

Laporan Tugas Akhir

**Analisis Geser dan Geser Torsi Balok Tengah Penampang T
Beton Prategang Parsial Pada Portal 5 Lantai**



Disusun oleh :

Nama : Lenny Kus Anggrayany

No. Mhs : 98 511 154

Nama : Sri Harjanto

No. Mhs : 97 511 176

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2003**

Laporan Tugas Akhir

Analisis Geser dan Geser - Torsi Balok Tengah Penampang T Beton Prategang Parsial Pada Portal 5 Lantai



Disusun oleh :

Nama : Lenny Kus Anggrayany
No. Mhs : 98 511 154
Nama : Sri Harjanto
No. Mhs : 97 511 176

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2003**

Lembar Pengesahan

Tugas Akhir

Analisis Geser dan Geser -Torsi Balok Tengah Penampang T Beton Prategang Parsial Pada Portal 5 Lantai

Disusun oleh :

Nama : Lenny Kus Anggrayany

No. Mhs : 98 511 154

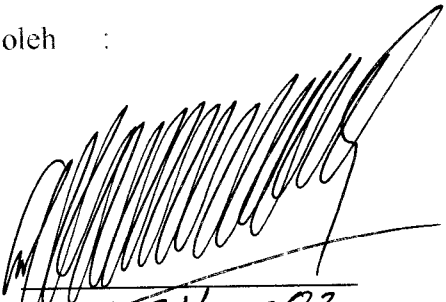
Nama : Sri Harjanto

No. Mhs : 97 511 176

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. Abdul Kadir Aboe, MS

Dosen Pembimbing I



Tanggal: 21/08-03

Ir. H. Suharyatmo, MT

Dosen Pembimbing II



Tanggal: 28/8/03

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah – Nya. Shalawat dan salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad SAW beserta keluarga, para sahabat dan pengikutnya hingga akhir zaman. Amin.

Alhamdulillahirobbil'aalmiin, akhirnya tugas akhir dengan judul Analisis Geser dan Gaser Torsi Balok Tengah Penampang T Beton Prategang Parsial Pada Portal 5 Lantai yang merupakan syarat dalam menyelesaikan jenjang kesarjanaaan strata I pada jurusan Teknik Sipil, fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia ini dapat diselesaikan dengan baik.

Selama penyusunan tugas akhir ini, bimbingan dan arahan banyak diberikan kepada penyusun. Oleh karena itu pada kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. H. Munadhir, MS, selaku ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. H. Abdul Kadir Aboe, MS, selaku dosen pembimbing I.
4. Bapak Ir. H. Suharyatmo, MT, selaku dosen pembimbing II.

5. Bapak Ir. H. Sarwidi, MSCE, Ph.D, selaku dosen tamu.

Semoga jasa - jasa beliau mendapat limpahan karunia dari Allah SWT. Dan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya. Amiin.

Wabillahaufiq wal hidayah
Wassalamu'alaikum, Wr.Wb.

Jogjakarta, Juli 2003

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAKSI	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Lingkup Penelitian.....	5
1.6 Metode Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
BAB III LANDASAN TEORI	10
3.1 Konsep Dasar Beton Prategang.....	10
3.1.1 Sistem Prategang Untuk Mengubah Beton Menjadi Bahan Yang Elastis.....	10

3.1.2	Sistem Prategang Untuk Kombinasi Baja	
	Mutu Tinggi Dengan Beton	11
3.1.3	Sistem Prategang Untuk Mencapai	
	Keseimbangan Beban.....	12
3.2	Perencanaan Balok Prategang.....	13
3.2.1	Modulus Penampang.....	13
3.2.2	Analisis Beton Prategang.....	14
	3.2.2.1 Tinjauan Gaya Prategang Terhadap	
	Tegangan Pada Pusat Tendon.....	14
	3.2.2.2 Menghitung Luas Baja Prategang.....	15
3.2.3	Tata Letak Tendon.....	15
	3.2.3.1 Selubung Untuk Meletakkan	
	Tendon.....	16
3.2.4	Tegangan Beton dan Tendon.....	17
3.2.5	Analisis Kekuatan Struktur.....	20
	3.2.5.1 Analisis Lentur.....	20
3.2.6	Kehilangan Gaya Prategang.....	23
	3.2.6.1 Akibat Perpendekan Elaastis Beton.	24
	3.2.6.2 Akibat Pengangkuran /Pergeseran	
	Angkur.....	25
	3.2.6.3 Akibat Rangkak Pada Beton.....	25
	3.2.6.4 Akibat Susut Pada Beton.....	26
	3.2.6.5 Akibat Relaksasi Baja.....	26

3.2.6.6	Akibat Gesekan.....	28
3.3	Kekuatan Geser dan Torsional Beton Prategang.....	29
3.3.1	Tegangan Geser Balok Prategang.....	30
3.3.1.1	Kekuatan Geser Lentur (V_{ci}).....	32
3.3.1.2	Kuat Geser Badan (V_{cw}).....	35
3.3.1.3	Menentukan Kuat Beton Badan V_c .	37
3.3.2	Torsi Pada Elemen Beton Prategang.....	39
3.3.3	Desain Balok Beton Prategang yang Mengalami Gabungan Torsi, Geser, dan Lentur Menurut ACI 318-99.....	40
3.3.3.1	Kuat Momen Torsional.....	40
3.3.3.2	Penulangan Badan Untuk Torsi.....	42
3.3.3.3	Tulangan Torsional Minimum.....	43
BAB IV	PERENCANAAN DAN ANALISIS.....	44
4.1	Data Analisis.....	44
4.2	Tegangan Ijin beton.....	44
4.3	Pembebanan.....	45
4.4	Perhitungann Momen untuk Portal Menggunakan Mikrosoft SAP 2000.....	46
4.4.1	Penetapan Dimensi Penampang	46
4.5	Perhitungan modulus Tampang Rencana.....	48
4.6	Perencanaan Prategang Penuh Sistem Paska Tarik.	49
4.6.1	Perhitungan Propertis Penampang.....	49

4.6.2	Perhitungan Desain Beton Prategang.....	50
4.6.3	Kontrol Kekuatan Lentur.....	52
4.6.4	Perhitungan Sifat Penampang.....	53
4.6.5	Kehilangan Gaya Prategang.....	55
4.6.6	Kontrol Tegangan Beton dan Tendon.....	57
4.6.7	Perencanaan Tata Letak tendon.....	59
4.6.8	Perhitungan Torsi dan Geser.....	61
4.7	Perhitungan Prategang Parsial 90% Sistem Pasca Tarik.....	67
4.7.1	Perhitungan Desain Beton Prategang.....	67
4.7.2	Kontrol Kekuatan Lentur.....	69
4.7.3	Perhitungan Sifat Penampang.....	70
4.7.4	Kehilangan Gaya Prategang	72
4.7.5	Kontrol Tegangan Beton dan Tendon.....	74
4.7.6	Perencanaan Tata Letak Tendon.....	76
4.7.7	Perhitungan Torsi dan geser.....	78
BAB V	ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN.....	85
5.1	Data dan Asumsi Desain.....	85
5.2	Pembahasan Hasil Perhitungan	88
5.2.1	Gaya Prategang	88
5.2.2	Kehilangan Gaya Prategang.....	89
5.2.3	Luasan Baja Prategang.....	90

5.2.4	Tegangan Beton.....	91
5.2.5	Kuat Geser Beton (V_c) dan Kuat Geser Tulangan (V_s).....	95
5.2.6	Momen Torsional.....	98
5.2.7	Jarak Tulangan Yang Menahan Geser Torsi	101
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN.....	104
6.1	Kesimpulan	104
6.2	Saran	106
	DAFTAR PUSTAKA	xv
	LAMPIRAN.....	xvi

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	: Distribusi Tegangan Pada Penampang Beton Prategang Dengan Eksentrisitas	11
Gambar 3.2	: Kopel Dalam Akibat Gaya Prategang Dan Beban Kerja	11
Gambar 3.3	: Prategang Sistem Perimbangan Beban.....	12
Gambar 3.4	: Perpendekan Elastis Pada Beton	24
Gambar 3.5	: Gaya Geser Yang Dipikul Beton dan Tendon	30
Gambar 3.6	: Perkembangan Retak Balok Akibat Geseran.....	31
Gambar 3.7	: Pertumbuhan Retak Geser Lentur.....	33
Gambar 3.8	: Hubungan Antara Momen Dan Geser Pada Retak Geser Lentur.....	35
Gambar 3.9	: Tegangan Tekan Versus Tegangan Geser Nominal Di Pusat Berat Pada Retak Geser Badan.....	36
Gambar 4.1	: Penampang Yang Digunakan.....	47
Gambar 4.2	: Tegangan Saat Transfer Prategang Penuh.....	58
Gambar 4.3	: Tegangan Saat Layan Prategang Penuh.....	59
Gambar 4.4	: Tegangan Saat Transfer Prategang 90%.....	75
Gambar 4.5	: Tegangan Saat Layan Prategang 90%.....	76
Gambar 5.1	: Penampang Balok T Yang Digunakan.....	86
Gambar 5.2	: Perbandingan % Gaya Prategang Terhadap Kehilangan Gaya Prategang.....	90

Gambar 5.3	: Perbandingan % Gaya Prategang Terhadap Tegangan Yang Terjadi.....	94
Gambar 5.4	: Perbandingan % Gaya Prategang Terhadap Kuat Geser Beton.....	98
Gambar 5.5	: Perbandingan % Gaya Prategang Terhadap Momen torsional	101
Gambar 5.6	: Perbandingan % Gaya Prategang Terhadap Jarak Tulangan Geser Torsi.....	103

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	: Koefisien susut.....	26
Tabel 3.2	: Nilai Kre, dan J.....	27
Tabel 3.3	: Nilai C.....	28
Tabel 3.4	: Koefisien – koefisien Gesekan Untuk Tendon –tendon Post Tensioned.....	29
Tabel 4.1	: Dimensi Balok Yang Digunakan.....	46
Tabel 4.2	: Momen Yang Terjadi Pada Balok Tengah Lantai 1 Portal 2.....	60
Tabel 4.3	: Batas Bawah Letak Tendon Prtegang Penuh	60
Tabel 4.4	: Batas Atas Letak Tendon Prategang Penuh.....	61
Tabel 4.5	: Momen yang Terjadi Pada Balok Tengah Prategang 90%.....	77
Tabel 4.6	: Batas Bawah Letak Tendon Prategang 90%.....	77
Tabel 4.7	: Batas Atas Letak Tendon Prategang 90%.....	78
Tabel 5.1	: Dimensi Balok Pada Analisis Struktur.....	86
Tabel 5.2	: Hasil Analisis Struktur Portal.....	87
Tabel 5.3	: Besar Gaya Prategang Awal.....	89
Tabel 5.4	: Besar Prosentase Kehilangan Gaya Prategang.....	89
Tabel 5.5	: Besar Luasan Baja Prategang.....	91
Tabel 5.6	: Tegangan Yang Terjadi Pada Balok Penampang T.....	92
Tabel 5.7	: Nilai Kuat Geser	96
Tabel 5.8	: Nilai Torsional.....	99
Tabel 5.9	: Luasan Per Jarak Tulangan Geser.....	102
Tabel 5.10	: Jarak Tulangan Geser Torsi.....	103

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Kartu Peserta Tugas Akhir
- Lampiran 2a : Tabel *strand properties* dan *tendon properties*
- Lampiran 2b : Detail *Anchorage VSL type EC*
- Lampiran 2c : Detail *Anchorage type P*
- Lampiran 3a : Portal Arah X
- Lampiran 3b : Portal Arah Y
- Lampiran 3c : Variasi Denah Portal
- Lampiran 3d : Keterangan Gambar Denah
- Lampiran 4a : Tata Letak Tendon Balok Tengah Portal II dengan Gaya Prategang 100%
- Lampiran 4b : Tata Letak Tendon Balok Tengah Portal II dengan Gaya Prategang 90%
- Lampiran 5a (1-8) : Perhitungan Balok Tengah Portal Prategang Parsial dengan Berbagai Variasi Bentang
- Lampiran 5b (1-3) : Perencanaan Tata Letak Tendon dengan Berbagai Variasi Bentang
- Lampiran 5c (1-6) : Perhitungan Torsi dan Geser dengan Berbagai Variasi Bentang

ABSTRAKSI

Variasi bentuk bangunan menyebabkan adanya bagian-bagian bentang yang tidak simetris terhadap bentang lainnya. Ketidaksimetrisan ini menyebabkan struktur mengalami torsi, sedangkan torsi akan bekerja bersamaan dengan gaya geser dan lentur dengan demikian akan menyebabkan tegangan tarik utama yang besar. Terjadinya lendutan, geser, dan torsi tidak dapat dihindari, sehingga para perancang struktur dituntut untuk mendesain batang beton yang memiliki lendutan, geser dan torsi seminimal mungkin.

Beban aktual yang lebih kecil dari beban rencana menyebabkan lendutan ke atas yang cukup besar akibat prategang penuh. Penggunaan prategang parsial diharapkan mampu mengontrol besarnya lendutan, geser dan torsi yang terjadi. Untuk mengetahui perilaku balok terhadap besarnya prategang parsial dan beda panjang bentang portal yaitu dengan memvariasikan prategang parsial yang diberikan serta variasi panjang bentang yang berbeda.

Hasil analisis memperlihatkan nilai geser dan torsi cenderung meningkat dengan penambahan panjang bentang. Penambahan gaya prategang parsial menyebabkan kuat geser beton (V_c) bertambah besar dan kuat geser tulangan (V_s) bertambah kecil. Pengaruh penambahan gaya prategang terhadap torsi meningkatkan momen torsional terfaktor maksimum (T_u') dan meningkatkan kemampuan tampang menahan torsi. Sehingga secara umum pengurangan prategang parsial menurunkan kekuatan penampang dalam menahan geser dan torsi.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan struktur bertulang dewasa ini cukup pesat menuju kepada struktur yang lebih ekonomis melalui metode – metode perencanaan dan penggunaan material berkekuatan tinggi. Penggunaan beton prategang semakin sering dijumpai dalam proyek pembangunan, terutama pada struktur yang mengalami momen lentur besar, karena momen lentur dapat mengakibatkan penampang beton mengalami lentur (*bending stress*).

Dan dunia property saat ini sangat ramai, pembangunan rumah dari yang mewah sampai yang sederhana, gedung perkantoran, pabrik, dan apartemen-apartemen juga mulai bermunculan. Para pengguna sangat memperhatikan bentuk dan estetika dari bangunan sehingga bentuk dan estetika memiliki nilai jual tersendiri.

Melihat permintaan pengguna bangunan saat ini, arsitek mencoba merancang suatu bangunan dengan memperhatikan banyak faktor, diantaranya fungsi dari bangunan, lingkungan dan budaya dimana bangunan tersebut didirikan. Dari hasil pengamatan terhadap faktor-faktor pendukung tersebut, seorang arsitek akan memberikan suatu rancangan bangunan dengan bentuk yang menonjolkan suatu keindahan tersendiri.

Suatu bangunan tidak selalu didesain dengan bentuk yang simetri melainkan juga akan ditemui bentuk dan bentang yang tidak simetri. Bentang yang panjang akan diperlukan pada gedung yang menginginkan kesan luas dengan meniadakan kolom-kolom. Untuk itu dimensi dan lendutan yang cukup besar akan terjadi terutama pada balok jika menggunakan beton bertulang. Beton prategang dimana beton berada dalam keadaan tekan sehingga tidak ada bagian beton yang tertarik, pada kondisi ini lendutan pada balok dapat dihindari. Namun pengurangan lendutan ke atas menjadi minimum adalah penting, khususnya bila beban gelagar atau beban mati relatif kecil dibandingkan dengan beban rencana total. Sehingga prategang sebagian diusulkan karena mengizinkan adanya sejumlah tegangan tarik karena keuntungannya adalah berkurangnya lendutan ke atas (*camber*).

Di lain sisi bentuk dan bentang yang tidak simetri juga akan menimbulkan masalah bagi seorang perencana. Gaya aksial yang bekerja pada suatu struktur yang tidak simetri akan memberikan momen torsi, momen lentur yang bekerja bersamaan dengan gaya-gaya geser terutama akan diterima oleh balok. Sehingga akan berakibat lentur, retak lentur, dan retak tarik pada beton.

Saat ini dimana beton sangat populer digunakan dalam dunia konstruksi, selain harganya relatif lebih murah dibandingkan dengan baja juga sebagai material dengan kekuatan dan kinerja yang sangat tinggi. Namun sifat beton yang kuat dalam kondisi tekan, tetapi lemah dalam kondisi tarik mengakibatkan retak lentur pada taraf pembebanan yang masih rendah. Ditambah lagi adanya momen torsi, lentur dan geser yang bekerja secara bersamaan, menyebabkan adanya retak tarik yang cukup besar.

Pemasangan tulangan geser dan torsi salah satu cara mengurangi adanya retakan, namun pada daerah yang menderita gaya geser lentur dan torsi yang cukup besar akan diperlukan tulangan geser dan torsi yang cukup rapat dan banyak. Pada kondisi ini beton prategang menjadi perlu karena mampu mengkombinasikan beton dan baja dengan cara aktif yaitu memberikan tegangan awal sehingga akan menimbulkan tegangan awal tekan beton pada lokasi di mana nantinya akan timbul tegangan tarik pada waktu komponen mendukung beban sedemikian rupa sehingga diharapkan sewaktu beban seluruhnya bekerja, tegangan tarik total berkurang atau bahkan lenyap sama sekali dan posisi tendon yang miring dan melengkung dapat ikut membantu beton dalam mendukung tegangan geser akibat beban luar.

Perilaku balok yang mengalami torsi, terutama pada balok tepi dan balok tengah portal gedung terhadap panjang bentang yang berbeda serta diikuti oleh adanya retak lentur dan retak tarik, maka penggunaan prategang sebagian diharapkan mampu mengeliminasi lendutan ke atas, meningkatkan kapasitas lentur, geser, dan torsional penampang, sehingga retak lentur dan retak tarik dapat dikurangi.

1.2 Rumusan Masalah

Lendutan ke atas pada struktur akibat prategang penuh dapat dikurangi dengan adanya prategang parsial. Sedangkan pada situasi praktis, batang-batang pratekan menderita momen torsi dan lenturan bersamaan dengan gaya geser transversal. Dengan demikian kombinasi diantaranya menghasilkan tegangan tarik

utama yang melebihi kekuatan tarik beton. Terutama pada balok portal terhadap panjang bentang berbeda.

1.3 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah yang diamati penulis, maka penelitian ini bertujuan :

1. Mengetahui pengaruh prategang parsial terhadap kuat geser dan geser torsi pada beton penampang T.
2. Mengetahui pengaruh perbedaan panjang bentang terhadap kuat geser torsi yang terjadi.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi baik bagi kalangan akademisi maupun praktisi. Manfaat yang penulis harapkan pada penelitian adalah :

1. Menambah pengetahuan serta pemahaman tentang pengaruh prategang parsial terhadap kuat geser dan geser torsi khususnya pada beton penampang T.
2. Dengan pemahaman yang baik tentang beton prategang oleh para praktisi diharapkan penggunaan beton prategang sebagai salah satu alternatif dalam pembangunan suatu struktur lebih meluas.

1.5 Lingkup Penelitian

Mengingat luasnya permasalahan beton prategang, maka pada penelitian ini peneliti membatasi lingkup penelitian.

1. Digunakan model struktur portal 5 lantai yang menerima beban mati, beban hidup dan berat sendiri dengan peninjauan 3 dimensi.
2. Perencanaan portal menggunakan balok tengah penampang T
3. Pembebanan dihitung dengan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung tahun 1983.
4. Desain geser dan geser torsi beton prategang parsial dilakukan pada balok tengah terhadap balok tepi portal yang mempunyai panjang bentang berbeda.
5. Desain beton prategang ditinjau pada kondisi pasca tarik (*posttensioned*) dengan bentuk tendon yang melengkung serta diberi rekatan (*grouting*).
6. Perhitungan momen, geser dan torsi menggunakan SAP 2000
7. Analisis geser dan geser torsi hanya dilakukan pada lantai yang memiliki geser torsi maksimum.
8. Variasi panjang bentang balok tengah portal 6m, 9m ; 6m, 12m ; 6m, 15m
9. Variasi prategang parsial 90%, 80%, 70% dari gaya prategang yang dibutuhkan pada prategang penuh.
10. Beban gempa dan beban angin tidak diperhitungkan.
11. Perhitungan geser, dan geser torsi menggunakan metode SNI dan ACI.

1.6 Metode Penelitian

Penulisan tugas akhir ini dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Mencari bahan – bahan literatur yang dibutuhkan dari perpustakaan, kemudiam membahasnya.
2. Melakukan perhitungan untuk merencanakan dan menganalisis geser dan torsi balok tengah portal prategang parsial menggunakan cara dan rumus sesuai literatur.
3. Menentukan parameter- parameter yang berpengaruh didalam menghitung geser dan torsi
4. Pembahasan untuk setiap parameter
5. Menarik kesimpulan dari pembahasan.

BAB II

Tinjauan Pustaka

Struktur beton prategang didefinisikan sebagai suatu sistem struktur beton khusus dengan cara memberikan tegangan awal tertentu pada komponen sebelum digunakan untuk mendukung beban luar sesuai dengan yang diinginkan. Tujuan memberikan tegangan awal atau prategang adalah untuk menimbulkan tegangan awal tekanan beton pada lokasi dimana nantinya akan timbul tegangan tarik pada waktu komponen mendukung sedemikian rupa sehingga diharapkan saat beban seluruhnya bekerja tegangan tarik total berkurang atau lenyap sama sekali. (Dipohusodo, Istimawan, 1994).

Rendahnya kapasitas tarik pada beton dapat menyebabkan retak lentur. Gaya prategang yang memberikan prategangan pada penampang di sepanjang bentang suatu elemen struktural sebelum bekerjanya beban mati dan beban hidup, mampu mencegah berkembangnya retak dengan cara mengeleminasi tegangan tarik di bagian tumpuan dan daerah kritis pada kondisi beban kerja, sehingga dapat meningkatkan kapasitas lentur, geser, dan torsional penampang.

Perilaku balok beton prategang pada saat gagal karena geser atau karena gabungan geser dan torsi sangat berbeda dengan perilaku lentur, balok tersebut gagal secara tiba-tiba tanpa ada peringatan sebelumnya yang memadai, dan retak diagonal yang terjadi sangat jauh lebih lebar daripada retak lentur. Baik geser

maupun torsi menimbulkan tegangan geser. Tegangan ini dapat menimbulkan tegangan tarik utama di penampang kritis yang dapat melebihi kuat tarik beton.

Torsi terjadi pada struktur beton monolit terutama dimana beban bekerja pada jarak sumbu longitudinal komponen struktural. Sebagian besar balok beton yang mengalami puntir adalah yang penampangnya mempunyai komponen persegi panjang, sebagai contoh, penampang bersayap seperti balok T dan balok L. (Nawy, E.D, 2001)

Dari hasil analisis tahanan geser pada penampang T dan I pada penelitian sebelumnya didapatkan bahwa pada tampang T tahanan geser yang terjadi lebih besar dari tampang I, sehingga dalam menahan geser tampang T lebih baik. (Arifin, Zaenal dan Alharomain, Lutfi, 1999)

Salah satu keuntungan penting dari beton prategang parsial adalah meningkatkan kontrol lendutan, karena lendutan ke atas akibat gaya prategang pada saat balok belum mengalami pembebanan dapat dihindari dengan menggunakan gaya prategang kecil. Meskipun demikian ini berarti bahwa lendutan kebawah pada saat seluruh beban layan bekerja akan lebih besar. Konsekwensinya sangatlah penting untuk membuat pendekatan dalam memperkirakan lendutan prategang parsial pada tiap-tiap pembebanan (Lin, T.Y dan Burns, H,1988)

Berdasarkan tinjauan pustaka di atas bahwa tegangan torsi akan terjadi bersamaan dengan geser dan lentur sehingga akan menderita tegangan utama yang cukup besar. Dan penggunaan prategang parsial diharapkan nantinya dapat meminimalisasi kerusakan akibat geser, lentur, torsi, dan lendutan. Tampang T

banyak digunakan pada suatu struktur dan hasil penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa tampang T mampu menahan geser dengan lebih baik.

BAB III

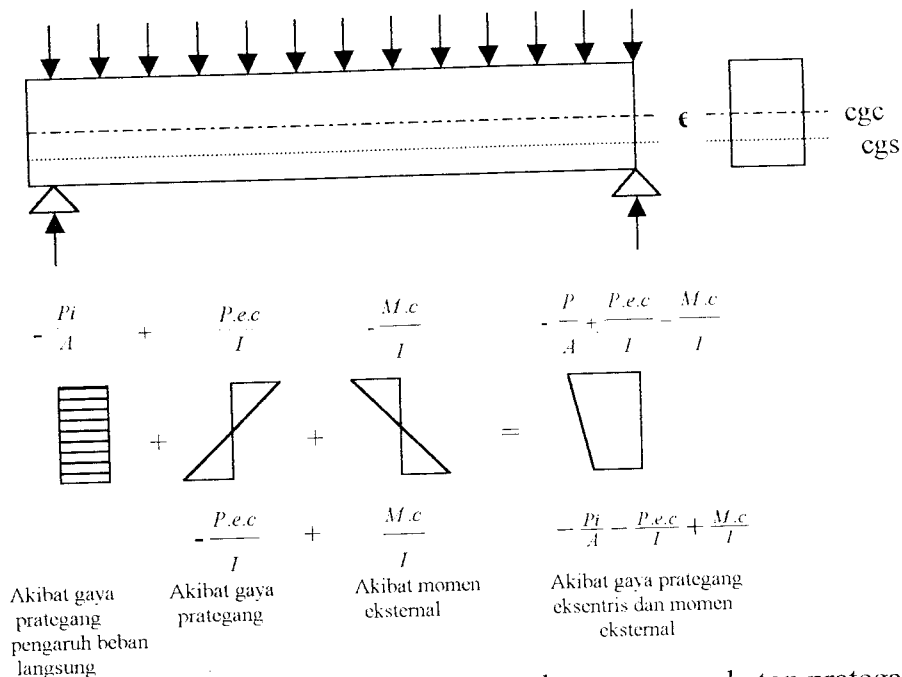
LANDASAN TEORI

3.1 Konsep Dasar Beton Prategang

Lin, T.Y dan Burns, H (1988) mengemukakan ada tiga konsep yang berbeda dan digunakan untuk menjelaskan serta menganalisa sifat-sifat dasar dari beton prategang. Ketiga konsep tersebut penting sebagai acuan dalam mendesain beton prategang seefisien mungkin. Adapun ketiga konsep tersebut adalah sistem prategang untuk mengubah beton menjadi beban yang elastis, sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton dan sistem prategang untuk mencapai keseimbangan beban.

3.1.1 Sistem Prategang untuk Mengubah Beton Menjadi Bahan yang Elastis

Konsep ini hasil pemikiran Eugene Freyssinet yaitu beton yang bersifat getas ditransformasikan menjadi bahan yang bersifat elastis, dengan cara memberi tekanan awal (*pratekan*). Hal ini diusahakan agar beton tidak mengalami retak di bagian tarik balok walaupun terjadi tarikan. Atas dasar pandangan ini, beton dianggap mengalami dua sistem penegangan, yaitu gaya internal prategang dan beban eksternal. Dengan tegangan tarik akibat gaya eksternal dilawan oleh tegangan tekan akibat gaya prategang (*tendon*).



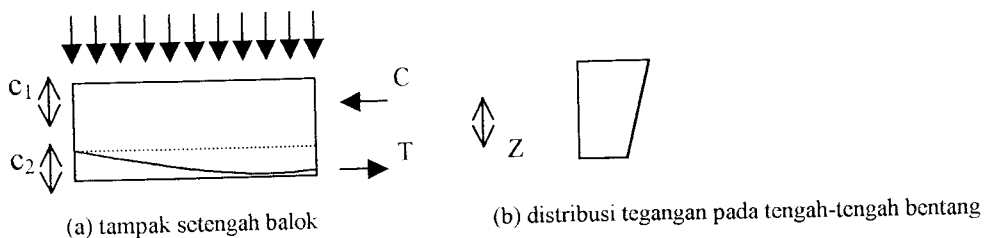
Gambar 3.1 Distribusi tegangan pada penampang beton prategang dengan eksentrisitas

Dari gambar 3.1 diperoleh tegangan total yang terjadi pada penampang beton , yaitu

$$f = -\frac{P}{A} \pm \frac{P.e.c}{I} \pm \frac{M.c}{I} \tag{3.1}$$

3.1.2 Sistem Prategang untuk Kombinasi Baja Mutu Tinggi dengan Beton

Seperti halnya pada beton bertulang, beton prategang merupakan kombinasi dari baja prategang menahan tarik dan beton menahan desak, kedua bahan membentuk kopel penahan untuk melawan kopel eksternal.



Gambar 3.2 kopel dalam akibat gaya prategang dan beban kerja

Persyaratan keseimbangan mengharuskan gaya desak (C) = gaya tarik (T).
Jika gaya prategang bekerja maka lengan momen (Z) dapat diketahui dengan persamaan

$$Z = \frac{M}{T} \quad (3.2)$$

karena lengan Z diketahui maka pusat gaya desak dapat ditentukan. Tegangan-tegangan yang terjadi pada sisi atas dan sisi bawah dapat dihitung dengan persamaan

$$f = \frac{-P}{A} \pm \frac{M.c}{I} \quad (3.3)$$

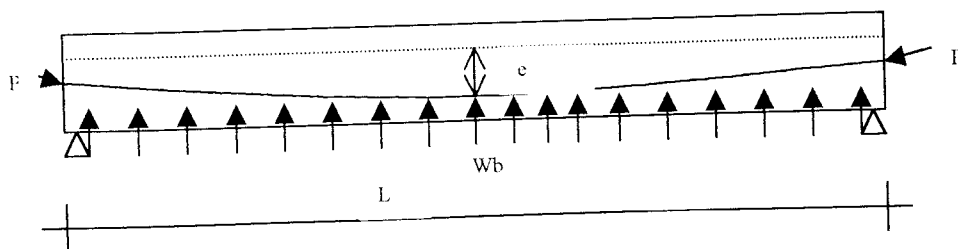
3.1.3 Sistem Prategang untuk Mencapai Keseimbangan Beban

Konsep ini menggunakan gaya prategang sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya, sehingga komponen struktur yang mengalami lentur, tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan tertentu. Besar gaya perimbangan yang dihasilkan oleh tendon dengan gaya-gaya yang terdistribusi secara merata ke atas adalah sebagai berikut :

$$W_b = \frac{8.P.e}{L^2} \quad (3.4)$$

$$W_{netto} = W_{total-kebawah} - W_b \quad , \text{ dan} \quad (3.5)$$

$$M_{netto} = \frac{1}{8} W_{netto}.L^2 \quad (3.6)$$



Gambar 3.3 prategang sistem perimbangan beban

Tegangan yang terjadi pada serat penampang adalah :

$$f = -\frac{P}{A} \pm \frac{M_{netto}.c}{I} \quad (3.7).$$

3.2 Perencanaan Balok Prategang

Dalam desain komponen struktur beton prategang dilakukan pengecekan saat transfer beban dan kondisi batas pada saat beban kerja, selain juga kondisi batas pada saat gagal, dengan beban gagal menunjukkan kekuatan cadangan untuk kondisi kelebihan beban. Untuk mendesain dan memilih penampang dibutuhkan penentuan modulus penampang.

3.2.1 Modulus Penampang

Besarnya penampang yang direncanakan harus mampu untuk menahan tegangan akibat momen yang terjadi, agar dapat dicapai kondisi yang demikian maka modulus penampang yang diperlukan baik terhadap sisi atas maupun sisi bawah adalah :

$$S_t \geq \frac{(1-R)M_{sd} + M_d + M_L}{R.f_u - f_{cs}} \quad (3.8)$$

$$S_b \geq \frac{(1-R)M_{sd} + M_d + M_L}{f_{ts} - R.f_{ci}} \quad (3.9)$$

Dengan :

R = rasio kehilangan gaya prategang

M_{sd} = momen yang terjadi akibat beban sendiri balok (kN.m)

M_d = momen yang terjadi akibat beban mati (kN.m)

M_L = momen yang terjadi akibat beban hidup (kN.m)

S_t = modulus penampang terhadap sisi atas (mm³)

S_b = modulus penampang terhadap sisi bawah (mm^3).

3.2.2 Analisis Beton Prategang

Analisis beton prategang adalah upaya mengontrol pemilihan dimensi penampang beton prategang, dan diharapkan penampang yang dihasilkan harus memenuhi persyaratan lentur yang meliputi tegangan beton dan tegangan baja.

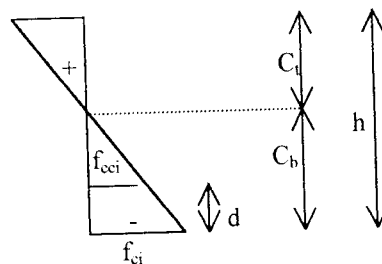
3.2.2.1 Tinjauan Gaya Prategang Terhadap Tegangan Pada Pusat Tendon

Dalam bentuk yang paling sederhana, diambil bentuk penampang persegi panjang yang diberi gaya prategang oleh sebuah tendon yang dibebani oleh gaya eksternal.

Gaya tarik prategang pada tendon menghasilkan gaya tekan P yang sama pada beton.

1. Untuk beton prategang penuh
 - a. Tegangan tendon pada pusat tendon

$$f_{cci} = f_u - \frac{C_t}{h}(f_u - f_{ci}) \quad (3.10)$$



- b. gaya prategang awal

$$P_i = |f_{cci}| \cdot A_c \quad (3.11)$$

- c. Gaya prategang efektif (P_e)

$$R = 1 - \text{LOP}$$

$$P_e = P_i \cdot R \quad (3.12)$$

2. Untuk prategang parsial

a. Gaya prategang awal (P_{ip})

$$P_{ip} = r \cdot P_i \quad (3.13)$$

r = % prategang parsial.

3.2.2.2 Menghitung Luas Baja Prategang

Perhitungan luas baja prategang mengacu pada jenis tendon dan tipe strand yang digunakan. Pada analisis ini digunakan kabel tendon VSL dan tipe strand ASTM A416-85 Grade 270, lihat lampiran 2a-c.

$$A_{ps} = n \times A_{kabel} \times n_{strand} \quad (3.14)$$

dengan, n = jumlah kabel

A_{kabel} = luas satuan kabel

n_{strand} = jumlah strand yang digunakan dalam 1 kabel.

3.2.3 Tata Letak Tendon

Kapasitas tegangan tekan balok untuk memikul beban luar akan jauh berkurang dengan pemberian gaya prategang konsentris. Untuk menghindari pembatasan ini, tendon prategang diletakkan secara eksentris di bawah sumbu netral di tengah bentang, agar timbul tegangan tarik di serat atas akibat prategang. Untuk membatasi tegangan, profil eksentrisitas tendon prategang, garis cgc , dibuat lebih kecil di penampang tumpuan daripada di penampang tengah bentang, atau tidak sama sekali, atau mungkin eksentrisitas tersebut negatif yang berarti di atas garis cgc .

Letak tendon dapat ditetapkan terlebih dahulu terhadap serat atas atau serat bawah dari penampang balok beton. Sehingga nilai e diperoleh dari;

eksentrisitas dengan momen maksimum negatif

$$e = C_t - d' \quad (3.15)$$

eksentrisitas dengan momen maksimum positif

$$e = C_b - d' \quad (3.16)$$

dengan e = eksentrisitas terhadap pusat berat penampang

C_t, C_b = jarak dari pusat berat penampang (garis cgc) ke serat atas

dan bawah

3.2.3.1 Selubung untuk Meletakkan Tendon

Tegangan beton diserat beton ekstrim pada kondisi beban kerja tidak dapat melebihi tegangan ijin maksimumnya. Dengan demikian zona yang membatasi di penampang beton perlu ditetapkan, yaitu selubung yang didalamnya gaya prategang dapat bekerja tanpa menyebabkan terjadinya tarik diserat beton ekstrim.

