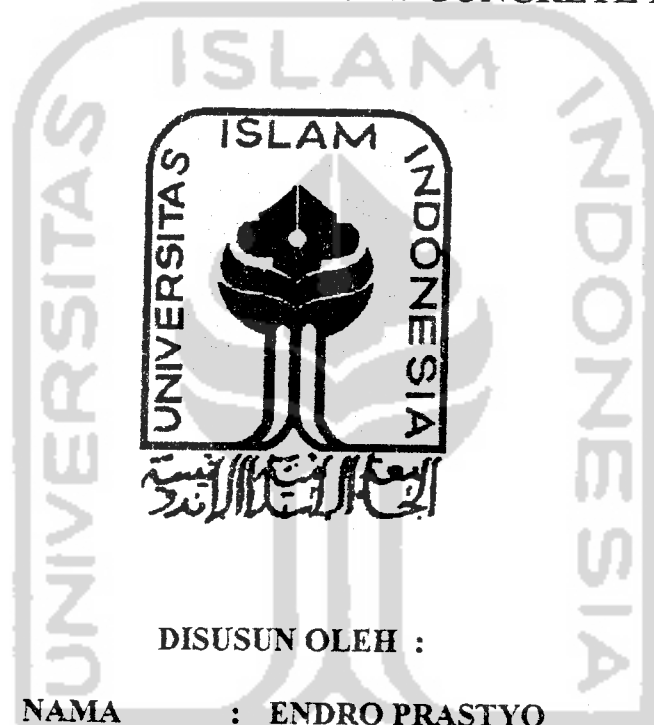


5/800 11/1000 11/1000 11/1000 11/1000

**TUGAS AKHIR**  
**STUDI KASUS**  
**PEMANFAATAN “EXTERNAL PRESTRESSING”**  
**UNTUK PERKUATAN JEMBATAN BETON LAMA**

**CASE STUDY**  
**USAGE OF EXTERNAL PRESTRESSING**  
**FOR STRENGTHENING THE OLD CONCRETE BRIDGE**



**DISUSUN OLEH :**

**NAMA : ENDRO PRASTYO**  
**NO. MHS. : 92 310 074**  
**NIRM. : 920051013114120074**  
**BID. STUDI : STRUKTUR**

**NAMA : AZIS SUSANTO**  
**NO. MHS. : 92 310 232**  
**NIRM. : 920051013114120232**  
**BID. STUDI : STRUKTUR**

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

1998

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**TUGAS AKHIR**  
**STUDI KASUS PEMANFAATAN “EXTERNAL PRESTRESSING”**  
**UNTUK PERKUATAN JEMBATAN BETON LAMA**

**CASE STUDY USAGE OF EXTERNAL PRESTRESSING**  
**FOR STRENGTHENING THE OLD CONCRETE BRIDGE**

Diajukan Guna Melengkapi Persyaratan Untuk Memperoleh  
Derajat Sarjana Teknik Pada Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta

**Disusun oleh :**

**NAMA : ENDRO PRASTYO**  
**NO. MHS. : 92 310 074**  
**NIRM. : 920051013114120074**  
**BID. STUDI: STRUKTUR**

**NAMA : AZIS SUSANTO**  
**NO. MHS. : 92 310 232**  
**NIRM. : 920051013114120232**  
**BID. STUDI: STRUKTUR**


Telah diperiksa dan disetujui oleh:

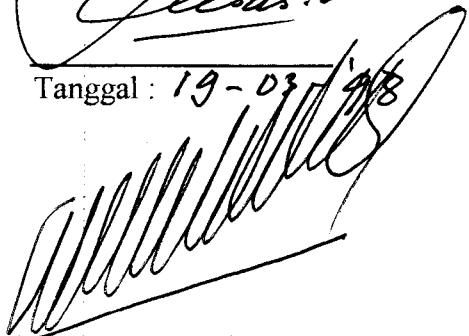
**Ir. H. Susastrawan, MS**

Dosen Pembimbing I

**Ir. A. Kadir Aboe, MS**

Dosen Pembimbing II

  
Tanggal : 19-03/98

  
Tanggal : 17/03/98

Tugas Akhir ini aku persembahkan buat :

- Ayahhanda dan ibunda tercinta, adalah biaya dan do'a dari mulah cita dan harapan ananda dapat terwujud.
- Adik-adikku (Tatang Abda, Iwan Mirwan dan Muhamad Wildan) tersayang, doronganmu mewujudkan cita dan harapanku.
- Adinda yang ada di hatiku, cinta dan kasihmu menyejukkan setiap langkahku.

