + 1} \right) = \left(\frac{1,5 \cdot 11,082 \cdot 6}{2 \cdot 1,5 + 1} \right) = 24,9345 \text{ kN}$$

- Gaya geser maksimum yang diijinkan :

$$V_{c(y)} = 0,4 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d_{p(y)}$$

$$V_{c(y)} = 0,4 \cdot \sqrt{40} \cdot 1000 \cdot 105,65 = 267,2757 \text{ kN}$$

$$V_{u(y)'} = \phi \cdot V_{c(y)} = 0,85 \cdot 267,2757 = 227,1844 \text{ kN}$$

3. Kapasitas Retak Lentur

Momen retak lentur terjadi akibat adanya tegangan tarik pada penampang pelat beton prategang yang melebihi dari tegangan-tegangan tarik beton yang diijinkan.

Momen retak lentur yang terjadi pada pelat ukuran 6x9 m, “aman” terhadap tegangan tarik yang diijinkan dan modulus retak beton, yaitu sebesar

$$f_r = 0.62\sqrt{f'_c} = 0.62 \cdot \sqrt{40} = 3,9212 \text{ Mpa.}$$

Karena momen retak lentur yang terjadi sama dengan momen akibat beban mati total yang bekerja pada struktur, maka besarnya kapasitas momen batas (ultimit) rencana pada penampang pelat beton jauh lebih besar daripada momen retak lentur yang terjadi. Sehingga struktur dinyatakan aman terhadap pengaruh retak lentur.

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Hasil Analisis Hitungan

Beberapa hal yang dapat diperoleh dari perhitungan analisis penampang pelat prategang pasca-tarik dengan tendon tak terekat adalah kapasitas penampang pelat beton terhadap kekuatan lentur. Kapasitas penampang pelat tersebut dapat diketahui secara pasti, sehingga meyakinkan akan ketepatan hasil rancangan. Hal itu dapat dijadikan sebagai referensi dalam merencanakan pelat beton prategang terhadap kekuatan lentur, geser dan retak yang terjadi. Dengan demikian dalam perencanaan selanjutnya dapat menghasilkan suatu penampang pelat beton prategang yang lebih ekonomis.

Dalam analisis kapasitas penampang yang mampu menahan lentur, geser dan retak ini dapat diketahui besarnya tegangan yang terjadi pada tahap-tahap tertentu, misalnya pada tahap penarikan (transfer) dan pada tahap beban layan telah bekerja. Kekuatan lentur suatu penampang pelat beton prategang tergantung dari beberapa parameter yaitu jumlah tulangan prategang, dimensi penampang, karakteristik dan kekuatan bahan, kekuatan penarikan tendon, dan kehilangan gaya prategang total yang akan mereduksi kekuatan gaya penarikan.

Untuk kehilangan gaya prategang total dalam analisis ini ditetapkan sebesar 20% yang meliputi dua tahap, yaitu tahap sesaat setelah transfer dan setelah beban

layan telah bekerja. Dalam tahap sesaat setelah transfer gaya prategang, kehilangan gaya prategang itu adalah akibat gesekan (friction), slip ankur, dan deformasi elastis beton.

Pada tahap tersebut tegangan tendon harus lebih kecil dari tegangan tendon yang diijinkan setelah transfer gaya prategang sebesar $0,70 f_{pu}$. Sedangkan pada saat beban layan bekerja tegangan tendon berangsur-angsur berkurang akibat susut dan rangkak beton serta relaksasi baja. Setelah memperhitungkan semua kehilangan gaya prategang pada kedua tahap tersebut maka tegangan tendon akan menjadi tegangan efektif (f_{pe}).

Untuk pelat beton prategang dengan tendon tidak terekat, tegangan rata-rata pada penampang pelat beton yang diakibatkan oleh gaya prategang efektif oleh ACI-Code ditetapkan sebesar 0,86 Mpa sampai 3,5 Mpa. Dalam analisis pelat beton prategang ini tegangan rata-rata yang terjadi pada penampang arah-y akibat gaya prategang efektif diasumsikan sebesar 1,379 Mpa. Besarnya tegangan tersebut diambil sedemikian rupa, sehingga pada tahap saat transfer dan tahap saat layan tegangan-tegangan yang terjadi pada arah-y tidak melebihi dari tegangan-tegangan tarik yang diijinkan, baik itu terhadap bentang arah-x dan arah-y. Adapun tegangan yang diasumsikan tersebut lebih ditekankan pada tegangan tarik penampang beton karena sebagai kontrol terhadap retak yang terjadi pada struktur pelat beton prategang itu sendiri.

Analisis penampang pelat beton prategang tergantung dari ukuran pelat itu sendiri, semakin besar ukuran pelat semakin besar pula tebal penampang yang direncanakan. Untuk itu dianalisis penampang pelat beton prategang yang

ekonomis serta mampu menahan lentur, geser, dan retak lentur dengan menggunakan material beton, baja prategang, penutup beton yang sama dan ukuran pelat yang berbeda-beda.

5.2 Hasil Pembahasan dari Berbagai Analisis

Beberapa perencanaan struktur pelat beton prategang dengan dimensi pelat yang berbeda-beda, tetapi digunakan material beton, baja prategang serta penutup beton yang sama akan menghasilkan kekuatan penampang pelat yang bervariasi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel-tabel dibawah ini.

Tabel 5.1 Perhitungan dengan lebar pelat 5 meter

Dimensi Analisis	5 x 6 (m)	5 x 7 (m)	5 x 8 (m)	5 x 9 (m)
h (mm)	130	140	150	160
d_x (mm)	20	20	20	20
d_y (mm)	58	58	58	58
$d_{p(x)}$ (mm)	103,65	113,65	123,65	133,65
$d_{p(y)}$ (mm)	65,65	75,65	85,65	95,65
e_x (mm)	38,65	43,65	48,65	53,65
e_y (mm)	0,65	5,65	10,65	15,65
$P_{o(x)}$ (kN)	393,5661	356,3413	331,1761	313,0097
$P_{o(y)}$ (kN)	224,0875	241,3250	258,5625	275,8000
$P_{e(x)}$ (kN)	314,8528	285,0730	264,9409	250,4077
$P_{e(y)}$ (kN)	179,2700	193,0600	206,8500	220,6400
$W_{bal(x)}$ (kN/m ²)	3,8941	3,9819	4,1246	4,2990
$W_{bal(y)}$ (kN/m ²)	0,0259	0,1781	0,2754	0,3410
P_t (kN)	128,5472	128,5472	128,5472	128,5472
S_x (m)	0,3266	0,3607	0,3882	0,4107
S_y (m)	0,5736	0,5327	0,4972	0,4661
k	1,2	1,4	1,6	1,8
α_x	0,084	0,099	0,108	0,114
α_y	0,041	0,027	0,018	0,011
$M_{D(x)}$ (kN-m)	8,2320	10,2960	11,8800	13,2240
$M_{D(y)}$ (kN-m)	5,7859	5,5037	5,0688	4,1342