Dengan demikian ;

Ditetapkan Batas Kern yaitu;

a. batas kern bawah

$$k_b = \frac{r^2}{c_t} \quad (3.17)$$

b. batas kern atas

$$k_t = \frac{r^2}{c_b} \quad (3.18)$$

selubung eksentrisitas yang membatasi

a. selubung cgs bawah

$$a_{\min} = \frac{M_o}{P_i} \quad (3.19)$$

dengan demikian eksentrisitas bawah yang membatasi adalah :

$$e_b = (a_{\min} + k_b) \quad (3.20)$$

eksentrisitas tambahan yang akan ditambahkan adalah :

$$e'_b = \frac{f_u \cdot A_c \cdot k_b}{P_i} \quad (3.21)$$

b. selubung egs atas

$$a_{\max} = \frac{M_t}{P_e} \quad (3.22)$$

dengan demikian eksentrisitas atas yang membatasi adalah :

$$e_t = (a_{\max} - k_t) \quad (3.23)$$

eksentrisitas tambahan yang akan ditambahkan adalah :

$$e'_t = \frac{f_{ts} \cdot A_c \cdot k_t}{P_e} \quad (3.24)$$

3.2.4 Tegangan Beton dan Tendon

Kontrol tegangan dilakukan pada beton prategang sistem pasca tarik dengan sistem terlekat

a. Untuk prategang penuh

pada saat transfer, dipakai penampang netto :

$$A_{c \text{ netto}} = A_c - A_{\text{selubung}} \quad (3.25)$$

Pada saat layan, dipakai penampang bruto :

$$A_{t \text{ transformasi}} = A_c + (n-1) A_{ps} \quad (3.26)$$

b. Untuk prategang parsial

Pada saat transfer, dipakai penampang netto :

$$A_{c \text{ netto}} = A_c - A_{selubung} - (n-1) A_{sn} \quad (3.27)$$

Pada saat layan, dipakai penampang bruto :

$$A_{t \text{ transformasi}} = A_c + (n-1) A_{ps} + (n-1) A_{sn} \quad (3.28)$$

A. Tegangan ijin beton

Tegangan ijin beton sesuai SK SNI T - 15 - 1991 -03 adalah sebagai berikut

- 1) Sesaat setelah pelimpahan (*transfer*) gaya prategang

$$\text{Tegangan pada tepi tarik } f_{ti} = 0,25 \sqrt{f'_{ci}}$$

$$\text{Tegangan pada tepi tekan } f_{ci} = 0,6 f'_{ci}$$

- 2) Pada beban kerja (*layan*) setelah terjadi kehilangan gaya prategang

$$\text{Tegangan pada tepi tekan } f_{cs} = 0,45 f'_c$$

$$\text{Tegangan pada tepi tarik } f_{ts} = 0,5 \sqrt{f'_c}$$

B. Tegangan pada saat transfer

- 1) Tegangan beton

kontrol tegangan pada kondisi pasca tarik

pada serat tarik (atas)

$$f_{ti} \geq \frac{P_i}{A_c} \left(1 - \frac{e c_t}{r^2} \right) - \frac{M_o}{S_t} \quad (3.29)$$

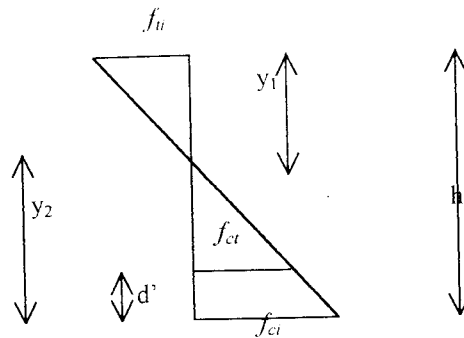
pada serat tekan (bawah)

$$|f_{ci}| \geq \left| -\frac{P_i}{A_c} \left(1 - \frac{e c_b}{r^2} \right) + \frac{M_o}{S_b} \right| \quad (3.30)$$

- 2) Tegangan tendon

tegangan pada saat penarikan (f_{si})

$$f_{si} = \frac{Pi}{Aps} \quad (3.31)$$



$$y_1 = \frac{f_u}{f_u + f_{ct}} \cdot h \quad y_2 = h - y_1$$

a) Tegangan beton didaerah tendon (f_{ct})

$$f_{ct} = \frac{y_2 - d'}{y_2} \cdot f_{ct} \quad (3.32)$$

b) Tegangan tendon pada saat transfer (f_s)

$$f_s = f_{si} + n \cdot f_{ct} \leq f_{si} \quad (3.33)$$

C. Tegangan pada saat akhir / layan

1) Tegangan beton (terekat)

a) pada serat tekan

$$|f_{cs}| \geq \left| -\frac{Pe}{Ac} \left(1 + \frac{e \cdot c_t}{r^2} \right) + \frac{Mt}{S_t} \right| \quad (3.34)$$

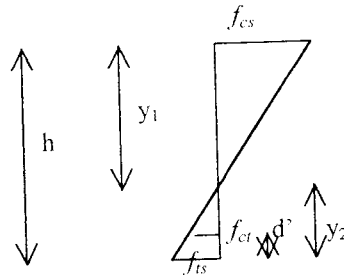
b) pada serat tarik

$$f_{ts} \geq \frac{Pe}{Ac} \left(1 - \frac{e \cdot c_b}{r^2} \right) + \frac{Mt}{S_b} \quad (3.35)$$

2) Tegangan tendon

a) Tegangan efektif tendon

$$f_{se} = \frac{Pe}{Aps} \quad (3.36)$$



$$y_1 = \frac{f_{cs}}{f_{cs} + f_{ts}} \cdot h \quad y_2 = h - y_1$$

b) tegangan beton didaerah tendon (f_{ct})

$$f_{ct} = \frac{y_2 - d'}{y_1} \cdot f_{cs} \quad (3.37)$$

c) tegangan tendon saat akhir/ layan

$$f_s = f_{se} + n \cdot f_{ct} \leq f_{si} \quad (3.38)$$

3.2.5 Analisis Kekuatan Struktur

Analisis kekuatan struktur mempunyai peran yang sangat penting, karena sebagai tolok ukur pada perencanaan selanjutnya.

3.2.5.1 Analisis Lentur

Saat beban yang bekerja pada beton bertulang sama dengan nol, maka tegangan pada tulang juga nol, sedang pada beton prategang terjadi sebaliknya, tanpa beban luar besar tegangan pada kabel – kabel tarik tidak sama dengan nol melainkan sebesar tegangan prategang efektif f_{se} yaitu besar tegangan prategang yang terjadi setelah dikurangi dengan kehilangan tegangan pada proses

pelaksanaan prategang. Besar regangan tulangan pada saat beban bekerja sama dengan nol adalah:

$$\varepsilon_{se} = \frac{f_{se}}{E_s} \quad (3.39)$$

selanjutnya, besar regangan dan tegangan yang terjadi karena bekerjanya beban luar dapat ditambahkan pada tegangan dan regangan awal ini.

Untuk baja prategang, keruntuhan terjadi hanya setelah baja melampaui tegangan leleh f_{py} . Seluruh kekuatan tarik baja prategang f_{pu} , tidak dapat dipakai untuk memikul besar momen nominal melainkan hanya suatu bagian yang lebih kecil dari kekuatan tersebut yaitu pada besar $f_{ps} < f_{pu}$ yang dapat dipakai. Untuk perencanaan nilai perkiraan f_{ps} disusun melalui persamaan berikut ini.

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - \frac{\gamma_p \cdot \rho_p \cdot f_{pu}}{\beta_1 \cdot f_c'} \right) \quad (3.40)$$

sedang f_{ps} menurut SK – SNI dihitung dengan rumus :

Tendon terekat (*pratarik dan pascatarik*)

$$f_{ps} = f_{pu} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_p \cdot \rho_p \cdot f_{pu}}{\beta_1 \cdot f_c'} \right) \quad (3.41)$$

apabila menyertakan tulangan non prategang

$$f_{ps} = f_{pu} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left(\frac{\rho_p \cdot f_{pu}}{f_c'} + \frac{d \cdot (w - w')}{d_p} \right) \right) \quad (3.42)$$

dan $\left(\frac{\rho_p \cdot f_{pu}}{f_c'} + \frac{d \cdot (w - w')}{d_p} \right) \geq 0,17$ serta nilai $d' \leq 0,15 \cdot d_p$

dengan

$$\gamma_p = 0,28 \text{ untuk } \frac{f_{py}}{f_{pu}} \geq 0,9 \text{ kabel bebas tegangan}$$

$$\gamma_p = 0,4 \text{ untuk } \frac{f_{py}}{f_{pu}} = 0,85 \text{ kabel dengan relaksasi rendah}$$

β_1 = konstanta yang tergantung pada mutu beton

$$f_c' \leq 30 \text{ Mpa} \rightarrow \beta_1 = 0,85$$

$$f_c' > 30 \text{ Mpa} \rightarrow \beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) \geq 0,65$$

$$\rho_{ps} = \frac{A_{ps}}{b \cdot d_p} = \text{rasio penulangan prategang}$$

SK-SNI memberikan batasan rasio tulangan prategang

$$w_p = \frac{\rho \cdot f_{ps}}{f_c'} \leq 0,36 \cdot \beta_1 \quad (3.43)$$

$$w = \frac{\rho \cdot f_y}{f_c'} \text{ dan } w' = \frac{\rho' \cdot f_y}{f_c'} \rightarrow \text{untuk tulangan non prategang}$$

Besar gaya tarik yang terjadi pada saat keruntuhan adalah :

$$\Sigma N_T = A_{ps} \cdot f_p \quad (3.44)$$

jika menyertakan tulangan non prategang

$$\Sigma N_T = A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y \quad (3.45)$$

Besar gaya tekan yang terjadi saat keruntuhan adalah :

$$\Sigma N_D = 0,85 f_c' \cdot a \cdot b \quad (3.46)$$

Dalam keseimbangan gaya-gaya, $\Sigma N_T = \Sigma N_D$, maka didapatkan :

$$a = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps}}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{\rho_p \cdot b \cdot d \cdot f_{ps}}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{\rho_p \cdot d \cdot f_{ps}}{0,85 \cdot f_c'} \quad (3.47)$$

jika menyertakan tulangan non prategang

$$a = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \quad (3.48)$$

jika h_f lebih besar dari a , analisislah elemen tersebut sebagai penampang persegi panjang dan jika h_f lebih kecil dari a , analisislah elemen tersebut sebagai penampang bersayap.

selanjutnya persamaan tersebut dimasukkan dalam kuat momen nominal

$$Mn = \sum N_T \left(d_p - \frac{a}{2} \right) \quad (3.49)$$

jika menyertakan tulangan non prategang

a. berada di dalam sayap

$$Mn = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + A_s \cdot f_y \cdot \left(d_s - \frac{a}{2} \right) \quad (3.50)$$

b. berada di luar sayap

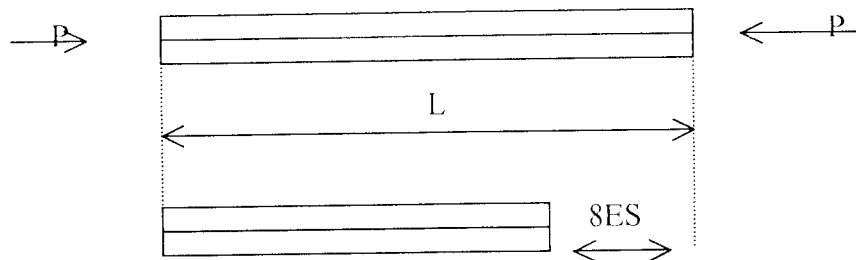
$$Mn = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + A_s \cdot f_y \cdot (d - d_p) + 0,85 \cdot f_c' \cdot (b - b_w) \cdot h_f \cdot \left(d_p - \frac{h_f}{2} \right) \quad (3.51)$$

3.2.6 Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang harus diperhitungkan dalam perencanaan struktur beton prategang karena berpengaruh pada tegangan –tegangan yang terjadi pada penampang beton prategang, pada keadaan awal ataupun keadaan service.

Kehilangan gaya prategang dapat diperkirakan dengan lebih rinci sebagai berikut:

3.2.6.1 Akibat Perpendekan Elastis Beton



Gambar. 3.4 perpendekan elastis pada beton

mengacu pada hukum Hooke, perpendekan elastis pada beton adalah

$$\Delta_{ES} = \frac{P_i L}{A_c E_c} \quad (3.52)$$

Regangan yang terjadi pada beton adalah :

$$\varepsilon_{ES} = \delta_{ES} / L \quad (3.53)$$

Kehilangan tegangan adalah :

sistem pascatarik

- Jika hanya terdapat satu tendon, maka tidak terjadi kehilangan akibat perpendekan elastis beton.
- Jika tendon digunakan lebih dari satu dan ditarik bertahap, sehingga gaya prategang menekan beton secara bertahap, maka perpendekan elastis beton bertambah setiap pengangkuran tendon.

$$\Delta f_{pES} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\Delta f_{pES})_j \quad (3.54)$$

dimana :

P_o = gaya tekan = 0,9 Pi	L = panjang batang
A_c = Luas penampang beton	E_c = modulus elastisitas
n = perbandingan modulus = E_s/E_c	N = jumlah tendon

j = jumlah pengangkeran

3.2.6.2 Akibat Pengangkuran/ Pergeseran Angkur

kehilangan karena dudukan angker pada komponen struktur pasca tarik diakibatkan adanya blok – blok pada angker pada saat gaya pendongkrak ditransfer ke angker. Cara mudah untuk mengatasi kehilangan ini adalah dengan memberikan kelebihan tegangan. Pada umumnya besarnya kehilangan karena dudukan angker bervariasi antara 6,35 mm – 9,53 mm (1/4 in – 3/8 in) untuk angker dengan dua blok.

$$\Delta f_{p1} = \frac{\Delta_A}{L} E_p \quad (3.55)$$

dimana : Δ_A = pergelinciran angkur, dan L = panjang bentang

3.2.6.3 Akibat Rangkak Pada Beton

Rangkak beton adalah peningkatan regangan tambahan terhadap waktu akibat beban yang terus menerus bekerja. Kehilangan gaya prategang akibat rangkakan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta f_{pCR} = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{cs} - f_{csd}) \quad (3.56)$$

dimana :

$K_{cr} = 2,0$ untuk sistem pratarik

$K_{cr} = 1,6$ untuk sistem pasca tarik

$$f_{cs} = \text{tegangan beton} = -\frac{P_o}{Ac} \left(1 - \frac{e^2}{r^2} \right) + \frac{M_D e}{I_c}$$

f_{csd} = tegangan beton pada titik berat tendon akibat beban mati yang bekerja pada komponen struktur setelah diberi gaya prategang

3.2.6.4 Akibat Susut Pada Beton

Susut pada beton prategang mengakibatkan perpendekan tendon yang ditarik, berarti mengakibatkan kehilangan tegangan. Kehilangan gaya prategang akibat susut beton dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\Delta f_{pSH} = K_{SH} \cdot \epsilon_{PS} E_{PS} \quad (3.57)$$

dimana :

$$\epsilon_{PS} = 8,2 \cdot 10^{-6} \left(1 - 0,06 \frac{V}{S} \right) (100 - R.H) \quad (3.58)$$

$\frac{V}{S}$ = perbandingan volume terhadap luas permukaan

$R.H$ = kelembaban relatif

K_{SH} = koefisien susut dilihat dari tabel

Tabel 3.1 Koefisien Susut (K_{SH})

	jangka waktu setelah perawatan (curing) sampai penarikan tendon / transfer (hari)							
	1	3	5	7	10	20	30	60
K_{SH}	0,92	0,85	0,80	0,77	0,73	0,64	0,58	0,45

Sumber : Lin, T.Y dan Burns, H, 1988

3.2.6.5 Akibat Relaksasi Baja

Relaksasi baja adalah pengurangan tegangan dalam baja pada regangan konstan dan besarnya tergantung waktu dan perbandingan antara f_{pi} dengan f_{py} . Kehilangan gaya prategangan ini pada sistem praarik dapat terjadi sebelum dan sesudah transfer gaya prategang.

Kehilangan tegangan akibat relaksasi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\Delta f_{pR} = f_{pi} \left(\frac{\log t_2 - \log t_1}{10} \right) \left(\frac{f_{pi}}{f_y} - 0,55 \right) \quad (3.59)$$

dengan, t = dalam jam

Menurut ACI-ASCE, kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja dapat dihitung dengan,

$$\Delta f_{pR} = \{K_{re} - j(\Delta f_{pSH} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pes})\} C' \quad (3.60)$$

dimana :

Δf_{pSH} = kehilangan gaya prategang akibat susut beton

Δf_{pCR} = kehilangan gaya prategang akibat rangkai beton

Δf_{pes} = kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis

K_{re}, j, C' = dilihat dari tabel

Tabel 3.2 Nilai K_{re} , dan J

Tipe Tendon	K_{re} (Mpa)	J
Strand atau kawat stress-relieved derajat 1860 Mpa	138	0,150
Strand atau kawat stress-relieved derajat 1720 Mpa	128	0,140
Kawat stress-relieved derajat 1655 Mpa atau 1620 Mpa	121	0,130
Strand relaksasi rendah derajat 1860 Mpa	35	0,040
Kawat relaksasi rendah derajat 1720 Mpa	32	0,037
Kawat relaksasi rendah derajat 1655 Mpa atau 1620 Mpa	30	0,035

Sesuai dengan ASTM A416-74, ASTM A421-76 atau ASTM A722-75.

Sumber : Lin, T.Y dan Burns, H, 1988

Tabel 3.3 Nilai C

	strand atau kawat stress relieved	Batang stress relieved atau strand atau kawat reaksi rendah
0,8		1,28
0,79		1,22
0,78		1,16
0,77		1,11
0,76		1,05
0,75	1,45	1,00
0,74	1,36	0,95
0,73	1,27	0,90
0,72	1,18	0,85
0,71	1,09	0,8
0,70	1,00	0,75
0,69	0,94	0,7
0,68	0,89	0,66
0,67	0,83	0,61
0,66	0,78	0,57
0,65	0,73	0,53
0,64	0,68	0,49
0,63	0,63	0,45
0,62	0,58	0,41
0,61	0,53	0,37
0,60	0,49	0,33

Sumber : Lin, T.Y dan Burns, H, 1988

3.2.6.6 Akibat Gesekan

Kehilangan prategang terjadi pada komponen struktur pascatarik akibat adanya gesekan antara tendon dan beton di sekelilingnya. Beberapa nilai pendekatan untuk menghitung kehilangan gaya prategang akibat gesekan ini diberikan pada tabel 3.4.

Persamaan untuk memprediksikan kehilangan gaya prategang akibat gesekan sebagai berikut :

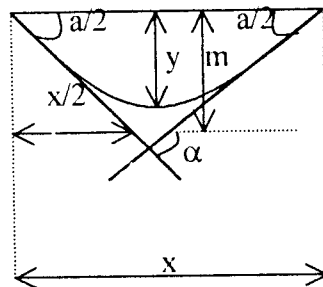
$$\Delta f_{pr} = f_{pi} [(\mu \cdot \alpha) + (K \cdot L)] \quad (3.61)$$

dimana f_{pi} = tegangan awal tendon

K = koefisien gesekan pergoyangan

μ = koefisien gesekan lengkung

α = perubahan sudut kabel dari ujung dongkrak ketitik x (dalam radian)



$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{m}{x/2} = \frac{2m}{x}$$

jika $y = \frac{1}{2} m$ dan $\alpha/2 = 4y/x$, maka $\alpha = (8y/x)$ radian.

Tabel 3.4 koefisien –koefisien gesekan untuk tendon –tendon post tensioned

Tipe Tendon	Koefisien Woble K Tiap meter	Koefisien Kelengkungan μ
Tendon pada saat selubung logam fleksibel		
Tendon kawat	0.0033 – 0.0049	0.15 – 0.25
strand dengan untaian 7-kawat	0.0016 – 0.0066	0.15 – 0.25
batang baja mutu tinggi	0.0003 – 0.0020	0.08 – 0.30
Tendon pada selubung logam kaku		
strand dengan untaian 7-kawat	0.0007	0.15 – 0.25
Tendon yang diminyaki terlebih dahulu		
Tendon kawat dan strand dengan untaian 7-kawat	0.001 – 0.0066	0.05 – 0.15
Tendon yang liberi lapisan mastik		
Tendon kawat dan strand dengan untaian 7-kawat	0.0033 – 0.0066	0.05 – 0.15

Sumber : Lin, T.Y dan Burns, H, 1988

3.3 Kekuatan Geser dan Torsional Beton Prategang

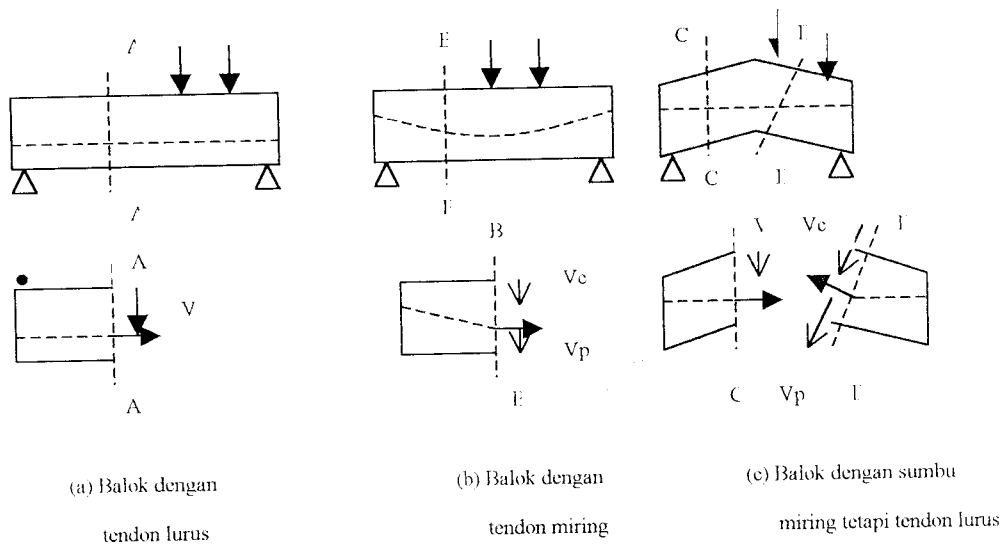
Kekuatan beton dalam menahan tarik sangat jauh lebih kecil daripada kekuatannya terhadap tekan, maka desain untuk geser dan torsi menjadi hal yang penting pada semua jenis struktur beton.

Perilaku balok beton prategang pada saat gagal karena geser atau karena gabungan geser dan torsi sangat berbeda pada perilaku lentur : balok tersebut gagal secara tiba-tiba tanpa ada peringatan sebelumnya, dan retak diagonal yang

terjadi sangat jauh lebih lebar daripada retak lentur. Baik gaya geser maupun gaya torsi menimbulkan tegangan geser. Tegangan seperti ini dapat menimbulkan tegangan tarik utama di penampang kritis yang dapat melebihi kuat tarik beton.

3.3.1 Tegangan Geser Balok Prategang

Kekuatan geser yang dihasilkan beton prategang dihitung dari persamaan perancangan yang merupakan perluasan dari pengalaman terhadap struktur beton bertulang biasa.



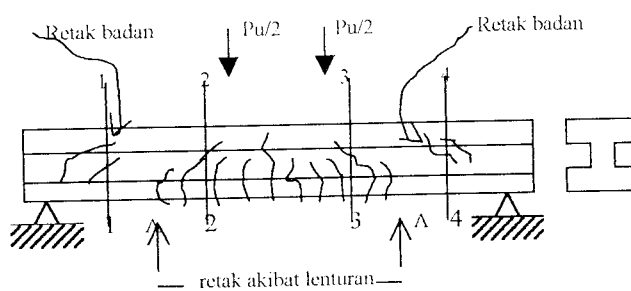
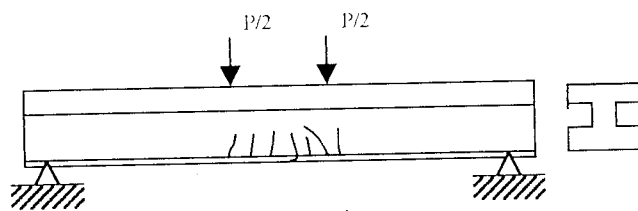
Gambar 3.5 Gaya geser yang dipikul beton dan tendon

Gambaran umum dari geseran pada balok prategang akan diterapkan gambar 3.5. Balok (a) diberi gaya prategang dengan tendon lurus. Dengan meninjau penampang sembarang A –A, gaya geser V pada penampang tersebut sepenuhnya dipikul oleh beton dan bukan oleh tendon yang diberi gaya prategang tegak lurus. Balok (b) diberi gaya prategang dengan tendon yang miring. Penampang B –B memperlihatkan tendon memikul gaya lintang (gaya geser) dan sebagian lagi dipikul oleh beton, sehingga :

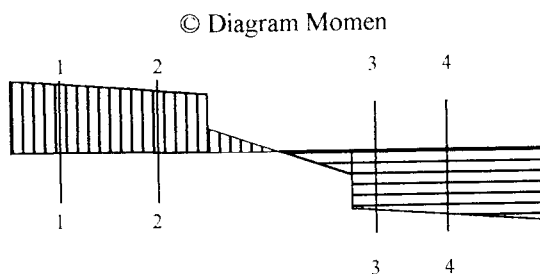
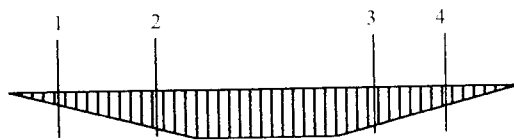
$$V_c = V - V_p \quad (3.62)$$

Sedangkan pada penampang C – C balok (c) memperlihatkan bahwa walaupun tendon dibuat menyudut terhadap sumbu balok, sedikitpun tidak memikul gaya geser vertikal. Pada penampang D – D, memperlihatkan tendon tidak tegak lurus terhadap geser sehingga tendon memikul gaya tersebut.

Pendekatan dalam peraturan ACI mempunyai dasar yang rasional untuk mempertimbangkan bagaimana retak akibat geser yang terjadi pada struktur prategang.



(b) Retak akibat geser dan lentur dengan beban berfaktor



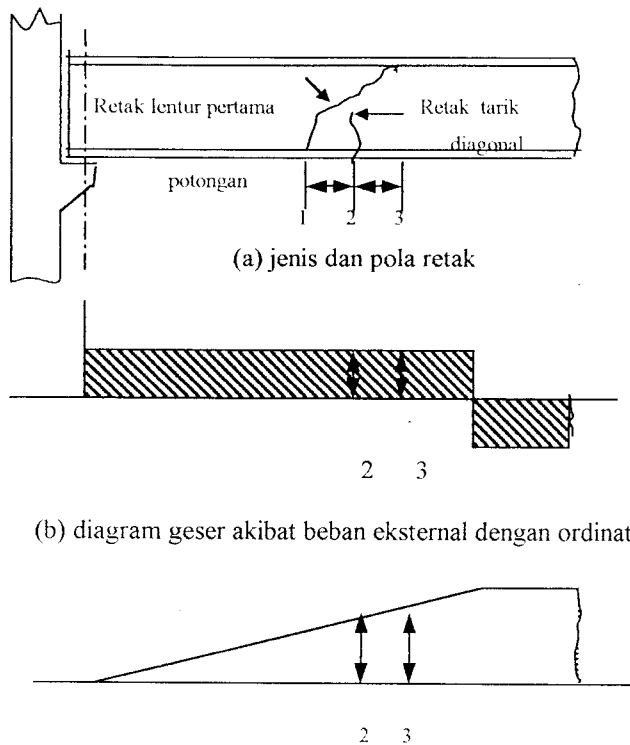
Gambar 3.6 Perkembangan Retak Balok Akibat Geseran

Pada gambar 3.6 perkembangan retak yang terjadi pada penampang sangat berpengaruh pada gaya geser dan momen. Mula-mula retak dimulai pada tengah bentang yang disebut retak lentur akibat momen, Gambar 3.6 (a); kemudian pengaruh kombinasi geseran dan momen mengakibatkan kehancuran pada penampang 2 – 2, Gambar 3.6 (b) retak miring di badan (*web*) pada penampang 1 – 1 dari balok, disebabkan geseran yang dominan.

Dari penjelasan diatas dapat disimpulkan, bahwa ada dua jenis kehancuran yang terjadi pada balok akibat geseran : pertama, retak terdapat di badan akibat tarikan utama yang tinggi, dan kedua retak akibat lentur yang mula-mula vertikal dan sedikit demi sedikit berkembang menjadi retak miring akibat geseran.

3.3.1.1 Kekuatan Geser Lentur (V_{ci})

Dalam mendesain geser, perlu ditentukan apakah geser lentur atau geser badan untuk menentukan pemilihan kuat geser beton V_c . Retak miring yang stabil pada jarak $d/2$ dari retak lentur yang terjadi pada taraf beban retak pertama secara geser lentur ditunjukkan dalam gambar 3.7. Jika tinggi efektif adalah d_p , dan tinggi dari serat tekan ke pusat berat baja prategang longitudinal, maka perubahan momen antar potongan 2 dan 3 adalah



(b) diagram geser akibat beban eksternal dengan ordinat gaya geser friksi V_{cr} di pot. 2

(c) diagram momen dengan ordinat momen retak pertama M_{cr} di potongan 2

Gambar 3.7 Pertumbuhan retak geser lentur

$$M - M_{cr} \cong \frac{Vdp}{2} \quad (3.63)$$

gaya geser terfaktor V_i di penampang yang ditinjau akibat beban eksternal yang terjadi secara simultan dengan momen maksimum M_{max} yang terjadi di penampang tersebut, sehingga

$$V_{ci} = 0,6 \lambda \sqrt{f_c'} bw dp + Vd + \frac{V_i}{M_{maks}} (M_{cr}) \geq 1,7 \lambda \sqrt{f_c'} bw dp \quad (3.64)$$

$$V_{ci} \leq 5,0 \lambda \sqrt{f_c'} bw dp \quad (3.65)$$

di mana $\lambda = 1,0$ untuk beban berbobot normal

$= 0,85$ untuk beban berbobot ringan pasir

$= 0,75$ untuk beton berbobot ringan

V_d = gaya geser di penampang akibat beban mati tak terfaktor

V_{ci} = kuat geser nominal yang diberikan oleh beton pada saat terjadi retak tarik diagonal akibat gabungan gaya geser vertikal dan momen

V_i = gaya geser terfaktor di penampang akibat beban eksternal yang terjadi secara simultan dengan M_{maks} .

Untuk beton ringan, $\lambda = f_{cr} / 6,7\sqrt{f'_c}$ jika nilai kuat tarik belah f_{ct} diketahui.

Perhatikan jika nilai kuat nilai belah $\sqrt{f'_c}$ diketahui tidak boleh melebihi 100.

Persamaan untuk M_{cr} , yaitu momen yang menyebabkan retak lentur akibat beban eksternal, dinyatakan dengan

$$M_{cr} = \frac{I_c}{y_t} (6\sqrt{f'_c} + f_{ce} - f_d) \quad (3.66)$$

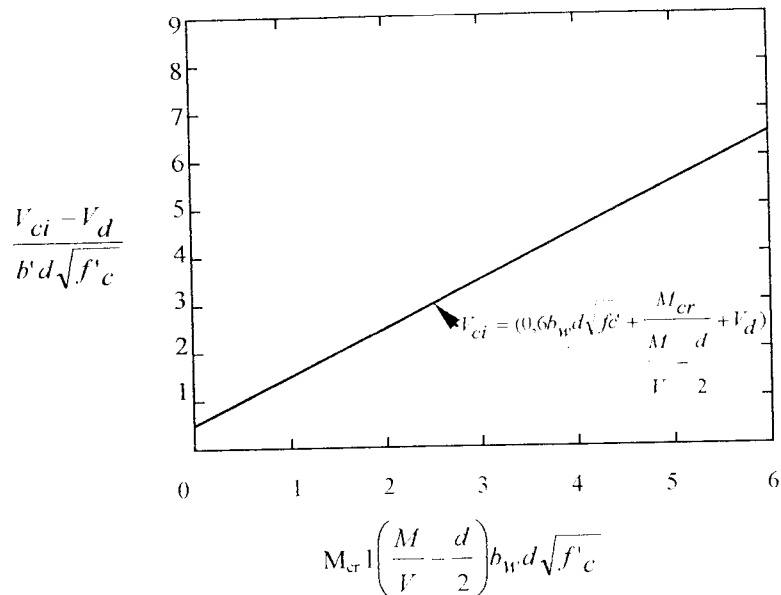
di dalam standar ACI, f_{ce} dinyatakan dengan f_{pe} di mana

f_{ce} = tegangan tekan beton akibat tekanan efektif sesudah terjadinya kehilangan di serat ekstrim penampang di mana tegangan tarik ditimbulkan oleh beban eksternal, dalam satuan psi. Di pusat berat, $f_{ce} = \bar{f}_c$.

f_d = tegangan akibat beban mati tak terfaktor di serat ekstrim penampang yang ditimbulkan oleh berat sendiri saja di mana tegangan tarik diakibatkan oleh beban eksternal, psi.

y_t = jarak dari sumbu berat ke serat tarik ekstrim.

M_{cr} = bagian momen akibat beban hidup yang bekerja yang menimbulkan retak.



Sumber : Nawy, E.D,2001, Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar

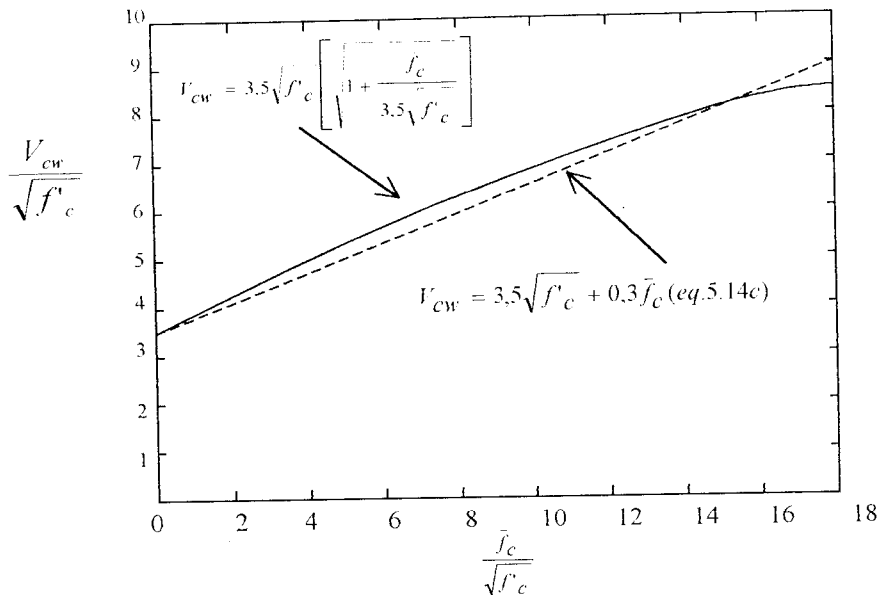
Gambar 3.8 Hubungan antara momen dan geser pada retak geser lentur

3.3.1.2 Kuat Geser Badan (V_{cw})

Retak geser badan pada balok prategang disebabkan oleh geser tak tertentu yang dapat dengan baik dievaluasi dengan menghitung tegangan tarik utama di bidang kritis dari persamaan 3.67. Tegangan geser v_c dapat didefinisikan sebagai tegangan geser badan v_{cw} dan mencapai maksimum di dekat pusat berat penampang cgc dimana retak diagonal aktual terbentuk, sebagaimana ditunjukkan pada sejumlah besar pengujian hingga gagal. Jika v_{cw} disubstitusikan untuk v_c dan \bar{f}_c , yang menunjukkan tegangan beton f_c akibat prategang efektif pada level cgc, disubstitusikan untuk f_c dalam persamaan tersebut, maka persamaan yang menyamakan tegangan tarik utama di beton dengan kuat tarik langsung menjadi

$$f'_t = \sqrt{(f_c/2)^2 + v_c^2} - \frac{f_c}{2} \quad (3.67)$$

$$f'_t = \sqrt{(\bar{f}'_c / 2) + v_{cw}^2} - \frac{\bar{f}'_c}{2} \quad (3.68)$$



sumber : Nawy, E.D,2001, Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar

Gambar 3.9 Tegangan tekan versus tegangan geser nominal di pusat berat pada retak geser badan.

dimana $v_{cw} = V_{cw} / (b_w d_p)$ adalah tegangan geser di beton akibat semua beban yang menimbulkan kuat nominal gaya geser vertikal v_{cw} di badan. Tegangan v_{cw} dari persamaan 3.68, adalah

$$v_{cw} = f'_t \sqrt{1 + \bar{f}'_c / f'_t} \quad (3.69)$$

dengan menggunakan $f'_t = 3,5\sqrt{f'_c}$ sebagai nilai yang wajar untuk tegangan tarik berdasarkan sejumlah besar pengujian, persamaan 3.69 menjadi

$$v_{cw} = 3,5\sqrt{f'_c} (\sqrt{1 + \bar{f}'_c / 3,5\sqrt{f'_c}}) \quad (3.70)$$

yang dapat disederhanakan menjadi

$$v_{cw} = 3,5\sqrt{f'_c} + 0,3\bar{f}'_c \quad (3.71)$$

di dalam standar ACI f_c dinyatakan dengan f_{pc} sehingga kuat geser nominal V_{cw} yang diberikan oleh beton apabila terjadi retak diagonal yang diakibatkan tegangan tarik utama di badan adalah

$$V_{cw} = (3,5 \lambda \sqrt{f'_c} + 0,3f_c) b_w d_p + V_p \quad (3.72)$$

di mana V_p = komponen vertikal dari prategang efektif di penampang yang berkontribusi dalam menambahkan kekuatan lentur

λ = 1,0 untuk beton berbobot normal, dan lebih kecil dari itu untuk beton ringan

d_p = jarak dari serat tekan ekstrim ke pusat berat baja prategang, atau 0,8h, manapun yang terkecil

3.3.1.3 Menentukan Kuat Beton Badan V_c

Standar ACI memberikan ketentuan, yaitu pada komponen struktur pratarik dimana penampang yang terletak pada jarak $h/2$ dari muka tumpuan terletak lebih dekat ke ujung komponen struktur tersebut dibandingkan dengan panjang transfer tendon prategang, nilai prategang tereduksi harus digunakan dalam menghitung v_{cw} . Nilai v_{cw} ini harus diambil sebagai nilai maksimum untuk v_c dalam rumus

$$V_{cw} = \left[0,6 \lambda \sqrt{f'_c} + 700 \frac{V_u d_p}{M_u} \right] b_w d_p \geq 2 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d_p \quad (3.73)$$

$$\leq 5 \sqrt{f'_c} b_w d_p$$

nilai $V_u d_p / M_u$ tidak boleh melebihi 1,0

Persamaan dapat digunakan dalam menentukan V_c untuk komponen struktur dimana gaya prategang efektif tidak kurang daripada 40 persen dari kuat tarik penulangan lentur, kecuali apabila analisis yang lebih rinci dilakukan dengan

menggunakan persamaan untuk V_{ci} dan untuk V_{cw} , dengan memilih yang terkecil di antara kedua nilai tersebut sebagai nilai V_c yang membatasi untuk dipakai sebagai kapasitas badan dalam mendesain penulangan badan.