*Perjalanan hidupku masih panjang. Baru sampai ini yang dapat aku persembahkan kepada :*

*Ayah dan Ibu Soetardjo, atas bimbingan dan doa restumu.*

*Adik-adikku, Endri, Edy, Catur, Sari dan si bungsu Tyo, terima kasih atas dukungannya*

*Keluarga besar Muktarul Hadi atas doa restunya*

*Farida Hidayati, S.Psi, With You everything is pleasant...*

## MOTTO

*'Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan'*

*(QS : Alam Nasyrak ayat 6)*

*'.....dan apabila dikatakan : "Berdirilah Kamu, maka berdirilah, niscaya Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan, beberapa derajat .....*

*(QS : Al - Mujaadillah ayat 11)*



## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-NYA yang telah dilimpahkan kepada kami sehingga penyusunan Tugas Akhir dapat diselesaikan dengan baik dan sesuai waktunya.

Tugas Akhir ini dilaksanakan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi jenjang strata satu (S-1) pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Banyaknya aral yang melintang telah memberi warna dan makna, kini terlewati semua berkat dukungan dan kasih sayang. Atas segala bantuan, setulusnya penulis haturkan rasa terima kasih kepada :

1. Ir. Susastrawan, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, dan selaku pembimbing I, atas segala kesabaran, penerimaan, kemudahan dan motivasi dalam menghadapi proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Ir. A. Kadir Aboe, MS, selaku pembimbing II yang dengan penuh kesabaran menjadi teman diskusi dalam menghadapi segala kesulitan tantangan yang dihadapi.

3. Ir. Wawan Witarnawan, MSc. ME, selaku kepala Laboratorium Konstruksi Puslitbang Jalan Bina Marga PU Bandung , atas segala kemudahan dan fasilitas yang diberikan.
4. Seluruh staf akademik maupun non akademik atas segala bekal keilmuan dan bantuan yang memudahkan proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Sudjatmiko, ST, Fattah Setiawan, atas segala bantuan yang tidak diperhitungkan dalam proses penulisan karya ini.
6. Edi G., SE, Muqowwim, S.Ag, Pak Lurah Nowo, Nonet, ST, Ponco, Koko Doho, Bang Maman, Pa'e Dono, S.Ag, Ikhsan, S.Ag, Gufron, S.Ag, Syaehu, Supreh, Budi Jlb, Musad, Wahab, Papam, Jat Bdg, Agus Wds, kenangan bersama kalian sangat indah.
7. Joko, ST, Budi Gbl, ST, Adam, Budi Gondes, Budi Myn, Fikri Gentong, Ilex Prn., Rudi, Nunk, Pandil, Sofyan, Ary, Ipunk, Syarip, Wahyu, Willy Brewok namamu tak akan terlupakan.
8. Bapak Ibuku Abdul Jalil yang tercinta, atas segala doa dan dorongan serta bantuan yang tidak tak terbatas.
9. Adikku Tatang Abda, Iwan Mirwan dan Muhamad Wildan yang tersayang, terimakasih atas doa dan dukungannya.
10. Saudara-saudaraku tercinta yang ada di Sukahideung, Sukarapih, Singaparna, Tasikmalaya, Jawa Barat.

11. Pamanku Drs. Manaf Abdul Yazid, terimakasih atas doa dan dukungannya.
12. Nenekku yang tercinta, mudah-mudahan amal ibadahnya oleh Allah SWT.
13. Keluarga di Solo, disinilah tempat aku membasuh segala lelah dan resahku. Semoga Allah memberikan rakhmat dan berkah-Nya.
14. Bapak, Ibu Muhtarul Hadi, segenap jiwa dan raga akan aku jaga amanat dan titipan beliau .
15. Adikku Endri, Edy, Catur, Sari, Tyo, persembahkan karya terbaikmu tuk keluarga kita. Semoga keteduhan-Nya akan selalu terasa di hati.
16. Farida Hd, menggenggam tanganmu membuat aku tak pernah merasa takut tuk menggapai semua impianku.
17. Ayah dan Ibu, kasih sayang yang tiada terbatas, belai lembut tiada henti dan perjuangan yang tak ingin usai, terima kasih tak cukup tuk mewakili. Semoga ada-ku membuat beliau bangga.
18. Semua pihak yang tak dapat disebutkan satu persatu.