$M_{L(x)}$ (kN-m)	5,2500	6,1875	6,7500	7,1250
$M_{L(y)}$ (kN-m)	3,6900	3,3075	2,8800	2,2275
I_c (mm^4)	1,8308E8	2,2867E8	2,8125E8	3,4133E8
c (mm)	65	70	75	80
$f_{tD(x)}$ (Mpa)	- 0,1048	+ 0,6065	+ 0,9602	+ 1,1427
$f_{bD(x)}$ (Mpa)	- 5,9500	- 5,6971	- 5,3758	- 5,0553
$f_{tD(y)}$ (Mpa)	+ 0,3305	- 0,0390	- 0,3721	- 0,7548
$f_{bD(y)}$ (Mpa)	- 3,7780	- 3,4086	- 3,0755	- 2,6928
$f_{tL(x)}$ (Mpa)	- 4,2859	- 3,9303	- 3,5663	- 3,2349
$f_{bL(x)}$ (Mpa)	- 0,5580	- 0,1421	+ 0,0337	+ 0,1049
$f_{tL(y)}$ (Mpa)	- 2,6891	- 2,3915	- 2,1470	- 1,9011
$f_{bL(y)}$ (Mpa)	- 0,0689	- 0,3665	- 0,6110	- 0,8569
E_c (Mpa)	29725,41	29725,41	29725,41	29725,41
Δ_x (mm)	2,5122	2,3705	2,1026	1,8287
Δ_y (mm)	2,5427	2,4836	0,8971	1,8524
Δ_{rt} (mm)	2,5275	2,4271	1,4999	1,8406
Δ' (mm)	13,8889	13,8889	13,8889	13,8889
$M_{u(x)}$ (kN-m)	20,4498	24,9332	28,1070	30,6261
$M_{u(y)}$ (kN-m)	14,3733	13,3279	11,9923	9,5747
$M_{n(x)}$ (kN-m)	22,7220	27,7035	31,2300	34,0290
$M_{n(y)}$ (kN-m)	15,9703	14,8088	13,3248	10,6385
$A_{ps(x)}$ (mm^2/m')	302,2336	273,6609	254,2749	240,3445
$A_{ps(y)}$ (mm^2/m')	172,0877	185,3004	198,5308	211,7775
$\rho_p(x)$	0,0029159	0,0024079	0,0020564	0,0017983
$\rho_p(y)$	0,0026213	0,0024494	0,0023179	0,0022141
$f_{ps(x)}$ (Mpa)	1157,5486	1166,1956	1176,6605	1185,9664
$f_{ps(y)}$ (Mpa)	1162,6878	1165,2574	1169,3456	1172,0424
a_x (mm)	10,2897	9,3865	8,7999	8,8335
a_y (mm)	5,8848	6,3507	6,8280	7,3004
$M_{n(x)'} (kN-m)$	34,4620	34,7727	35,6790	36,9008
$M_{n(y)'} (kN-m)$	12,5468	15,6489	19,0912	22,8355
$M_{u(x)'} (kN-m)$	31,0158	31,2954	32,1111	33,2107
$M_{u(y)'} (kN-m)$	11,2921	14,0840	17,1821	20,5520
$V_{u(x)}$ (kN)	16,2300	16,7900	17,3500	17,9100
$V_{u(y)}$ (kN)	17,1847	18,5574	19,8286	21,0248
$V_{e(x)}$ (kN)	262,2161	287,5143	312,8125	338,1107
$V_{e(y)}$ (kN)	166,0828	191,3810	216,6793	241,9775
$V_{u(x)'} (kN)$	222,8837	244,3871	265,8906	287,3941
$V_{u(y)'} (kN)$	141,1704	162,6739	184,1774	205,6809

Tabel 5.2 Perhitungan dengan lebar pelat 6 meter

Dimensi Analisis	6 x 7 (m)	6 x 8 (m)	6 x 9 (m)	6 x 10 (m)	6 x 11 (m)
h (mm)	150	160	170	180	190
d _x (mm)	20	20	20	20	20
d _y (mm)	58	58	58	58	58
d _{p(x)} (mm)	123,65	133,65	143,65	153,65	165,65
d _{p(y)} (mm)	85,65	95,65	105,65	115,65	125,65
e _x (mm)	48,65	53,65	58,65	63,65	68,65
e _y (mm)	10,65	15,65	20,65	25,65	30,65
P _{o(x)} (kN)	467,1467	441,2349	422,1771	407,4656	395,6837
P _{o(y)} (kN)	258,5625	275,8000	293,0375	310,2750	327,5125
P _{e(x)} (kN)	373,7174	352,9879	337,7417	325,9725	316,5470
P _{e(y)} (kN)	208,8500	220,6400	234,4300	248,2200	262,0100
W _{bal(x)} (kN/m ²)	4,0403	4,2084	4,4019	4,6107	4,8291
W _{bal(y)} (kN/m ²)	0,3597	0,4316	0,4781	0,5093	0,5309
P _t (kN)	128,5472	128,5472	128,5472	128,5472	128,5472
S _x (m)	0,2752	0,2913	0,3045	0,3155	0,3249
S _y (m)	0,4972	0,4661	0,4387	0,4143	0,3925
k	1,1667	1,3333	1,5	1,6667	1,8333
α _x	0,080	0,094	0,105	0,110	0,114
α _y	0,045	0,030	0,020	0,014	0,010
M _{D(x)} (kN-m)	12,6720	15,7018	18,4464	20,2752	21,9974
M _{D(y)} (kN-m)	9,7020	8,9088	7,9050	7,1680	5,3600
M _{L(x)} (kN-m)	7,2000	8,4600	9,4500	9,9000	10,2600
M _{L(y)} (kN-m)	5,5125	4,8000	4,0500	3,5000	2,5000
I _c (mm ⁴)	2,8125E8	3,4133E8	4,0942E8	4,8600E8	5,7158E8
c (mm)	75	80	85	90	95
f _{tD(x)} (Mpa)	+ 0,2649	+ 0,9224	+ 1,3463	+ 1,4910	+ 1,5736
f _{bD(x)} (Mpa)	- 6,4935	- 6,4378	- 6,3131	- 6,0184	- 5,7386
f _{tD(y)} (Mpa)	+ 0,8634	+ 0,3642	- 0,0825	- 0,3964	- 0,8329
f _{bD(y)} (Mpa)	- 4,3110	- 3,8118	- 3,3651	- 3,0512	- 2,6147
f _{tL(x)} (Mpa)	- 4,4114	- 4,1890	- 3,9486	- 3,6443	- 3,3713
f _{bL(x)} (Mpa)	- 0,5714	- 0,2234	- 0,0248	+ 0,0223	+ 0,0393
f _{tL(y)} (Mpa)	- 2,8490	- 2,5040	- 2,2198	- 2,0271	- 17945
f _{bL(y)} (Mpa)	+ 0,0910	- 0,2540	- 0,5382	- 0,7309	- 0,9635
E _c (Mpa)	29725,41	29725,41	29725,41	29725,41	29725,41
Δ _x (mm)	3,2296	3,1268	2,9118	2,5698	2,2645
Δ _y (mm)	3,3655	3,1539	2,8078	2,5537	1,5327
Δ _{rt} (mm)	3,2976	3,1404	2,8598	2,5618	1,8986
Δ' (mm)	16,6667	16,6667	16,6667	16,6667	16,6667