Bidang pertama untuk kekuatan geser nominal total yang dibutuhkan $V_u = V_u/\phi$ untuk digunakan dalam perhitungan baja di badan juga terletak pada jarak $h/2$ dari muka tumpuan. Untuk sumbang penulangan geser digunakan ,

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (3.74)$$

dengan, A_v = luas efektif dari tulangan geser

s = jarak dari tulangan geser

Beton prategang juga harus diberi jumlah minimum tulangan geser bilamana $V_u/\phi > V_c/2 < V_c$, gunakan tulangan minimum. Jika $V_u/\phi > V_c$ dan $V_s = V_u/\phi - V_c \leq 8\lambda\sqrt{f_c}'b_w d_p$, desainlah baja tulangan badan. Jika $V_s = V_u/\phi - V_c > 8\lambda\sqrt{f_c}'b_w d_p$ atau jika $V_u > \phi(V_c + 8\lambda\sqrt{f_c}'b_w d_p)$, besarkan penampangnya.

Penulangan badan minimum adalah

$$A_v = \frac{A_{ps} f_{pu} s}{80 f_y d} \sqrt{\frac{d_p}{b_w}} \quad (3.75)$$

Penulangan minimum yang dibutuhkan

$$A_v = \frac{s(V_u/\phi - V_c)}{f_y d_p} \quad (3.76)$$

Jika s pada persamaan 3.76 lebih kecil dari s pada persamaan 3.75 maka gunakan s pada persamaan 3.75. Dan jika lebih besar maka tetap gunakan nilai s dari persamaan 3.76.

Jika $V_s = (V_u \phi - V_c) \leq 4\lambda \sqrt{f_c'} b_w d_p$, maka jarak sengkang s adalah yang dibutuhkan. Jika $V_s = (V_u \phi - V_c) > 4\lambda \sqrt{f_c'} b_w d_p$, maka jarak sengkang s adalah setengah dari jarak yang dibutuhkan.

Namun, persyaratan ini dapat ditangguhkan bila dilakukan percobaan yang menunjukkan bahwa kekuatan lentur dan geser dapat dikembangkan tanpa adanya tulangan geser.

3.3.2 Torsi Pada Elemen Beton Prategang

Torsi terjadi pada struktur beton monolit terutama dimana beban kerja pada jarak sumbu longitudinal komponen struktural. Pada elemen struktural yang mengalami momen puntir, kadang-kadang menimbulkan tegangan geser yang berlebihan. Akibatnya retak yang cukup parah akan terjadi jauh di atas batas daya layan yang diijinkan, kecuali apabila penulangan torsional khusus digunakan.

Torsi jarang terjadi pada struktur beton tanpa disertai oleh lentur dan geser. Adanya penulangan transversal dan longitudinal untuk menahan sebagian dari momen torsional mengharuskan penggunaan pembagian momen torsi pada penampang sebagai berikut, apabila

T_n = tahanan torsional nominal total yang diberikan oleh penampang termasuk penulangan.

T_c = tahanan torsional nominal beton polos

T_s = tahanan torsional penulangan, maka

$$T_n = T_c + T_s \quad (3.77)$$

3.3.3 Desain Balok Beton Prategang yang Mengalami Gabungan Torsi, Geser, dan Lentur Menurut Standar ACI 318-99

Standar ACI memberikan momen torsional terfaktor maksimum di penampang kritis $h/2$ dari muka tumpuan untuk komponen struktur beton prategang sebagai berikut :

di mana A_{cp} = luas yang ditutupi leh keliling penampang beton = $x_o y_o$

$$P_{cp} = \text{keliling luar penampang beton } A_{cp} \text{ in } 2(x_o + y_o)$$

$$T_u = \phi 4 \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{\bar{f}_c}{4 \sqrt{f'_c}}} \quad (3.78)$$

\bar{f}_c = tegangan tekan rata-rata di beton pada sumbu berat hanya karena prategang efektif sesudah semua kehilangan. \bar{f}_c disebut f_{pc} di dalam standar ACI.

Pengabaian efek penuh dari nilai total momen torsional eksternal, dalam hal ini, tidak menimbulkan kegagalan pada struktur, akan tetapi mungkin menyebabkan retak yang berlebihan jika sangat jauh lebih kecil dari pada torsi terfaktor aktual.

Apabila torsi terfaktor aktual lebih kecil daripada yang diberikan oleh persamaan 3.78 maka baloknya harus didesain terhadap nilai torsi yang lebih kecil. Untuk beton prategang, momen torsional diabaikan jika

$$T_u < \phi \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{\bar{f}_c}{4 \sqrt{f'_c}}} \quad (3.79)$$

3.3.3.1 Kuat Momen Torsional

Ukuran penampang dipilih dengan tujuan mengurangi retak-retak halus dan mencegah hancurnya permukaan beton yang diakibatkan oleh tegangan tekan miring akibat geser dan torsi yang didefinisikan dengan bagian kiri dari

persamaan 3.26. Dimensi geometris untuk kuat momen torsional pada komponen struktur beton bertulang dan beton prategang dibatasi oleh rumus-rumus berikut

a. Penampang Solid

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2}\right)} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 8\sqrt{f'_c}\right) \quad (3.80)$$

b. Penampang Berlubang

$$\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2}\right) \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 8\sqrt{f'_c}\right) \quad (3.81)$$

di mana

A_{oh} = luas yang ditutupi oleh as tulangan torsional transversal tertutup paling luar, in²

P_h = keliling as tulangan torsional transversal tertutup yang paling luar, in
luas aliran geser $A_o \cong 0,85A_{oh}$

Jumlah dari tegangan di sisi kiri persamaan 3.81 tidak boleh melebihi tegangan yang menyebabkan retak gesr ditambah $8\sqrt{f'_c}$. Ini sama dengan batas kekuatan $V_s \leq \sqrt{f'_c}$ untuk geser tanpa torsi. Apabila tebal dinding $t < A_{oh}/P_h$, maka bagian kiri dari persamaan 3.81 harus diambil sebesar

$\left(\frac{V_u}{b_w d}\right) + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2}\right)$ tebal dinding t adalah tebal di mana tegangan sedang dicek.

$$V_c = \left(0,6\lambda\sqrt{f'_c} + 700\frac{V_u d}{M_u}\right)b_w d; \quad \frac{V_u d}{M_u} \leq 1,0$$

$$\leq 1,7\lambda\sqrt{f'_c}b_w d$$

$$\geq 5,0\lambda\sqrt{f'_c}b_wd \quad (3.82)$$

di mana $f_{pe} > 0,4f_{pu}$

3.3.3.2 Penulangan Badan Untuk Torsi

Tulangan transversal untuk torsi harus didasarkan pada kekuatan momen torsional eksternal penuh $T_n = T_u / \phi$, yang mana .

$$T_n = \frac{2A_oA_t f_{yv}}{s} \cot \theta \quad (3.83)$$

di mana, A_o = luas bruto yang ditutupi oleh alur aliran geser, in²

A_t = luas penampang satu kaki sengkang tertutup transversal, in²

f_{yv} = kuat leleh tulangan torsional transversal tertutup, tidak boleh melebihi 60.000 psi

θ = sudut diagonal tekan untuk torsi

persamaan 3.38 dapat ditulis

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2A_o f_{yv} \cot \theta} \quad (3.84)$$

f_{yl} = kuat leleh tulangan torsional longitudinal, tidak boleh melebihi 60.000 psi.

Standar ACI membolehkan nilai θ diambil sebesar 37,5° untuk komponen struktur prategang dengan gaya prategang efektif lebih besar dari 40 % dari kuat tarik longitudinal.

Luas total maksimum tulangan longitudinal tambahan untuk torsi tidak boleh kurang daripada

$$A_l = \frac{A_t}{s} \rho_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yl}} \right) \cot^2 \theta \quad (3.85)$$

$$A_{t\min} = \frac{5\sqrt{f_c'} A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{A_t}{s}\right) \cdot p_h \frac{f_{yv}}{f_{yt}} \quad (3.86)$$

3.3.3.3 Tulangan Torsional Minimum

Luas tulangan minimum harus ada di semua daerah dimana momen torsional terfaktor T_u melebihi nilai yang diberikan dalam persamaan 3.78. Dalam hal ini, luas minimum sengkang tertutup transversal yang diperlukan adalah

$$A_v + 2A_t \geq \frac{50b_w s}{f_{yv}} \quad (3.87)$$

BAB IV

PERENCANAAN DAN ANALISIS

4.1 Data Analisis

1. Direncanakan portal 5 lantai dengan :
2. Mutu beton $f_c' = 45$ MPa
3. Saat transfer kuat beton diperkirakan mencapai 80 % f_c'
4. $f_{ci}' = 0,8 \times 45 = 36$ MPa
5. $f_y = 400$ MPa
6. Kuat tarik ultimit baja prategang (f_{pu}) = 1860 MPa
7. Modulus Elastis beton (E_c) = $4700 \cdot \sqrt{45} = 31528,5585$ MPa
8. Modulus Elastik baja prategang (E_s) = $2 \cdot 10^5$ MPa

$$n = \frac{E_s}{E_c} = 6.3434$$

4.2 Tegangan Ijin Beton

Tegangan yang terjadi pada balok beton prategang harus memenuhi persyaratan ijin sebagai berikut :

1. Saat transfer

a. Serat bawah (tekan) f_{ci} $= 0,6 \times f_{ci}' = 0,6 \times 36 = -21,6$ MPa

b. Serat atas (tarik) f_{ti} $= 0,25 \times \sqrt{f_{ci}'} = 0,25 \times \sqrt{36} = 1,5$ MPa

2. Saat Layan

a. Serat bawah (tarik) f_{ts} $= 0,5 \times \sqrt{f_c'} = 0,5 \times \sqrt{45} = 3,35$ MPa

$$b. \text{ Serat atas (tekan) } f_{cs} = 0,45 \times f_c' = 0,45 \times 45 = -20,25 \text{ Mpa}$$

4.3 Pembebanan

Beban gravitasi untuk tiap m^2

1. Pembebanan Atap

a. Beban Mati

pelat atap	$= 0,12 \times 24$	$= 2,88$	kN/m^2
lapis kedap air	$= 0,02 \times 24$	$= 0,48$	kN/m^2
plafon	$= 0,04 \times 11$	$= 0,44$	kN/m^2
		$= 3,80$	kN/m^2

b. Beban Hidup $1,0 \text{ kN/m}^2$

2. Pembebanan lantai

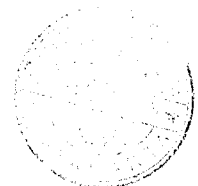
a. Beban Mati

Balok Anak

pelat lantai	$= 0,12 \times 24$	$= 2,88$	kN/m^2
plafond	$= 0,04 \times 11$	$= 0,44$	kN/m^2
tegel	$= 0,03 \times 0,24$	$= 0,0072$	kN/m^2
spesi	$= 0,02 \times 0,21$	$= 0,0042$	kN/m^2
		$= 3,3272$	kN/m^2

Balok Induk

pelat lantai	$= 0,12 \times 24$	$= 2,88$	kN/m^2
plafond	$= 0,04 \times 11$	$= 0,44$	kN/m^2
tegel	$= 0,03 \times 0,24$	$= 0,0072$	kN/m^2
spesi	$= 0,02 \times 0,21$	$= 0,0042$	kN/m^2



$$\begin{aligned} \text{Dinding} &= 3,6 \times 2,5 = 9 \text{ kN/m}^2 \\ &= 12,3272 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

b. Beban hidup $2,5 \text{ kN/m}^2$

4.4 Perhitungan momen untuk portal menggunakan microsoft SAP 2000

Model struktur portal 5 lantai dengan balok tengah direncanakan sebagai balok penampang T. Struktur terdiri dari balok induk dan balok anak dengan penampang persegi panjang.

4.4.1 Penetapan Dimensi Penampang

Tabel 4.1 Dimensi Balok Yang Digunakan

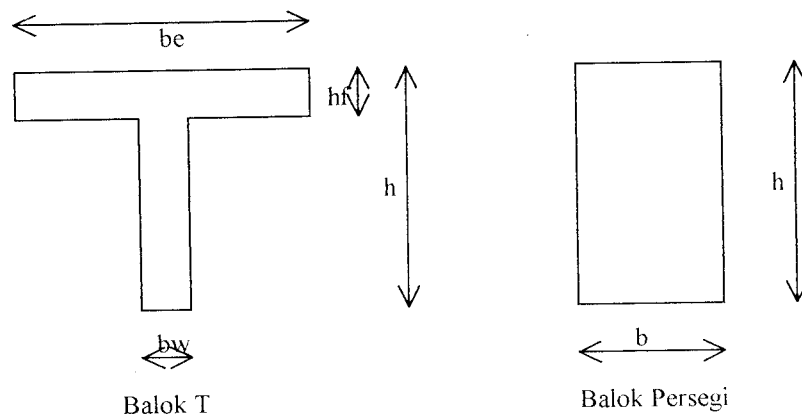
DIMENSI BALOK YANG DIGUNAKAN UNTUK ANALISIS PORTAL

	satuan	PORTAL 1	PORTAL 2	PORTAL 3	PORTAL 4
jrkm antar blk anak	m	3	3	3	3
tinggi antar tingkat	m	4	4	4	4
dimensi					
BAA1	mm	250/500	250/500	250/500	300/600
BAA2	mm	250/500	250/500	250/500	250/500
BAA3		-	250/500	250/500	250/500
BAL1	mm	250/500	250/500	250/500	300/700
BAL2	mm	250/500	250/500	250/500	250/500
BAL3		-	300/600	300/600	300/600
BTEPIA1	mm	300/600	400/700	400/700	400/700
BTEPIA2	mm	250/500	250/500	300/600	300/600
BTEPIA3		-	250/500	300/600	300/600
BTEPIL1	mm	300/600	400/700	400/800	400/700
BTEPIL2	mm	250/500	250/500	300/600	300/600
BTEPIL3		-	250/500	300/600	350/700
BTA1	mm	1500/2320/120/400	1500/2320/120/400	1500/2320/120/400	1500/2320/120/400
BTA2	mm	500/2320/120/400	500/2320/120/400	500/2320/120/400	500/2320/120/400
BTA3		-	700/2320/120/400	700/2320/120/400	1000/2320/120/400
BTL1	mm	1500/2320/120/400	1500/2320/120/400	1500/2320/120/400	1500/2320/120/400
BTL2	mm	500/2320/120/400	500/2320/120/400	500/2320/120/400	500/2320/120/400
BTL3		-	700/2320/120/400	800/2320/120/400	1200/2320/120/400
KOLOM	mm	750/750	750/750	800/800	900/900

keterangan :

portal 1 , portal bentang 18 m terhadap bentang 6 m dan 6 m

portal 2 , portal bentang 18 m terhadap bentang 6 m dan 9 m
 portal 3 , portal bentang 18 m terhadap bentang 6 m dan 12 m
 portal 4 , portal bentang 18 m terhadap bentang 6 m dan 15 m
 untuk denah dapat dilihat pada lampiran 3c.



Gambar 4.1 Penampang Yang Digunakan

Perencanaan balok tengah penampang T beton prategang. Balok T merupakan bagian dari sistem pelat lantai dengan jarak antar balok 3000 mm

- a. balok tengah bentang 18 m menggunakan balok penampang T ukuran

$$h = 1500 \text{ mm}$$

$$t_f = 120 \text{ mm}$$

$$b_w = 400 \text{ mm}$$

1. lebar flens efektif (b_e)

$$b_e \leq \frac{1}{4}L = \frac{1}{4} \cdot 18000 = 4500 \text{ mm}$$

$$b_e \leq b_w + 16 t_f = 400 + 16 \cdot 120 = 2320 \text{ mm}$$

$$b_e \leq \text{jarak antar balok} = 3000 \text{ mm}$$

sehingga dipakai $b_e = 2320 \text{ mm}$

2. Penetapan tebal pelat

tebal pelat untuk panel lantai 3000 x 3000 mm

nilai banding panjang terhadap lebar bentang = $3/3 = 1 < 2$, sehingga

berlaku aksi 2 arah

pemeriksaan tebal pelat berdasarkan syarat lendutan

ln1 arah memanjang = $3000 - 0,5 \cdot 400 - 0,5 \cdot 300 = 2650 \text{ mm} = 2,650 \text{ m}$

ln2 arah melebar = $3000 - 0,5 \cdot 400 - 0,5 \cdot 300 = 2650 \text{ mm} = 2,650 \text{ m}$

nilai banding panjang terhadap lebar bentang bersih

$$\beta = 2650/2650 = 1$$

$$h \geq \frac{0,8 + \frac{f_y}{1500}}{36 + 9 \cdot \beta} \cdot l_n = \frac{0,8 + \frac{400}{1500}}{36 + 9 \cdot 1} \cdot 2650 = 62,8148 \text{ mm}$$

$$h \leq \frac{0,8 + \frac{f_y}{1500}}{36} \cdot l_n = \frac{0,8 + \frac{400}{1500}}{36} \cdot 2650 = 78,5185 \text{ mm}$$

dipakai $h = 120 \text{ mm}$

4.5 Perhitungan Modulus Tampang Rencana

Contoh perhitungan digunakan portal 2 yaitu bentang 18 m terhadap bentang 6 m dan 9 m.

$$M_{sd} = 1179,26 \text{ kN-m}$$

$$M_d = 802,93 \text{ kN-m}$$

$$M_l = 467,23 \text{ kN-m}$$

$$\begin{aligned} M_T &= M_{sd} + M_d + M_l \\ &= 1179,26 + 802,93 + 467,23 \\ &= 2449,42 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$\frac{M_{sd}}{M_T} = 0,48144 > 0,2 \quad \circ$$

karena pada saat transfer 50 % beban mati sudah bekerja maka,

$$M_o = M_{sd} + 50\% M_d = 1179,26 + 50\% \cdot 802,93 = 1580,725 \text{ kN-m}$$

$$M_d = 50\% \cdot M_d = 50\% \cdot 802,93 = 401,465 \text{ kN-m}$$

$$S_t \geq \frac{(1-R)M_o + M_d + M_l}{R \cdot f_u - f_{cs}}$$

$$S_t \geq \frac{(1-0,8) \cdot 1179,26 + 802,93 + 467,23}{0,8 \cdot 1,5 - 20,25}$$

$$S_t \geq 7,021 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

$$S_b \geq \frac{(1-R)M_o + M_d + M_l}{f_{cs} - R \cdot f_{ci}}$$

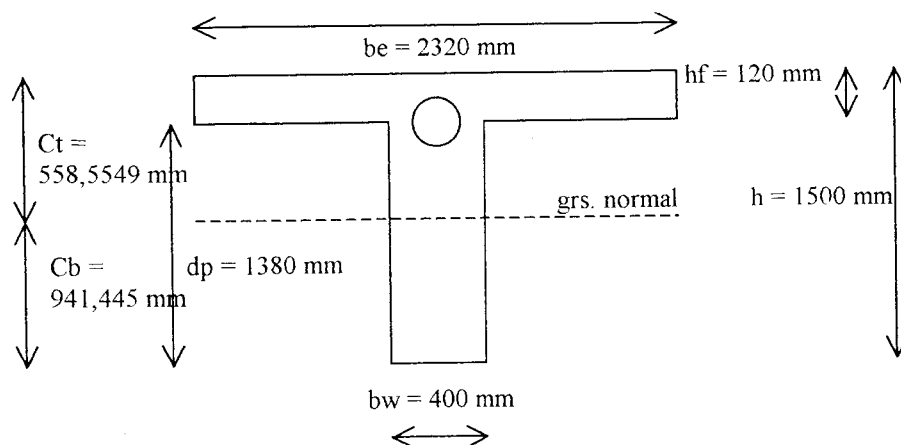
$$S_b \geq \frac{(1-0,8) \cdot 1179,26 + 802,93 + 467,23}{3,35 + 0,8 \cdot 21,6}$$

$$S_b \geq 8,8 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

4.6 Perencanaan Prategang Penuh Sistem Pasca Tarik

Berikut perhitungan perencanaan prategang penuh sistem pasca tarik

4.6.1 Perhitungan Propertis Penampang



a. Luas tampang

$$\begin{aligned} A_c &= 2320 \cdot 120 + (1500 - 120) \cdot 400 \\ &= 830400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

b. Menentukan Letak Pusat Berat

$$\begin{aligned} C_t &= \frac{2320 \cdot 120 \cdot 0,5 \cdot 120 + (1500 - 120) \cdot 400 \cdot (0,5 \cdot (1500 - 120) + 120)}{830400} \\ &= 558,5549 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$C_b = h - C_t = 1500 - 558,5549 = 941,445 \text{ mm}$$

c. Momen Inersia Balok

$$\begin{aligned} I &= \left(\frac{1}{12} \right) \cdot 2320 \cdot 120^3 + 2320 \cdot 120 \cdot (558,5549 - 0,5 \cdot 120)^2 + \left(\frac{1}{12} \right) \cdot 400 \cdot \\ &\dots (1500 - 120)^3 + 400 \cdot (1500 - 120) \cdot (941,445 - (1500 - 120) \cdot 0,5)^2 \\ &\dots = 1,92 \cdot 10^{11} \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

d. Modulus Penampang

$$\begin{aligned} S_t &= \frac{I}{C_t} = \frac{1,92 \cdot 10^{11}}{558,5549} = 3,4 \cdot 10^8 \text{ mm}^3 \geq 7,021 \cdot 10^7 \text{ mm}^3 \\ S_b &= \frac{I}{C_b} = \frac{1,92 \cdot 10^{11}}{941,445} = 2,04 \cdot 10^8 \text{ mm}^3 \geq 8,8 \cdot 10^7 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

4.6.2 Perhitungan Desain Beton Prategang

a. Besar Gaya Prategang

1) Tegangan beton pada pusat beton

$$f_{cci} = f_{ti} - \frac{C_t}{h} (f_{ti} - f_{ci})$$

$$= 1,5 - \frac{558,5549}{1500} (1,5 + 21,6)$$

$$= -7,1017 \text{ MPa}$$

2) Gaya prategang awal

$$P_i = |f_{cci}| A_c$$

$$= 7,1017 \cdot 830400$$

$$= 5897,29 \text{ kN}$$

b. Perhitungan Luas Baja Prategang

Digunakan kabel tendon VSL tipe 6-11 dan tipe strand ASTM A416-85 Grade 270, lihat lampiran 2a-c.

Jumlah tendon yang dibutuhkan

$$\frac{5897,29 \cdot 10^3}{3080 \cdot 10^3} = 1,9147 \approx 2 \text{ bh}$$

Data mengenai kabel tendon adalah sebagai berikut :

- | | |
|--|-----------------------|
| a. diameter satuan kabel | : 15,2 mm |
| b. luas satuan kabel | : 140 mm ² |
| c. kuat tarik tendon | : 1860 MPa |
| d. tegangan leleh kawat | : 1670 MPa |
| e. diameter internal/ eksternal selubung | : 80/87 |

jadi dipakai 2 buah tendon VSL berisi 11 kabel

$$A_{ps} = 11 \cdot 140 \cdot 2 = 3080 \text{ mm}^2$$

4.6.3 Kontrol Kekuatan Lentur

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b \cdot d} = \frac{3080}{2320 \cdot (1500 - 120)} = 0,000962$$

$$f_c' = 45 \text{ MPa} \rightarrow \beta_1 = 0,85 - 0,008 \cdot (45 - 30) = 0,73$$

$$\frac{f_{py}}{f_{pu}} = \frac{1581}{1860} = 0,85 \geq 0,85 \rightarrow \gamma_p = 0,4$$

$$f_{ps} = 1860 \left[1 - \frac{0,4 \cdot 0,000962 \cdot 1860}{0,73 \cdot 45} \right] = 1819,47 \text{ MPa}$$

$$W_p = \frac{\rho_p \cdot f_{ps}}{f_c'} = \frac{0,000962 \cdot 1819,47}{45} = 0,038896 \leq 0,36 \beta_1$$

Besar Kapasitas momen adalah :

$$\text{Gaya tarik} : \Sigma N_T = A_{ps} \cdot f_{ps} = 3080 \cdot 1819,47 \cdot 10^{-3} = 5603,9798 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya tekan} : \Sigma N_D = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a$$

keseimbangan gaya dalam $N_T = N_D$, maka

$$(b \cdot a) = \frac{N_D}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{5603,9798 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 45} = 146509,2758 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{146509,2758}{2320} = 63,1505 \text{ mm}$$

$$Mu = 1,2 \cdot (1179,26 + 802,93) + 1,6 \cdot 467,23 = 3126,196 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{Mu}{\theta} = \frac{3126,396}{0,8} = 3907,745 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Mn = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 3080 \cdot 1819,47 \cdot \left(1380 - \frac{63,1505}{2} \right)$$

$$= 7556,54 \text{ kN} \cdot \text{m} > \frac{Mu}{\theta} = 3907,745 \text{ kN} \cdot \text{m} \text{ ok}$$

maka tidak diperlukan tulangan nonprategang

4.6.4 Perhitungan Sifat Penampang

A. Saat Transfer

pada sistem pasca tarik, 50% beban mati diperkirakan telah bekerja maka,

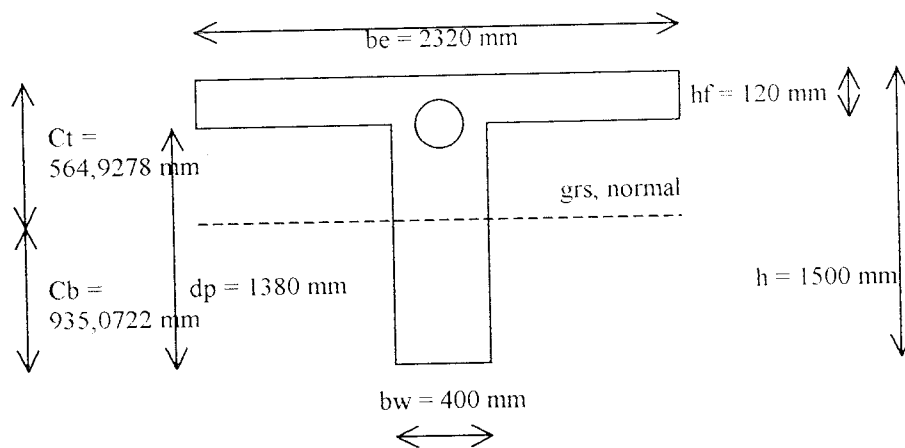
$$\begin{aligned} M_o &= M_{sd} = 0,5.M_d \\ &= 1179,26 + 0,5.802,93 \\ &= 1580,725 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$A_c = 830400 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 2,0,25 \cdot \pi \cdot 87^2 = 11894,1429 \text{ mm}^2$$

$$A_{netto} = A_c - A_s = 818505,86 \text{ mm}^2$$

$$d' = 120 \text{ mm}$$



$$\begin{aligned} C_t &= \frac{(hf \cdot b \cdot (hf / 2) + bw \cdot hw \cdot (hf + hw / 2)) - A_s \cdot d'}{A_{netto}} \\ &= \frac{(120 \cdot 2320 \cdot (120 / 2) + 400 \cdot 1380 \cdot (120 + 1380 / 2)) - 11894,1429 \cdot 120}{818505,86} \\ &= 564,9278 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$C_b = 1500 - 564,9277 = 935,0722 \text{ mm}$$

$$E = C_t - d' = 564,9277 - 120 = 444,9278 \text{ mm}$$

$$I = (1/12)2320 \cdot 120^3 + 2320 \cdot 120 \cdot (564,9277 - 0,5 \cdot 120)^2$$

$$\begin{aligned}
 &+ (1/12) \cdot 400 \cdot 1380^3 + 400 \cdot 1380 \cdot (935,0722 - 0,5 \cdot 1380)^2 \\
 &- (1/64) \pi \cdot 87^4 \cdot 2 - (11894,1429 \cdot 444,9278)^2 \\
 &= 1,8971 \cdot 10^{11} \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$S_t = \frac{1,897 \cdot 10^{11}}{564,9277} = 3,3580 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

$$S_b = \frac{1,897 \cdot 10^{11}}{935,0722} = 2,0288 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

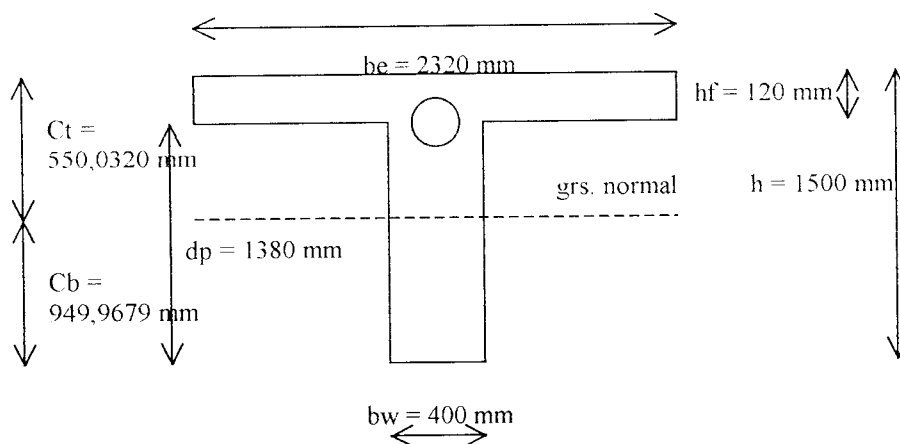
B. Saat Layan

$$A_c = 830400 \text{ mm}^2$$

$$A_{ps} = 11.140 \cdot 2 = 3080 \text{ mm}^2$$

$$n = 6,34346$$

$$A_{trans} = A_c + (n-1)A_{ps} = 830400 + (6,34346-1) \cdot 3080 = 846857,84 \text{ mm}^2$$



$$C_t = \frac{(120 \cdot 2320 \cdot 0,5 \cdot 120) + (400 \cdot 1380 \cdot (120 + 0,5 \cdot 1380)) + (6,34346 - 1) \cdot 3080 \cdot 120}{846857,84}$$

$$= 550,0320 \text{ mm}$$

$$C_b = 1500 - 550,0320 = 949,9679 \text{ mm}$$

$$E = C_t - 120 = 550,0320 - 120 = 430,0320 \text{ mm}$$

$$I = (1/12) \cdot 2320 \cdot 120^3 + 2320 \cdot 120 \cdot (550,0320 - 0,5 \cdot 120)^2 + (1/12) \cdot 400 \cdot 1380^3$$

$$+ 400.1380.(949,968 - 0,5.1380)^2 + (6,34346 - 1).3080.430,032^2$$

$$= 1,9514.10^{11} \text{ mm}^4$$

$$S_t = \frac{1,95138.10^{11}}{550,0302} = 3,54777.10^8 \text{ mm}^3$$

$$S_b = \frac{1,95138.10^{11}}{949,968} = 2,05415.10^8 \text{ mm}^3$$

$$r^2 = \frac{1,95138.10^{11}}{846857,84} = 230426,6011 \text{ mm}^3$$

4.6.5 Kehilangan Gaya Prategang

A. akibat perpendekan elastis

karena penarikan tendon dilakukan langsung, maka kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis beton adalah :

$$\Delta f_{pES} = 0 \text{ MPa}$$

B. Akibat pengangkuran/ pergeseran tendon

pergeseran ankur $\Delta_A = 0,635 \text{ cm}$

$$\Delta f_{pA} = \frac{\Delta_A}{L} \cdot E_{ps} = \frac{0,635}{1800} \cdot 200000 = 70,5556 \text{ MPa}$$

C. Akibat rangkai beton

$$f_{cs} = \frac{-5897,29.10^3}{818505,86} \left(1 + \frac{444,9278^2}{(1,897.10^{11} / 818505,86)} \right) + \frac{1179,26.10^6 \cdot 444,9278}{1,897.10^{11}} = -10,5930 \text{ kN}$$

$$f_{csd} = \frac{1179,26.10^6 \cdot 444,9278}{1,897.10^{11}} = 2,7657 \text{ kN}$$

$$\Delta f_{pCR} = 1,6 \frac{200000}{31528,6} \cdot (10,593 - 2,76574) = 79,4431 \text{ MPa}$$

D. Akibat susut beton

$$\frac{v}{s} = 1,5$$

$$RH = 70 \%$$

$$K_{SH} = 0,58$$

$$\begin{aligned} \Delta f_{pSH} &= 8,2 \cdot 10^{-6} \cdot K_{sh} \cdot E_s \left(1 - 0,06 \frac{v}{s} \right) (100 - RH) \\ &= 8,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,58 \cdot 200000 \cdot (1 - 0,06 \cdot 1,5) (100 - 70) \\ &= 25,9678 \text{ MPa} \end{aligned}$$

E. Akibat Gesekan

$$\alpha = \frac{8.444,9278}{18000} = 0,1977$$

digunakan tendon kawat dan strand dengan untaian 7 kawat yang diminyaki terlebih dahulu sehingga nilai K dan μ diperoleh dari tabel 3.4

$$K = 0,001$$

$$\mu = 0,15$$

$$f_{pi} = 0,7 \cdot f_{pu} = 0,82 \cdot f_{py} = 0,82 \cdot 0,85 \cdot f_{pu} = 0,70 \cdot 1860 = 1302 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \Delta f_{pF} &= f_{pi} [(\mu \cdot \alpha) + (K \cdot L)] \\ &= 1302 \cdot [(0,25 \cdot 0,1977) + (0,001 \cdot 15)] \\ &= 87,8022 \text{ MPa} \end{aligned}$$

F. Akibat relaksasi baja

$$\Delta f_{pR} = (K_{re} - J(\Delta f_{pa} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pSH}))C$$

digunakan strand relaksasi rendah sehingga dari tabel diperoleh :

$$K_{re} = 35$$

$$f_{pi} / f_{pu} = 1302 / 1860 = 0,7 \rightarrow c' = 0,75$$

$$\Delta f_{pR} = (35 - 0,04(79,443 + 25,9678 + 70,5556)) \cdot 0,75$$

$$= 20,9710 \text{ MPa}$$

Total kehilangan gaya prategang adalah

$$\Delta f_p = 0 + 70,5556 + 79,443 + 25,9678 + 87,8022 + 20,971 = 284,7397 \text{ MPa}$$

prosentase kehilangan gaya prategang

$$= \frac{1302 - 284,7397}{1302} \cdot 100\% = 78,1306\%$$

$$100 - 78,1306 = 21,8694\%$$

4.6.6 Kontrol Tegangan Beton dan Tendon

A. Saat Transfer

Tegangan Beton

$$f_{ti} = -\frac{5897,29 \cdot 10^3}{818505,86} \left(1 - \frac{444,9278 \cdot 564,9277}{231773,8716} \right) - \frac{1580,725 \cdot 10^6}{3,3580 \cdot 10^8}$$

$$= -4,0985 \text{ MPa} < 21,6 \text{ MPa} \quad \text{ok}$$

$$f_{ci} = -\frac{5897,29 \cdot 10^3}{818505,86} \left(1 + \frac{444,9278 \cdot 935,0722}{231773,8716} \right) + \frac{1580,725 \cdot 10^6}{2,0288 \cdot 10^8}$$

$$= -12,3466 \text{ MPa} < 21,6 \text{ MPa} \quad \text{ok}$$

Tegangan tendon

$$A_{ps} = 3080 \text{ mm}^2$$

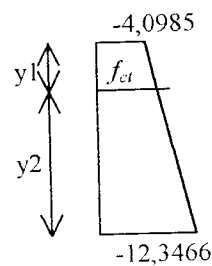
$$f_{si} = \frac{P_i}{A_{ps}} = \frac{5897,29 \cdot 10^3}{3080} = 1914,7 \text{ MPa}$$

$$y_1 = 120 \text{ mm}$$

$$y_2 = 1500 - 120 = 1380 \text{ mm}$$

$$f_{ct} = \frac{1380 \cdot 4,0985 + 120 \cdot 12,3466}{1500} = -4,75843 \text{ MPa}$$

$$f_s = 1914,7 + (6,34346 - 1) \cdot 4,75843 = 1884,5195 \text{ MPa}$$



Gambar 4.2 Tegangan Saat Transfer

B. Saat Layan

Gaya Prategang Efektif

$$P_e = (1 - IOP) \cdot P_i$$

$$= (1 - 0,218694) \cdot 5897,29$$

$$= 4607,5874 \text{ kN}$$

$$M_t = 2449,42 \text{ kN-m}$$

Kontrol tegangan beton dan tendon

Tegangan beton

$$f_u = -\frac{4607,5874 \cdot 10^3}{846857,84} \left(1 - \frac{430,032 \cdot 550,0320}{230426,6011} \right) - \frac{2449,42 \cdot 10^6}{3,54777 \cdot 10^8}$$

$$= -6,7600 \text{ MPa} < 20,25 \text{ MPa}$$

$$f_{ct} = -\frac{4607,587 \cdot 10^3}{846857,84} \left(1 + \frac{430,032 \cdot 949,968}{230426,6011} \right) + \frac{2449,42 \cdot 10^6}{2,05416 \cdot 10^8}$$

$$= -3,1625 \text{ MPa} < 20,25 \text{ MPa}$$

Tegangan Tendon

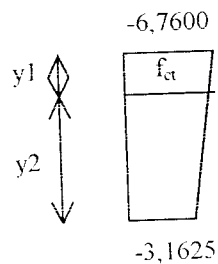
$$f_{sc} = \frac{P_e}{A_{ps}} = \frac{4607,5874 \cdot 10^3}{3080} = 1495,9699 \text{ MPa}$$

$$y_1 = 120 \text{ mm}$$

$$y_2 = 1500 - 120 = 1380 \text{ mm}$$

$$f_{ct} = \frac{1380 \cdot 6,7600 + 120 \cdot 3,1625}{1500} = -6,4722 \text{ MPa}$$

$$f_s = 1495,97 - (6,34346 - 1) \cdot 6,4722 = 1461,3860 \text{ MPa}$$



Gambar 4.3 Tegangan Saat Layan

4.6.7 Perencanaan Tata Letak Tendon

$$P_i = 5897,29 \text{ kN}$$

$$P_e = 4607,5874 \text{ kN}$$

Perencanaan tata letak tendon dilakukan dengan peninjauan pada tengah bentang, seperempat bentang, dan ujung balok portal yang ditinjau.