Wassalamu'alaikum, Wr, Wb

Yogyakarta, Februari 1998

Endro Prastyo & Azis Susanto

## ABSTRAK

Terdapat lebih kurang 25.000 jembatan dan bangunan pelintas lainnya pada jalan-jalan Nasional/Propinsi di Indonesia, dan lebih dari 60.000 jembatan lagi terletak pada jalan Kabupaten/Kotamadya atau pada jalan lokal lainnya. Beberapa diantara jembatan tersebut tua, sempit dan direncanakan untuk lalu-lintas ringan. Sebagian yang lain, karena suatu alasan tidak mampu memikul beban sesuai dengan standar pembebanan yang berlaku sekarang. Hal ini terjadi pada jembatan-jembatan yang dibangun sebelum tahun 1985 dimana jembatan diijinkan dibangun dengan berdasarkan pembebanan 50 % dan 70 % dari standar, yang berlaku sekarang. Pembatasan terhadap beban kendaraan berat (truk) perlu dilakukan terhadap jembatan seperti diatas.

Salah satu metode yang dapat diterapkan untuk memperkuat jembatan lama adalah dengan sistem "*External Prestressing*". Beberapa keuntungan dari pemakaian sistem ini adalah ; perkuatan ini dapat dilaksanakan tanpa mengganggu lalu-lintas, relatif mudah dan cepat dalam pelaksanaan, ekonomis, efisien dan dapat diterapkan pada berbagai tipe jembatan.

## ABSTRACT

Indonesia has approximately 25,000 bridges and other crossing on National and Provincial roads and more than 60,000 on local and urban roads. Nearly 20 % of these bridges are reinforced concrete girder bridges. Some are obsolete, built for lighter vehicles and narrower roads. The others, for one reason or another, are incapable of sustaining the loads that current design standard demand. This is especially true for those bridges which were built before 1985 where 50 % or 70 % of the loading standard was permitted in design. Markings that restrict the weight of trucks passing over such the bridges are essential.

One method that can be applied to strengthen existing bridges is external prestressing. Several benefits can be obtained by using this method, eg, it can be used without disrupting to traffic .it is quick and easy to install, it provides and economics and efficient solution, and it can be applied to various of bridge types.

## DAFTAR ISI

	Hal
Halaman Judul .....	i
Halaman Pengesahan .....	ii
Halaman Persembahan .....	iii
Halaman Motto .....	iv
Kata Pengantar .....	v
Abstrak .....	viii
Abstract .....	ix
Daftar Isi .....	x
Daftar Gambar .....	xiv
Daftar Tabel .....	xviii
Daftar Lampiran .....	xvi
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Tujuan .....	5
1.3 Batasan Masalah .....	5
BAB II. LANDASAN TEORI .....	7
2.1 Konsep Dasar Sistem Prategang .....	7
2.1.1 Konsep Balok Homogen .....	7
2.1.2 Konsep Gaya Dalam .....	8
2.1.3 Konsep Beban Berimbang .....	9
2.2 Sistem <i>Internal Prestressing</i> .....	10
2.2.1 Sistem Pratarik ( <i>Pretension</i> ) .....	11
2.2.2 Sistem Pasca Tarik ( <i>Posttension</i> ) .....	11

2.3 Sistem <i>External Prestressing</i> .....	12
2.3.1 Jenis Penerapan <i>External Prestressing</i> Pada Elemen Jembatan .....	12
2.3.2 Keuntungan dan Kerugian <i>External Prestressing</i> .....	14
2.4 Kehilangan Gaya Prategang .....	16
2.5 Kuat Lentur Balok Prategang .....	19
2.5.1 Tegangan Akibat Gaya Prategang dan Momen Lentur.....	19
2.5.2 Pola Tegangan Balok Prategang .....	22
2.6 Kuat Geser Beton Prategang .....	27
2.7 Lendutan Akibat Adanya Gaya Prategang .....	28
2.7.1 Lendutan Akibat Gaya Prategang .....	30
2.7.2 Lendutan Sebelum diberi Gaya Prategang .....	31
2.7.3 Lendutan Setelah diberi Gaya Prategang .....	31