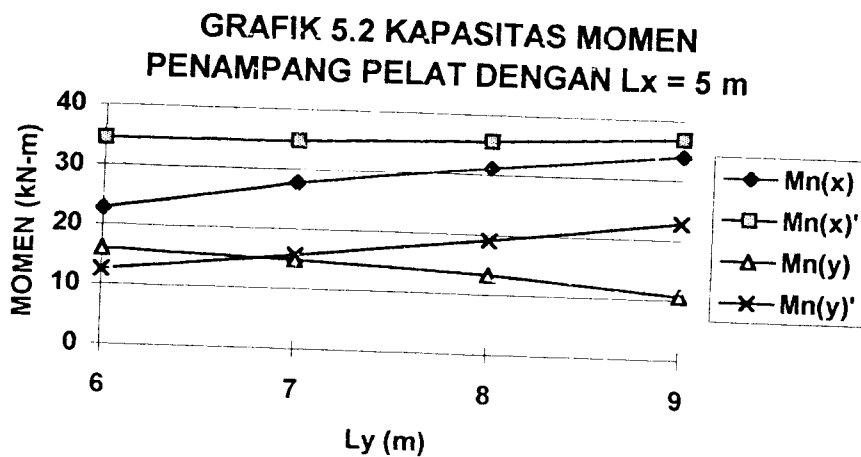
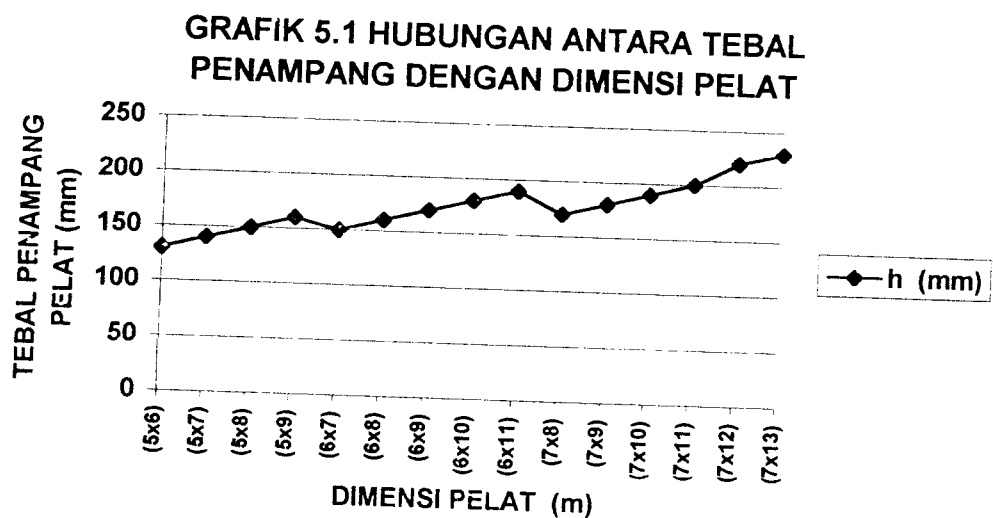
$M_{u(x)}$ (kN-m)	29,9808	36,3645	41,8900	45,2153	48,2384
$M_{u(y)}$ (kN-m)	22,9541	20,6323	17,9528	15,9852	11,7540
$M_{n(x)}$ (kN-m)	33,3120	40,4050	46,5444	50,2392	53,5982
$M_{n(y)}$ (kN-m)	25,5045	22,9248	19,9476	17,7613	13,0600
$A_{ps(x)}$ (mm ² /m ²)	358,6828	338,8586	324,1691	312,8669	303,8150
$A_{ps(y)}$ (mm ² /m ²)	198,5308	211,7775	225,0046	238,2561	251,4892
$\rho_p(x)$	0,0029008	0,0025354	0,0022567	0,0020362	0,0018565
$\rho_p(y)$	0,0023179	0,0022140	0,0021297	0,0020601	0,0020015
$f_{ps(x)}$ (Mpa)	1157,7868	1164,4110	1170,9056	1177,3038	1183,6420
$f_{ps(y)}$ (Mpa)	1169,3456	1172,0451	1174,4289	1176,5441	1178,4390
a_x (mm)	12,2141	11,6050	11,1639	10,8335	10,5767
a_y (mm)	6,8280	7,3004	7,7721	8,2447	8,7166
$M_{n(x)'} (kN-m)$	48,8130	50,4449	52,4067	54,6001	56,9481
$M_{n(y)'} (kN-m)$	19,0912	22,8355	26,8913	31,2633	35,9466
$M_{u(x)'} (kN-m)$	43,9317	45,4004	47,1660	49,1401	51,2533
$M_{u(y)'} (kN-m)$	17,1821	20,5520	24,2022	28,1370	32,3519
$V_{u(x)}$ (kN)	20,8200	21,4920	22,1640	22,8360	23,5080
$V_{u(y)}$ (kN)	21,8612	23,4457	24,9345	26,3494	27,7057
$V_{c(x)}$ (kN)	312,8125	338,1107	363,4089	388,7072	414,0054
$V_{c(y)}$ (kN)	216,6793	241,9775	267,2757	292,5739	317,8722
$V_{u(x)'} (kN)$	265,8906	287,3941	308,8976	330,4011	351,9046
$V_{u(y)'} (kN)$	184,1774	205,6809	227,1844	248,6878	270,1913

Tabel 5.3 Perhitungan dengan lebar pelat 7 meter

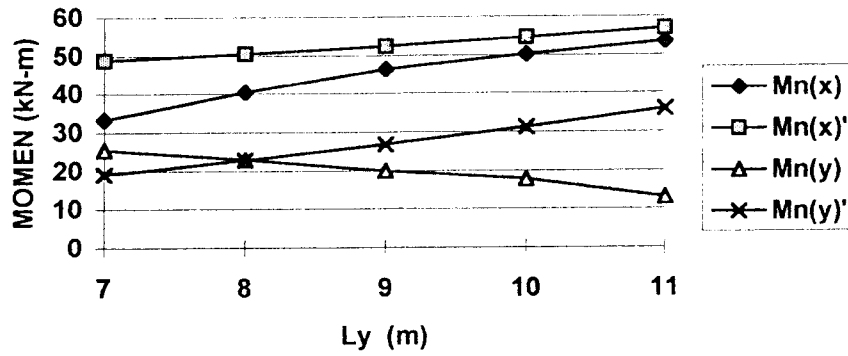
Dimensi Analisis	7 x 8 (m)	7 x 9 (m)	7 x 10 (m)	7 x 11 (m)	7 x 12 (m)	7 x 13 (m)
h (mm)	170	180	190	200	220	230
d_x (mm)	20	20	20	20	20	20
d_y (mm)	58	58	58	58	58	58
$d_{p(x)}$ (mm)	143,65	153,65	163,65	173,65	193,65	203,65
$d_{p(y)}$ (mm)	105,65	115,65	125,65	135,65	155,65	165,65
e_x (mm)	58,65	63,65	68,65	73,65	83,65	88,65
e_y (mm)	20,65	25,65	30,65	35,65	45,65	50,65
$P_{o(x)}$ (kN)	558,0513	540,2317	526,1344	514,5645	486,0643	480,1458
$P_{o(y)}$ (kN)	293,0375	310,2750	327,8125	344,7500	379,2250	396,4625
$P_{e(x)}$ (kN)	446,4410	432,1854	420,9075	411,6516	388,8515	384,1166
$P_{e(y)}$ (kN)	234,4300	248,2200	262,0100	275,8000	303,3800	317,1700
$W_{bal(x)}$ (kN/m ²)	4,2749	4,4912	4,7176	4,9499	5,3106	5,5595
$W_{bal(y)}$ (kN/m ²)	0,6051	0,6288	0,6424	0,6501	0,7694	0,7605
P_f (kN)	128,5472	128,5472	128,5472	128,5472	128,5472	128,5472
S_x (m)	0,2304	0,2379	0,2443	0,2498	0,2645	0,2677
S_y (m)	0,4387	0,4143	0,3925	0,3729	0,3390	0,3242