Batas Kern

a. Batas Kern Atas
$$k_t = \frac{r^2}{c_b} = \frac{231255,72}{991,445} = 245,6390 \text{ mm}$$

b. Batas Kern Bawah
$$k_b = \frac{r^2}{c_t} = \frac{231255,72}{558,5549} = 414,0250 \text{ mm}$$

Batas bawah letak tendon

saat transfer sudah bekerja 50% beban mati

$$M_o = M_{sd} + 0,5 \cdot M_d$$

Tabel 4.2 momen yang terjadi pada balok tengah lantai 1 bentang 18 m terhadap bentang 6 m dan 9 m portal 5 lantai

Bagian Penampang	Md	Msd	Ml	Mo	M _T
	kN-m	kN-m	kN-m	kN-m	kN-m
tengah bentang	460,99	663,55	271,18	894,045	1395,72
seperempat bentang	53,66	87,64	29,49	114,47	170,49
ujung balok	-802,93	-1179,26	-467,23	-1580,725	-2449,42

Jika diperkenankan terjadi tegangan tarik pada beton saat transfer maka lebar daerah tendon bertambah sebesar

$$a_{\min} = \frac{M_o}{P_i} \quad eb = a_{\min} + kb$$

$$eb' = \frac{f_{ti} \cdot A_c \cdot kb}{P_i} \quad eb_1 = eb + eb'$$

Tabel 4.3 Batas bawah letak tendon

Bagian Penampang	Tidak terjadi tarik		Terjadi tarik	
	a min (mm)	eb (mm)	eb' (mm)	eb ₁ (mm)
tengah bentang	151,6026	565,6277	87,4485	653,0763
seperempat bentang	19,4106	433,4356	87,4485	520,8842
ujung balok	-268,0426	145,9824	87,4485	233,4309

Batas atas letak tendon

Jika diperkenankan terjadi tegangan tarik pada beton saat layan maka lebar daerah tendon bertambah sebesar

$$a_{\max} = \frac{M_T}{P_e} \quad et = a_{\max} + kt$$

$$et' = \frac{f_{ti} A_c kt}{P_e} \quad et_1 = et + et'$$

Tabel 4.4 Batas atas letak tendon

Bagian Penampang	Tidak terjadi tarik		Terjadi tarik	
	a max (mm)	et (mm)	et' (mm)	et ₁ (mm)
tengah bentang	302,9177	57,2786	148,4866	-91,2080
seperempat bentang	37,0020	-208,6370	148,4866	-357,1237
ujung balok	-531,6057	-285,9666	148,4866	-434,4533

Untuk gambar tata letak tendon dapat dilihat pada lampiran 4a.

4.6.8 Perhitungan Torsi dan Geser

A. Perhitungan Geser

Geser maksimum pada balok tengah portal lima lantai bentang 18 m terhadap bentang 6 m dan 9 m terjadi pada balok lantai empat. Pada perhitungan geser digunakan titik awal pada jarak $h/2$, karena pada jarak ini secara geser lentur terjadi retak miring yang stabil, nilai geser tersebut ;

$$V_d = 195,41 \text{ kN}$$

$$V_{sd} = 286,11 \text{ kN}$$

$$V_L = 108,72 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_T &= V_d + V_{sd} + V_L \\
 &= 195,41 + 286,11 + 108,72 \\
 &= 590,24 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

kapasitas momen retak

$$S_b = 2,05416 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

$$\bar{f}_c = \frac{P_e}{A_c} = \frac{4607,5874 \cdot 10^3}{846857,84} = 5,4408 \text{ MPa}$$

$$f_{ce} = \frac{P_e}{A_c} \pm \frac{P_e \cdot e}{S_b} = 5,4507 + \frac{4607,5874 \cdot 463,3600}{2,05416 \cdot 10^8} = 5,4512 \text{ MPa}$$

$$f_d = \frac{M_d}{S_b} = \frac{652,7 \cdot 10^6}{2,05416 \cdot 10^8} = 3,1775 \text{ MPa}$$

$$M_{cr} = S_b \cdot \left(\frac{1}{2} \sqrt{f_c'} + f_{ce} - f_d \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,05416 \cdot 10^8 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{1}{2} \sqrt{45} + 5,4512 - 3,1775 \right) \\
 &= 1156,0489 \text{ kN} \cdot \text{m}
 \end{aligned}$$

$$1,2 \cdot M_{cr} = 1,2 \cdot 1156,0489 = 1387,2587 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

gaya geser terfaktor di muka tumpuan

$$\begin{aligned}
 V_u &= 1,2 (V_d + V_{sd}) + 1,6 \cdot V_L \\
 &= 1,2 \cdot (195,41 + 286,11) + 1,6 \cdot 108,72 \\
 &= 751,776 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_n \text{ yang dibutuhkan} = \frac{V_u}{\phi} = \frac{751,776}{0,85} = 884,4424 \text{ kN di tumpuan}$$

$$d_p = h - d' = 1500 - 120 = 1380 \text{ mm}$$

Pada analisis ini digunakan tulangan geser diameter 10 mm

1. Retak geser lentur, V_{ci}

$$V_{ci} = 0,6 \cdot 1 \cdot \sqrt{(45/0,006895)} \cdot (400 \cdot 1380) / 25,4^2 + 195,41 / 0,004448$$

$$\dots + \frac{751,776 / 0,004448}{2535,484 / 0,0001130} \cdot 1156,0489 / 0,0001130$$

$$\dots = 162466,5515 lb$$

$$V_{ci} = \frac{162466,5515}{(400 \cdot 1380) / 25,4^2} = 189,885725 \text{ psi} = 1,3093 \text{ MPa}$$

$$1,7 \cdot \sqrt{f_c'} = 1,7 \cdot \sqrt{(45/0,006895)} = 137,33715 \text{ psi} = 0,94694 \text{ MPa} < 1,3093 \text{ MPa}$$

$$5\lambda \sqrt{f_c'} = 5 \cdot 0,1 \cdot \sqrt{(45/0,006895)} = 403,9328 \text{ psi} = 2,78511 \text{ MPa} > 1,3093 \text{ MPa}$$

$$V_{ci} = 1,3093 \text{ MPa}$$

2. Retak geser badan, V_{cw}

$$V_p = P_e \tan \theta$$

dimana θ adalah sudut antara tendon miring dan horisontal, jadi

$$e \text{ ujung} = 430,03203 \text{ mm}$$

$$e \text{ tengah bentang} = 949,96797 - 120 = 829,96797 \text{ mm}$$

$$e \text{ pada } h/2 = 430,03203 + (829,96797 - 430,03203) \cdot \frac{1500/2}{18000/2}$$

$$= 463,3600 \text{ mm}$$

$$V_p = 4607,5873 \cdot \frac{463,3600}{1500/2}$$

$$= 2846,6291 \text{ kN}$$

$$V_{cw} = (3,5 \sqrt{f_c'} + 0,3 \bar{f}_c) \cdot b_w \cdot d_p + V_p$$

$$\dots = (3,5 \cdot \sqrt{(45/0,006895)} + 0,3 \cdot 5,4408 / 0,006895) \cdot (400 \cdot 1380) / 25,4^2 +$$

$$\dots 2846,6291 / 0,004448$$

$$\dots = 1084816,968 lb$$

$$V_{cw} = \frac{1084816,968}{(400 \cdot 1380) / 25,4^2} = 1267,899484 \text{ psi} = 8,7392 \text{ MPa}$$

$$V_{ci} = 1,2189 \text{ MPa} < V_{cw} = 8,9663 \text{ MPa}$$

sehingga $V_c = V_{ci} = 1,3093 \text{ MPa} \cdot 400 \cdot 1380 \cdot 10^{-3} = 722,7336 \text{ kN}$

3. Penulangan Geser

$$V_c = 722,7336 \text{ kN} < V_n = 884,4423 \text{ kN}$$

$$V_s = V_n - V_c = 884,4423 - 722,7336 = 161,7297 \text{ kN}$$

jika $V_n > V_c/2$ dan $V_n > V_c$, maka diperlukan tulangan badan

$$V_s = 161,7297 \leq 8\lambda\sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d_p = 8 \cdot 1 \cdot \sqrt{45/0,006895} \cdot (400 \cdot 1380) / 25,4^2$$

$$\dots\dots\dots = 552968,9594 \text{ lb} = 3812,72097 \text{ KN}$$

tinggi penampang sudah memadai

Tulangan baja minimum

$$\text{Min. } \frac{A_v}{s} = \frac{A_{ps} \cdot f_{pu}}{80 \cdot f_y \cdot d_p} \sqrt{\frac{d_p}{b_w}}$$

$$= \frac{3080 \cdot 1860}{80 \cdot 400 \cdot 1380} \sqrt{\frac{1380}{400}} = 0,24095 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

tulangan badan yang dibutuhkan

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \cdot d_p} = \frac{161,7297}{400 \cdot 10^{-3} \cdot 1380} = 0,2929 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

jika, $V_s > 4\lambda\sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d_p$ maka jarak sengkang s adalah setengah dari jarak

yang dibutuhkan.

$$V_s = 161,7297 \text{ KN} > (4 \cdot 1 \cdot \sqrt{(45/0,006895)} \cdot (400 \cdot 1380) / 25,4^2 \cdot 0,006895) \cdot 0,004448$$

$$\dots\dots\dots > 8,47948 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = 2 \cdot 0,2929 = 0,5860 \text{ mm}^2 / \text{mm}, \text{ jadi tulangan geser badan yang}$$

dibutuhkan $A_v/s = 0,5860 \text{ mm}^2/\text{mm}$.

b. Perhitungan Torsi

Torsi maksimum pada balok tengah portal lima lantai bentang 18 m terhadap bentang 6 m dan 9 m terjadi pada balok lantai empat, yaitu

$$T_d = 30,41 \text{ kN-m}$$

$$T_{sd} = 36,78 \text{ kN-m}$$

$$T_l = 21,25 \text{ kN-m}$$

$$T_T = 30,41 + 36,78 + 21,25 = 88,44 \text{ kN-m}$$

Torsi terfaktor

$$\begin{aligned} T_u &= 1,2.(T_d + T_{sd}) + 1,6.T_l \\ &= 1,2.(30,41 + 36,78) + 1,6.21,25 \\ &= 114,628 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$A_{cp} = h \cdot b_w = 1500 \cdot 400 = 600000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2.(h - b_w) = 2.(1500 + 400) = 3800 \text{ mm}$$

anggap diameter tulangan geser / torsi 10 mm dan tebal selimut beton 40 mm

$$X_l = b_w - 2.(40 + 0,5.10) = 400 - 2.(40 + 0,5.10) = 310 \text{ mm}$$

$$Y_l = h - 2.(40 + 0,5.10) = 1500 - 2.(40 + 0,5.10) = 1410 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = 310 \cdot 1410 = 437100 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85.A_{oh} = 0,85.437100 = 371535 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2.(X_l + Y_l) = 2.(310 + 1410) = 3440 \text{ mm}$$

$$\theta = 37,5^\circ \quad \cot^2 \theta = 1,69$$

cek apakah tulangan torsional dibutuhkan

$$T_u'1 \leq \frac{\phi \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{3 \bar{f}_c}{\sqrt{f_c'}}}}{12}$$

$$T_u'1 = \frac{0,85 \sqrt{45} \left(\frac{6000^2}{380} \right) \sqrt{1 + \frac{3 \cdot 5,4408}{\sqrt{45}}}}{12} \cdot 10^{-3} = 83,4089 \text{ kN-m}$$

nilai torsional maksimum $T_u'1 = 83,4089 \text{ kN-m} > T_u = 114,628 \text{ kN-m}$, jadi tulangan torsional dibutuhkan karena kemampuan penampang dalam menahan torsi lebih kecil dari torsi yang terjadi.

$$T_u'2 \leq \frac{4 \phi \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{3 \bar{f}_c}{\sqrt{f_c'}}}}{12}$$

$$T_u'2 = \frac{4 \cdot 0,85 \sqrt{45} \left(\frac{6000^2}{380} \right) \sqrt{1 + \frac{3 \cdot 5,4408}{\sqrt{45}}}}{12} \cdot 10^{-3} = 333,6357 \text{ kN-m}$$

$T_u = 114,628 \text{ kN-m} < T_u'2 = 333,6357 \text{ kN-m}$, maka momen torsional yang digunakan untuk desain tulangan torsional adalah yang terkecil yaitu, $T_u = 114,628 \text{ kN-m}$.

Penulangan Torsional

$$T_u = \frac{T_u'}{\phi} = \frac{114,628}{0,85} = 134,8564 \text{ kN-m}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_u}{2 A_o f_y \cos \theta} = \frac{134,8564}{2 \cdot 359893 \cdot 4 \cdot 400 \cdot 1,3} = 0,3490 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

Penulangan geser torsi yang dibutuhkan

$$\frac{A_{vt}}{s} = 2 \frac{A_t}{s} + \frac{A_v}{s} = 0,3490 + 0,5860 = 1,2840 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

$$s = \frac{A_v}{A_{vt} / s} = \frac{0,25 \cdot 22 / 7 \cdot 10^2}{1,2840} = 61,19 \text{ mm}$$

Penulangan Longitudinal

$$A_t = \frac{A_t}{s} p_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yl}} \right) \cot^2 \theta$$

$$= 0,3490 \cdot 3440 \left(\frac{400}{400} \right) \cdot 1,69 = 2028,9464 \text{ mm}^2$$

$$A_{t \min} = \frac{5\sqrt{f_c'} A_{cp}}{12 \cdot f_{yl}} - \frac{A_t}{s} p_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yl}} \right)$$

$$= \frac{5\sqrt{45} \cdot 600000}{12 \cdot 400} - 0,3490 \cdot 3440 \left(\frac{400}{400} \right)$$

$$= 2992,0674 \text{ mm}^2$$

jarak maksimum yang diijinkan $p_h/8 = 3440/8 = 430 \text{ mm} = 43 \text{ cm}$

digunakan tulangan diameter 10 mm dengan luas $78,5714 \text{ mm}^2 \sim 79 \text{ mm}^2$.

Banyaknya tulangan yang dibutuhkan $= 2028,9464/79 = 25,6828$ tulangan

jumlah tulangan longitudinal yang digunakan 26 buah.

dalam hal ini $s = \frac{1500 - 2 \cdot 40}{26} = 54,61 \text{ mm}$ oke, maka digunakan tulangan

longitudinal 26 buah dengan jarak antar tulangan 55 mm

4.7 Perhitungan Prategang Parsial 90% Sistem Pasca Tarik

Berikut perhitungan perencanaan prategang parsial 90% sistem pasca tarik.

4.7.1 Perhitungan Desain Beton Prategang

$$M_{sd} = 1179,26 \text{ kN-m}$$

$$M_T = M_{sd} + M_d + M_L$$

$$= 1179,26 + 802,93 + 467,23$$

$$= 2449,42 \text{ kN-m}$$

a. Besar Gaya Prategang

1) Tegangan beton pada pusat beton

$$\begin{aligned} f_{cci} &= f_{ti} - \frac{C_t}{h} (f_{ti} - f_{ci}) \\ &= 1,5 - \frac{558,5549}{1500} (1,5 + 21,6) \\ &= -7,1017 \text{MPa} \end{aligned}$$

2) Gaya prategang awal

$$\begin{aligned} P_i &= 90\% \cdot |f_{cci}| \cdot A_c \\ &= 0,9 \cdot 7,1017 \cdot 830400 \\ &= 5307,561 \text{kN} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Luas Baja Prategang

Digunakan kabel tendon VSL tipe 6-10 dan tipe strand ASTM A416-85

Grade 270, lihat lampiran 2a-c.

Jumlah tendon yang dibutuhkan

$$\frac{5307,5265 \cdot 10^3}{2800 \cdot 10^3} = 1,8956 \approx 2, bh$$

Data mengenai kabel tendon adalah sebagai berikut :

- | | |
|--|-----------------------|
| a. diameter satuan kabel | : 15,2 mm |
| b. luas satuan kabel | : 140 mm ² |
| c. kuat tarik tendon | : 1860 MPa |
| d. tegangan leleh kawat | : 1670 MPa |
| e. diameter internal/ eksternal selubung | : 80/87 |

jadi dipakai 2 buah tendon VSL berisi 10 kabel

$$A_{ps} = 10 \cdot 140 \cdot 2 = 2800 \text{ mm}^2$$

4.7.2 Kontrol Kekuatan Lentur

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b \cdot d} = \frac{2800}{2320 \cdot (1500 - 120)} = 0,00087456$$

$$f'_c = 45 \text{ Mpa} \rightarrow \beta_1 = 0,85 - 0,008 \cdot (45 - 30) = 0,73$$

$$\frac{f_{py}}{f_{pu}} = \frac{1581}{1860} = 0,85 \geq 0,85 \rightarrow \gamma_p = 0,4$$

$$f_{ps} = 1860 \left[1 - \frac{0,4 \cdot 0,00087456 \cdot 1860}{0,73 \cdot 45} \right] = 1823,1583 \text{ Mpa}$$

$$W_p = \frac{\rho_p \cdot f_{ps}}{f'_c} = \frac{0,00087456 \cdot 1823,1583}{45} = 0,035432 \leq 0,36 \beta_1$$

Besar Kapasitas momen adalah :

Konstruksi beton prategang parsial menggunakan tulangan non prategang

$$\text{Gaya tarik} : \Sigma N_T = A_{ps} \cdot f_{ps} = 2800 \cdot 1823,1583 = 5104,8428 \text{ kN-m}$$

$$\text{Gaya tekan} : \Sigma N_D = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a$$

keseimbangan gaya dalam $N_T = N_D$, maka

$$(b \cdot a) = \frac{N_D}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{5104,8428 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 45} = 133459,954 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{133459,954}{2320} = 57,52584 \text{ mm}$$

$$Mu = 1,2 \cdot (1179,26 + 802,93) + 1,6 \cdot 467,23 = 3126,196 \text{ kN-m}$$

$$\frac{Mu}{\theta} = \frac{3126,196}{0,8} = 3907,745 \text{ kN-m}$$

$$Mn = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 2800 \cdot 1823,1583 \cdot \left(1380 - \frac{57,52584}{2} \right)$$

$$= 6897,8534 \text{ kN-m} > \frac{Mu}{\theta} = 3907,745 \text{ kN-m} \text{ ok}$$

maka tidak diperlukan tulangan nonprategang.

4.7.3 Perhitungan Sifat Penampang

A. Saat Transfer

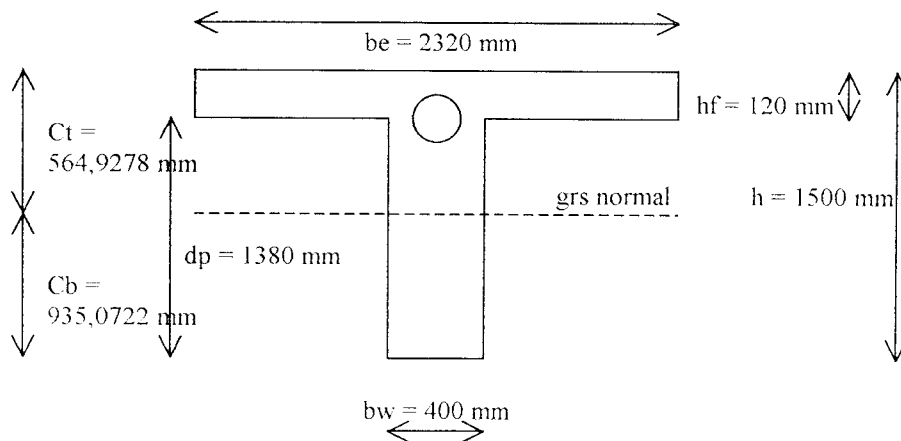
$$A_c = 830400 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 2.0,25 \cdot \pi \cdot 87^2 = 11894,1429 \text{ mm}^2$$

$$A_{sn} = 0 \text{ mm}^2$$

$$A_{netto} = A_c - A_s - A_{sn} = 818505,8571 \text{ mm}^2$$

$$d' = 120 \text{ mm}$$



$$C_t = \frac{(hf \cdot b \cdot (hf/2) + bw \cdot hw \cdot (hf + hw/2)) - A_s \cdot d - A_{sn} \cdot (h - d')}{A_{netto}}$$

$$= \frac{(120 \cdot 2320 \cdot (120/2) + 400 \cdot 1380 \cdot (120 + 1380/2)) - 11894,1429 \cdot 120}{818505,8571}$$

$$= 564,9278 \text{ mm}$$

$$C_b = 1500 - 564,9278 = 935,0722 \text{ mm}$$

$$E = C_t - d' = 564,9278 - 120 = 444,9278 \text{ mm}$$

$$I = (1/12)2320 \cdot 120^3 + 2320 \cdot 120 \cdot (564,9278 - 0,5 \cdot 120)^2$$

$$+ (1/12)400 \cdot 1380^3 + 400 \cdot 1380 \cdot (935,0722 - 0,5 \cdot 1380)^2$$

$$- (1/64)\pi \cdot 87^4 \cdot 2 - (11894,1429 \cdot 444,9278)^2$$

$$= 1,897 \cdot 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$S_t = \frac{1,897 \cdot 10^{11}}{564,9277} = 3,3580 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

$$S_b = \frac{1,897 \cdot 10^{11}}{935,0722} = 2,0288 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

B. Saat Layan

$$A_c = 830400 \text{ mm}^2$$

$$A_{ps} = 10.140.2 = 2800 \text{ mm}^2$$

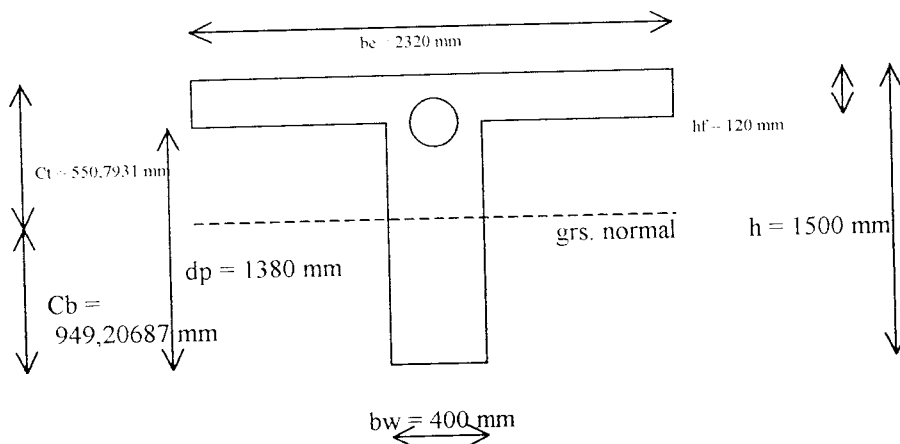
$$A_{sn} = 0 \text{ mm}^2$$

$$n = 6,34346$$

$$A_{trans} = A_c - (n-1)A_{ps} + (n-1)A_{sn}$$

$$= 830400 + (6,34346-1) 2800 + (6,34346-1) \cdot 0$$

$$= 845361,67 \text{ mm}^2$$



$$C_t = \frac{(120 \cdot 2320 \cdot 0,5 \cdot 120) + (400 \cdot 1380 \cdot (120 + 0,5 \cdot 1380)) + (5,34346) \cdot 2800 \cdot 120}{845361,67}$$

$$= 550,7931 \text{ mm}$$

$$C_b = 1500 - 550,7931 = 949,20687 \text{ mm}$$

$$E = C_t - 120 = 550,7931 - 120 = 430,79313 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 I &= (1/12) \cdot 2320 \cdot 120^3 + 2320 \cdot 120 \cdot (550,7931 - 0,5 \cdot 120)^2 + (1/12) \cdot 400 \cdot 1380^3 \\
 &+ 400 \cdot 1380 \cdot (949,20687 - 0,5 \cdot 1380)^2 + (5,34346) \cdot 3080 \cdot 430,79313^2 \\
 &= 1,9486 \cdot 10^{11} \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$S_t = \frac{1,9486 \cdot 10^{11}}{550,7931} = 3,53783 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

$$S_b = \frac{1,9486 \cdot 10^{11}}{949,20687} = 2,05288 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

4.7.4 Kehilangan Gaya Prategang

A. akibat perpendekan elastis

karena penarikan tendon dilakukan langsung, maka kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis beton adalah :

$$\Delta f_{pES} = 0 \text{ MPa}$$

B. Akibat pengangkuran/ pergeseran tendon

pergeseran ankur $\Delta_{,1} = 0,635 \text{ cm}$

$$\Delta f_{p1} = \frac{\Delta_{,1}}{L} \cdot E_{ps} = \frac{0,635}{1800} \cdot 200000 = 70,5555 \text{ MPa}$$

C. Akibat rangkai beton

$$f_{cs} = \frac{-5307,5265 \cdot 10^3}{818505,86} \left(1 + \frac{444,9278^2}{(1,897 \cdot 10^{11} / 818505,86)} \right) + \frac{1179,26 \cdot 10^6 \cdot 444,9278}{1,897 \cdot 10^{11}} = -9,2572 \text{ kN}$$

$$f_{csd} = \frac{1179,26 \cdot 10^6 \cdot 444,9278}{1,897 \cdot 10^{11}} = 2,76574 \text{ kN}$$

$$\Delta f_{pCR} = 1,6 \cdot \frac{200000}{31528,6} \cdot (9,2572 - 2,76574) = 65,8846 \text{ MPa}$$

D. Akibat susut beton

$$\frac{v}{s} = 1,5$$

$$RH = 70 \%$$

$$K_{SH} = 0,58$$

$$\begin{aligned} \Delta f_{pSH} &= 8,2 \cdot 10^{-6} \cdot K_{sh} \cdot E_s \left(1 - 0,06 \frac{v}{s} \right) (100 - RH) \\ &= 8,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,58 \cdot 200000 \cdot (1 - 0,06 \cdot 1,5) (100 - 70) \\ &= 25,9678 \text{ MPa} \end{aligned}$$

E. Akibat Gesekan

$$\alpha = \frac{8.444,9278}{18000} = 0,1977$$

digunakan tendon kawat dan strand dengan untaian 7 kawat yang diminyaki terlebih dahulu sehingga nilai K dan μ diperoleh dari tabel 3.4

$$K = 0,001$$

$$\mu = 0,15$$

$$f_{pi} = 0,7 \cdot f_{pu} = 0,82 \cdot f_{py} = 0,82 \cdot 0,85 \cdot f_{pu} = 0,70 \cdot 1860 = 1302 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \Delta f_{pL} &= f_{pi} [(\mu \cdot \alpha) + (K \cdot L)] \\ &= 1302 \cdot [(0,25 \cdot 0,1977) + (0,001 \cdot 15)] \\ &= 87,8022 \text{ MPa} \end{aligned}$$

F. Akibat relaksasi baja

$$\Delta f_{pR} = (K_{re} - J(\Delta f_{pa} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pSH}))C$$

dari tabel diperoleh :

$$K_{re} = 35$$

$$f_{pi}/f_{pu} = 1302 / 1860 = 0,7 \rightarrow C = 0,75$$

$$\begin{aligned} \Delta f_{pR} &= (35 - 0,04(65,8852 + 25,9678 + 70,5556))0,75 \\ &= 21,3778MPa \end{aligned}$$

Total kehilangan gaya prategang adalah

$$\Delta f_p = 0 + 70,5556 + 65,8846 + 25,9678 + 87,8022 + 21,3778 = 271,5879MPa$$

prosentase kehilangan gaya prategang

$$\begin{aligned} &= \frac{1302 - 271,5885}{1302} \cdot 100\% = 79,1407\% \\ 100 - 79,1407 &= 20,8593\% \end{aligned}$$

4.7.5 Kontrol Tegangan Beton dan Tendon

A. Saat Transfer

Tegangan Beton

$$\begin{aligned} f_{ti} &= -\frac{5307,561 \cdot 10^3}{818505,86} \left(1 - \frac{444,9278 \cdot 564,9277}{231773,872} \right) - \frac{1580,725 \cdot 10^6}{3,36 \cdot 10^8} \\ &= -4,1595MPa < 21,6MPa \quad \text{ok} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{ci} &= -\frac{5307,561 \cdot 10^3}{818505,86} \left(1 + \frac{444,9278 \cdot 935,0722}{231773,872} \right) + \frac{1580,725 \cdot 10^6}{2,028 \cdot 10^8} \\ &= -10,3328MPa < 21,6MPa \quad \text{ok} \end{aligned}$$

Tegangan tendon

$$A_{ps} = 2800 \text{ mm}^2$$

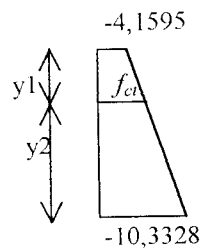
$$f_{si} = \frac{P_i}{A_{ps}} = \frac{5307,561 \cdot 10^3}{2800} = 1895,5452MPa$$

$$y1 = 120mm$$

$$y2 = 1500 - 120 = 1380mm$$

$$f_{ct} = \frac{1380 \cdot 4,1595 + 120 \cdot 10,3328}{1500} = -4,6533MPa$$

$$f_s = 1895,5452 + (6,34346 - 1) \cdot 4,6533 = 1866,0392MPa$$



Gambar 4.4 Tegangan Saat Transfer

B. Saat Layan

Gaya Prategang Efektif

$$P_e = (1 - IOP) \cdot P_i$$

$$= (1 - 0,208593) \cdot 5307,561$$

$$= 4200,4414 \text{ kN}$$

$$M_t = 2449,42 \text{ kN-m}$$

Kontrol tegangan beton dan tendon

Tegangan beton

$$f_{ti} = -\frac{4200,4414 \cdot 10^3}{846857,84} \left(1 - \frac{430,79313 \cdot 949,20687}{230506,5485} \right) - \frac{2449,42 \cdot 10^6}{3,53783 \cdot 10^8}$$

$$= -6,7775 \text{ MPa} < 20,25 \text{ MPa}$$

$$f_{ci} = -\frac{4200,4414 \cdot 10^3}{846857,84} \left(1 + \frac{430,79313 \cdot 949,20687}{230506,5485} \right) + \frac{2449,42 \cdot 10^6}{2,05288 \cdot 10^8}$$

$$= -1,8517 \text{ MPa} < 20,25 \text{ MPa}$$

Tegangan Tendon

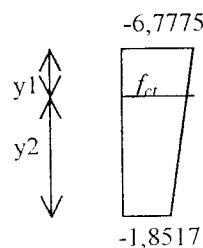
$$f_{se} = \frac{4200,4136 \cdot 10^3}{2800} = 1500,1477 \text{ MPa}$$

$$y_1 = 120 \text{ mm}$$

$$y_2 = 1500 - 120 = 1380 \text{ mm}$$

$$f_{ct} = \frac{1380 \cdot 6,7775 + 120 \cdot 1,8517}{1500} = -6,3834 \text{ MPa}$$

$$f_s = 1500,1477 + (6,34346 - 1) \cdot 6,3834 = 1466,0382 \text{ MPa}$$



Gambar 4.5 Tegangan Saat Layan

4.7.6 Perencanaan Tata Letak Tendon

$$P_i = 5307,5265 \text{ kN}$$

$$P_e = 4200,4136 \text{ kN}$$

Perencanaan tata letak tendon dilakukan dengan peninjauan pada tengah bentang, seperempat bentang, dan ujung balok portal yang ditinjau.

Batas Kern

$$a. \text{ Batas Kern Atas} \quad k_t = \frac{r^2}{c_b} = \frac{231213,72}{941,445} = 245,6391 \text{ mm}$$

$$b. \text{ Batas Kern Bawah} \quad k_b = \frac{r^2}{c_t} = \frac{231213,72}{558,5549} = 414,025 \text{ mm}$$

Batas bawah letak tendon

saat transfer sudah bekerja 50% beban mati

$$M_o = M_{sd} + 0,5 \cdot M_d$$

Tabel 4.5 momen yang terjadi pada balok tengah lantai 1 bentang 18 m terhadap bentang 6 m dan 9 m portal 5 lantai

Bagian Penampang	Md	Msd	Ml	Mo	MT
	kN-m	kN-m	kN-m	kN-m	kN-m
tengah bentang	460,99	663,55	271,18	894,045	1395,72
seperempat bentang	53,66	87,64	29,49	114,47	170,49
ujung balok	-802,93	-1179,26	-467,23	-1589,64	-2449,42

Jika diperkenankan terjadi tegangan tarik pada beton saat transfer maka lebar daerah tendon bertambah sebesar

$$a_{\min} = \frac{M_o}{P_i} \quad eb = a_{\min} + kb$$

$$eb' = \frac{f_{ti} \cdot A_c \cdot kb}{P_i} \quad eb_1 = eb + eb'$$

Tabel 4.6 Batas bawah letak tendon

Bagian Penampang	Tidak terjadi tarik		Terjadi tarik	
	a min (mm)	eb (mm)	eb' (mm)	eb ₁ (mm)
tengah bentang	168,4485	582,4735	97,16508	679,63858
seperempat bentang	21,5675	435,5673	97,16508	532,73238
ujung balok	-297,8252	116,1993	97,16508	213,36488

Batas atas letak tendon

Jika diperkenankan terjadi tegangan tarik pada beton saat layan maka lebar daerah tendon bertambah sebesar

$$a_{\max} = \frac{M_T}{P_e} \quad et = a_{\max} - kt$$

$$et' = \frac{fti \cdot Ac \cdot kt}{P_e} \quad et_1 = et - et'$$

Tabel 4.7 Batas atas letak tendon

Bagian Penampang	Tidak terjadi tarik		Terjadi tarik	
	a max (mm)	et (mm)	et' (mm)	et ₁ (mm)
tengah bentang	332,2816	86,6425	162,8804	-76,2379
seperempat bentang	40,58886	-205,0502	162,8804	-367,9306
ujung balok	-583,1378	-337,4987	162,8804	-500,3791

Gambar tata letak tendon dapat dilihat pada lampiran 4b.