### BAB. III METODE *EXTERNAL PRESTRESSING* PADA JEMBATAN

CIKERUH .....	35
3.1 Analisa Penampang .....	35
3.2 Unsur – unsur Perkuatan .....	39
3.2.1 Strand .....	39
3.2.2 Angker .....	42

3.2.3 Lapis Pelindung .....	49
3.3 Penempatan Kabel <i>External Prestressing</i> .....	49
3.4 Teknis Pelaksanaan di Lapangan .....	51

#### BAB IV ANALISIS *EXTERNAL PRESTRESSING* PADA JEMBATAN

CIKERUH .....	53
4.1 Data Jembatan Cikeruh .....	53
4.2 Analisa Penampang <i>External Prestressing</i> .....	55
4.2.1 Analisa Penampang Balok Tengah .....	55
4.2.2 Analisa Penampang Balok Tepi .....	66
4.3 Kontrol Kekuatan Geser .....	77
4.3.1 Kuat Geser Balok Tengah .....	77
4.3.2 Kuat Geser Balok Tepi .....	80
4.4 Kontrol Lendutan .....	83
4.4.1 Lendutan Pada Gelagar Tengah Jembatan .....	83
4.4.2 Lendutan Pada Gelagar Tepi Jembatan .....	89
4.5 Hasil Analisa Penampang .....	96
4.6 Analisa Angkur .....	98
4.6.1 Sambungan Pelat Pengaku dan Pelat Dasar .....	98
4.6.2 Sambungan Pelat Dasar dengan Gelagar Beton .....	103



## DAFTAR TABEL

	hal
Tabel 2.1 Prosentase rata-rata dari kehilangan gaya prategang .....	18
Tabel 2.2 Angka pengali yang diusulkan untuk digunakan sebagai pedoman memperkirakan lendutan ke atas dan lendutan jangka panjang untuk komponen struktur tipikal .....	29
Tabel 2.3 Harga faktor konstanta ketergantungan waktu untuk beban tetap pada keadaan jangka panjang .....	34
Tabel 3.1 Sifat-sifat strand 7 wires .....	40
Tabel 4.1 Tegangan lentur gelagar jembatan .....	96
Tabel 4.2 Jarak tulangan geser .....	97
Tabel 4.3 Lendutan gelagar jembatan .....	97
Tabel 5.1 Tegangan lentur penampang gelagar jembatan dengan eksentrisitas yang diperkecil .....	115
Tabel 5.2 Tegangan lentur penampang gelagar jembatan dengan gaya prategang 2 x 18,00 ton .....	122
Tabel 5.3 Lendutan gelagar jembatan akibat gaya prategang 2 x 18 ton .....	130

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Foto pencatatan ukuran jembatan dan kondisi sungai
- Lampiran 2 Foto pengambilan beton dengan *Core Drill* untuk mengetahui mutu beton sesungguhnya
- Lampiran 3 Foto pengujian keandalan sistem anker di laboratorium
- Lampiran 4 Foto pemasangan anker untuk uji coba laboratorium
- Lampiran 5 Foto pengeboran gelagar jembatan untuk pemasangan anker
- Lampiran 6 Foto pemasangan anker pada gelagar jembatan
- Lampiran 7 Foto *Load cell* untuk mengukur besarnya gaya pada kabel
- Lampiran 8 Foto proses penegangan kabel
- Lampiran 9 Foto kondisi kabel sebelum ditegangkan
- Lampiran 10 Foto kondisi kabel setelah ditegangkan
- Lampiran 11 Foto deviator
- Lampiran 12 Foto pengecatan deviator
- Lampiran 13 Foto pengisian *Epoxy* pada celah antara landasan anker dan balok beton
- Lampiran 14 Foto pengisian lapis pelindung korosi pada baji
- Lampiran 15 Denah jembatan Cikeruh
- Lampiran 16 Detail anker dan deviator

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Berdasarkan data yang ada pada Puslitbang Jalan Departemen Pekerjaan Umum Bandung diperoleh data, jumlah jembatan beton bertulang yang dibangun pada jalan nasional dan propinsi mencapai 5000 jembatan, sedangkan sekitar 12.000 jembatan lagi terletak pada jalan kabupaten dan kotamadya. Beberapa diantaranya sudah tua dan sudah tidak dapat dipakai lagi untuk memikul beban seperti yang telah ditetapkan dalam standar pembebanan jembatan sekarang ini. Dari hasil inventarisasi tersebut, terdapat sekitar 30 persen dari jembatan beton bertulang berumur lebih dari 30 tahun.