k	1,1429	1,2857	1,4286	1,5714	1,7143	1,8571
α_x	0,079	0,090	0,100	0,108	0,112	0,115
α_y	0,046	0,034	0,025	0,018	0,013	0,010
$M_{D(x)}$ (kN-m)	18,8905	22,5192	26,2640	29,6352	33,3670	35,6132
$M_{D(y)}$ (kN-m)	14,3667	14,1005	13,4000	12,1968	11,3818	10,6808
$M_{L(x)}$ (kN-m)	9,6775	11,0250	12,2500	13,2300	13,7200	14,0875
$M_{L(y)}$ (kN-m)	7,3600	6,8850	6,2500	5,4450	4,680	4,2250
I_c (mm ⁴)	4,0942E8	4,8600E8	5,7158E8	6,6667E8	8,8733E8	10,139E8
c (mm)	85	90	95	100	110	115
$f_{tD(x)}$ (Mpa)	+ 0,6392	+ 1,1800	+ 1,5961	+ 1,8725	+ 1,9270	+ 1,9517
$f_{bD(x)}$ (Mpa)	- 7,2046	- 7,1826	- 7,1343	- 7,0181	- 6,3458	- 6,1269
$f_{tD(y)}$ (Mpa)	+ 1,2589	+ 0,8874	+ 0,5034	+ 0,1057	+ 0,0320	- 0,1676
$f_{bD(y)}$ (Mpa)	- 4,7065	- 4,3350	- 3,9510	- 3,5533	- 2,7900	- 2,5904
$f_{tL(x)}$ (Mpa)	- 4,6353	- 4,4427	- 4,2373	- 4,0428	- 3,4683	- 3,2679
$f_{bL(x)}$ (Mpa)	- 0,6169	+ 0,3593	- 0,1793	- 0,0738	- 0,0667	- 0,0723
$f_{tL(y)}$ (Mpa)	- 2,9070	- 2,6540	- 2,4178	- 2,1957	- 2,3040	- 2,2030
$f_{bL(y)}$ (Mpa)	+ 0,1490	- 0,1040	- 0,3402	- 0,5623	- 1,1435	- 1,2446
E_c (Mpa)	29725,41	29725,41	29725,41	29725,41	29725,41	29725,41
Δ_x (mm)	4,0587	3,8953	3,6801	3,4076	2,6550	2,3858
Δ_y (mm)	4,0317	4,0212	3,8318	3,4632	2,6615	2,4678
Δ_{rt} (mm)	4,0452	3,9583	3,7560	3,4354	2,6583	2,4268
Δ' (mm)	19,4444	19,4444	19,4444	19,4444	19,4444	19,4444
$M_{u(x)}$ (kN-m)	42,8984	50,3534	57,5946	63,9803	70,0379	73,8072
$M_{u(y)}$ (kN-m)	32,6254	31,4452	29,3850	26,3320	20,0746	22,1356
$M_{n(x)}$ (kN-m)	47,6649	55,4482	63,9940	71,0892	77,8198	82,0080
$M_{n(y)}$ (kN-m)	36,2504	34,9391	32,6500	29,2578	22,3051	24,5951
$A_{ps(x)}$ (mm ² /m ²)	428,4266	414,9201	404,0503	395,1541	373,1928	368,7318
$A_{ps(y)}$ (mm ² /m ²)	225,0046	238,2561	251,4892	264,7077	291,1785	304,4710
$\rho_p(x)$	0,0029824	0,0027004	0,0024690	0,0022756	0,0019272	0,0018106
$\rho_p(y)$	0,0021297	0,0020601	0,0020015	0,0019514	0,0018708	0,0018380
$f'_{ps(x)}$ (Mpa)	1156,5290	1161,1977	1165,8253	1170,4149	1181,0091	1185,4627
$f'_{ps(y)}$ (Mpa)	1174,4289	1176,5441	1178,4390	1180,1493	1183,0957	1184,3633
a_x (mm)	14,5732	14,1707	13,8545	13,6028	12,9631	12,8564
a_y (mm)	7,7721	8,2447	8,7166	9,1881	10,1321	10,6060
$M_{n(x)'} (kN-m)$	67,5664	70,6155	73,8246	77,1665	82,4934	86,2092
$M_{n(y)'} (kN-m)$	26,8913	31,2633	35,9466	40,9412	51,8750	57,8218
$M_{u(x)'} (kN-m)$	60,8098	63,5540	66,4421	69,4499	74,2440	77,5882
$M_{u(y)'} (kN-m)$	24,2022	28,1370	32,3519	36,8471	46,6875	52,0396
$V_{u(x)}$ (kN)	25,8580	26,6420	27,4260	28,2100	29,7780	30,5620
$V_{u(y)}$ (kN)	26,9826	28,7733	30,4735	32,1009	34,5810	36,1186
$V_{c(x)}$ (kN)	363,4089	388,7072	414,0054	493,3036	489,9001	515,1983
$V_{c(y)}$ (kN)	267,2757	292,5739	317,8722	343,1704	393,7668	419,0650
$V_{u(x)'} (kN)$	308,8976	330,4011	351,9046	373,4081	416,4150	437,9185
$V_{u(y)'} (kN)$	227,1844	248,6878	270,1913	291,6948	334,7018	356,2053

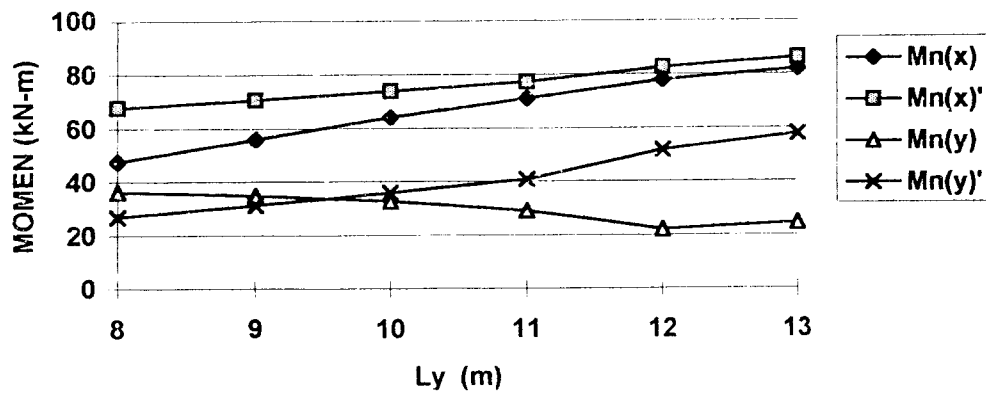
Adapun untuk lebih memperjelas hasil pembahasan dari berbagai analisis akan digambarkan melalui grafik-grafik di bawah ini, yang menggambarkan hubungan antara momen nominal yang terjadi pada penampang pelat beton terhadap kapasitas momen nominal rencana, hubungan antara tegangan yang terjadi pada penampang beton pada saat transfer terhadap tegangan ijin beton yang disyaratkan dan hubungan antara tebal penampang terhadap dimensi pelat.