4.7.7 Perhitungan Torsi dan Geser

A. Perhitungan Geser

Geser maksimum pada balok tengah portal lima lantai bentang 18 m terhadap bentang 6 m dan 9 m terjadi pada balok lantai empat. Pada perhitungan geser digunakan titik awal pada jarak $h/2$, karena pada jarak ini secara geser lentur terjadi retak miring yang stabil, nilai geser tersebut ;

$$V_d = 195,41 \text{ kN}$$

$$V_{sd} = 286,11 \text{ kN}$$

$$V_l = 108,72 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_T &= V_d + V_{sd} + V_L \\
 &= 195,41 + 286,11 + 108,72 \\
 &= 590,24 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

kapasitas momen retak

$$S_b = 2,052886 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

$$\bar{f}_c = \frac{P_e}{A_c} = \frac{4200,4414 \cdot 10^3}{845361,6747} = 4,9688 \text{ MPa}$$

$$f_{ce} = \frac{P_e}{A_c} \pm \frac{P_e \cdot e}{S_b} = 4,9688 + \frac{4200,4136 \cdot 482,5777}{12,052886 \cdot 10^8} = 4,9783 \text{ MPa}$$

$$f_d = \frac{M_d}{S_b} = \frac{652,7 \cdot 10^6}{2,052886 \cdot 10^8} = 3,1794 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= S_b \cdot \left(\frac{1}{2} \sqrt{f_c'} + f_{ce} - f_d \right) \\
 &= 2,052886 \cdot 10^8 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{1}{2} \sqrt{45} + 4,9783 - 3,1794 \right) \\
 &= 1057,8483 \text{ kN} \cdot \text{m}
 \end{aligned}$$

$$1,2 \cdot M_{cr} = 1,2 \cdot 1057,8483 = 1269,4180 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

gaya geser terfaktor di muka tumpuan

$$\begin{aligned}
 V_u &= 1,2 (V_d + V_{sd}) + 1,6 \cdot V_L \\
 &= 1,2 \cdot (195,41 + 286,11) + 1,6 \cdot 108,72 \\
 &= 751,776 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_n \text{ yang dibutuhkan} = \frac{V_u}{\phi} = \frac{751,776}{0,85} = 884,4423 \text{ kN di tumpuan}$$

$$d_p = h - d' = 1500 - 120 = 1380 \text{ mm}$$

3. Retak geser lentur, V_{ci}

$$V_{ci} = 0,6 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d_p + V_d + \frac{V_i}{M_{maks}} (M_{cr}) \geq 1,7 \lambda \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d_p$$

$$V_{ci} = 0,6 \cdot 1 \cdot \sqrt{(45/0,006895)} \cdot (400 \cdot 1380) / 25,4^2 + 195,41 / 0,004448$$

$$\dots + \frac{751,776 / 0,004448}{2535,484 / 0,0001130} \cdot 1057,8483 / 0,0001130$$

$$\dots = 155920,5372/b$$

$$V_{ci} = \frac{155920,5372}{(400 \cdot 1380) / 25,4^2} = 182,2349 \text{ psi} = 1,2565 \text{ MPa}$$

$$1,7 \cdot \sqrt{f_c'} = 1,7 \cdot \sqrt{(45/0,006895)} = 137,33715 \text{ psi} = 0,94694 \text{ MPa} < 1,2565 \text{ MPa}$$

$$5 \lambda \sqrt{f_c'} = 5 \cdot 0,1 \cdot \sqrt{(45/0,006895)} = 403,9328 \text{ psi} = 2,78511 \text{ MPa} > 1,2565 \text{ MPa}$$

$$V_{ci} = 1,2565 \text{ MPa}$$

4. Retak geser badan, V_{ew}

$$V_p = P_e \tan \theta$$

dimana θ adalah sudut antara tendon miring dan horisontal, jadi

$$e \text{ ujung} = 430,7931 \text{ mm}$$

$$e \text{ tengah bentang} = 949,20687 - 120 = 829,20687 \text{ mm}$$

$$e \text{ pada } h/2 = 430,7931 + (949,20687 - 430,7931) \cdot \frac{1500/2}{18000/2}$$

$$= 463,9943 \text{ mm}$$

$$V_p = 4200,4414 \cdot \frac{463,9943}{1500/2}$$

$$= 2598,6410 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_{cw} &= (3,5\sqrt{f_c'} + 0,3\bar{f}_c) \cdot b_w \cdot d_p + V_p \\
 &= (3,5\sqrt{(45/0,006895)} + 0,3 \cdot 4,9688/0,006895)(400 \cdot 1380)/25,4^2 + \\
 &\quad \dots\dots\dots 2598,6410/0,004448 \\
 &= 1011124,532/lb \\
 V_{cr} &= \frac{1011124,532}{(400 \cdot 1380)/25,4^2} = 1181,7701 \text{ psi} = 8,1483 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$V_{ci} = 1,2565 \text{ MPa} < V_{cw} = 8,1483 \text{ MPa}$$

$$\text{sehingga } V_c = V_{ci} = 1,2565 \text{ MPa} \cdot 400 \cdot 1380 \cdot 10^{-3} = 693,5935 \text{ kN}$$

3. Penulangan Geser

$$V_c = 693,5935 \text{ kN} < V_n = 884,4423 \text{ kN}$$

$$V_s = V_n - V_c = 884,4423 - 693,5935 = 190,8488 \text{ kN}$$

jika $V_n > V_c/2$ dan $V_n > V_c$, maka diperlukan tulangan badan

$$\begin{aligned}
 V_s &= 190,8488 \leq 8\lambda\sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d_p = 8 \cdot 1 \cdot \sqrt{45/0,006895} \cdot (400 \cdot 1380)/25,4^2 \\
 &\quad \dots\dots\dots = 552968,9594/lb = 3812,7075 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

tinggi penampang sudah memadai

Tulangan baja minimum

$$\begin{aligned}
 \text{Min. } \frac{A_v}{s} &= \frac{A_{ps} \cdot f_{pu}}{80 \cdot f_y \cdot d_p} \sqrt{\frac{d_p}{b_w}} \\
 &= \frac{2800 \cdot 1860}{80 \cdot 400 \cdot 1380} \sqrt{\frac{1380}{400}} = 0,21905 \text{ mm}^2 / \text{mm}
 \end{aligned}$$

tulangan badan yang dibutuhkan

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \cdot d_p} = \frac{190,8488}{400 \cdot 10^{-3} \cdot 1380} = 0,3457 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

jika, $V_s > 4\lambda\sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d_p$ maka jarak sengkang s adalah setengah dari jarak yang dibutuhkan.

$$V_s = 190,8488 \text{ kN} > (4.1 \cdot \sqrt{(45/0.006895)} \cdot (400 \cdot 1380) / 25,4^2 \cdot 0.006895) * 0,004448$$

$$\dots\dots\dots > 8,47948 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = 2.0,3457 = 0,6915 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

jadi tulangan geser badan yang dibutuhkan $A_v/s = 0,6915 \text{ mm}^2/\text{mm}$.

b. Perhitungan Torsi

Torsi maksimum pada balok tengah portal lima lantai bentang 18 m terhadap bentang 6 m dan 9 m terjadi pada balok lantai empat, yaitu

$$T_d = 30,41 \text{ kN-m}$$

$$T_{sd} = 36,78 \text{ kN-m}$$

$$T_L = 21,25 \text{ kN-m}$$

$$T_T = T_d + T_{sd} + T_L$$

$$= 30,41 + 36,78 + 21,25$$

$$= 88,44 \text{ kN-m}$$

Torsi terfaktor

$$T_u = 1,2 \cdot (T_d + T_{sd}) + 1,6 \cdot T_L$$

$$= 1,2 \cdot (30,41 + 36,78) + 1,6 \cdot 21,25$$

$$= 114,628 \text{ kN-m}$$

$$A_{cp} = h \cdot b_w = 1500 \cdot 400 = 600000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \cdot (h + b_w) = 2 \cdot (1500 + 400) = 3800 \text{ mm}$$

anggap diameter tulangan geser / torsi 10 mm dan tebal selimut beton 40 mm

$$X_f = b_w - 2 \cdot (40 + 0,5 \cdot 10) = 400 - 2 \cdot (40 + 0,5 \cdot 10) = 310 \text{ mm}$$

$$Y_1 = h - 2 \cdot (40 + 0,5 \cdot 10) = 1500 - 2 \cdot (40 + 0,5 \cdot 10) = 1410 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = 310 \cdot 1410 = 437100 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \cdot A_{oh} = 0,85 \cdot 406100 = 345185 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 \cdot (X_1 + Y_1) = 2 \cdot (310 + 1410) = 3440 \text{ mm}$$

$$\theta = 37,5^\circ \quad \cot^2 \theta = 1,69$$

cek apakah tulangan torsional dibutuhkan

$$T_u'1 \leq \frac{\phi \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{3 \cdot \bar{f}_c}{\sqrt{f_c'}}}}{12}$$

$$T_u'1 = \frac{0,85 \sqrt{45} \left(\frac{6000^2}{380} \right) \sqrt{1 + \frac{3 \cdot 4,9688}{\sqrt{45}}}}{12} \cdot 10^{-3} = 80,8041 \text{ kN-m}$$

nilai torsional maksimum $T_u'1 = 80,8041 \text{ kN-m} > T_u = 114,628 \text{ kN-m}$, jadi tulangan torsional dibutuhkan karena kemampuan penampang dalam menahan torsi lebih kecil dari torsi yang terjadi.

$$T_u'2 \leq \frac{4 \cdot \phi \sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{3 \cdot \bar{f}_c}{\sqrt{f_c'}}}}{12}$$

$$T_u'2 = \frac{4 \cdot 0,85 \sqrt{45} \left(\frac{6000^2}{380} \right) \sqrt{1 + \frac{3 \cdot 4,9688}{\sqrt{45}}}}{12} \cdot 10^{-3} = 323,2166 \text{ kN-m}$$

$T_u = 114,628 \text{ kN-m} < T_u'2 = 323,2166 \text{ kN-m}$, maka momen torsional yang digunakan untuk desain tulangan torsional adalah yang terkecil yaitu, $T_u = 114,628 \text{ kN-m}$.

Penulangan Torsional

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{114,628}{0,85} = 134,8564 \text{ kN-m}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2A_o f_y \cos \theta} = \frac{134,8564}{2 \cdot 359893,4 \cdot 400 \cdot 1,3} = 0,3490 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

Penulangan geser torsi yang dibutuhkan

$$\frac{A_{vt}}{s} = 2 \frac{A_t}{s} + \frac{A_v}{s} = 0,3490 + 0,6915 = 1,3895 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

$$s = \frac{A_v}{A_{vt} / s} = \frac{0,25 \cdot 22 / 7 \cdot 10^2}{1,3895} = 56,55 \text{ mm}$$

Penulangan Longitudinal

$$A_t = \frac{A_t}{s} p_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yt}} \right) \cdot \cot^2 \theta$$

$$= 0,3490 \cdot 3440 \left(\frac{400}{400} \right) \cdot 1,69 = 2028,9464 \text{ mm}^2$$

$$A_{t \min} = \frac{5 \sqrt{f_c'} A_{cp}}{12 \cdot f_{yt}} - \frac{A_t}{s} p_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yt}} \right)$$

$$= \frac{5 \sqrt{45} \cdot 600000}{12 \cdot 400} - 0,3490 \cdot 3440 \cdot \left(\frac{400}{400} \right)$$

$$= 2992,0674 \text{ mm}^2$$

jarak maksimum yang diijinkan $p_h/8 = 3440/8 = 430 \text{ mm} = 43 \text{ cm}$

digunakan tulangan diameter 10 mm dengan luas $78,5714 \text{ mm}^2 \sim 79 \text{ mm}^2$.

Banyaknya tulangan yang dibutuhkan $= 2028,9464/79 = 25,6828$ tulangan

jumlah tulangan longitudinal yang digunakan 26 buah.

dalam hal ini $s = \frac{1500 - 2 \cdot 40}{26} = 54,61 \text{ mm}$ oke, maka digunakan tulangan

longitudinal 26 buah dengan jarak antar tulangan 55 mm.

BAB V

ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Data dan Asumsi Desain

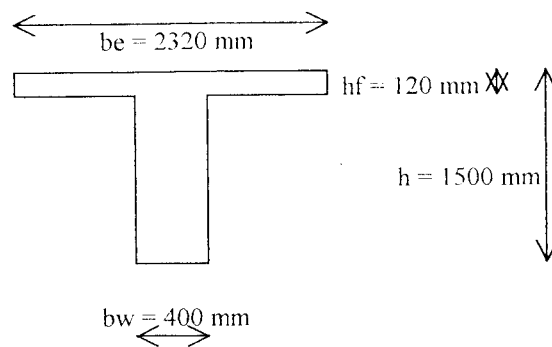
Analisis geser dan geser torsi beton prategang ini digunakan struktur portal 5 lantai dengan fungsi sebagai gedung perkantoran. Pada penelitian ini yang dianalisis hanya balok tengah portal arah x sehingga tendon prategang hanya diberikan pada balok tengah bentang arah x : 18 m, 18 m terhadap as bentang sedangkan bentang arah y sebagai variabel bebas divariasikan yaitu; portal 2 terhadap bentang 6 m, 9 m; portal 3 terhadap bentang 6 m, 12 m; dan portal 4 terhadap bentang 6 m, 15 m, sebagai kontrol besar torsi yang terjadi digunakan portal 1 terhadap bentang 6 m, 6 m arah sumbu y. Untuk jelasnya gambar dapat dilihat pada lampiran 3a-c.

Pada perencanaan struktur gedung digunakan balok T pada tengah bentang dan balok persegi untuk balok tepi, balok anak, dan kolom. Tinggi antar tingkat digunakan 4 m dan jarak antar balok anak 3 m.

Pada penelitian ini digunakan gaya prategang parsial sebagai variabel bebas dengan mengambil nilai parsial 90%, 80%, 70% dari gaya prategang yang dibutuhkan pada prategang penuh.

Mutu bahan yang digunakan dalam perencanaan ini adalah beton dengan kuat desak $f'_c = 45$ MPa, tegangan ultimit tulangan aktif (*tendon*) $f_{pu} = 1860$ MPa dan tulangan pasif (non prategang) $f_y = 400$ MPa.

Penampang T yang digunakan dalam analisis memiliki ukuran seperti pada gambar 5.1.



Gambar 5.1 Penampang Balok T

Tabel 5.1 Dimensi Balok Pada Analisis Struktur

DIMENSI BALOK YANG DIGUNAKAN UNTUK ANALISIS PORTAL

	satuan	PORTAL 1	PORTAL 2	PORTAL 3	PORTAL 4
jrak antar blk anak	m	3	3	3	3
tinggi antar tingkat	m	4	4	4	4
dimensi					
BAA1	mm	250/500	250/500	250/500	300/600
BAA2	mm	250/500	250/500	250/500	250/500
BAA3		-	250/500	250/500	250/500
BAL1	mm	250/500	250/500	250/500	300/700
BAL2	mm	250/500	250/500	250/500	250/500
BAL3		-	300/600	300/600	300/600
BTEPIA1	mm	300/600	400/700	400/700	400/700
BTEPIA2	mm	250/500	250/500	300/600	300/600
BTEPIA3		-	250/500	300/600	300/600
BTEPIL1	mm	300/600	400/700	400/800	400/700
BTEPIL2	mm	250/500	250/500	300/600	300/600
BTEPIL3		-	250/500	300/600	350/700
BTA1	mm	1500/2320/120/400	1500/2320/120/400	1500/2320/120/400	1500/2320/120/400
BTA2	mm	500/2320/120/400	500/2320/120/400	500/2320/120/400	500/2320/120/400
BTA3		-	700/2320/120/400	700/2320/120/400	1000/2320/120/400
BTL1	mm	1500/2320/120/400	1500/2320/120/400	1500/2320/120/400	1500/2320/120/400
BTL2	mm	500/2320/120/400	500/2320/120/400	500/2320/120/400	500/2320/120/400
BTL3		-	700/2320/120/400	800/2320/120/400	1200/2320/120/400
KOLOM	mm	750/750	750/750	800/800	900/900

Perhitungan mekanika menggunakan microsoft SAP 2000, sehingga didapatkan momen, geser dan torsi yang terjadi pada struktur. Berikut besar momen yang terjadi pada balok tengah penampang T arah x dengan bentang 18 m, 18 m terhadap as bentang pada portal 1, portal 2, portal 3, dan portal 4.

Tabel 5.2 Hasil Analisis Struktur Portal

HASIL ANALISIS PORTAL 5 LANTAI SAP 2000 BETON PRATEGANG

PORTAL	LANTAI	MOMEN MAX			GESER MAX			TORSI MAX		
		Msd kN-m	Md kN-m	MI kN-m	Vsd kN	Vd kN	VI kN	Tsd kN-m	Td kN-m	TI kN-m
1	1	-1051.89	-774.46	-418.97	-257.1	-178.93	-94.31	0	0	0
	2	-993.82	-735.69	-399.38	-262.68	-182.88	-96.39	0	0	0
	3	-964.4	-717.64	-391.24	-264.01	-183.75	-96.77	0	0	0
	4	-939.59	-706.86	-392.48	-265.96	-184.36	-95.93	0	0	0
	5	-1052.27	-626.13	-142.43	-244.86	-137.28	-37.84	0	0	0
2	1	-1179.26	-802.93	-467.23	-290.06	-191.98	-10.7	-36.78	-30.41	-21.25
	2	-1112.31	-760.52	-444.45	-296.56	-196.17	110.06	-36.22	-30.17	-20.94
	3	-1078.69	-740.45	-434.91	-298.21	-197.15	110.51	-35.7	-29.75	-20.71
	4	-1052.26	-726.3	-436.13	-299.86	-197.99	109.55	-35.91	-29.85	-20.66
	5	-1081.86	-685.44	-153.55	-259.26	-153.26	-42.55	-19.61	-28.72	-7.4
3	1	-1219.47	-835.57	-506.9	-312.04	-208.56	121.91	-66.08	-57.75	-42.04
	2	-1154.27	-793.02	-483.15	-318.66	-212.89	124.46	-66.37	-58.23	-42.13
	3	-1121.06	-772.24	-473.14	-320.68	-214.14	125.04	-66.22	-58.09	-42.01
	4	-1095.65	-756.1	-474.92	-322.47	-215.32	124.03	-66.9	-58.6	-41.92
	5	-1137.93	-769.26	-172.92	-277.5	-173.85	-48.48	-43.96	-60.97	-16.26
4	1	-1223.98	-748.39	-449.14	-350.63	-211.98	123.03	-92.47	-61.87	-46.22
	2	-1159.87	-710.92	-427.96	-357.29	-215.87	125.31	-94.24	-63.31	-46.87
	3	-1123.68	-690.18	-418.16	-360.23	-217.55	126.05	-94.98	-63.88	-47.02
	4	-1100.84	-675.65	-419.79	-361.81	-218.52	125.18	-95.32	-64.27	-46.75
	5	-1152.85	-719.56	-160.51	-310.95	-183.52	-51.06	-74.71	-78.57	-21.46

Dari hasil analisis struktur portal 5 lantai pada balok tengah penampang T, terlihat momen maksimum dan geser maksimum terjadi pada lantai 1, perilaku ini

sama pada tiap –tiap portal yaitu portal 1, portal 2, portal 3, dan portal 4. Sedangkan nilai torsi, pada portal 1 adalah nol ini disebabkan panjang bentang arah y memiliki bentang yang sama panjang terhadap as bentang sehingga portal 1 digunakan sebagai kontrol pada penelitian ini. Pada portal 3 dan 4 torsi maksimum terjadi pada lantai 4 sedangkan pada portal 2 torsi maksimum terjadi pada lantai 1

5.2 Pembahasan Hasil Perhitungan

Dari analisa perhitungan balok beton prategang pasca tarik faktor yang paling penting adalah kapasitas tampang elemen struktur terhadap kekuatan lentur. Dalam analisis kapasitas penampang yang mampu menahan lentur, dapat diketahui besarnya tegangan yang terjadi pada tahap – tahap tertentu, yaitu : pada tahap penarikan (*transfer*) dan pada saat beban kerja (*layan*) telah bekerja. Kapasitas penampang pada saat transfer adalah penampang netto sedangkan pada saat layan adalah penampang transformasi yang selanjutnya digunakan untuk memeriksa tegangan pada saat transfer maupun layan.

5.2.1 Gaya Prategang

Analisis pada tahap perencanaan balok prategang parsial pada penelitian ini hanya pada balok tengah penampang T arah x dengan panjang bentang 18 m dan sistem yang digunakan adalah pasca tarik dengan *grouting*. Tipe tendon yang digunakan adalah tipe selongsong disesuaikan dengan besarnya gaya prategang yang dibutuhkan. Hasil perhitungan gaya prategang yang dibutuhkan balok penampang T arah x adalah:

Tabel 5.3 Besar Gaya Prategang Awal

% Prategang	Gaya Prategang Awal (kN)			
	Portal 1	Portal 2	Portal 3	Portal 4
100%	5897.2896	5897.2896	5897.2896	5897.2896
90%	5307.5606	5307.5606	5307.56064	5307.5606
80%	4717.8317	4717.8317	4717.83168	4717.8317
70%	4128.1027	4128.1027	4128.10272	4128.1027

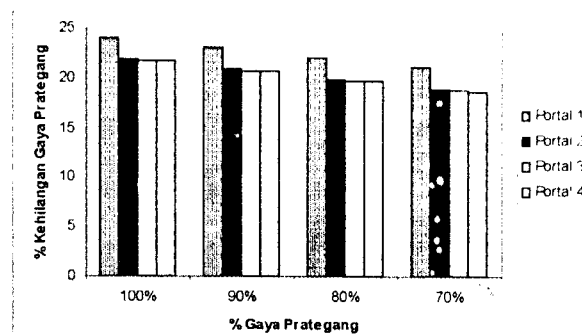
Antara portal 1, portal 2, portal 3, dan portal 4 didapatkan gaya prategang yang sama, ini dikarenakan panjang bentang yang ditinjau pada masing – masing portal sama yaitu 18 m, sehingga penampang T yang dibutuhkan pada masing - masing portal sama. Penurunan gaya prategang yang dibutuhkan linier dengan prosentase gaya prategang yang diuji.

5.2.2 Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang yang terjadi disebabkan oleh beberapa faktor. faktor tersebut adalah: pengangkuran tendon, gesekan tendon, relaksasi baja, deformasi elastik beton, rangkai beton, dan susut beton. Hasil prosentase kehilangan gaya prategang dapat dilihat pada Tabel 5.4 Perbandingan antara % gaya prategang dengan kehilangan gaya prategang dapat dilihat pada Gambar 5.1.

Tabel 5.4 Besar Prosentase Kehilangan Gaya Prategang

% Prategang	% Kehilangan Gaya Prategang			
	Portal 1	Portal 2	Portal 3	Portal 4
100%	24.061182	21.869406	21.7267882	21.710792
90%	23.051062	20.859286	20.7166679	20.700672
80%	22.040942	19.849165	19.7065475	19.690551
70%	21.030821	18.839045	18.6964271	18.680431



Gambar 5.2 Perbandingan % Gaya Prategang Terhadap Kehilangan Gaya Prategang

Pada Gambar 5.1 memperlihatkan bahwa prosentase kehilangan gaya prategang semakin berkurang seiring dengan gaya prategang yang diberikan. Ini disebabkan karena kehilangan gaya prategang akibat gesekan tendon pada prategang parsial semakin besar. Keadaan ini berlaku baik pada portal 1, portal 2, portal 3, dan portal 4. Prosentase kehilangan gaya prategang terhadap variasi portal juga semakin berkurang, ini disebabkan oleh semakin besarnya momen yang terjadi pada balok tengah penampang T.

5.2.3 Luasan Baja Prategang

Luasan baja prategang berkaitan dengan tipe tendon yang digunakan dan besar gaya prategang yang diperlukan, semakin besar gaya prategang yang dibutuhkan maka semakin besar pula luasan baja prategangnya. Pada kondisi prategang parsial luasan baja prategang semakin berkurang seiring dengan berkurangnya gaya prategang. Seperti penjelasan pada Sub bab 5.2.1, bahwa kesamaan panjang bentang yang ditinjau pada masing – masing portal adalah sama yaitu 18 m menyebabkan penampang T yang dibutuhkan sama, sehingga gaya prategang yang dibutuhkan untuk tiap – tiap portal adalah sama. Kondisi di

atas menyebabkan luasan baja prategang yang diperlukan pada portal 1, portal 2, portal 3, dan portal 4 adalah sama. Hasil perhitungan luasan baja dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Besar Luasan Baja Prategang

% Prategang	Besar luasan Baja Prategang mm ²			
	Portal 1	Portal 2	Portal 3	Portal 4
100%	3080	3080	3080	3080
90%	2800	2800	2800	2800
80%	2520	2520	2520	2520
70%	2240	2240	2240	2240

5.2.4 Tegangan Beton

Tegangan yang terjadi pada penampang balok beton prategang menghasilkan tegangan di serat atas dan di serat bawah balok. Tegangan – tegangan beton tersebut dianalisis pada saat transfer dan saat layan.

1. Serat Atas

Tegangan beton serat atas pada saat transfer maupun layan merupakan tegangan desak yang nilainya dapat dilihat pada Tabel 5.6. Pada Tabel 5.6 memperlihatkan nilai tegangan desak pada serat atas, dimana semakin kecil gaya prategang yang diberikan maka nilai tegangan desaknya semakin besar. Keadaan ini berlaku pada portal 1, portal 2, portal 3, dan portal 4. Pada Tabel 5.6 juga memperlihatkan bahwa nilai tegangan desak pada serat atas dari portal 1 sampai portal 3 nilai tegangannya semakin besar, ini disebabkan oleh momen yang terjadi semakin besar pada portal akibat beda panjang bentang arah y yang digunakan pada tiap –tiap portal. Sedangkan pada portal 4 memiliki nilai momen yang kecil

dibandingkan dengan portal 3 sehingga tegangan desak yang terjadi menurun terhadap tegangan desak pada portal 3.

2. Serat Bawah

Tegangan beton awal atau saat transfer yang terjadi pada serat bawah menghasilkan tegangan desak. Setelah pemberian beban kerja atau pada saat layan tegangan desak saat layan cenderung menurun terhadap tegangan desak saat transfer. Pada saat transfer dan layan tegangan desak yang terjadi semakin kecil seiring dengan berkurangnya gaya prategang yang diberikan, sehingga besar kemungkinan pada saat layan juga akan terjadi tegangan tarik.

Pada saat transfer tegangan desak semakin berkurang terhadap variasi portal, namun pada portal 4 tegangan desak mulai bertambah, sama halnya yang terjadi pada saat layan. Hal ini disebabkan momen pada portal 1, portal 2, dan portal 3 cenderung membesar sedangkan momen pada portal 4 cenderung mengecil terhadap portal 3.

Tabel 5.6 Tegangan Yang Terjadi pada Balok Penampang T

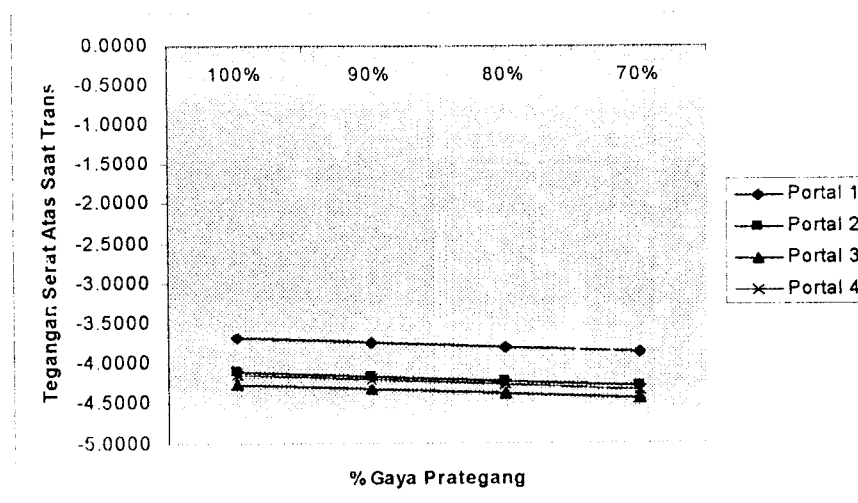
%	Portal 1					
	e			Layan		
	mm	ft	fb	mm	ft	fb
100%	444.92779	-3.6769	-13.0446	430.0320	-6.1774	-3.7523
90%	444.92779	-3.7378	-11.0308	430.7931	-6.1934	-2.4837
80%	444.92779	-3.7986	-9.0170	431.5569	-6.2125	-1.1704
70%	444.92779	-3.8595	-7.0032	432.3234	-6.2349	0.1878

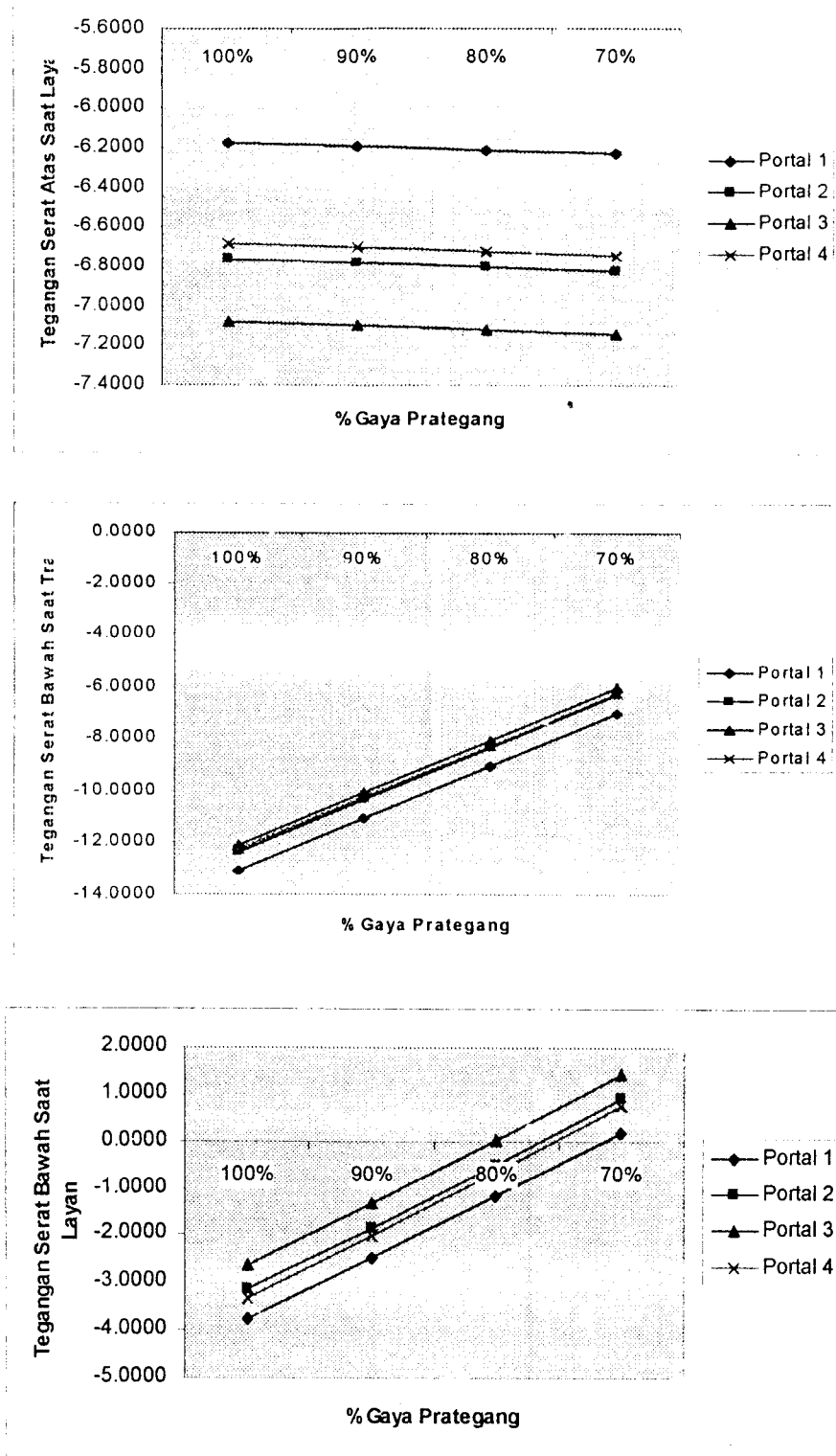
Lanjutan Tabel 5.6

Prategang	Portal 2					
	e	Transfer		e	Layan	
	mm	ft	fb	mm	ft	fb
100%	444.9278	-4.0986	-12.3466	430.0320	-6.7600	-3.1625
90%	444.9278	-4.1595	-10.3328	430.7931	-6.7775	-1.8517
80%	444.9278	-4.2203	-8.3190	431.5569	-6.7984	-0.4962
70%	444.9278	-4.2812	-6.3052	432.3234	-6.8227	0.9046

Prategang	%	Portal 3					
		e	Transfer		e	Layan	
		mm	ft	fb	mm	ft	fb
100%	444.92779	-4.2669	-12.0680	430.0320	-7.0769	-2.6422	
90%	444.92779	-4.3278	-10.0542	430.7931	-7.0953	-1.3285	
80%	444.92779	-4.3887	-8.0404	431.5569	-7.1171	0.0302	
70%	444.92779	-4.4495	-6.0266	432.3234	-7.1423	1.4340	

Prategang	%	Portal 4					
		e	Transfer		e	Layan	
		mm	ft	fb	mm	ft	fb
100%	444.9278	-4.1506	-12.2606	430.0320	-5.6810	-3.3290	
90%	444.9278	-4.2114	-10.2468	430.7931	-6.6984	-2.0153	
80%	444.9278	-4.2723	-8.2330	431.5569	-6.7190	-0.6568	
70%	444.9278	-4.3331	-6.2192	432.3234	-6.7431	0.7469	





Gambar 5.3 Perbandingan % Gaya Prategang Terhadap Tegangan yang terjadi

5.2.5 Kuat Geser Beton (V_c) dan Kuat Geser tulangan (V_s)

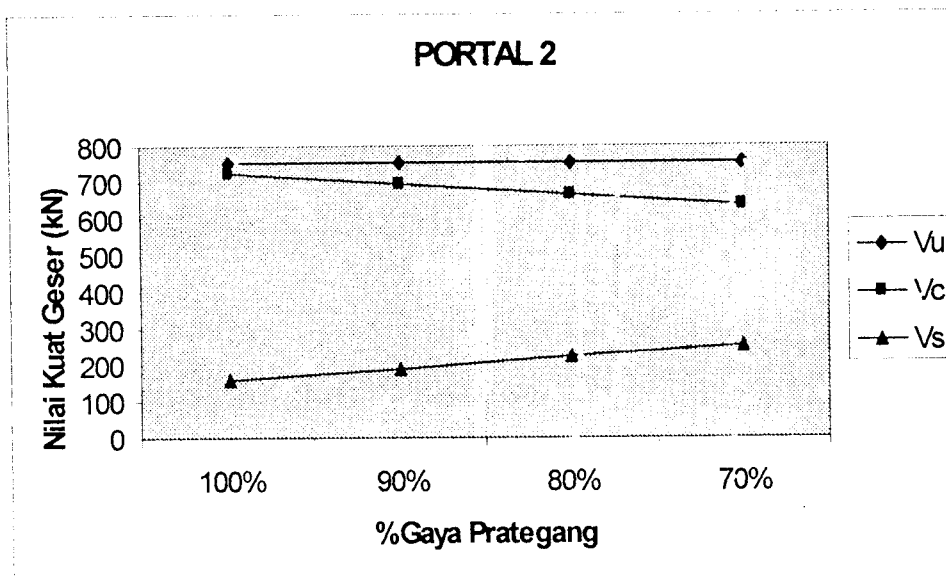
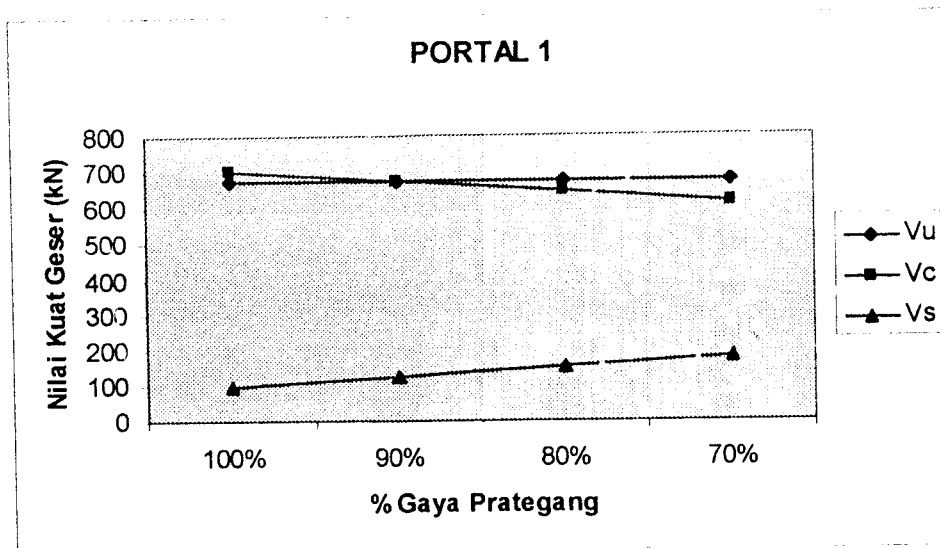
Untuk menentukan kuat geser beton, ditentukan nilai terkecil dari kuat geser lentur (V_{ci}) dan kuat geser badan (V_{cw}). Pada penelitian ini V_{ci} menentukan nilai kuat geser beton. Pada kuat geser badan nilai yang diperoleh terlampaui besar, ini dikarenakan komponen vertikal gaya prategang (V_p) di penampang sangat besar. Nilai V_p yang besar dipengaruhi oleh kemiringan tendon pada penampang.