Pada dekade sekarang ini, berat dan volume kendaraan terus bertambah sejalan dengan meningkatnya kebutuhan transportasi yang cepat dan efisien. Akan tetapi, dana untuk pemeriksaan, pemeliharaan, dan perbaikan dari jembatan sering tidak mencukupi. Dalam situasi seperti ini, ternyata sebagian besar dari jembatan yang ada masih dapat berfungsi. Hal ini terjadi karena pada umumnya jembatan direncanakan secara konservatif, sehingga menghasilkan cadangan kekuatan yang besar. Pada era tahun 70-an sampai pertengahan tahun 80-an penggunaan 50 dan 70 persen pembebanan standar masih diijinkan untuk jembatan yang terletak pada ruas jalan kabupaten dan kotamadya sedangkan pada era pembangunan jembatan

sebelum tahun 1970 digunakan standar pembebanan jembatan lama dimana sistem pembebanan ada dibawah standar yang berlaku sekarang ini.

Dari segi perencanaan, sejak pertengahan tahun delapan puluhan telah dikeluarkan ketentuan bahwa didalam perencanaan suatu jembatan baik yang berada pada ruas jalan kabupaten, kotamadya, propinsi, maupun jalan nasional harus menggunakan 100 persen pembebanan standar Bina Marga. Akan tetapi dengan bertambahnya volume dan beban kendaraan, serta akibat pelapisan aspal yang berada di atas jembatan akan mengakibatkan penambahan beban, maka lama kelamaan cadangan kekuatan ini akan habis sehingga perlu adanya penggantian jembatan atau pembatasan kendaraan yang akan lewat di atas jembatan.

Banyak jembatan-jembatan yang direncanakan berdasarkan peraturan pembebanan lama, sudah tidak memadai lagi untuk memikul beban kendaraan-kendaraan berat saat ini. Dalam menghadapi masalah ini, para perencana menghadapi dua pilihan, yaitu menerapkan pembatasan beban bagi kendaraan yang akan lewat atau mengganti jembatan lama dengan yang baru. Dalam pengalokasian anggaran sekarang ini, ada kecenderungan untuk tetap memanfaatkan jembatan yang sudah ada dengan meminimumkan pemeliharaan. Dalam hal ini, perkuatan jembatan dapat menjadi salah satu alternatif yang efektif dan ekonomis.

Secara umum, biaya perkuatan jembatan akan lebih kecil dibandingkan dengan biaya untuk penggantian jembatan. Biaya-biaya pemeliharaan sepanjang umur pelayanan perlu dimasukkan kedalam pertimbangan ekonomis. Demikian pula dengan kondisi jembatan yang ada, karena jika jembatan yang akan

diperbaiki dalam kondisi jelek, maka masalah pemeliharaan dan keamanan dikemudian hari dapat menghilangkan keuntungan dari penggunaan sistem perkuatan. Kondisi pangkal jembatan, pilar, dan pondasi juga perlu diperhitungkan, agar kenaikan beban akibat diperkuatnya bangunan atas tidak menyebabkan keruntuhan pada bangunan bawah.

Pemilihan metode perkuatan yang sesuai untuk suatu jembatan, tergantung pada beberapa faktor. Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan antara lain :

1. Tipe struktur, besarnya gaya perkuatan dan biaya yang diperlukan.
2. Keawetan, kemudahan pemeriksaan dan penggantian komponen jembatan yang akan diperbaiki.
3. Sistem perkuatan jembatan yang dapat meningkatkan kapasitas daya dukungnya sesuai dengan kondisi lalu-lintas di masa datang.
4. Segi estetika yang berkaitan dengan penampilan jembatan sesudah diperkuat.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan kapasitas daya dukung jembatan adalah *external prestressing*. Di dalam pelaksanaan sekarang ini penerapan *external prestressing* akan digunakan untuk meningkatkan kapasitas daya dukung pada jembatan beton bertulang.