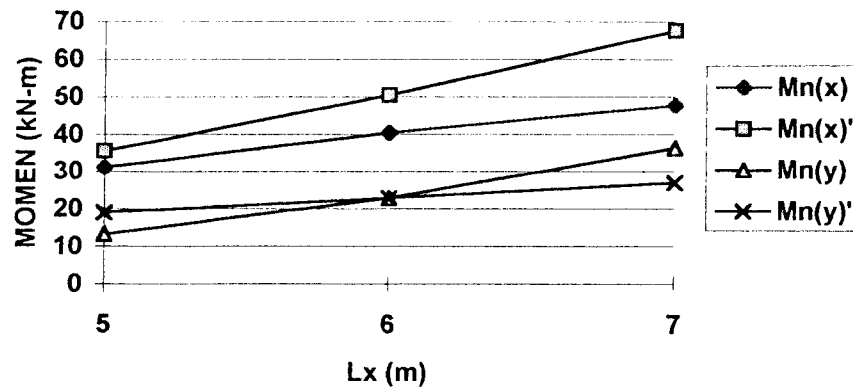
GRAFIK 5.3 KAPASITAS MOMEN
PENAMPANG PELAT DENGAN $L_x = 6$ m



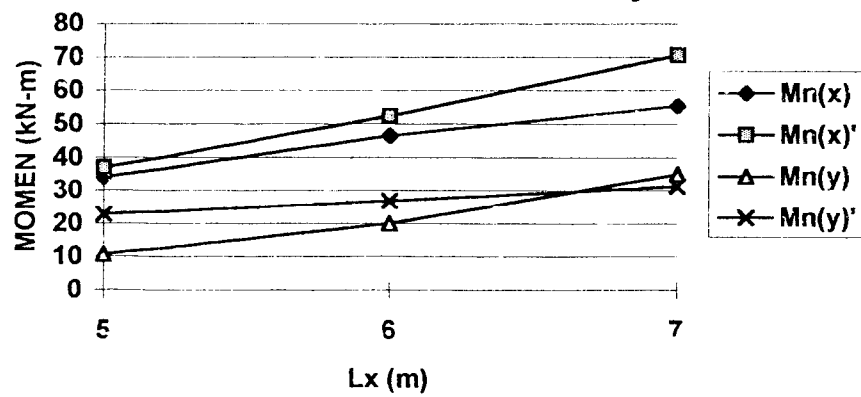
GRAFIK 5.4 KAPASITAS MOMEN PENAMPANG
PELAT DENGAN $L_x = 7$ m



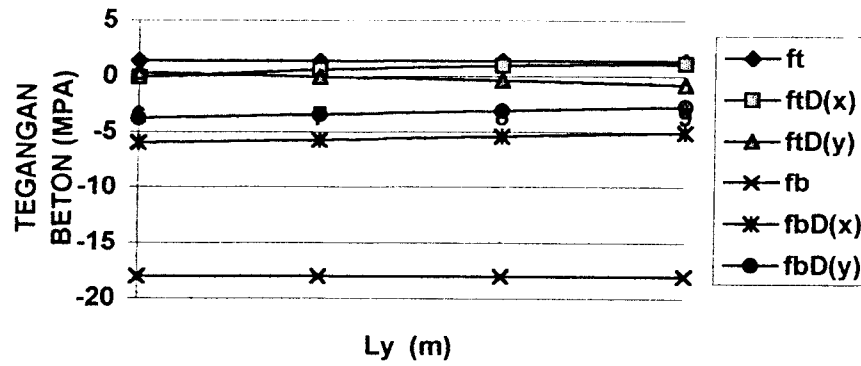
**GRAFIK 5.5 KAPASITAS MOMEN
PENAMPANG PELAT DENGAN $L_y = 8$ m**



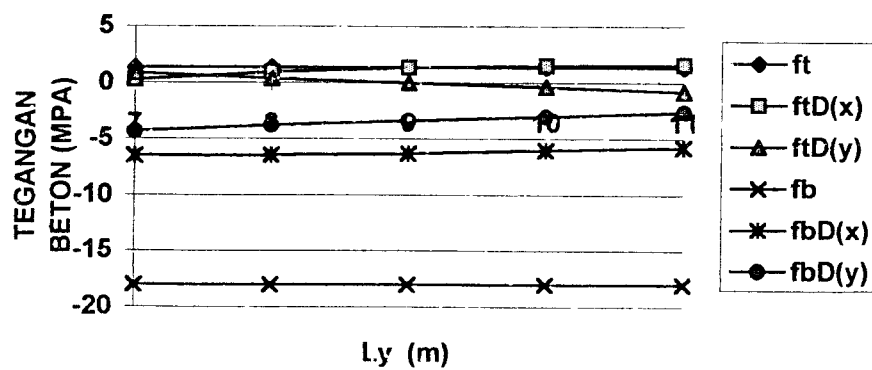
**GRAFIK 5.6 KAPASITAS MOMEN
PENAMPANG PELAT DENGAN $L_y = 9$ m**

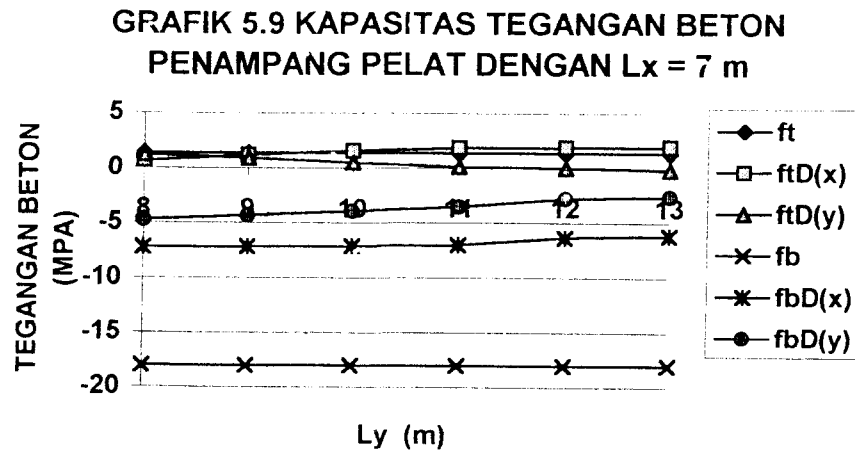


**GRAFIK 5.7 KAPASITAS TEGANGAN BETON
PENAMPANG PELAT DENGAN $L_x = 5$ m**



**GRAFIK 5.8 KAPASITAS TEGANGAN BETON
PENAMPANG PELAT DENGAN $L_x = 6$ m**





Dari grafik-grafik hubungan kapasitas momen nominal rencana terhadap momen nominal yang terjadi, dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Momen nominal yang terjadi arah-x semakin besar dengan bertambahnya panjang bentang arah-y.
2. Momen nominal yang terjadi arah-y semakin kecil dengan bertambahnya panjang bentang arah-y.