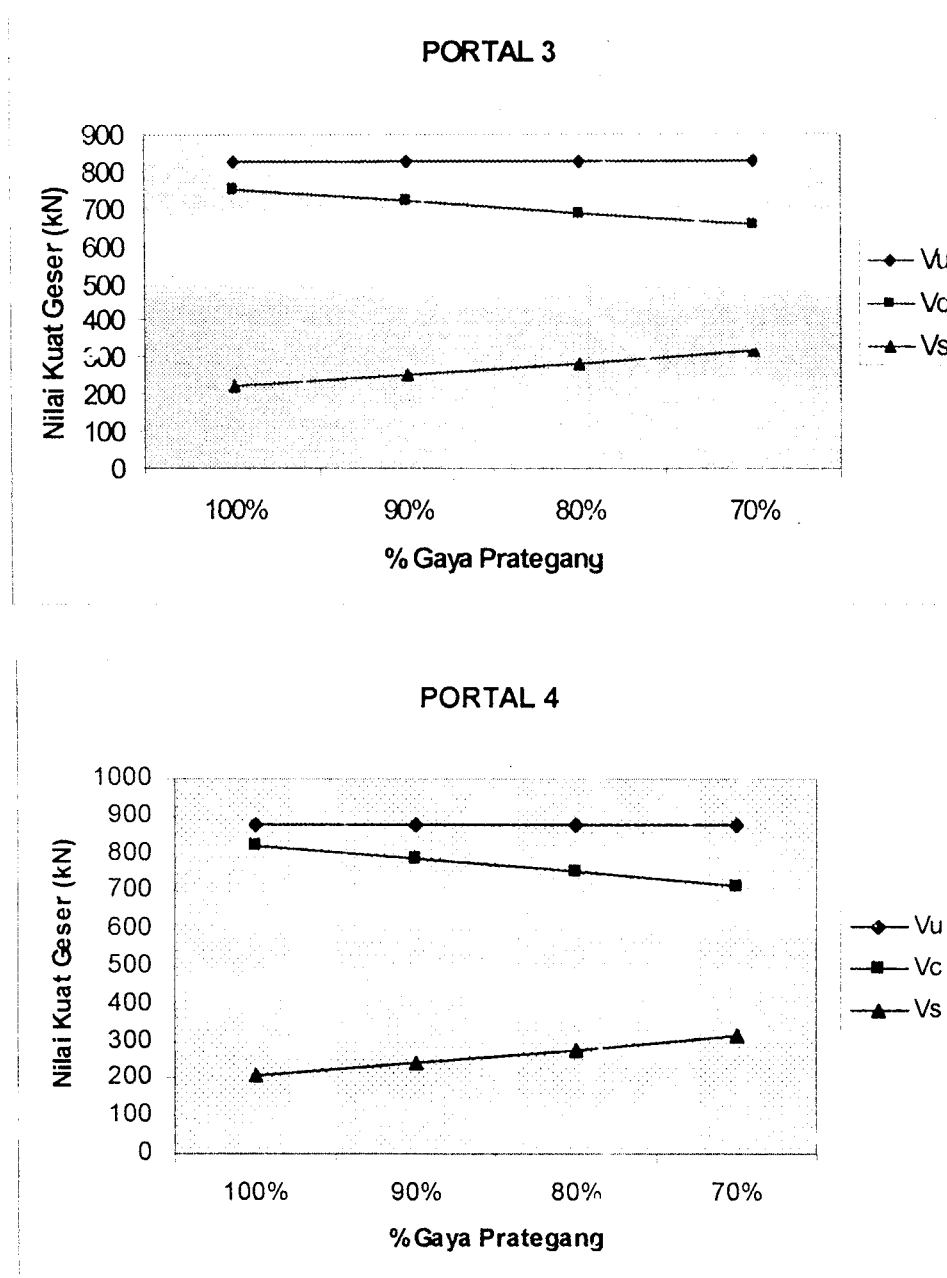
Kuat geser beton (V_c) semakin menurun seiring dengan menurunnya gaya prategang yang diberikan. Sedangkan nilai V_c terhadap variasi portal yang digunakan nilainya semakin besar, ini disebabkan oleh nilai gaya geser di penampang akibat beban mati (V_d) dan gaya geser terfaktor di penampang (V_i) yang terjadi meningkat pada variasi portal yang digunakan dan nilai maksimum geser terjadi pada lantai 4.

Dengan menurunnya kemampuan penampang beton dalam menahan geser (V_c) akibat pengurangan gaya prategang menyebabkan geser yang terjadi harus ditahan oleh tulangan geser sehingga kuat geser tulangan (V_s) dan luas tulangan geser yang diperlukan semakin besar. Luas tulangan yang diperlukan berbanding lurus dengan gaya geser yang terjadi. Data hasil analisis dapat dilihat pada tabel 5.7.

Tabel 5.7 Nilai Kuat Geser

%	Nilai Kuat Geser Terfaktor (Vu), Kuat Geser Beton (Vc), Kuat Geser Tulangan (Vs), Vn, dan ΔV (kN)				
	Portal 1				
Prategang	Vu	Vc	Vs	Vn	$\Delta V=Vn-Vu$
100%	673.108	699.0365	92.8552	791.8918	118.7838
90%	673.108	671.4545	120.4373	791.8918	118.7838
80%	673.108	642.9664	148.9254	791.8918	118.7838
70%	673.108	613.5693	178.3225	791.8918	119.7838
	Portal 2				
	Vu	Vc	Vs	Vn	$\Delta V=Vn-Vu$
100%	751.776	722.7127	161.7297	884.4424	132.6664
90%	751.776	693.5935	190.8488	884.4424	132.6664
80%	751.776	663.5460	220.8964	884.4424	132.6664
70%	751.776	632.5670	251.8754	884.4424	132.6664
	Portal 3				
	Vu	Vc	Vs	Vn	$\Delta V=Vn-Vu$
100%	822.872	747.9622	220.1226	968.0847	145.2127
90%	822.872	717.4781	250.6066	968.0847	145.2127
80%	822.872	686.0239	282.0608	968.0847	145.2127
70%	822.872	653.5965	314.4882	968.0847	145.2127
	Portal 4				
	Vu	Vc	Vs	Vn	$\Delta V=Vn-Vu$
100%	875.76	822.5647	207.7412	1030.3059	154.5459
90%	875.76	788.0604	242.2455	1030.3059	154.5459
80%	875.76	752.4583	277.8476	1030.3059	154.5459
70%	875.76	715.7549	314.5510	1030.3059	154.5459





Gambar 5.4 Grafik Nilai Kuat Geser

5.2.6 Momen Torsional

Standar ACI memberikan momen torsional maksimum di penampang kritis $h/2$ dari muka tumpuan. Pengabaian efek penuh dari nilai total momen torsional,

tidak menimbulkan kegagalan pada struktur, akan tetapi mungkin menyebabkan retak yang berlebihan jika sangat jauh lebih kecil dari pada torsi terfaktor aktual.

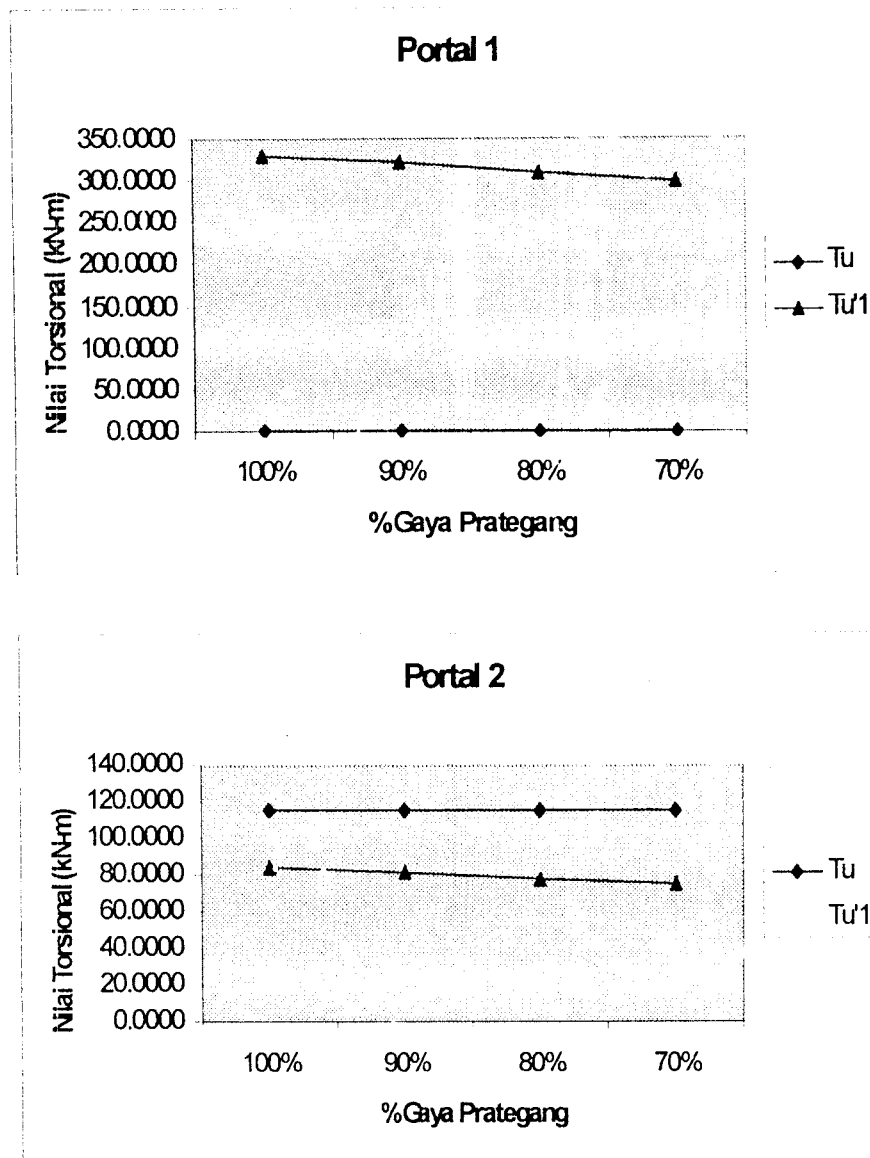
Apabila torsi aktual lebih kecil dari pada momen torsi terfaktor maksimum, maka momen torsional diabaikan.

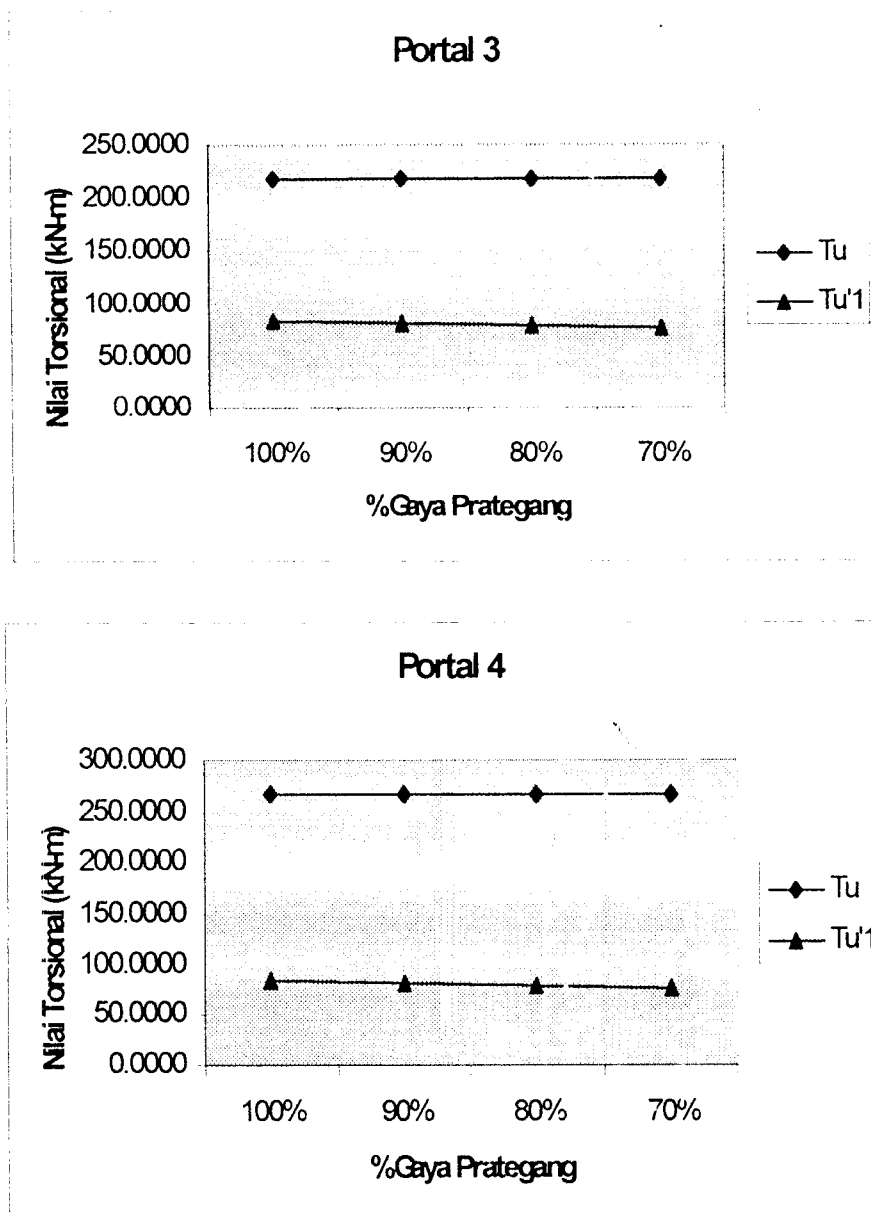
Dari Tabel 5.8 terlihat penurunan kekuatan baja prategang dalam menahan momen torsional seiring dengan penurunan gaya prategang yang diberikan. Momen torsional yang terjadi jauh lebih besar dibanding dengan kuat torsional yang diberikan oleh baja prategang, sehingga dibutuhkan tulangan torsional transversal dan tulangan torsional longitudinal.

Dengan luas penampang yang sama pada balok prategang pada tiap portal, terjadi penambahan kekuatan menahan momen torsional walaupun prosentase kenaikannya kecil dibawah 1% dan cenderung berkurang.

Tabel 5.8 Nilai Torsional

%	Nilai Torsional Ultimit (T_u), Torsi nominal (T_n), dan Torsi Terfaktor Maksimum(T_u') (kN-m)							
	Portal 1				Portal 2			
	T_u	T_n	$T_u'1$	$T_u'2$	T_u	T_n	$T_u'1$	$T_u'2$
100%	0.0000	0.0000	82.5756	330.3024	114.6280	134.8565	83.4089	333.6357
90%	0.0000	0.0000	80.0288	320.1151	114.6280	134.8565	80.8041	323.2166
80%	0.0000	0.0000	77.3060	309.2239	114.6280	134.8565	78.0209	312.0836
70%	0.0000	0.0000	74.3874	297.5496	114.6280	134.8565	75.0388	300.1553
Prategang	Portal 3				Portal 4			
	T_u	T_n	$T_u'1$	$T_u'2$	T_u	T_n	$T_u'1$	$T_u'2$
	100%	217.6720	256.0847	83.4629	83.4629	266.3080	313.3035	83.4689
90%	217.6720	256.0847	80.8543	323.4174	266.3080	313.3035	80.8600	323.4399
80%	217.6720	256.0847	78.0672	312.2688	266.3080	313.3035	78.0724	312.2896
70%	217.6720	256.0847	75.0810	300.3241	266.3080	313.3035	75.0857	300.3430





Gambar 5.5 Grafik Momen Torsional

5.2.7 Jarak Tulangan Yang Menahan Geser Torsi

Pada analisis geser dan geser torsi balok penampang T beton prategang pada balok tengah portal ini didapatkan bahwa balok memerlukan tulangan torsi dan geser, namun penulangan geser lebih dominan disebabkan nilai geser yang terjadi jauh lebih besar dari nilai torsi yang terjadi. Luasan penulangan geser dan torsi

juga dipengaruhi oleh nilai geser karena desain tulangan torsi menggunakan torsi nominal yang nilainya sama untuk setiap pengurangan gaya prategang.

Dari hasil analisis seperti terlihat pada Tabel 5.8 terlihat momen torsional terfaktor maksimum cenderung berkurang kekuatannya seiring dengan berkurangnya gaya prategang yang diberikan.

Pada Tabel 5.9 memperlihatkan luasan per jarak semakin besar dengan berkurangnya gaya prategang yang diberikan. sedangkan luasan per jarak jika dibandingkan dengan variasi portal, pada portal 1, portal 2, dan portal 3 terjadi kenaikan sedangkan pada portal 4 turun terhadap portal 3.

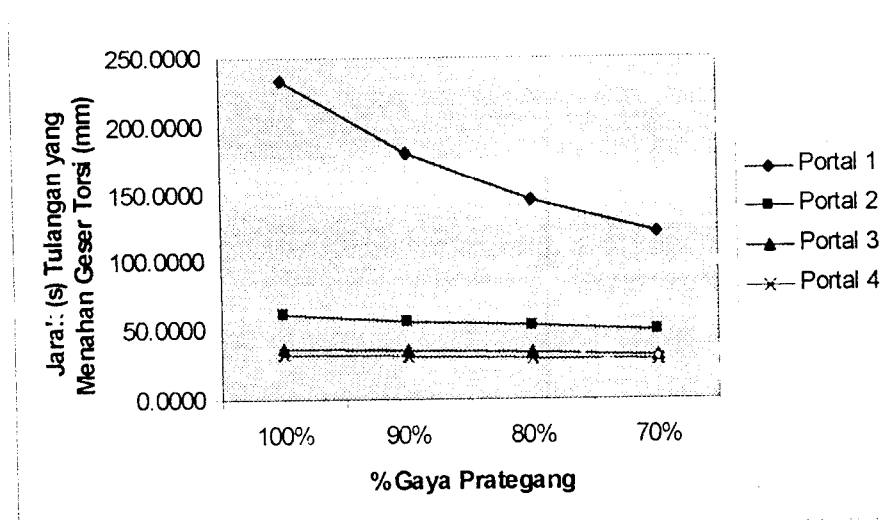
Berdasarkan luasan per jarak tulangan yang menggunakan diameter tulangan geser torsi 10 mm² didapatkan jarak tulangan semakin rapat dengan berkurangnya gaya prategang yang diberikan, hal ini dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.9 Luasan per Jarak Tulangan Geser

% Prategang	Luasan per Jarak Tulangan Geser mm ² /mm			
	Portal 1	Portal 2	Portal 3	Portal 4
100%	0.3364	1.2840	0.7975	0.7527
90%	0.4364	1.3895	0.9080	0.8777
80%	0.5396	1.4984	1.0220	1.0067
70%	0.6461	1.6106	1.1394	1.1397

Tabel 5.10 Jarak Tulangan Geser Torsi

% Prategang	Jarak (s) Tulangan yang Menahan Geser Torsi mm			
	Portal 1	Portal 2	Portal 3	Portal 4
100%	233.5433	61.1928	36.2762	32.3764
90%	180.0582	56.5464	34.5160	30.7903
80%	145.6147	52.4379	32.8704	29.3087
70%	121.6095	48.7835	31.3305	27.9236



Gambar 5.6 Perbandingan % Gaya Prategang Terhadap Jarak Tulangan Geser Torsi dengan Diameter Tulangan Geser-Torsi 10 mm²

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada balok prategang parsial, tegangan beton pada serat atas pada saat transfer dan layan mengalami desak yang akan terus bertambah besar dengan semakin berkurangnya gaya prategang yang diberikan. Pada serat bawah mengalami desak yang akan terus berkurang dan pada akhirnya akan terjadi tarik dengan semakin berkurangnya gaya prategang yang diberikan.
2. Momen torsional yang terjadi tidak menimbulkan kegagalan pada struktur ini, namun momen torsional memiliki andil pada retak geser dan retak lentur yang terjadi pada struktur. Salah satu cara meminimalisasi adanya retak adalah meningkatkan kemampuan penampang dalam menahan torsi.
3. Pemberian gaya prategang pada struktur ini terlihat sangat berpengaruh terhadap momen torsional terfaktor maksimum (T_u'), dari analisis didapatkan nilai T_u' mengalami penurunan seiring dengan berkurangnya gaya prategang yang diberikan.
4. Peningkatan momen torsional maksimum pada penampang yang dipengaruhi oleh gaya prategang, dapat mengurangi luasan tulangan torsional yang dibutuhkan atau bahkan meniadakan.

5. Kuat geser beton (V_c) sangat dipengaruhi oleh besarnya gaya prategang yang diberikan, pengurangan gaya prategang menyebabkan nilai kuat geser beton (V_c) semakin kecil.
6. Kebutuhan kuat geser tulangan (V_s) berbanding terbalik dengan kuat geser beton (V_c) terhadap gaya prategang yang diberikan.
7. Pada penulangan geser torsi beton prategang, penulangan geser sangat dominan mengingat nilai geser yang terjadi jauh lebih besar dibanding torsi. Dengan menggunakan luasan tulangan yang sama didapat jarak tulangan semakin rapat dengan pengurangan gaya prategang. Hal ini membuktikan gaya prategang mampu meningkatkan kemampuan penampang dalam menahan geser torsi.
8. Momen, geser, dan torsi yang terjadi semakin besar dengan penambahan panjang bentang. Momen maksimum terjadi pada lantai satu, geser maksimum terjadi pada lantai empat sedangkan untuk torsi pada portal 1 tidak terjadi torsi, pada portal 2 terjadi pada lantai satu dan mulai portal 3 torsi maksimum mulai stabil terjadi pada lantai 4.

6.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya mengenai beton prategang perlu peninjauan beberapa hal berikut, yang dapat membantu pemahaman mengenai perilaku beton prategang.

1. Pengaruh beban horisontal pada portal, seperti beban gempa perlu diperhitungkan.
2. Penggunaan baja prategang pada balok tepi yang juga memiliki momen torsi yang cukup besar.
3. Perlu penelitian untuk menganalisis lendutan, geser, dan torsi beton prategang terhadap waktu, pada bangunan gedung.
4. Pengaruh penggunaan prategang parsial terhadap kuat geser tulangan (V_s) pada suatu balok portal.

DAFTAR PUSTAKA

- , 1991, "*Tata Cara Perhitungan Struktur Untuk Bangunan Gedung (SKSNI T-15-1993-03)*", Yayasan LPMB, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Arifin, Zaenal dan Alharomain, Lutfi, 1999, "*Tinjauan Geser Pada Balok Tampang I dan T Beton Prategang*", Tugas Akhir S-1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Dipohusodo, Istimawan, 1994, "*Struktur Beton Bertulang ; Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03*", Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Kusuma, G dan Andriano, Takim, 1997, "*Desain Struktur Rangka Beton Bertulang di Daerah Rawan Gempa (berdasarkan SKSNI T-15-1991-03)*", Edisi 2, Erlangga, Jakarta.
- Lin, T.Y dan Burns, H, 1988, "*Desain Struktur Beton Prategang*", jilid 1 dan 2, edisi 3, Erlangga, Jakarta.
- Nawy, E.D, 2001, "*Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar*", jilid 1, edisi 3, Erlangga, Jakarta.
- Raju, N. Krishna, 1986, "*Beton Pratekan (Prestressed Concrete)*", Erlangga, Jakarta.
- Wang, Chu-Kia dan Salmon, C.G, 1987, "*Disain Beton Bertulang*", Jilid 1 dan 2, Edisi ke-4, Erlangga, Jakarta.

LAMPIRAN

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO.	N A M A	NO. MHS.	BID.STUDI
1	Sri Harjanto	98511176	Teknik Sipil
2	Lenny Kus Anggrayani	98511154	Teknik Sipil

JUDUL TUGAS AKHIR :

Analisis geser dan geser forsi balok tengah penampang T prategang pasial pada portal 5 lantai.

PERIODE II : DESEMBER - MEI

TAHUN : 2002 / 2003

No.	Kegiatan	Bulan Ke :					
		Des.	Jan.	Peb.	Mar.	Apr.	Mei.
1.	Pendaftaran						
2.	Penentuan Dosen Pembimbing						
3.	Pembuatan Proposal						
4.	Seminar Proposal						
5.	Konsultasi Penyusunan TA.						
6.	Sidang-Sidang						
7.	Pendadaran.						

DOSEN PEMBIMBING I
DOSEN PEMBIMBING II

Ir. H. A. Kadir Aboe, MS.
Ir. H. Suharyatno, MT.



Yogyakarta, ...10/ Feb 2003.....
a.n. Dekan,

Ir. H. Munadhir, MS
(.....)

Seminar :
Sidang :
Pendadaran :

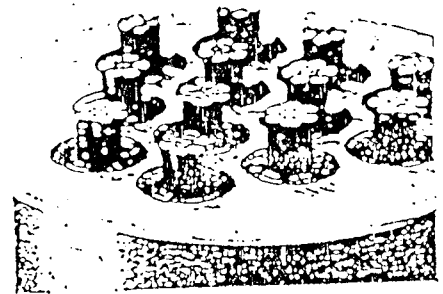
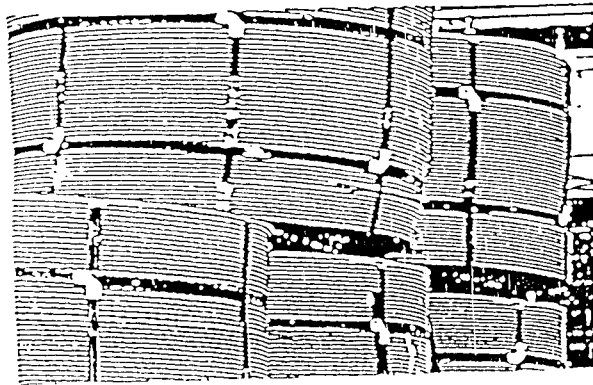
MULTISTRAND SYSTEM



Strand Properties

Strand type		13 mm (0.5")		15 mm (0.6")	
		Euronorm 138-79 or BS 5896, 1980 Super	ASTM A 416-85 Grade 270	Euronorm 138-79 or BS 5896, 1980 Super	ASTM A 416-85 Grade 270
Nominal diameter	(mm)	12.9	12.7	15.7	15.2
Nominal area	(mm ²)	100	98.7	150	140
Nominal mass	(kg/m)	0.785	0.775	1.18	1.10
Yield strength	(MPa)	1580 ¹⁾	1670 ²⁾	1500 ¹⁾	1670 ²⁾
Tensile strength	(MPa)	1860	1860	1770	1860
Min. breaking load P _b	(kN)	186.0	183.7	255.0	260.7
Young's modulus	(GPa)	circa 195			
Relaxation ³⁾ after 1000 h at 20°C and 0.7 x P _b	(%)	max 2.5			

- 1) Measured at 0.1% residual strain (0.1% offset method)
- 2) Measured at 1.0% extension (1% extension under load method)
- 3) Valid for relaxation class 2 acc. to Euronorm 138-79/BS 5896, 1980, or low relaxation grade acc. to ASTM A 416-85



Tendon Properties

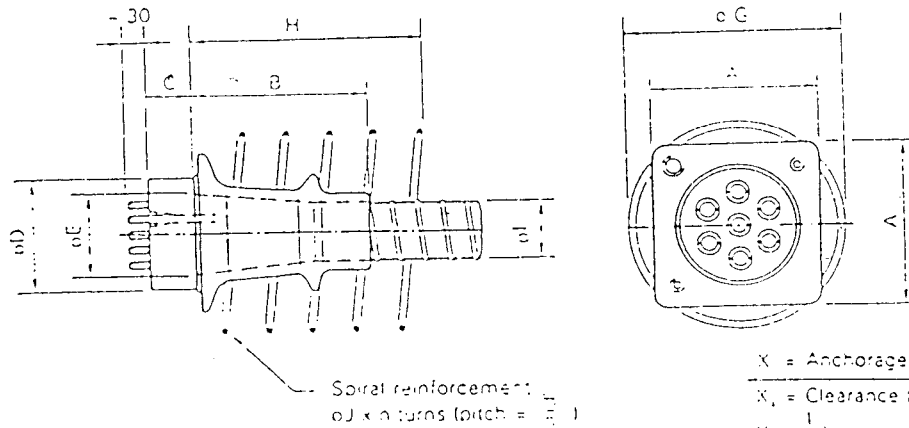
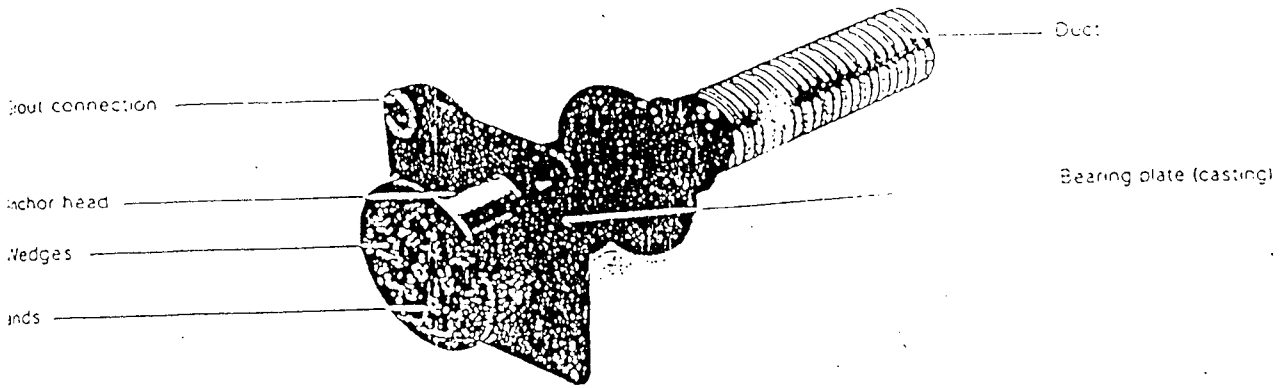
13 mm (0.5") strand					15 mm (0.6") strand				
Tendon unit	Number of strands	Duct diameter ¹⁾ internal/external (mm)	Min. breaking load		Tendon unit	Number of strands	Duct diameter ¹⁾ internal/external (mm)	Min. breaking load	
			Strand type Euronorm 138-79 or BS 5896, 1980, Super (kN)	Strand type ASTM A416-85 Grade 270 (kN)				Strand type Euronorm 138-79 or BS 5896, 1980, Super (kN)	Strand type ASTM A416-85 Grade 270 (kN)
5-1	1	25/30	186	184	6-1	1	30/35	255	251
5-2	2	40/45	372	367	6-2	2	45/50	510	521
5-3	3	40/45	558	551	6-3	3	45/50	765	782
5-4	4	45/50	744	735	6-4	4	50/55	1020	1043
5-6 ²⁾	6	50/55	1116	1102	6-5 ²⁾	6	60/67	1590	1584
5-7	7	55/60	1302	1296	6-7	7	60/67	1855	1825
5-12	12	65/72	2232	2204	6-12	12	80/87	1180	3122
5-16 ²⁾	16	80/87	1776	3107	6-16 ²⁾	16	95/102	1710	4631
5-19	19	80/87	3534	3490	6-19	19	95/102	5035	4953
5-22	22	85/92	4092	4041	6-22	22	110/117	5830	5735
5-31	31	100/107	5766	5695	6-31	31	130/137	8215	8082
5-37	37	120/127	6892	6797	6-37	37	140/150	9805	9646
5-43	43	130/137	7959	7899	6-43	43	150/160	11355	11210
5-55	55	140/150	10230	10104	6-55	55	170/180	14575	14329

1) Standard size for corrugated steel ducts
 2) For intermediate sizes see table 10, page 10
 3) For high breaking load tendons see table 11, page 11

MULTISTRAND SYSTEM



Pressing Anchorage VSL Type EC



$X = \text{Anchorage spacing}$
 $X_1 = \text{Clearance to edge}$
 $X_2 = \frac{1}{2} \lambda \cdot d = \text{required cover of spiral reinforcement}$

	Tendon unit	A	B	C	dD	dE	dJ internal/ external	dG	H	dI	n	X ²⁾
Strand type 13 mm (0.5")	5-3	120	130	50	90	50	40/45	130	150	10	3	155
	5-4	125	135	50	95	55	45/50	160	150	10	3	180
	5-7	165	155	55	110	74	55/60	205	200	12	4	235
	5-12	215	215	60	150	104	65/72	295	250	14	5	305
	5-19	270	285	75	180	135	80/87	365	300	16	6	335
	5-22	290	335	85	190	150	85/97	375	360	18	6	415
	5-31	340	365	95	230	172	100/107	470	400	13	8	490
	5-37	370	360	105	240	188	120/127	517	420	20	7	535
5-55	430	460	130	290	230	140/150	620	540	22	9	655	
Strand type 15 mm (0.6")	6-3	125	125	50	90	55	45/50	160	150	10	3	185
	6-4	150	155	55	110	65	50/55	190	200	12	4	210
	6-7	190	170	60	135	84	60/67	250	250	14	5	280
	6-12	250	245	75	170	118	80/87	345	300	16	6	365
	6-19	310	305	95	200	150	95/102	440	350	18	7	460
	6-22	340	365	100	220	172	110/117	470	400	13	8	495
	6-31	360	380	120	260	192	130/137	560	480	20	8	590
	6-37	430	460	135	290	215	140/150	610	540	22	9	640
	6-55	500	530	160	340	255	170/180	740	630	25	9	780

Subject to modification

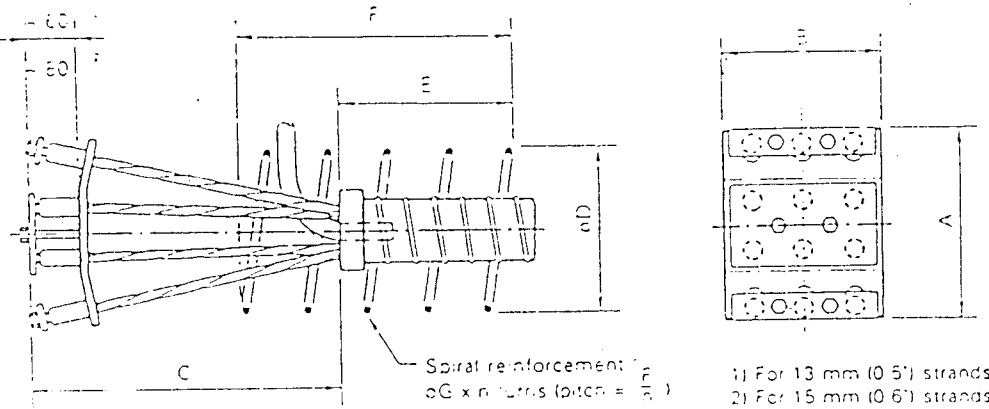
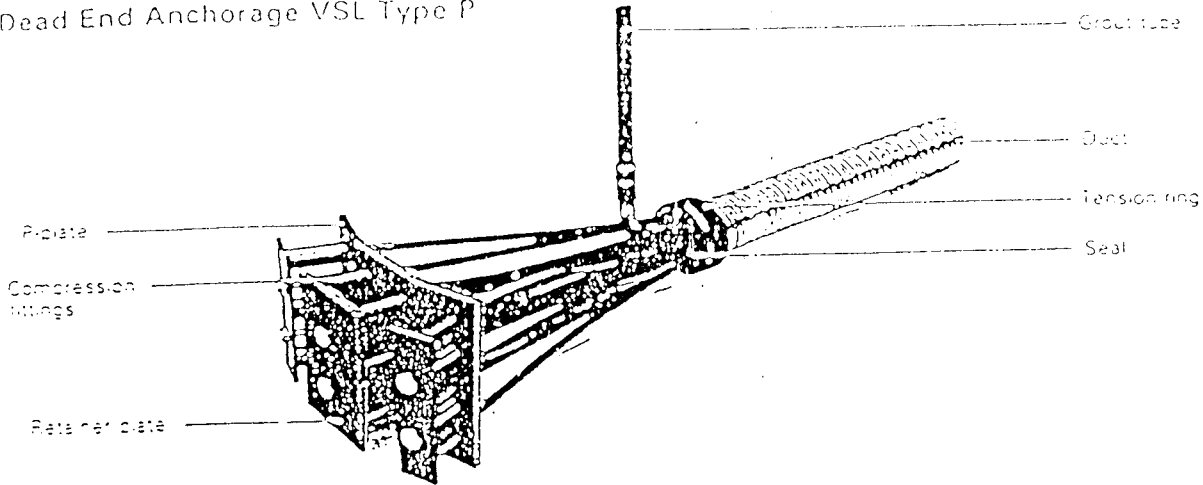
- Standard diameter for corrugated steel duct. For polyethylene ducts PT-PLUS[®] see page 6
- Anchorage spacings are in accordance with last requirements of CEB/FIP (Recommendation 54) and last edition of FIP (post-tensioning systems, March 1981). Modifications to these values may be possible.
- Dimensions are in mm.

Maximum prestressing force may be applied when concrete reaches 90 % of its nominal strength.
 Max. prestressing force is 75 % of min. tendon breaking load (temporary overstressing to 90 %).
 Dimensions for other concrete strengths on request.
 Yield strength of spiral reinforcement: 2.420 N/mm²

MULTISTRAND SYSTEM



Dead End Anchorage VSL Type P



Where the force must be transferred into the concrete exclusively via the bearing plate, polyethylene tubes may be used for sheathing the strands between the end of the duct and the bearing plate.