Sistem *external prestressing* telah digunakan sejak tahun 1950-an, akan tetapi di Indonesia baru dimulai sekitar pertengahan tahun 1990-an. Gaya prategang dapat diterapkan pada suatu elemen konstruksi dengan menggunakan *single multi strand* ataupun dengan menggunakan baja mutu tinggi.

*External prestressing* digunakan untuk meningkatkan kemampuan dari jembatan lama. Metode ini dapat mencegah atau memperlambat awal retakan pada struktur beton atau bahkan dapat juga digunakan untuk menutup/merapatkan retakan-retakan yang sudah ada. Semua keunggulan dalam memperbaiki keretakan pada beton ini akan meningkatkan ketahanan tulangan terhadap bahaya korosi. Penambahan kekakuan akibat adanya gaya prategang dapat mengurangi defleksi dan getaran akibat beban kendaraan.

Tegangan akibat beban hidup (*stress range*) dapat dikurangi, sehingga otomatis kemungkinan terjadinya *fatigue* dapat dikurangi juga. Demikian pula dengan lendutan akibat beban mati dapat dikurangi atau bahkan dihilangkan.

Beberapa jembatan beton bertulang akan dipilih dari data *Bridge Management System* (BMS). Dari peninjauan di lapangan terhadap beberapa jembatan di Jawa Barat ditentukan tiga jembatan yang dipertimbangkan sebagai jembatan uji yaitu, jembatan Cibodas di kabupaten Subang, jembatan Balenyeked di kabupaten Subang dan jembatan Cikeruh di kabupaten Bandung. Dari ketiga jembatan tersebut secara teknis yang memenuhi persyaratan untuk dilakukan perkuatan adalah jembatan Cikeruh dengan panjang bentang 15,00 meter dengan tipe bangunan atas gelagar balok beton bertulang dan terletak pada ruas jalan alternatif yang padat sebelum memasuki kota Bandung.

## 1.2 Tujuan

Penulisan studi kasus untuk Tugas Akhir diambil dari seputar pemanfaatan *external prestressing* untuk meningkatkan kapasitas daya dukung jembatan Cikeruh, Sapan, Kabupaten Bandung.

Adapun yang menjadi tujuan dari studi kasus ini adalah:

1. Memperkenalkan tentang pemanfaatan *external prestressing* untuk perkuatan jembatan lama dengan kondisi dan permasalahan seperti yang telah diuraikan sebelumnya.
2. Memberdayakan jembatan-jembatan beton yang kondisinya masih cukup baik akan tetapi mempunyai daya dukung di bawah standar.
3. Mengevaluasi efektif tidaknya penggunaan sistem *external prestressing* dalam rangka meningkatkan kemampuan memikul beban dari jembatan beton bertulang yang sudah ada
2. Dengan mengetahui efektifitas sistem *external prestressing* ini, dapat digunakan sebagai salah satu cara untuk meningkatkan kemampuan dari ribuan jembatan beton bertulang yang mengalami *overloaded* secara cepat dan tanpa perlu menghentikan kendaraan yang lewat di atasnya.