Hal tersebut diatas disebabkan oleh perbandingan antara panjang bentang arah-y terhadap panjang bentang arah-x akan berpengaruh pada koefisien momen yang diperoleh. Semakin besar perbandingannya, semakin besar pula koefisien momen yang didapat untuk bentang arah-x dan semakin kecil koefisien momen untuk arah-y. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran grafik koefisien momen yang dikeluarkan oleh Edward G. Nawy, 1996.

Dari analisis perhitungan didalam tabel diatas, dapat diambil kesimpulan bahwa tegangan tarik pada pelat beton saat transfer arah-x pada pelat dimensi 6x10 m, 6x11 m, 7x10 m, 7x11 m, 7x12 m, dan 7x13 m lebih besar dari tegangan

tarik ijin beton dan lebih kecil dari modulus retak beton. Untuk itu perlu adanya analisis kemampuan kapasitas momen batas (ultimit) rencana terhadap momen retak lentur yang terjadi agar struktur pelat tersebut aman terhadap pengaruh retak lentur. Adapun analisis kapasitas momen batas (ultimit) rencana terhadap momen retak yang terjadi pada pelat ukuran 6x10 dapat ditunjukkan pada hitungan dibawah ini.

- Momen retak yang terjadi :

$$M_{cr} = M_{D(x)} = 20,2752 \text{ kN-m}$$

- Momen retak yang disyaratkan :

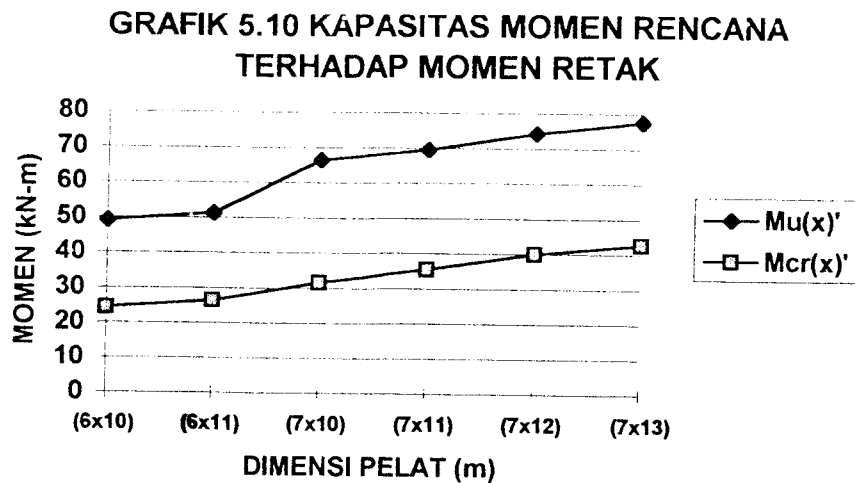
$$M_{cr}^{\prime} = 1,2 \cdot M_{cr} = 1,2 \cdot 20,2752 = 24,3302 \text{ kN-m}$$

- Syarat yang ditetapkan oleh ACI-Code adalah :

$$M_{u(x)}^{\prime} \geq M_{cr}^{\prime}$$

$$M_{u(x)}^{\prime} = 49,1401 \text{ kN-m} \geq M_{cr}^{\prime} = 24,3302 \text{ kN-m (OK)}$$

Sedangkan hasil analisis pada dimensi pelat lainnya dapat dilihat dalam Grafik 5.1, yang menunjukkan hubungan antara kapasitas momen batas (ultimit) rencana terhadap momen retak lentur yang terjadi.



Dari hasil perhitungan dari berbagai analisis dimensi pelat dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Gaya geser dan defleksi yang terjadi pada dimensi pelat yang dianalisis lebih kecil dari kapasitas geser yang disyaratkan. Hal ini disebabkan kemampuan mutu beton, mutu baja serta penutup beton yang sama mampu menahan terhadap geser dan defleksi yang terjadi.
2. Untuk dimensi pelat 5x6 m, 6x7 m, 6x8 m, 7x8 m, dan 7x9 m tidak dapat digunakan, karena kapasitas momen nominal rencana arah-y kurang dari momen nominal arah-y yang terjadi walaupun mampu menahan geser dan defleksi.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari uraian dan pembahasan tentang kapasitas pelat beton prategang pasca-tarik dengan tendon tidak terekat, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Kekuatan kapasitas penampang pelat beton prategang dengan bahan material yang mempunyai karakteristik sama dalam analisis ini tergantung dari tebal penampang pelat yang didasarkan pada dimensi pelat.
2. Dengan semakin besar ketebalan pelat maka akan diperoleh tinggi efektif dan eksentrisitas penampang yang besar.
3. Asumsi tegangan pada penampang pelat beton akibat gaya prategang efektif, khususnya arah-y sangat berpengaruh terhadap beban imbang yang terjadi.
4. Untuk dimensi pelat 5x7 m, 5x8 m, 5x9 m, 6x9 m, 6x10 m, 6x11 m, 7x10 m, 7x11 m, 7x12 m, dan 7x13 m dapat digunakan, karena mampu menahan momen lentur, geser dan retak lentur yang terjadi.
5. Bila digunakan jenis tendon yang sama pada seluruh analisis menunjukkan bahwa, jika panjang bentang arah - x (L_x) tetap dan panjang bentang arah - y (L_y) bertambah maka $W_{(bal)-x}$ semakin besar.

6.2 Saran

Ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam melaksanakan studi lebih lanjut tentang pelat beton prategang antara lain sebagai berikut ini.

1. Untuk memperoleh kapasitas suatu penampang pelat beton prategang yang ekonomis dan mampu menahan lentur, geser dan retak lentur dapat digunakan :
 - a. Kombinasi penggunaan baja prategang dengan baja non-prategang, baik itu untuk bentang arah-x maupun bentang arah-y.
 - b. Penggunaan mutu beton dan mutu baja prategang yang tepat akan menghasilkan struktur yang kuat pada penampang pelat beton prategang.
2. Penarikan tendon optimum harus diperhitungkan untuk menghasilkan kapasitas maksimum, tetapi dengan memperhitungkan kekuatan bahan dan kehilangan gaya prategang total.
3. Untuk merencanakan pelat beton prategang dapat digunakan juga koefisien momen yang dikeluarkan oleh ACI-Code dan Tabel yang dikeluarkan oleh Timoshenko.

PENUTUP

Alhamdulillahirrabil'alamin,

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada kami, sehingga kami dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.

Dalam Laporan Tugas Akhir ini, kami berusaha sebaik-baiknya menyampaikan permasalahan dari hasil studi pustaka tentang “Analisis dan Perencanaan Pelat Beton Prategang Dua Arah pada Panel Tunggal dengan Metode Perimbangan Beban”. Mengingat keterbatasan pengetahuan kami dan literatur yang mendukung, kami menyadari masih banyak kekurangan dan kesalahan. Untuk itu kami mengharapkan saran demi kesempurnaan Laporan Tugas Akhir ini.