Strand type 13 mm (0.5")									
Tendon unit	Alternative	A	B	C	oD	E	F	oG	n
5-3		150	60	260	130	90	190	8	4
5-4	1	120	120	360	130	90	190	8	4
	2	230	65	360	130	90	190	8	4
5-7		270	110	360	160	100	250	12	4
5-12		230	150	410	200	140	320	14	5
5-15		300	230	510	230	140	320	14	5
5-22		350	230	610	300	140	320	16	5
5-31		500	270	810	300	140	320	16	5
5-37	1	600	230	960	350	170	380	18	6
	2	470	100	1110	350	170	380	18	6
5-43	1	690	230	1010	400	170	380	18	6
	2	530	300	860	400	170	380	18	6
5-55	1	860	230	1310	400	170	380	20	6
	2	600	150	1410	400	170	380	20	6

Strand type 15 mm (0.6")									
Tendon unit	Alternative	A	B	C	oD	E	F	oG	n
6-2		180	60	280	130	90	190	8	4
6-3		230	70	330	180	100	250	12	4
6-4	1	260	80	430	180	100	250	12	4
	2	145	145	360	180	100	250	12	4
6-7		270	140	430	200	140	320	14	5
6-12		270	230	430	230	140	320	14	5
6-19		370	270	630	300	140	320	16	5
6-22		420	270	730	300	140	320	16	5
6-31	1	600	270	980	400	170	380	18	6
	2	480	340	780	400	170	380	18	6
6-37	1	720	270	1180	400	170	380	20	6
	2	560	340	980	400	170	380	20	6
6-43	1	800	270	1280	400	200	440	20	7
	2	650	340	1080	400	200	440	20	7
6-55	1	1000	270	1780	460	220	500	22	8
	2	800	340	1280	460	220	500	22	8

Dimensions in mm

Dimensions are variable

Concrete strength at transfer: 28 days: 35 MPa (min) 48 MPa (typical)

Maximum prestress force may be applied when concrete reaches 60 % of its nominal strength

Subject to modification

Max. prestressing force is 25 % of min. tendon breaking load (temporarily exceeding to 80 %)

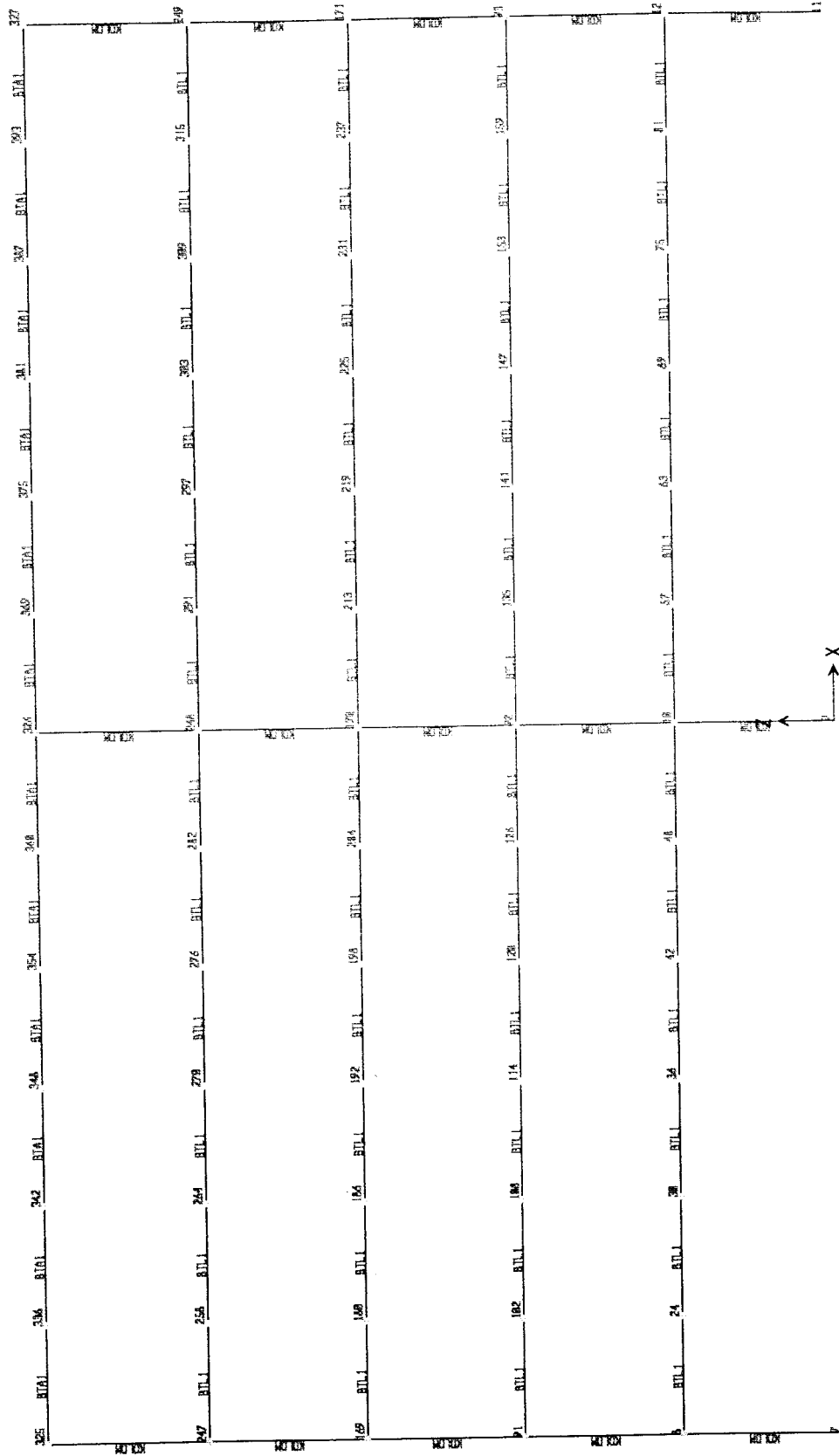
Dimensions for other concrete strengths on request

Yield strength of spiral reinforcement: ≥ 420 MPa

Spirals may be replaced by a suitable orthogonal reinforcement

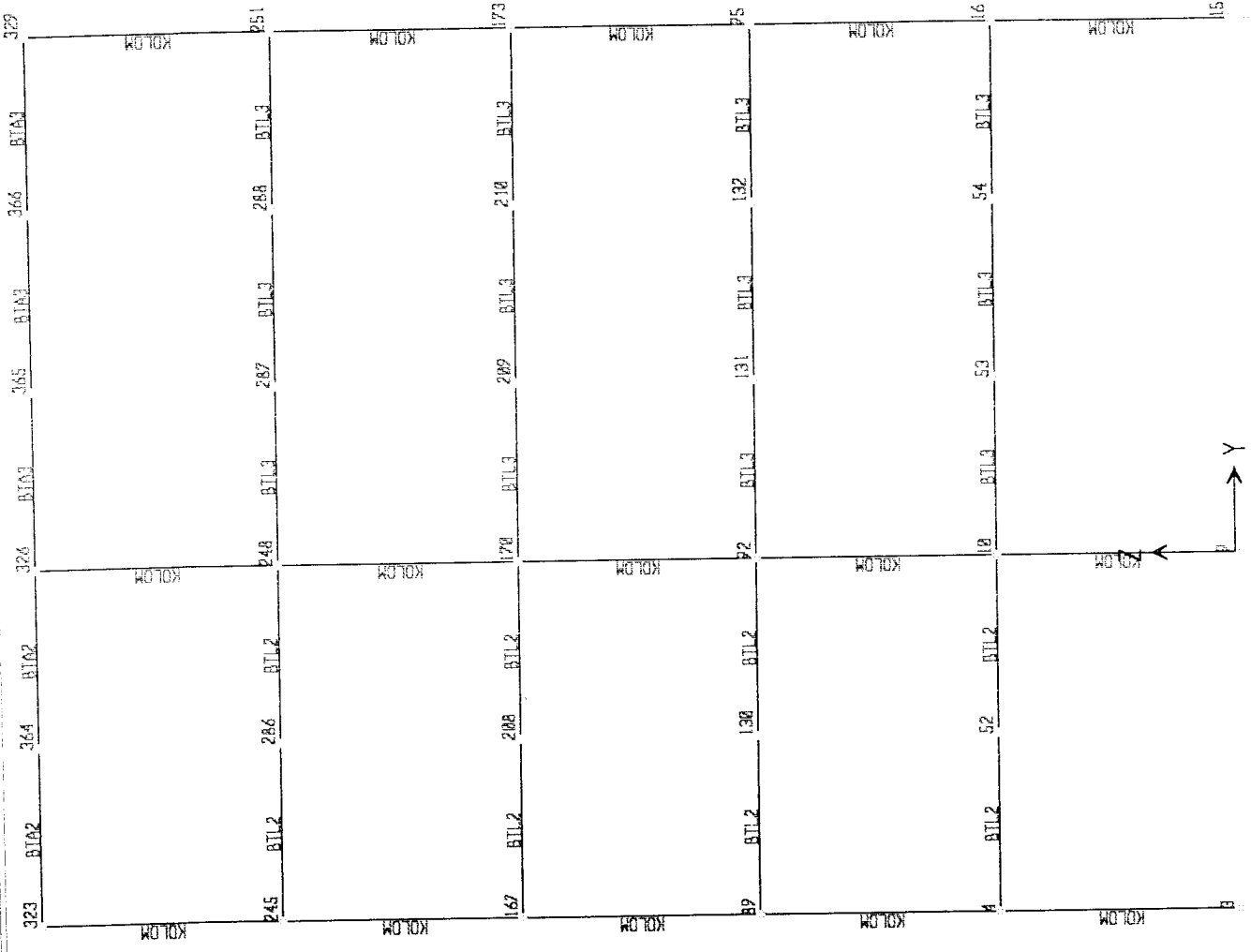
6/14/03 15:25:48

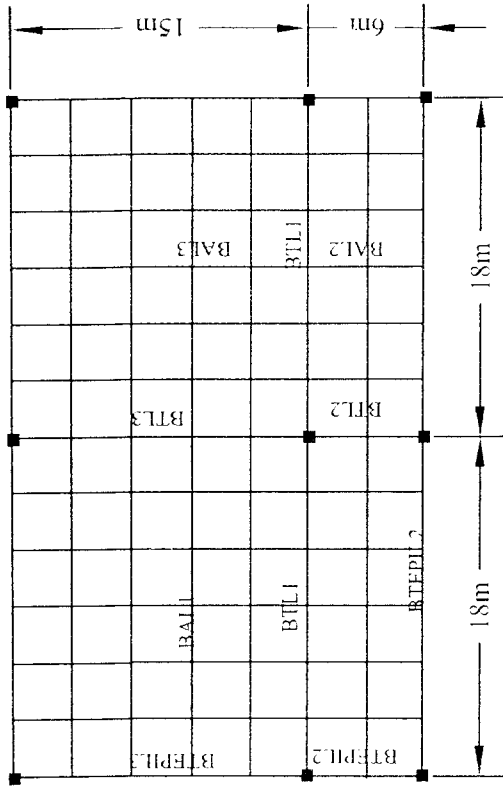
SAP2000



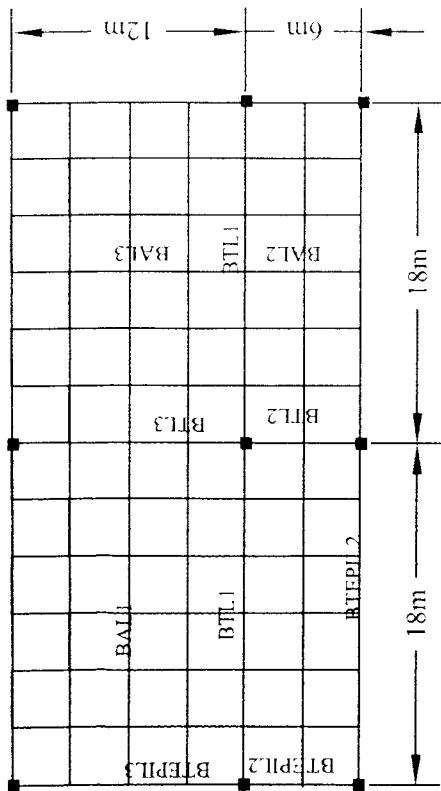
6/14/03 13.23.41

SAPZUUU

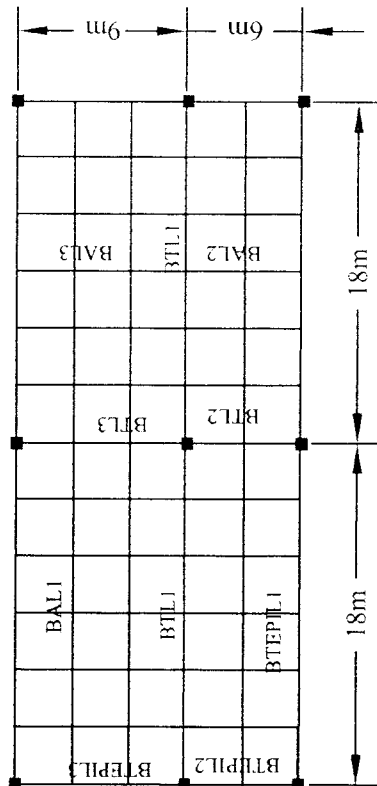




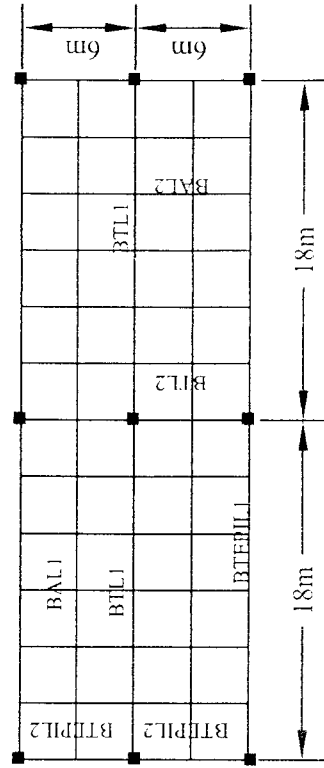
Denah Portal 4



Denah Portal 3



Denah Portal 2



Denah Portal 1

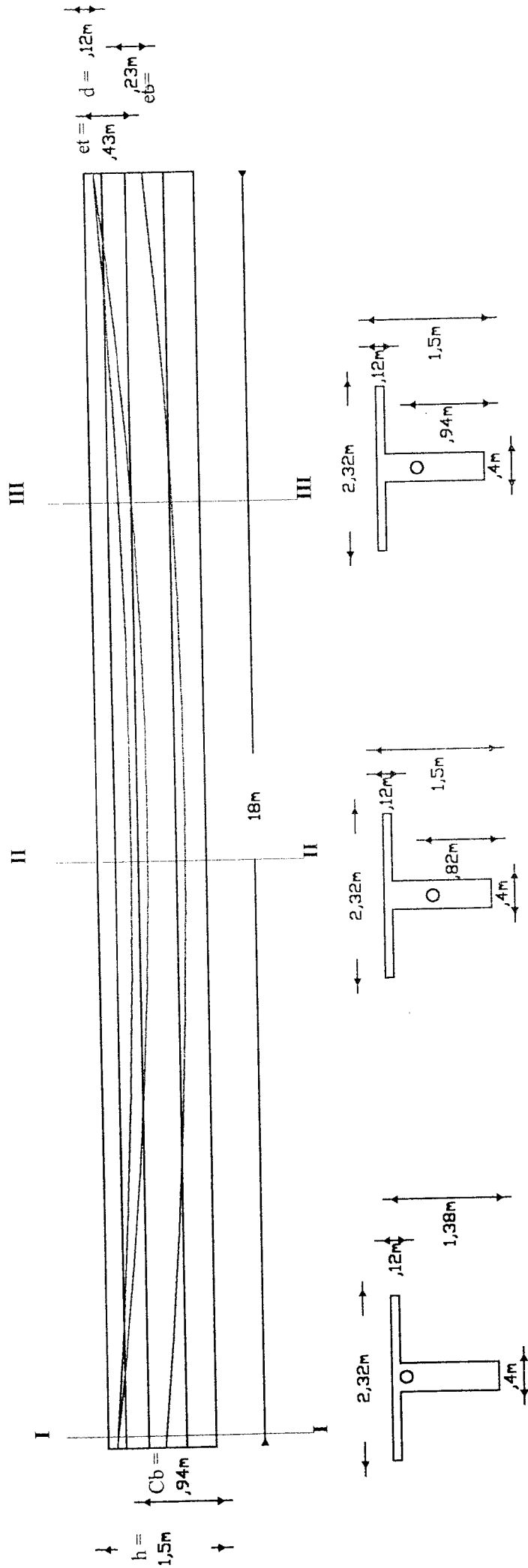
Variasi Denah Portal

Skala 1 : 400 cm



Keterangan Gambar Denah

BAA1	: Balok Anak Atap 1
BAA2	: Balok Anak Atap 2
BAA3	: Balok Anak Atap 3
BAL1	: Balok Anak Lantai 1
BAL2	: Balok Anak Lantai 2
BAL3	: Balok Anak Lantai 3
BTA1	: Balok Tengah Atap 1
BTA2	: Balok Tengah Atap 2
BTA3	: Balok Tengah Atap 3
BTL1	: Balok Tengah Lantai 1
BTL2	: Balok Tengah Lantai 2
BTL3	: Balok Tengah Lantai 3
BTEPIA1	: Balok Tepi Atap 1
BTEPIA2	: Balok Tepi Atap 2
BTEPIA3	: Balok Tepi Atap 3
BTEPIL1	: Balok Tepi Lantai 1
BTEPIL2	: Balok Tepi Lantai 2
BTEPI L3	: Balok Tepi Lantai 3



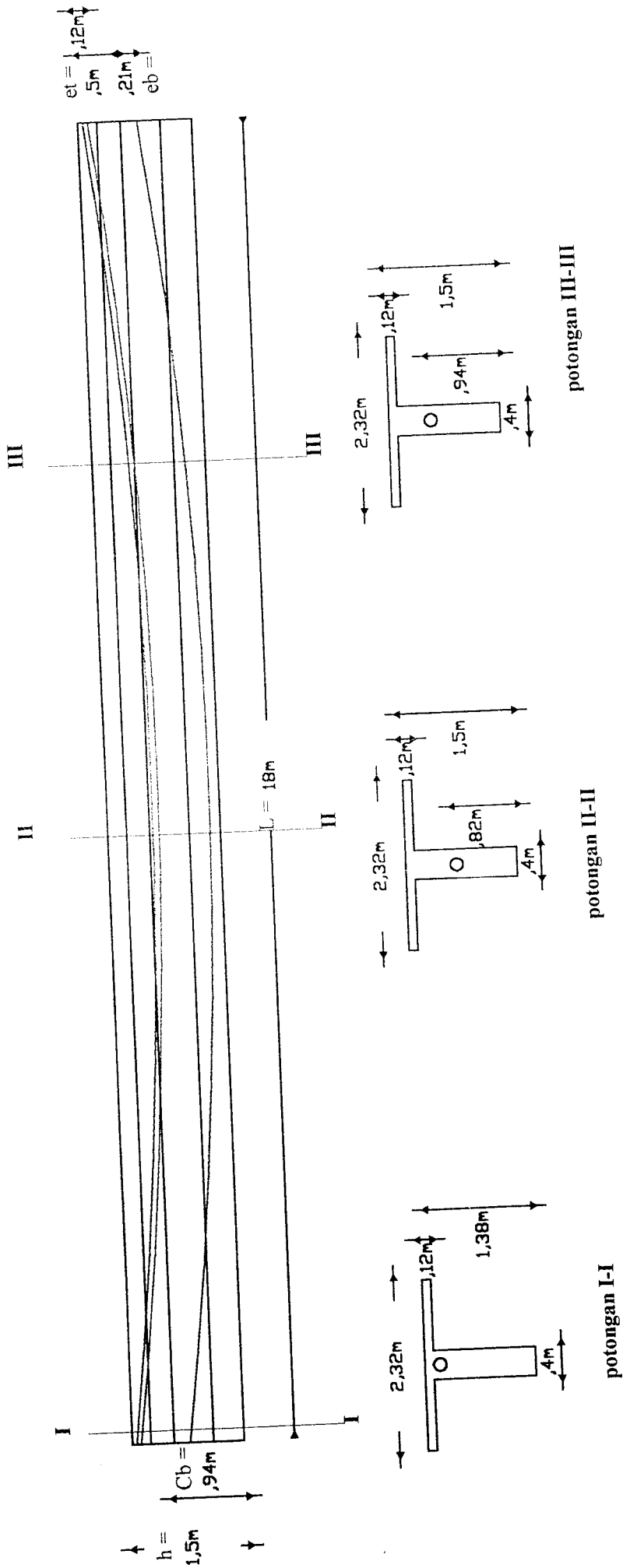
potongan III-III

potongan II-II

potongan I-I

Tata Letak Tendon Balok Tengah Portal II dengan Gaya Prategang 100 %

Skala 1 : 20 cm



Tata Letak Tendon Balok Tengah Portal II dengan Gaya Prategang 90 %

Skala 1 : 80 cm

PERHITUNGAN BALOK TENGAH PORTAL PRATEGANG PARSIAL BENTANG 18 M TERHADAP BENTANG 6 M DAN 6 M

portal 5 lantai menggunakan SAP 2000

	L	B	fpu	fc'	fc'i	y	Ec	Es	n	fci	fti	fls	fcs
	m	m	MPa	MPa	MPa	kN/m ³	MPa	MPa		MPa	MPa	MPa	MPa
100%	15	3	1860	45	36	24	31528.55848	200000	6.343455	21.6	1.5	3.354102	20.25
90%	15	3	1860	45	36	24	31528.55848	200000	6.343455	21.6	1.5	3.354102	20.25
80%	15	3	1860	45	36	24	31528.55848	200000	6.343455	21.6	1.5	3.354102	20.25
70%	15	3	1860	45	36	24	31528.55848	200000	6.343455	21.6	1.5	3.354102	20.25

	h	be	hf	bw	Ac	Wsd	Msd	Md	Mi	Mo	St	Sb	Ct
	mm	mm	mm	mm	mm ²	kN/m ²	kN-m	kN-m	kN-m	kN-m	mm ³	mm ³	mm
100%	1500	2320	120	400	830400	19.9296	1051.89	774.46	414.97	1439.12	65259114.2	78595715	558.55491
90%	1500	2320	120	400	830400	19.9296	1051.89	774.46	414.97	1439.12	65259114.2	78595715	558.55491
80%	1500	2320	120	400	830400	19.9296	1051.89	774.46	414.97	1439.12	65259114.2	78595715	558.55491
70%	1500	2320	120	400	830400	19.9296	1051.89	774.46	414.97	1439.12	65259114.2	78595715	558.55491

	Cb	I	St	Sb	r ²	Mt	Msd/Mt	fcci	Pi	jumlah tendon	kabel terpakai	Aps	As
	mm	mm ⁴	mm ³	mm ³	mm ²	kN-m	>0.2	MPa	kN			mm ²	mm ²
100%	941.4451	1.9203E+11	343806386	203978701	231255.715	2241.32	0.4693	-7.1017	-5897.29	1.91470	11	3080	11894.143
90%	941.4451	1.9203E+11	343806386	203978701	231255.715	2241.32	0.4693	-7.1017	-5307.561	1.89556	10	2800	11894.143
80%	941.4451	1.9203E+11	343806386	203978701	231255.715	2241.32	0.4693	-7.1017	-4717.832	1.87216	9	2520	11894.143
70%	941.4451	1.9203E+11	343806386	203978701	231255.715	2241.32	0.4693	-7.1017	-4128.103	1.84290	8	2240	11894.143

	Asn	An	d'	Pp1	Pp2	Ps	wps1	w'	wps2	B1	Y	fps	fps2
	mm ²	mm ²	mm									MPa	
100%	0	818505.857	120	0.0010	0.0056	0.0012	0.0086	0.0107	0.0496	0.73	0.4	1819.474	1609.7099
90%	0	818505.857	120	0.0009	0.0051	0.0012	0.0078	0.0107	0.0451	0.73	0.4	1823.158	1635.8733
80%	0	818505.857	120	0.0008	0.0046	0.0012	0.0070	0.0107	0.0406	0.73	0.4	1826.842	1662.0367
70%	0	818505.857	120	0.0007	0.0041	0.0012	0.0062	0.0107	0.0361	0.73	0.4	1830.527	

	NT	a	p	As	dipakai tulangan 0	jumlah tul. (buah)	Apw x fps	a2	Mu	Mu/o	Mn	check Mn
	kN-m	mm		mm ²					kN-m	kN-m	kN-m	kN-m
100%	5603.9798	63.1505	0	0	0	0.00000	0	0	2855.572	3569.465	7556.545	okey
90%	5104.8428	57.5258	0	0	22	0.00000	-8807695.16	-575.6664	2855.572	3569.465	6897.853	okey
80%	4603.6427	51.8779	0	0	22	0.00000	-8808196.36	-575.6991	2855.572	3569.465	6233.613	okey
70%	4100.3794	46.2067	0	0	22	0.00000	-8808699.62	-575.732	2855.572	3569.465	5563.791	okey

saat transfer

	Anetto mm2	Ct mm	Cb mm	ER mm	I mm4	St mm3	Sb mm3	r2 mm3	ft MPa	fb MPa	fsi MPa
100%	818505.86	564.9278	935.0722	444.92779	1.8971E+11	335809772	202880877.9	231773.8716	-3.6769	-13.0446	1914.7044
90%	818505.86	564.9278	935.0722	444.92779	1.8971E+11	335809772	202880877.9	231773.8716	-3.7378	-11.0308	1895.5574
80%	818505.86	564.9278	935.0722	444.92779	1.8971E+11	335809772	202880877.9	231773.8716	-3.7986	-9.0170	1872.1554
70%	818505.86	564.9278	935.0722	444.92779	1.8971E+11	335809772	202880877.9	231773.8716	-3.8595	-7.0032	1842.9030

	y1 mm	y2 mm	fct MPa	fs MPa
100%	120	1380	-4.4263	1942.783
90%	120	1380	-4.3212	1918.648
80%	120	1380	-4.2161	1894.684
70%	120	1380	-4.1110	1864.870

	fpi MPa	fpes MPa	fpa MPa	fcs kN	fcsd kN	fpcr MPa	fpsc MPa	fpf MPa	fpr MPa	fp MPa	% hilang	% sisa	Pe kN
100%	1302	0	84.6667	-10.8917	2.4670	85.5069	25.9678	96.7695	20.3658	313.2766	24.0612	75.9388	4478.3320
90%	1302	0	84.6667	-9.5559	2.4670	71.9484	25.9678	96.7695	20.7725	300.1248	23.0511	76.9489	4084.1115
80%	1302	0	84.6667	-8.2200	2.4670	58.3899	25.9678	96.7695	21.1793	286.9731	22.0409	77.9591	3677.9772
70%	1302	0	84.6667	-6.8841	2.4670	44.8314	25.9678	96.7695	21.5860	273.8213	21.0308	78.9692	3259.9288

saat layan

	Atrans mm2	Ct mm	Cb mm	ER mm	I mm4	St mm3	Sb mm3	r2	ft MPa	fb MPa	fse kN
100%	846857.84	550.032034	949.9680	430.0320	1.9514E+11	354776744	205415952	230426.6011	-6.1774	-3.7523	1454.0039
90%	845361.67	550.793128	949.2069	430.7931	1.9486E+11	353783285	205288654.8	230506.5485	-6.1934	-2.4837	1458.6113
80%	843865.51	551.556921	948.4431	431.5569	1.9458E+11	352789058	205160700.8	230585.6148	-6.2125	-1.1704	1459.5147
70%	842369.34	552.323427	947.6766	432.3234	1.943E+11	351794065	205032084.9	230663.7889	-6.2349	0.1878	1455.3254

	y1 mm	y2 mm	fct MPa	fe MPa
100%	120	1380	-1.6016	1452.4745
90%	120	1380	-1.7326	1449.3529
80%	120	1380	-1.8928	1449.4008
70%	1456.1322	43.8678451	-5.7211	1419.0339

PERHITUNGAN BALOK TENGAH PORTAL PRATEGANG PARSIAL BENTANG 18 M TERHADAP BENTANG 6 M DAN 9 M

portal 5 lantai menggunakan SAP 2000

	L	B	fpu	fc'	fci'	y	Ec	Es	η	fci	fti	fts	fos
	m	m	MPa	MPa	MPa	kN/m ³	MPa	MPa		MPa	MPa	MPa	MPa
100%	18	3	1860	45	36	24	31528.55848	200000	6.343455	21.6	1.5	3.354102	20.25
90%	18	3	1860	45	36	24	31528.55848	200000	6.343455	21.6	1.5	3.354102	20.25
80%	18	3	1860	45	36	24	31528.55848	200000	6.343455	21.6	1.5	3.354102	20.25
70%	18	3	1860	45	36	24	31528.55848	200000	6.343455	21.6	1.5	3.354102	20.25

	h	be	hf	bw	Ac	Wsd	Msd	Md	MI	Mo	St	Sb	Ct
	mm	mm	mm	mm	mm ²	kN/m ²	kN-m	kN-m	kN-m	kN-m	mm ³	mm ³	mm
100%	1500	2320	120	400	830400	19.9296	1179.26	802.93	467.23	1580.725	70210349.7	87577158	558.55491
90%	1500	2320	120	400	830400	19.9296	1179.26	802.93	467.23	1580.725	70210349.7	87577158	558.55491
80%	1500	2320	120	400	830400	19.9296	1179.26	802.93	467.23	1580.725	70210349.7	87577158	558.55491
70%	1500	2320	120	400	830400	19.9296	1179.26	802.93	467.23	1580.725	70210349.7	87577158	558.55491

	Cb	I	St	Sb	r ²	Mt	Msd/Mt	foci	Pi	jumlah tendon	kabel terpakai	Aps	As
	mm	mm ⁴	mm ³	mm ³	mm ²	kN-m	>0.2	MPa	kN			mm ²	mm ²
100%	941.4451	1.9203E+11	343806386	203978701	231255.715	2449.42	0.4814	-7.1017	-5897.29	1.9147	11	3080	11894.143
90%	941.4451	1.9203E+11	343806386	203978701	231255.715	2449.42	0.4814	-7.1017	-5307.561	1.8956	10	2800	11894.143
80%	941.4451	1.9203E+11	343806386	203978701	231255.715	2449.42	0.4814	-7.1017	-4717.832	1.8722	9	2520	11894.143
70%	941.4451	1.9203E+11	343806386	203978701	231255.715	2449.42	0.4814	-7.1017	-4128.103	1.8429	8	2240	11894.143

	Asn	An	d'	Pp1	Pp2	Ps	wps1	w'	wps2	B1	Y	fps	fps2
	mm ²	mm ²	mm	mm ²	mm ²							MPa	
100%	0	818505.857	120	0.0010	0.0056	0.0012	0.0086	0.0107	0.049597	0.73	0.4	1819.474	1609.7099
90%	0	818505.857	120	0.0009	0.0051	0.0012	0.0078	0.0107	0.045089	0.73	0.4	1823.158	1635.8733
80%	0	818505.857	120	0.0008	0.0046	0.0012	0.0070	0.0107	0.04058	0.73	0.4	1826.842	1662.0367
70%	0	818505.857	120	0.0007	0.0041	0.0012	0.0062	0.0107	0.036071	0.73	0.4	1830.527	

	NT	a	p	As	dipakai tulangan 0	jumlah tul. (buah)	Apw x fps	a2	Mu	Mu/o	Min	check Min
	kN-m	mm		mm ²					kN-m	kN-m	kN-m	kN-m
100%	5603.9798	63.1505	0	0	0	0.00000	0	0	3126.196	3907.745	7556.545	okey
90%	5104.8428	57.5258	0	0	22	0.00000	-8807695.16	-575.6664	3126.196	3907.745	6897.853	okey
80%	4603.6427	51.8779	0	0	22	0.00000	-8808196.36	-575.6991	3126.196	3907.745	6233.613	okey
70%	4100.3794	46.2067	0	0	22	0.00000	-8808699.62	-575.732	3126.196	3907.745	5563.791	okey

saat transfer

	Anetto mm2	Ct mm	Cb mm	ER mm	I mm4	St mm3	Sb mm3	r2 mm3	ft MPa	fb MPa	fsi MPa
100%	818505.86	564.9278	935.07221	444.92779	1.8971E+11	335809772	202880877.9	231773.8716	-4.0986	-12.3466	1914.7044
90%	818505.86	564.9278	935.07221	444.92779	1.8971E+11	335809772	202880877.9	231773.8716	-4.1595	-10.3328	1895.5574
80%	818505.86	564.9278	935.07221	444.92779	1.8971E+11	335809772	202880877.9	231773.8716	-4.2203	-8.3190	1872.1554
70%	818505.86	564.9278	935.07221	444.92779	1.8971E+11	335809772	202880877.9	231773.8716	-4.2812	-6.3052	1842.9030

	y1 mm	y2 mm	fct MPa	fs MPa
100%	120	1380	-4.7584	1884.5195
90%	120	1380	-4.6533	1866.0392
80%	120	1380	-4.5482	1843.3041
70%	120	1380	-4.4431	1814.7184

	fpi MPa	fpes MPa	fpa MPa	fcs kN	fcsd kN	fpcr MPa	fpsh MPa	fpf MPa	fpr MPa	fp MPa	% hilang	% sisa	Pe kN
100%	1302	0	70.5556	-10.5930	2.7657	79.4431	25.9678	87.8022	20.9710	284.7397	21.8694	78.1306	4607.5874
90%	1302	0	70.5556	-9.2571	2.7657	65.8846	25.9678	87.8022	21.3778	271.5879	20.8593	79.1407	4200.4414
80%	1302	0	70.5556	-7.9213	2.7657	52.3261	25.9678	87.8022	21.7845	258.4361	19.8492	80.1508	3781.3815
70%	1302	0	70.5556	-6.5854	2.7657	38.7676	25.9678	87.8022	22.1913	245.2844	18.8390	81.1610	3350.4076

saat layan

	Atrans mm2	Ct mm	Cb mm	ER mm	I mm4	St mm3	Sb mm3	r2	ft MPa	fb MPa	fse kN
100%	846857.84	550.0320	949.96797	430.03203	1.9514E+11	354776744	205415952	230426.6011	-6.7600	-3.1625	1495.9699
90%	845361.67	550.7931	949.20687	430.79313	1.9486E+11	353783285	205288654.8	230506.5485	-6.7775	-1.8517	1500.1576
80%	843865.51	551.5569	948.44308	431.55692	1.9458E+11	352789058	205160700.8	230585.6148	-6.7984	-0.4962	1500.5482
70%	842369.34	552.3234	947.67657	432.32343	1.943E+11	351794065	205032084.9	230663.7889	-6.8227	0.9046	1495.7177

	y1 mm	y2 mm	fct MPa	fs MPa
100%	120	1380	-1.7324	1484.9806
90%	120	1380	-1.8757	1488.2591
80%	120	1380	-2.0508	1487.5388
70%	1324.3997	175.600294	-6.2045	1495.7177

PERHITUNGAN BALOK TENGAH PORTAL PRATEGANG PARSIAL BENTANG 18 M TERHADAP BENTANG 6 M DAN 12 M

portal 5 lantai menggunakan SAP 2000

	L	B	fpu	fc'	fc'i	y	Ec	Es	n	fcj	fti	fts	fcj
	m	m	MPa	MPa	MPa	kN/m ³	MPa	MPa		MPa	MPa	MPa	MPa
100%	18	3	1860	45	36	24	31528.55848	200000	6.343455	21.6	1.5	3.354102	20.25
90%	18	3	1860	45	36	24	31528.55848	200000	6.343455	21.6	1.5	3.354102	20.25
80%	18	3	1860	45	36	24	31528.55848	200000	6.343455	21.6	1.5	3.354102	20.25
70%	18	3	1860	45	36	24	31528.55848	200000	6.343455	21.6	1.5	3.354102	20.25

	h	be	hf	bw	Ac	Wsd	Msd	Mjd	Ml	Mo	St	Sb	Ct
	mm	mm	mm	mm	mm ²	kN/m ²	kN-m	kN-m	kN-m	kN-m	mm ³	mm ³	mm
100%	1500	2320	120	400	830400	19.9296	1219.47	835.57	506.9	1637.255	73956363.6	91764788	558.55491
90%	1500	2320	120	400	830400	19.9296	1219.47	835.57	506.9	1637.255	73956363.6	91764788	558.55491
80%	1500	2320	120	400	830400	19.9296	1219.47	835.57	506.9	1637.255	73956363.6	91764788	558.55491
70%	1500	2320	120	400	830400	19.9296	1219.47	835.57	506.9	1637.255	73956363.6	91764788	558.55491

	Cb	I	St	Sb	r ₂	Mt	Msd/Mt	fcij	Pi	jumlah tendon	kabel terpakai	Aps	As
	mm	mm ⁴	mm ³	mm ³	mm ²	kN-m	>0.2	MPa	kN			mm ²	mm ²
100%	941.4451	1.9203E+11	343806386	203978701	231255.715	2561.94	0.4760	-7.1017	-5897.29	1.9147	11	3080	11894.143
90%	941.4451	1.9203E+11	343806386	203978701	231255.715	2561.94	0.4760	-7.1017	-5307.561	1.8956	10	2800	11894.143
80%	941.4451	1.9203E+11	343806386	203978701	231255.715	2561.94	0.4760	-7.1017	-4717.832	1.8722	9	2520	11894.143
70%	941.4451	1.9203E+11	343806386	203978701	231255.715	2561.94	0.4760	-7.1017	-4128.103	1.8429	8	2240	11894.143

	Asn	An	d'	Pp1	Pp2	Ps	wps1	w'	wps2	B1	Y	fps	fps2
	mm ²	mm ²	mm	mm ²	mm ²							MPa	
100%	0	818505.857	120	0.0010	0.0056	0.0012	0.0086	0.0107	0.0496	0.73	0.4	1819.474	1609.7099
90%	0	818505.857	120	0.0009	0.0051	0.0012	0.0078	0.0107	0.0451	0.73	0.4	1823.158	1635.8733
80%	0	818505.857	120	0.0008	0.0046	0.0012	0.0070	0.0107	0.0406	0.73	0.4	1826.842	1662.0367
70%	0	818505.857	120	0.0007	0.0041	0.0012	0.0062	0.0107	0.0361	0.73	0.4	1830.527	