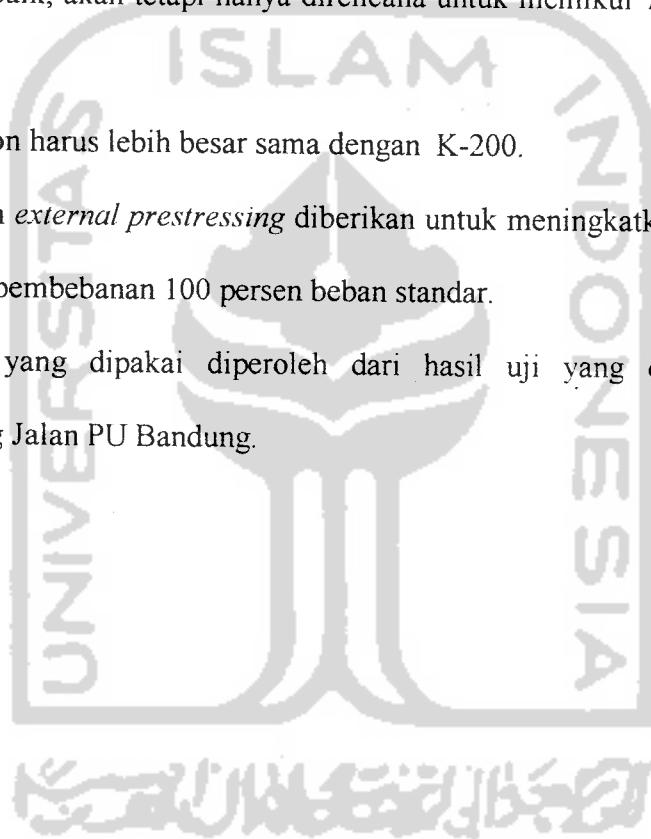
## 1.3 Batasan Masalah

Penerapan sistem *external prestressing* untuk meningkatkan kapasitas memikul beban pada jembatan beton bertulang diambil dari pelaksanaan pada jembatan Cikeruh, Sapan, Bandung. Pengujian terhadap tipe, ukuran dan bahan

angker serta deviator dilakukan di Laboratorium Puslitbang Jalan Pekerjaan Umum Bandung untuk kemudian diterapkan di lapangan.

Batasan yang diterapkan antara lain :

1. Keadaan jembatan yang akan diberi *external prestressing* harus dalam keadaan baik, akan tetapi hanya direncana untuk memikul 70 persen beban standar.
2. Mutu beton harus lebih besar sama dengan K-200.
3. Penerapan *external prestressing* diberikan untuk meningkatkan kemampuan memikul pembebanan 100 persen beban standar.
4. Deviator yang dipakai diperoleh dari hasil uji yang dilakukan oleh Puslitbang Jalan PU Bandung.





## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Konsep Dasar Sistem Prategang

Bila meninjau tegangan-tegangan di dalam beton prategang dibawah kondisi beban layan, ada tiga pola umum yang dapat diterapkan.

##### 2.1.1 Konsep Balok Homogen

Pada konsep ini, beton yang bersifat getas diperlukan sebagai bahan yang elastis, yaitu dengan cara memberi gaya tekan terlebih dahulu. Apabila beton dibebani gaya internal/prategang dan beban eksternal, beton akan mengalami dua jenis tegangan. Tegangan tarik terjadi akibat beban eksternal dan tegangan tekan terjadi akibat gaya prategang, dimana tegangan tekan ini akan memberikan perlawanan terhadap tegangan tarik yang terjadi. Sehingga retak-retak yang mungkin terjadi akibat tegangan tarik dapat dicegah atau diperlambat.

Pengaruh langsung gaya prategang  $P$  pada tampang balok, akan menghasilkan tegangan merata sebesar  $f = P/A$ . Jika dikehendaki pemasangan tendon yang eksentris, maka akan terjadi momen akibat gaya prategang. Besarnya tegangan yang terjadi akibat momen tersebut adalah  $f = P.e.y / I$  dengan  $P$  adalah gaya prategang,  $e$  adalah eksentrisitas  $y$  adalah letak titik berat dan  $I$  adalah momen inersia. Sedangkan akibat momen eksternal akan menghasilkan tegangan sebesar  $f = M.y / I$ . Maka kombinasi tegangan, dengan tendon tanpa

eksentrisitas  $f = P/A \pm y / I$ , dan untuk tendon dengan eksentrisitas adalah  
 $f = P/A \pm P.e.y / I \pm M.y / I$ .

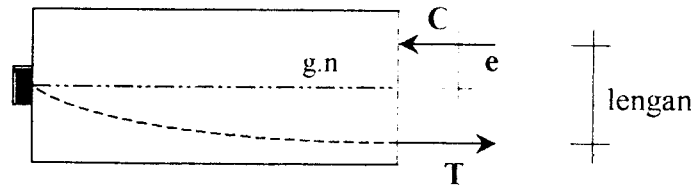
### 2.1.2 Konsep Gaya Dalam

Cara ini menggunakan keseimbangan gaya-gaya dalam baja memikul tarikan dan beton memikul tekan sebagai terlihat dalam gambar 2.1. Metode ini merupakan analogi metode kopel dalam yang digunakan dalam beton bertulang konvensional. Pada beban layan, titik tangkap dari gaya-gaya C dan T ( $C = T$ ) dalam beton bertulang adalah bebas dari besarnya momen lentur yang bekerja, dan tergantung hanya dari dimensi potongan dan perbandingan modulus elastis  $n$ . Dengan demikian besar gaya-gaya secara langsung sebanding dengan momen lentur yang bekerja.