Kami mengharapkan agar Laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan sesuatu yang bermanfaat bagi semua pihak yang akan mempelajarinya.

DAFTAR PUSTAKA

1. ACI-CODE, 1989, Prentice-Hall, New Jersey.
2. Antonie E. Naaman, 1982, "PRESTRESSED CONCRETE ANALYSIS AND DESIGN", Mc. Graw Hill Inc. New York.
3. Arthur H. Nilson, 1987, George Winter, "DESIGN OF PRESTRESSED CONCRETE", John Wiley and Son Inc. second edition, New York.
4. Arthur H. Nilson, George Winter, 1993, "PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG", Tim Editor dan Penerjemah ITB, Bandung.
5. Edward G. Nawy, 1996, "PRESTRESSED CONCRETE", A Fundamental Approach, Prentice-Hall Inc. New Jersey.
6. Istimawan Dipohusodo, 1994, "STRUKTUR BETON BERTULANG", PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
7. Lin, T.Y, Burn, Ned H, 1982, "DESAIN STRUKTUR BETON PRATEGANG", Jilid 1 dan 2, Edisi ketiga, Jakarta.
8. N. Krisna Raju, 1989, "BETON PRATEGANG", Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.
9. Phil M Ferguson, 1986, "DASAR-DASAR BETON BERTULANG", Terjemahan Budianto Sutanto dan Kris Setianto, Edisi keempat, Erlangga, Jakarta.
10. Winarni Hadipratomo, 1994, "STRUKTUR BETON PRATEGANG", Nova, Bandung.

LAMPIRAN - LAMPIRAN

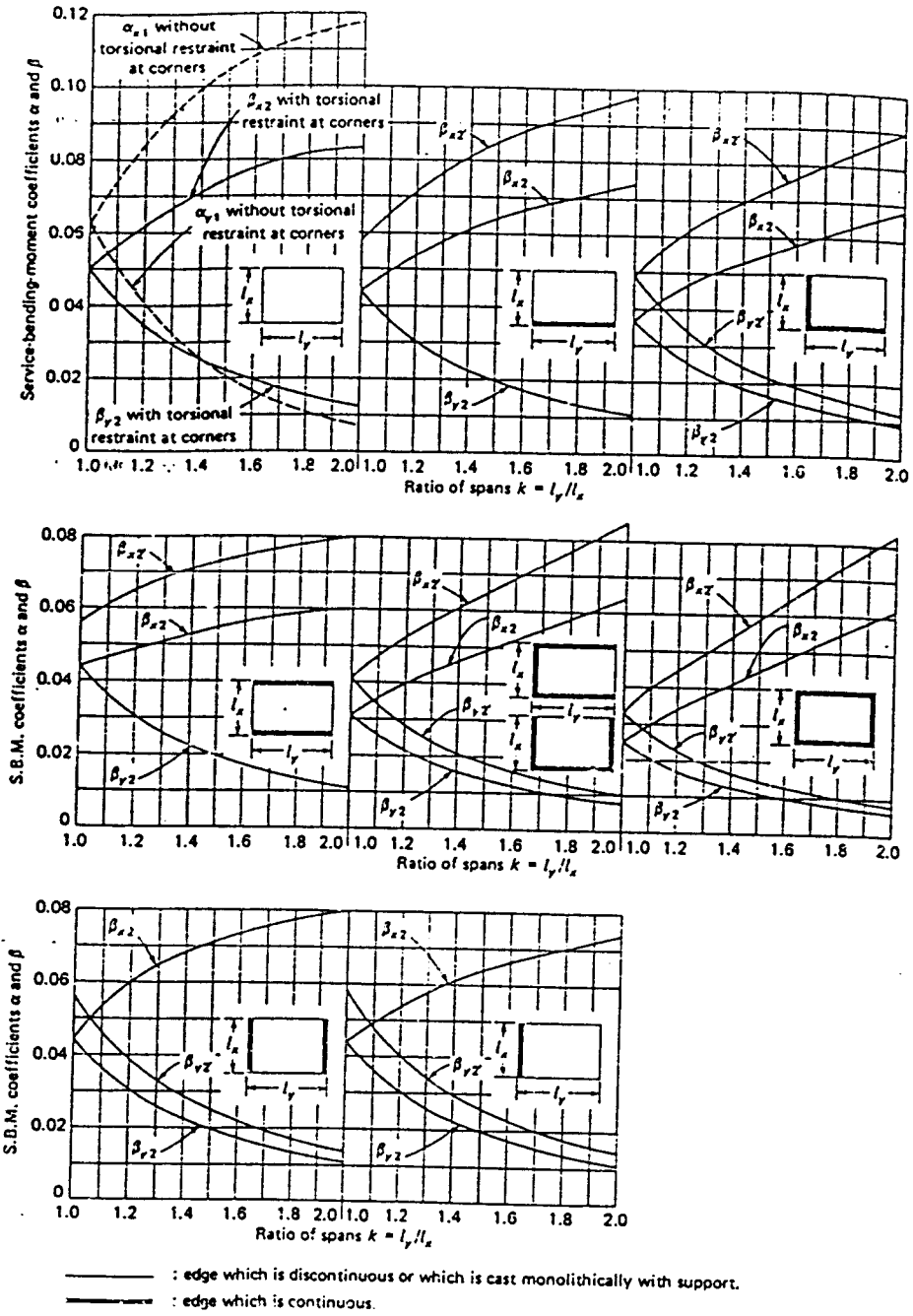


Figure 9.10 Service-load moment coefficients in two-way-action slabs and plates (Ref. 9.13).