	NT	a	p	As	dipakai tulangan 0	jumlah tul. (buah)	Apw x fps	a2	Mu	Mu/o	Min	check Mn
	kN-m	mm		mm ²					kN-m	kN-m	kN-m	kN-m
100%	5603.9798	63.1505	0	0	0	0.00000	0	0	3277.088	4096.36	7556.545	okey
90%	5104.8428	57.5258	0	0	22	0.00000	-8807695.16	-575.6664	3277.088	4096.36	6897.853	okey
80%	4603.6427	51.8779	0	0	22	0.00000	-8808196.36	-575.6991	3277.088	4096.36	6233.613	okey
70%	4100.3794	46.2067	0	0	22	0.00000	-8808699.62	-575.732	3277.088	4096.36	5563.791	okey

saat transfer

	Anetto mm2	Ct mm	Cb mm	ER mm	I mm4	St mm3	Sb mm3	r2 mm3	ft MPa	fb MPa	fsi MPa
100%	818505.86	564.9278	935.07221	444.92779	1.8971E+11	335809772	202880877.9	231773.8716	-4.2669	-12.0680	1914.7044
90%	818505.86	564.9278	935.07221	444.92779	1.8971E+11	335809772	202880877.9	231773.8716	-4.3278	-10.0542	1895.5574
80%	818505.86	564.9278	935.07221	444.92779	1.8971E+11	335809772	202880877.9	231773.8716	-4.3887	-8.0404	1872.1554
70%	818505.86	564.9278	935.07221	444.92779	1.8971E+11	335809772	202880877.9	231773.8716	-4.4495	-6.0266	1842.9030

	y1 mm	y2 mm	fct MPa	fs MPa
100%	120	1380	-4.8910	1883.6785
90%	120	1380	-4.7859	1865.1982
80%	120	1380	-4.6808	1842.463
70%	120	1380	-4.5757	1813.8774

	fpi MPa	fpes MPa	fpa MPa	fcs kN	fcsd kN	fpcr MPa	fpsc MPa	fpf MPa	fpr MPa	fp MPa	% hilang	% sisa	Pe kN
100%	1302	0	70.5556	-10.4987	2.8601	77.5288	25.9678	87.8022	21.0284	282.8828	21.7268	78.2732	4615.9980
90%	1302	0	70.5556	-9.1628	2.8601	63.9703	25.9678	87.8022	21.4352	269.7310	20.7167	79.2833	4208.0109
80%	1302	0	70.5556	-7.8270	2.8601	50.4118	25.9678	87.8022	21.8419	256.5792	19.7065	80.2935	3788.1099
70%	1302	0	70.5556	-6.4911	2.8601	36.8532	25.9678	87.8022	22.2487	243.4275	18.6964	81.3036	3356.2950

saat layan

	Atrans mm2	Ct mm	Cb mm	ER mm	I mm4	St mm3	Sb mm3	r2	ft MPa	fb MPa	fse kN
100%	846857.84	550.0320	949.96797	430.03203	1.9514E+11	354776744	205415952	230426.6011	-7.0769	-2.6422	1498.7006
90%	845361.67	550.7931	949.20687	430.79313	1.9486E+11	353783285	205288654.8	230506.5485	-7.0953	-1.3285	1502.8610
80%	843865.51	551.5569	948.44308	431.55692	1.9458E+11	352789058	205160700.8	230585.6148	-7.1171	0.0302	1503.2182
70%	842369.34	552.3234	947.67657	432.32343	1.9435E+11	351794065	205032084.9	230663.7889	-7.1423	1.4340	1498.3460

	y1 mm	y2 mm	fct MPa	fs MPa
100%	120	1380	-1.7993	1487.287
90%	120	1380	-1.9493	1490.4956
80%	1493.6688	6.3312233	-6.5453	1461.6985
70%	1249.192	250.807995	-6.4562	1457.3916

PERHITUNGAN BALOK TENGAH PORTAL PRATEGANG PARSIAL BENTANG 18 M TERHADAP BENTANG 6 M DAN 15 M

portal 5 lantai menggunakan SAP 2000

	L m	B m	fpu MPa	fc' MPa	fcii' MPa	y kN/m ³	Ec MPa	Es MPa	n	fci MPa	fti MPa	fts MPa	fcs MPa
100%	18	3	1860	45	36	24	31528.55848	200000	6.343455	21.6	1.5	3.354102	20.25
90%	18	3	1860	45	36	24	31528.55848	200000	6.343455	21.6	1.5	3.354102	20.25
80%	18	3	1860	45	36	24	31528.55848	200000	6.343455	21.6	1.5	3.354102	20.25
70%	18	3	1860	45	36	24	31528.55848	200000	6.343455	21.6	1.5	3.354102	20.25

	h mm	be mm	hf mm	bw mm	Ac mm ²	Wsd kN/m ²	Msd kN-m	Md kN-m	Ml kN-m	Mo kN-m	St mm ³	Sb mm ³	Ct mm
100%	1500	2320	120	400	830400	19.9296	1223.98	748.39	449.14	1598.175	67241305.4	88339100	558.55491
90%	1500	2320	120	400	830400	19.9296	1223.98	748.39	449.14	1598.175	67241305.4	88339100	558.55491
80%	1500	2320	120	400	830400	19.9296	1223.98	748.39	449.14	1598.175	67241305.4	88339100	558.55491
70%	1500	2320	120	400	830400	19.9296	1223.98	748.39	449.14	1598.175	67241305.4	88339100	558.55491

	Cb mm	I mm ⁴	St mm ³	Sb mm ³	r ² mm ²	Mt kN-m	Msd/Mt >0.2	fcci MPa	Pi kN	jumlah tendon	kabel terpakai	Aps mm ²	As mm ²
100%	941.44509	1.9203E+11	343806386	203978701	231255.715	2421.51	0.5055	-7.1017	-5897.29	1.9147	11	3080	11894.143
90%	941.44509	1.9203E+11	343806386	203978701	231255.715	2421.51	0.5055	-7.1017	-5307.561	1.8956	10	2800	11894.143
80%	941.44509	1.9203E+11	343806386	203978701	231255.715	2421.51	0.5055	-7.1017	-4717.832	1.8722	9	2520	11894.143
70%	941.44509	1.9203E+11	343806386	203978701	231255.715	2421.51	0.5055	-7.1017	-4128.103	1.8429	8	2240	11894.143

	Asn mm ²	An mm ²	d' mm	Pp1	Pp2	Ps	wps1	w'	wps2	B1	Y	fps MPa	fps ²
100%	0	818505.857	120	0.0010	0.0056	0.0012	0.0086	0.0107	0.0496	0.73	0.4	1819.474	
90%	0	818505.857	120	0.0009	0.0051	0.0012	0.0078	0.0107	0.0451	0.73	0.4	1823.158	1609.7099
80%	0	818505.857	120	0.0008	0.0046	0.0012	0.0070	0.0107	0.0406	0.73	0.4	1826.842	1635.8733
70%	0	818505.857	120	0.0007	0.0041	0.0012	0.0062	0.0107	0.0361	0.73	0.4	1830.527	1662.0367

	NT kN-m	a mm	p	As mm ²	dipakai tulangan 0	jumlah tul. (buah)	Apw x fps	a ₂	Mu kN-m	Mu/o kN-m	Mn kN-m	check Mh kN-m
100%	5603.9798	63.1505	0	0	0	0.00000	0	0	3085.468	3856.835	7556.545	okey
90%	5104.8428	57.5258	0	0	16	0.00000	-8807695.16	-575.6664	3085.468	3856.835	6897.853	okey
80%	4603.6427	51.8779	0	0	16	0.00000	-8808196.36	-575.6991	3085.468	3856.835	6233.613	okey
70%	4100.3794	46.2067	0	0	22	0.00000	-8808699.62	-575.732	3085.468	3856.835	5563.791	okey

0

saat transfer

	Anetto mm ²	Ct mm	Cb mm	ER mm	I mm ⁴	St mm ³	Sb mm ³	r ₂ mm ³	ft MPa	fb MPa	fsi MPa
100%	818505.86	564.9278	935.07221	444.92779	1.8971E+11	335809772	202880877.9	231773.8716	-4.1506	-12.2606	1914.7044
90%	818505.86	564.9278	935.07221	444.92779	1.8971E+11	335809772	202880877.9	231773.8716	-4.2114	-10.2468	1895.5574
80%	818505.86	564.9278	935.07221	444.92779	1.8971E+11	335809772	202880877.9	231773.8716	-4.2723	-8.2330	1872.1554
70%	818505.86	564.9278	935.07221	444.92779	1.8971E+11	335809772	202880877.9	231773.8716	-4.3331	-6.2192	1842.9030

	y ₁ mm	y ₂ mm	fct MPa	fs MPa
100%	120	1380	-4.7994	1884.2599
90%	120	1380	-4.6942	1865.7796
80%	120	1380	-4.5891	1843.0444
70%	120	1380	-4.4840	1814.4588

	fpi MPa	fpes MPa	fpa MPa	fcs kN	fcsd kN	fpcr MPa	fpsh MPa	fpf MPa	fpr MPa	fp MPa	% hilang	% sisa	Pe kN
100%	1302	0	70.5556	-10.4881	2.8706	77.3141	25.9678	87.8022	21.0349	282.6745	21.7108	78.2892	4616.9413
90%	1302	0	70.5556	-9.1523	2.8706	63.7556	25.9678	87.8022	21.4416	269.5227	20.7007	79.2993	4208.8599
80%	1302	0	70.5556	-7.8164	2.8706	50.1971	25.9678	87.8022	21.8484	256.3710	19.6906	80.3094	3788.8646
70%	1302	0	70.5556	-6.4805	2.8706	36.6385	25.9678	87.8022	22.2551	243.2192	18.6804	81.3196	3356.9553

saat layan

	Atrans mm ²	Ct mm	Cb mm	ER mm	I mm ⁴	St mm ³	Sb mm ³	r ₂	ft MPa	fb MPa	fse kN
100%	846857.84	550.0320	949.96797	430.03203	1.9514E+11	354776744	205415952	230426.6011	-6.6810	-3.3290	1499.0069
90%	845361.67	550.7931	949.20687	430.79313	1.9486E+11	353783285	205288654.8	230506.5485	-6.6984	-2.0153	1503.1643
80%	843865.51	551.5569	948.44308	431.55692	1.9458E+11	352789058	205160700.8	230585.6148	-6.7190	-0.6568	1503.5177
70%	842369.34	552.3234	947.67657	432.32343	1.943E+11	351794065	205032084.9	230663.7889	-6.7431	0.7469	1498.6408

	y ₁ mm	y ₂ mm	fct MPa	fs MPa
100%	120	1380	-1.7165	1488.118
90%	120	1380	-1.8582	1491.377
80%	120	1380	-2.0312	1490.633
70%	1350.4191	149.580894	-6.1439	1459.667

Perencanaan Tata Letak Tendon balok bentang 15 mterhadap bentang 6 m dan 6 m

	momen total pada (kNm)			momen sesaat setelah transfer pada (kNm)			kt	kb
	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg		
100%	1283.24	155.99	-2241.32	449.66	50.7	-1439.12	245.6390909	414.0250308
90%	1283.24	155.99	-2241.32	449.66	50.7	-1439.12	245.6390909	414.0250308
80%	1283.24	155.99	-2241.32	449.66	50.7	-1439.12	245.6390909	414.0250308
70%	1283.24	155.99	-2241.32	449.66	50.7	-1439.12	245.6390909	414.0250308

	amin (mm)			eb (mm)			eb' (mm)			eb1 (mm)		
	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg
100%	76.24858715	8.597169791	-244.030749	490.273618	422.6222006	169.9942815	87.4485761	577.7221941	510.0707767	577.7221941	510.0707767	257.4428576
90%	84.72065239	9.552410879	-271.145277	498.7456832	423.5774417	142.8797638	97.16508456	595.9107678	520.7425263	595.9107678	520.7425263	240.0448384
80%	95.31073393	10.74646224	-305.038437	509.3357648	424.7714931	108.9865942	109.3107201	618.6464849	534.0822132	618.6464849	534.0822132	218.2973143
70%	108.92655531	12.28167113	-348.615356	522.9515839	426.306702	65.40967466	124.9265373	647.8781212	551.2332392	647.8781212	551.2332392	190.336212

	a max (mm)			et (mm)			et' (mm)			et1 (mm)		
	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg
100%	286.5441868	34.83216522	-500.480983	40.90509596	-210.8069256	-254.8418923	152.7723632	-111.867267	-363.579289	-111.867267	-363.579289	-407.614255
90%	314.2029754	38.19435346	-548.790104	68.56388451	-207.4447374	-303.1510129	167.5187747	-98.9548902	-374.963512	-98.9548902	-374.963512	-470.669788
80%	348.8983063	42.41190019	-609.389321	103.2592155	-203.2271907	-363.7502299	186.0167515	-82.757536	-389.243942	-82.757536	-389.243942	-549.766981
70%	393.6404971	47.85073808	-687.536485	148.0014062	-197.7883528	-441.897394	209.8712581	-61.8698519	-407.659611	-61.8698519	-407.659611	-651.768652

Perencanaan Tata Letak Tendon balok bentang 15 mterhadap bentang 6 m dan 9 m

	momen total pada (kNm)			momen sesaat setelah transfer pada (kNm)			kt	kb
	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg		
100%	1395.72	170.49	-2449.42	894.045	114.47	-1580.725	245.6390909	414.0250308
90%	1395.72	170.49	-2449.42	894.045	114.47	-1580.725	245.6390909	414.0250308
80%	1395.72	170.49	-2449.42	894.045	114.47	-1580.725	245.6390909	414.0250308
70%	1395.72	170.49	-2449.42	894.045	114.47	-1580.725	245.6390909	414.0250308

	amin (mm)		eb (mm)		ep' (mm)		eb1 (mm)	
	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg	0.5 btg	0.25 btg
100%	151.6026956	19.41061195	-268.042628	565.6277264	433.4356428	145.9824032	87.4485761	653.0763025
90%	168.4474395	21.56734661	-297.825142	582.4724704	435.5923774	116.1988891	97.16508456	679.6375549
80%	189.5033695	24.26326494	-335.053284	603.5284003	438.2882958	78.97174634	109.3107201	712.8391204
70%	216.5752794	27.72944565	-382.918039	630.6003102	441.7544765	31.10699142	124.9265373	755.5288475

	a max (mm)		et (mm)		et' (mm)		et1 (mm)	
	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg	0.5 btg	0.25 btg
100%	302.917749	37.00201117	-531.605761	57.27865814	-208.6370797	-285.9666701	148.4866818	-91.2080236
90%	332.2793646	40.58859146	-583.133953	86.64027379	-205.0504994	-337.4948625	162.8793969	-76.2391231
80%	369.1031998	45.08669686	-647.757974	123.464109	-200.552394	-402.1188833	180.9300035	-57.4638945
70%	416.5821506	50.88634601	-731.081199	170.9430597	-194.7527449	-485.4421083	204.203621	-33.2605613

Perencanaan Tata Letak Tendon balok bentang 15 mterhadap bentang 6 m dan 12 m

	momen total pada (kNm)		momen sesaat setelah transfer pada (kNm)		kt	kb
	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg	0.5 btg	ujung btg	mm
100%	1463.42	188.45	-2561.94	480.57	245.6390909	414.0250308
90%	1463.42	188.45	-2561.94	480.57	245.6390909	414.0250308
80%	1463.42	188.45	-2561.94	480.57	245.6390909	414.0250308
70%	1463.42	188.45	-2561.94	480.57	245.6390909	414.0250308

	amin (mm)		eb (mm)		eb' (mm)		eb1 (mm)	
	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg	0.5 btg	0.25 btg
100%	81.48997804	10.08259794	-277.628387	495.5150089	424.1076288	136.3966437	87.4485761	582.963585
90%	90.54442004	11.20288661	-308.475986	504.5694509	425.2279174	105.5490451	97.16508456	601.7345354
80%	101.8624726	12.60324743	-347.035484	515.8875034	426.6282783	66.98954693	109.3107201	625.1982235
70%	116.4142543	14.40371135	-396.611982	530.4392852	428.4287422	17.41304923	124.9265373	655.3658225

	a max (mm)		et (mm)		et' (mm)		et1 (mm)	
	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg	0.5 btg	0.25 btg
100%	317.0322013	40.82540784	-555.013241	71.39311046	-204.813683	-309.3741506	148.2161313	-76.8230208
90%	347.7700092	44.78362891	-608.824464	102.1309183	-200.8554619	-363.1853732	162.5864033	-60.455485
80%	386.3193052	49.74776418	-676.310889	140.6802143	-195.8913267	-430.6717978	180.6086341	-39.9284198
70%	436.0224587	56.14822289	-763.323843	190.3833679	-189.490868	-517.6847519	203.8454192	-13.4620514

Perencanaan Tata Letak Tendon balok bentang 15 mterhadap bentang 6 m dan 15 m

momen total pada (kNm)		momen sesaat setelah transfer pada (kNm)				kt		kb	
		0.5 btg	0.25 btg	ujung btg	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg	mm	mm
100%	1403.93	187.52	-2421.51	436.43	55.89	-1598.175	245.63390909	414.0250308	
90%	1403.93	187.52	-2421.51	436.43	55.89	-1598.175	245.63390909	414.0250308	
80%	1403.93	187.52	-2421.51	436.43	55.89	-1598.175	245.63390909	414.0250308	
70%	1403.93	187.52	-2421.51	436.43	55.89	-1598.175	245.63390909	414.0250308	

amin (mm)		eb (mm)				eb' (mm)			
		0.5 btg	0.25 btg	ujung btg	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg	0.5 btg	ujung btg
100%	74.00518367	9.477235101	-271.001614	488.0302145	423.5022659	143.0234168	87.4485761	575.4787906	510.950842
90%	82.22798185	10.53026122	-301.112904	496.2530127	424.555292	112.9121263	97.16508456	593.4180972	521.7203766
80%	92.50647959	11.84654388	-338.752018	506.5315104	425.8715747	75.27301328	109.3107201	615.8422305	535.1822948
70%	105.721691	13.53890729	-387.145163	519.7467218	427.5639381	26.87986792	124.9265373	644.6732591	552.4904754

a max (mm)		et (mm)				et' (mm)			
		0.5 btg	0.25 btg	ujung btg	0.5 btg	0.25 btg	ujung btg	0.5 btg	ujung btg
100%	304.0822707	40.61563426	-524.483599	58.44317987	-205.0234566	-278.8445083	148.1858475	-89.7426676	-353.209304
90%	333.5653884	44.55363275	-575.336323	87.92629754	-201.0854581	-329.6972319	162.5536065	-74.627309	-363.639065
80%	370.5410838	49.49239921	-639.112306	124.9019929	-196.1466916	-393.4732151	180.5726602	-55.6706673	-376.719352
70%	418.2152744	55.86014136	-721.341142	172.5761835	-189.7789495	-475.7020509	203.8053213	-31.2291377	-393.584271

Perhitungan Torsi dan Geser balok 18 m Terhadap Bentang 6 m dan 6 m

	h mm	b mm	tf mm	bw mm	dp mm	Ac mm ²	Atrans mm ²	Acp mm ²	Pcp mm	Aoh mm ²
100%	1500	2320	120	400	1380	830400	846857.8422	600000	3800	423404
90%	1500	2320	120	400	1380	830400	845361.6747	600000	3800	423404
80%	1500	2320	120	400	1380	830400	843865.5072	600000	3800	423404
70%	1500	2320	120	400	1380	830400	842369.3398	600000	3800	423404

	Ao mm ²	Ph mm	X1 mm	Y1 mm	fyv MPa	Md pd h/2 kN-m	Mu pd h/2 kN-m	θ	Tsd pd h/2 kN-m	Td pd h/2 kN-m
100%	359893.4	3408	302	1402	400	630.51	2320.804	37.5	0	0
90%	359893.4	3408	302	1402	400	630.51	2320.804	37.5	0	0
80%	359893.4	3408	302	1402	400	630.51	2320.804	37.5	0	0
70%	359893.4	3408	302	1402	400	630.51	2320.804	37.5	0	0

	Tl pd h/2 kN-m	Tu pd h/2 kN-m	Vsd pd h/2 kN	Vd pd h/2 kN	Vi = Vu kN	Pe kN	Sb mm ³	e mm	e' mm
100%	0	0	252.22	181.89	673.108	4478.3320	205415952	430.0320	829.9680
90%	0	0	252.22	181.89	673.108	4084.1115	205288654.8	430.7931	829.2069
80%	0	0	252.22	181.89	673.108	3677.9772	205160700.8	431.5569	828.4431
70%	0	0	252.22	181.89	673.108	3259.9288	205032084.9	432.3234	827.6766

	e pd h/2	fc MPa	fce MPa	fd MPa	Mcr kN-m	1,2.Mcr kN-m	check Mn	vp kN	Vci MPa
100%	463.3600	5.2882	5.2983	3.0694	1146.8265	1376.191818	penampang memadai	2766.773385	1.2664
90%	463.9943	4.8312	4.8404	3.0713	1051.7347	1262.081626	penampang memadai	2526.672492	1.2164
80%	464.6308	4.3585	4.3668	3.0732	953.5191	1144.222961	penampang memadai	2278.535131	1.1648
70%	465.2695	3.8700	3.8773	3.0752	852.1696	1022.603483	penampang memadai	2022.327367	1.1115

	1,7.√fc' MPa	5,0.√fc' MPa	vci MPa	Vcw MPa	Vc kN	Vn kN	Vs kN	check V	8 λ √fc' . Bw. Dp
100%	0.9469	2.7851	1.2664	8.5487	699.0365	791.8918	92.8552	perlu tul badan	3812.7210
90%	0.9469	2.7851	1.2164	7.9766	671.4545	791.8918	120.4373	perlu tul badan	3812.7210
80%	0.9469	2.7851	1.1648	7.3853	642.9664	791.8918	148.9254	perlu tul badan	3812.7210
70%	0.9469	2.7851	1.1115	6.7745	613.5693	791.8918	178.3225	perlu tul badan	3812.7210

	check Vs	Aps	fpu	Tu'1 kN-m	Tu'2 kN-m	check Tu	check penampang		Tn kN-m
							aktual	tersedia	
100%	penampang memadai	3080	1860	82.5756	330.3024	tdk bth tul torsi	1.219398551	4.8777	Mampu Memikul Torsi 0
90%	penampang memadai	2800	1860	80.0288	320.1151	tdk bth tul torsi	1.219398551	4.8353	Mampu Memikul Torsi 0
80%	penampang memadai	2520	1860	77.3060	309.2239	tdk bth tul torsi	1.219398551	4.7914	Mampu Memikul Torsi 0
70%	penampang memadai	2240	1860	74.3874	297.5496	tdk bth tul torsi	1.219398551	4.7461	Mampu Memikul Torsi 0

O tul. Geser & torsi		AV	At/s	AV/s1	AV/s2	$4\lambda \sqrt{f_c} \cdot bw \cdot dp$	AV/s * 2	AV/s terpakai	AVt/s = 2(AT/s)+(AV/s)	s mm
mm		mm ²	mm ² /mm	mm ² /mm	mm ² /mm					
100%	10	78.5714	0	0.2410	0.1682	8.4795	0.3364	0.3364	0.3364	233.54
90%	10	78.5714	0	0.2191	0.2182	8.4795	0.4364	0.4364	0.4364	180.06
80%	10	78.5714	0	0.1971	0.2698	8.4795	0.5396	0.5396	0.5396	145.61
70%	10	78.5714	0	0.1752	0.3230	8.4795	0.6461	0.6461	0.6461	121.61

Perhitungan Torsi dan Geser balok 18 m Terhadap Bentang 6 m dan 9 m

	h mm	b mm	tf mm	bw mm	dp mm	Ac mm ²	Atrans mm ²	Acp mm ²	Pcp mm	Aoh mm ²
100%	1500	2320	120	400	1380	830400	846857.8422	600000	3800	437100
90%	1500	2320	120	400	1380	830400	845361.6747	600000	3800	437100
80%	1500	2320	120	400	1380	830400	843865.5072	600000	3800	437100
70%	1500	2320	120	400	1380	830400	842369.3398	600000	3800	437100

	Ao mm ²	Ph mm	X1 mm	Y1 mm	fyv MPa	Md pd h/2 kN-m	Mu pd h/2 kN-m	θ	Tsd pd h/2 kN-m	Td pd h/2 kN-m
100%	371535	3440	310	1410	400	652.7	2535.484	37.5	36.78	30.41
90%	371535	3440	310	1410	400	652.7	2535.484	37.5	36.78	30.41
80%	371535	3440	310	1410	400	652.7	2535.484	37.5	36.78	30.41
70%	371535	3440	310	1410	400	652.7	2535.484	37.5	36.78	30.41

	Tl pd h/2 kN-m	Tu pd h/2 kN-m	Vsd pd h/2 kN	Vd pd h/2 kN	Vi = Vu kN	Pe kN	Sb mm ³	e mm	e' mm
100%	21.25	114.628	286.11	195.41	751.776	4607.5874	205415952	430.0320	829.9680
90%	21.25	114.628	286.11	195.41	751.776	4200.4414	205288654.8	430.7931	829.2069
80%	21.25	114.628	286.11	195.41	751.776	3781.3815	205160700.8	431.5569	828.4431
70%	21.25	114.628	286.11	195.41	751.776	3350.4076	205032084.9	432.3234	827.6766

	e	fc	foe	fd	Mcr	1.2.Mcr	check Mn	vp	Vci
	pd h/2	MPa	MPa	MPa	KN-m	KN-m		KN	MPa
100%	463.3600	5.4408	5.4512	3.1775	1156.0489	1387.2587	penampang memadai	2846.6291	1.3093
90%	463.9943	4.9688	4.9783	3.1794	1057.8483	1269.4180	penampang memadai	2598.6410	1.2565
80%	464.6308	4.4810	4.4896	3.1814	956.5169	1147.8202	penampang memadai	2342.5949	1.2021
70%	465.2695	3.9774	3.9850	3.1833	852.0441	1022.4530	penampang memadai	2078.4567	1.1460

	1.7.v'fc	5.0.v'fc	vci	Vc		Vn	Vs	check V	8 λ v'fc
				Vcw	MPa				
100%	0.9469	2.7851	1.3093	8.7392	722.7127	884.4424	161.7297	perlu tul badan	3812.7210
90%	0.9469	2.7851	1.2565	8.1483	693.5935	884.4424	190.8488	perlu tul badan	3812.7210
80%	0.9469	2.7851	1.2021	7.5381	663.5460	884.4424	220.8964	perlu tul badan	3812.7210
70%	0.9469	2.7851	1.1460	6.9084	632.5670	884.4424	251.8754	perlu tul badan	3812.7210

	check Vs	Aps	fpu	Tu	Tu'	check Tu	check penampang		Tn
							aktual	tersedia	
100%	penampang memadai	3080	1860	83.4089	333.6357	bth tul torsi	1.3619	4.9142	134.8565
90%	penampang memadai	2800	1860	80.8041	323.2166	bth tul torsi	1.3619	4.8693	134.8565
80%	penampang memadai	2520	1860	78.0209	312.0836	bth tul torsi	1.3619	4.8231	134.8565
70%	penampang memadai	2240	1860	75.0388	300.1553	bth tul torsi	1.3619	4.7754	134.8565

	O tul. Geser & torsi	Av	Av/s	Av/s1	Av/s2	4λ v'fc bw.dp	Av/s2 *2	Av/s	Av/s =
	mm	mm2	mm2/mm	mm2/mm	mm2/mm			terpakai	2(A/s)+(Av/s)
100%	10	78.5714	0.3490	0.2410	0.2930	8.4795	0.5860	0.5860	1.2840
90%	10	78.5714	0.3490	0.2191	0.3457	8.4795	0.6915	0.6915	1.3895
80%	10	78.5714	0.3490	0.1971	0.4002	8.4795	0.8003	0.8003	1.4984
70%	10	78.5714	0.3490	0.1752	0.4563	8.4795	0.9126	0.9126	1.6106

Perhitungan Torsi dan Geser balok 18 m Terhadap Bentang 6 m dan 12 m

	h	b	tf	bw	dp	Ac	Atrans	Acp	Pcp	Aoh
	mm	mm	mm	mm	mm	mm2	mm2	mm2	mm	mm2
100%	1500	2320	120	400	1380	830400	846857.8422	600000	3800	423404
90%	1500	2320	120	400	1380	830400	845361.6747	600000	3800	423404
80%	1500	2320	120	400	1380	830400	843865.5072	600000	3800	423404
70%	1500	2320	120	400	1380	830400	842369.3398	600000	3800	423404

	Ao mm ²	Ph mm	X1 mm	Y1 mm	f _y MPa	Md pd h/2 kN-m	Mu pd h/2 kN-m	θ	Tsd pd h/2 kN-m	Td pd h/2 kN-m
100%	359893.4	3408	302	1402	400	678.64	2656.464	37.5	66.9	58.6
90%	359893.4	3408	302	1402	400	678.64	2656.464	37.5	66.9	58.6
80%	359893.4	3408	302	1402	400	678.64	2656.464	37.5	66.9	58.6
70%	359893.4	3408	302	1402	400	678.64	2656.464	37.5	66.9	58.6

	Tl pd h/2 kN-m	Tu pd h/2 kN-m	Vsd pd h/2 kN	Vd pd h/2 kN	Vi pd h/2 kN	Vi = Vu kN	Pe kN	Sb mm ³	e mm	e' mm
100%	41.92	217.672	308.73	212.73	123.2	822.872	4615.9980	205415952	430.0320	829.9680
90%	41.92	217.672	308.73	212.73	123.2	822.872	4208.0109	205288654.8	430.7931	829.2069
80%	41.92	217.672	308.73	212.73	123.2	822.872	3788.1099	205160700.8	431.5569	828.4431
70%	41.92	217.672	308.73	212.73	123.2	822.872	3356.2950	205032084.9	432.3234	827.6766

	e pd h/2	fc MPa	fce MPa	fd MPa	Mcr kN-m	1,2.Mcr kN-m	check Mn	v _p kN	V _{ci} MPa
100%	463.3600	5.4507	5.4611	3.3037	1132.1529	1358.5835	penampang memadai	2851.8253	1.3550
90%	463.9943	4.9778	4.9873	3.3058	1033.7501	1240.5001	penampang memadai	2603.3240	1.2998
80%	464.6308	4.4890	4.4976	3.3078	932.2158	1118.6590	penampang memadai	2346.7632	1.2428
70%	465.2695	3.9844	3.9920	3.3099	827.5399	993.0478	penampang memadai	2082.1090	1.1841

	1,7.√f _{c'} MPa	5,0.√f _{c'} MPa	v _{ci} MPa	V _{cw} MPa	V _c kN	V _c MPa	V _n kN	V _s kN	check V	8 λ √f _{c'} · B _w · D _p
100%	0.9469	2.7851	1.3550	8.7516	747.9622	1.3550	966.0847	220.1226	perlu tul badan	3812.7210
90%	0.9469	2.7851	1.2998	8.1595	717.4781	1.2998	968.0847	250.6066	perlu tul badan	3812.7210
80%	0.9469	2.7851	1.2428	7.5480	686.0239	1.2428	968.0847	282.0608	perlu tul badan	3812.7210
70%	0.9469	2.7851	1.1841	6.9171	653.5965	1.1841	968.0847	314.4882	perlu tul badan	3812.7210

	check V _s	A _{ps}	f _{pu}	Tu kN-m	Tu' kN-m	check Tu	check penampang	T _n kN-m
100%	penampang memadai	3080	1860	83.4629	333.8514	bth tul torsi	tersedia	256.0847
90%	penampang memadai	2800	1860	80.8543	323.4174	bth tul torsi	4.9531	256.0847
80%	penampang memadai	2520	1860	78.0672	312.2688	bth tul torsi	4.9061	256.0847
70%	penampang memadai	2240	1860	75.0810	300.3241	bth tul torsi	4.8577	256.0847
							4.8078	256.0847

	O tul. Geser & torsi mm	Av mm ²	At/s mm ² /mm	Av/s1 mm ² /mm	Av/s2 mm ² /mm	$4\lambda \sqrt{f_c} \cdot bw \cdot dp$	Av/s2 * 2	Av/s terpakai	Av/s = $\frac{2(At/s) + (Av/s)}{2}$	s mm
100%	10	78.5714	0.6842	0.2410	0.3988	8.4795	0.7975	0.7975	2.1659	36.28
90%	10	78.5714	0.6842	0.2191	0.4540	8.4795	0.5080	0.9080	2.2764	34.52
80%	10	78.5714	0.6842	0.1971	0.5110	8.4795	1.0220	1.0220	2.3903	32.87
70%	10	78.5714	0.6842	0.1752	0.5697	8.4795	1.1394	1.1394	2.5078	31.33

Perhitungan Torsi dan Geser balok 18 m Terhadap Bentang 6 m dan 15 m

	h mm	b mm	hf mm	bw mm	dp mm	Ac mm ²	Atrans mm ²	Acp mm ²	Pcp mm	Aoh mm ²
100%	1500	2320	120	400	1380	830400	846857.8422	600000	3800	423404
90%	1500	2320	120	400	1380	830400	845361.6747	600000	3800	423404
80%	1500	2320	120	400	1380	830400	843865.5072	600000	3800	423404
70%	1500	2320	120	400	1380	830400	842369.3398	600000	3800	423404

	Ao mm ²	Ph mm	X1 mm	Y1 mm	Iyv MPa	Md pd h/2 kN-m	Mu pd h/2 kN-m	θ	Tsd pd h/2 kN-m	Td pd h/2 kN-m
100%	359893.4	3408	302	1402	400	606.9	2498.368	37.5	95.32	64.27
90%	359893.4	3408	302	1402	400	606.9	2498.368	37.5	95.32	64.27
80%	359893.4	3408	302	1402	400	606.9	2498.368	37.5	95.32	64.27
70%	359893.4	3408	302	1402	400	606.9	2498.368	37.5	95.32	64.27

	Ti pd h/2 kN-m	Tu pd h/2 kN-m	Vsd pd h/2 kN	Vd pd h/2 kN	Vi = Vu kN	Pe kN	Sb mm ³	e mm	e' mm
100%	46.75	266.308	348.06	215.94	875.76	4616.9413	205415952	430.0320	829.9680
90%	46.75	266.308	348.06	215.94	875.76	4208.8599	205288654.8	430.7931	829.2069
80%	46.75	266.308	348.06	215.94	875.76	3788.8646	205160700.8	431.5569	828.4431
70%	46.75	266.308	348.06	215.94	875.76	3356.9553	205032084.9	432.3234	827.6766

	e pd h/2	fc MPa	fce MPa	fd MPa	Mcr kN-m	1.2.Mcr kN-m	check Min	vp kN	Vci MPa
100%	463.3600	5.4518	5.4623	2.9545	1204.1222	1444.9466	penampang memadai	2852.4081	1.4902
90%	463.9943	4.9788	4.9883	2.9563	1105.6966	1326.8359	penampang memadai	2603.8492	1.4276
80%	464.6308	4.4899	4.4985	2.9582	1004.1396	1204.9676	penampang memadai	2347.2308	1.3631
70%	465.2695	3.9851	3.9928	2.9600	899.4409	1079.3291	penampang memadai	2082.5187	1.2967

	1,7. $\sqrt{f_c}$ MPa	5,0. $\sqrt{f_c}$ MPa	vci MPa	Vcw MPa	Vc		Vn kN	Vs kN	check V	8. $\lambda\sqrt{f_c}$. Bw. Dp
					kN	MPa				
100%	0.9469	2.7851	1.4902	8.7530	822.5647	1.4902	1030.3059	207.7412	perlu tul badan	3812.7210
90%	0.9469	2.7851	1.4276	8.1607	788.0604	1.4276	1030.3059	242.2455	perlu tul badan	3812.7210
80%	0.9469	2.7851	1.3631	7.5491	752.4583	1.3631	1030.3059	277.8476	perlu tul badan	3812.7210
70%	0.9469	2.7851	1.2967	6.9181	715.7549	1.2967	1030.3059	314.5510	perlu tul badan	3812.7210

	check Vs	Aps	fpu	Tu kN-m	Tu' kN-m	check Tu	check penampang		Tn kN-m	
							aktual	tersedia		
100%	penampang memadai	2800	1860	83.4689	333.8756	bth tul torsi	1.5865	5.0679	Mampu Memikul Torsi	313.3035
90%	penampang memadai	2800	1860	80.8600	323.4399	bth tul torsi	1.5865	5.0148	Mampu Memikul Torsi	313.3035
80%	penampang memadai	2520	1860	78.0724	312.2896	bth tul torsi	1.5865	4.9600	Mampu Memikul Torsi	313.3035
70%	penampang memadai	2240	1860	75.0857	300.3430	bth tul torsi	1.5865	4.9035	Mampu Memikul Torsi	313.3035

	O tul. Geser & torsi mm	Av mm ²	At/s mm ² /mm	Av/s1 mm ² /mm	Av/s2 mm ² /mm	4. $\lambda\sqrt{f_c}$.bw.dp	Av/s ² *2	Av/s terpakai	Av/s = 2(Av/s)+(Av/s)	s mm
90%	10	78.5714	0.8371	0.2191	0.4389	8.4795	0.8777	0.8777	2.5518	30.79
80%	10	78.5714	0.8371	0.1971	0.5033	8.4795	1.0067	1.0067	2.6808	29.31
70%	10	78.5714	0.8371	0.1752	0.5698	8.4795	1.1397	1.1397	2.8138	27.92