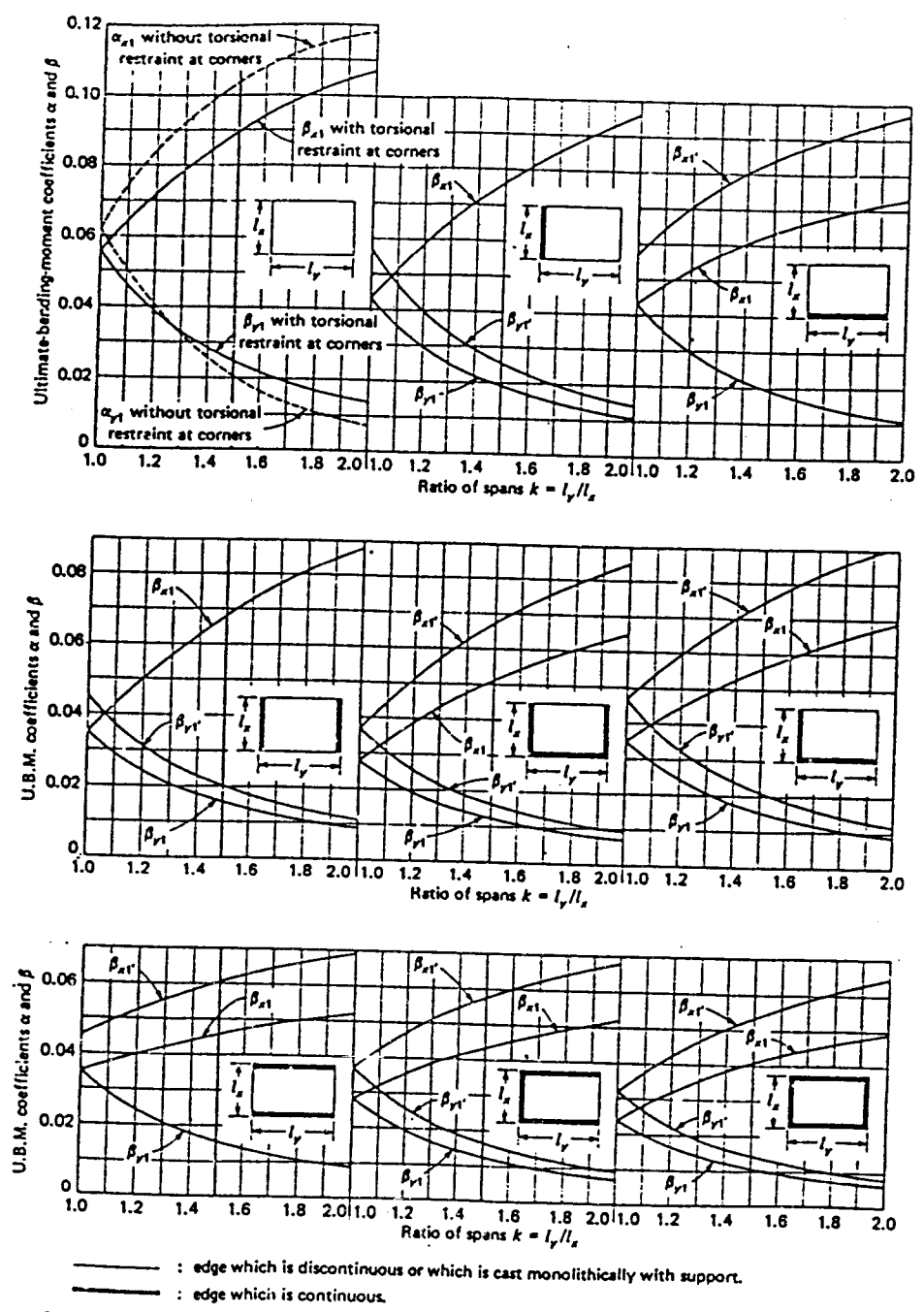


Figure 9.11 Ultimate-load moment coefficients in two-way action slabs and plates (Ref. 9.13).

TABLE B-5 PROPERTIES AND DESIGN STRENGTHS OF PRESTRESSING STRAND AND WIRE

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

Seven-Wire Strand, $f_{pu} = 250$ ksi						
Nominal Diameter, in.	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	0.600
Area, sq in.	0.036	0.058	0.080	0.108	0.144	0.215
Weight, plf	0.12	0.20	0.27	0.37	0.49	0.74
0.7 $f_{pu} A_{ps}$, kips	6.3	10.2	14.0	18.9	25.2	37.6
0.8 $f_{pu} A_{ps}$, kips	7.2	11.6	16.0	21.6	28.8	43.0
$f_{pu} A_{ps}$, kips	9.0	14.5	20.0	27.0	36.0	53.8

Three- and Four-Wire Strand, $f_{pu} = 250$ ksi				
Nominal Diameter, in.	1/4	5/16	3/8	7/16
No. of wires	3	3	3	4
Area, sq in.	0.036	0.058	0.075	0.106
Weight, plf	0.13	0.20	0.26	0.36
0.7 $f_{pu} A_{ps}$, kips	6.3	10.2	13.2	18.6
0.8 $f_{pu} A_{ps}$, kips	7.2	11.6	15.0	21.2
$f_{pu} A_{ps}$, kips	9.0	14.5	18.8	26.5

Prestressing Wire										
Diameter	0.105	0.120	0.135	0.148	0.162	0.177	0.192	0.196	0.250	0.275
Area, sq in.	0.0087	0.0114	0.0143	0.0173	0.0206	0.0246	0.0289	0.0302	0.0491	0.0598
Weight, plf	0.030	0.039	0.049	0.059	0.070	0.083	0.098	0.10	0.17	0.20
Ult. strength, f_{pu} , ksi	279	273	268	263	259	255	250	250	240	235
0.7 $f_{pu} A_{ps}$, kips	1.70	2.18	2.68	3.18	3.73	4.39	5.05	5.28	8.25	9.84
0.8 $f_{pu} A_{ps}$, kips	1.94	2.49	3.06	3.64	4.26	5.02	5.78	6.04	9.42	11.24
$f_{pu} A_{ps}$, kips	2.43	3.11	3.83	4.55	5.33	6.27	7.22	7.55	11.78	14.05

TABLE B-6 PROPERTIES AND DESIGN STRENGTHS OF PRESTRESSING BARS

Smooth Prestressing Bars, $f_{pu} = 145 \text{ ksi}^*$						
Nominal Diameter, in.	3/4	7/8	1	1 1/8	1 1/4	1 3/8
Area, sq in.	0.442	0.601	0.785	0.994	1.227	1.485
Weight, plf	1.50	2.04	2.67	3.38	4.17	5.05
0.7 $f_{pu} A_{ps}$, kips	44.9	61.0	79.7	100.9	124.5	150.7
0.8 $f_{pu} A_{ps}$, kips	51.3	69.7	91.0	115.3	142.3	172.2
$f_{pu} A_{ps}$, kips	64.1	87.1	113.8	144.1	177.9	215.3
Smooth Prestressing Bars, $f_{pu} = 160 \text{ ksi}^*$						
Nominal Diameter, in.	3/4	7/8	1	1 1/8	1 1/4	1 3/8
Area, sq in.	0.442	0.601	0.785	0.994	1.227	1.485
Weight, plf	1.50	2.04	2.67	3.38	4.17	5.05
0.7 $f_{pu} A_{ps}$, kips	49.5	67.3	87.9	111.3	137.4	166.3
0.8 $f_{pu} A_{ps}$, kips	56.6	77.0	100.5	127.2	157.0	190.1
$f_{pu} A_{ps}$, kips	70.7	96.2	125.6	159.0	196.3	237.6
Deformed Prestressing Bars						
Nominal Diameter, in.	5/8	1	1	1 1/4	1 1/4	1 3/8
Area, sq. in.	0.28	0.85	0.85	1.25	1.25	1.58
Weight, plf	0.98	3.01	3.01	4.39	4.39	5.56
Ult. strength, f_{pu} , ksi	157	150	160*	150	160*	150
0.7 $f_{pu} A_{ps}$, kips	30.5	89.3	95.2	131.3	140.0	165.9
0.8 $f_{pu} A_{ps}$, kips	34.8	102.0	108.8	150.0	160.0	189.6
$f_{pu} A_{ps}$, kips	43.5	127.5	136.0	187.5	200.0	237.0
Stress-strain characteristics (all prestressing bars): For design purposes, following assumptions are satisfactory: $E_s = 29,000 \text{ ksi}$ $f_y = 0.95 f_{pu}$ *Verify availability before specifying						