Di dalam beton prategang, besar gaya-gaya-dalam bebas dari momen lentur yang bekerja, hanya tergantung pada gaya prategang dan prosentase kehilangan gaya prategang. Di dalam hal ini letak gaya C harus bervariasi sesuai dengan beban yang bekerja. Cara ini dapat disimpulkan dalam langkah-langkah sebagai berikut :

1. Suatu gaya prategang yang diketahui dan yang dikerjakan terhadap baja menentukan besarnya T.
2. Momen M eksternal dikerjakan atas balok.
3. Untuk keseimbangan, lengan momen =  $M/T$  dan  $C = T$
4. Dengan mengetahui besar dan letak titik tangkap dari gaya C, tegangan pada beton dapat dihitung sebagai :

$$f = \frac{C}{A} \pm \frac{C \cdot e \cdot y}{I}$$



Gambar 2.1. Konsep gaya dalam prategang

### 2.1.3 Konsep Beban Berimbang

Konsep ini memandang gaya prategang terutama sebagai suatu usaha pengimbangan beton pada unsur. Tendon prategang diletakkan sedemikian rupa hingga eksentrisitas dari gaya prategang bervariasi dengan cara yang serupa seperti momen dari beban-beban luar, yang jika dikerjakan tidak akan menghasilkan tegangan lentur, dan hanya tegangan aksial  $P/A$  ( $P$  adalah komponen horisontal dari gaya dalam tendon) yang bekerja. Gambar 2.2.a menunjukkan bahwa tendon direntangkan secara parabolis. Gambar 2.2.b memberikan beban bebas dari gaya-gaya yang bekerja pada beton akibat prategang saja. Pengaruh dari prategang dapat dipandang sebagai suatu beban merata ke atas jika tendon direntangkan parabolis. Momen prategang maksimum sebesar  $T_{e_{max}}$  pada tengah bentang dapat diimbangi dengan momen balok akibat beban merata ekuivalen  $q_p L^2 / 8$  sehingga :

$$q_p = \frac{8 \cdot T \cdot e_{\max}}{L^2} = \text{beban merata ekivalen (ke atas)}$$

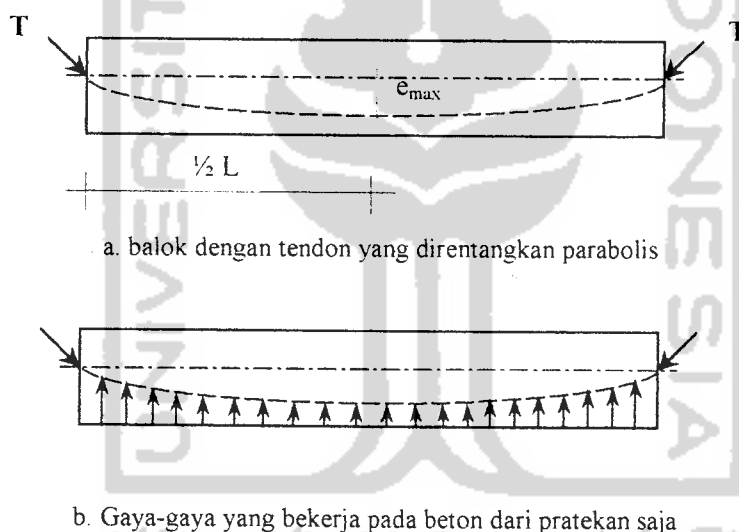
dan

$$q_{\text{net}} = q \text{ (beban ke bawah sebenarnya) } - q_p$$

dan tegangan yang terjadi

$$f = -\frac{C}{A} \pm \frac{M_{\text{net}} \cdot y}{I}$$

Jika tendon direntangkan tidak dengan bentuk parabolis, momen netto sebenarnya adalah momen beban kerja dikurangi momen prategang.



Gambar 2.2 Konsep beban berimbang pada beton pratekan

## 2.2 Sistem *Internal Prestressing*

Definisi *internal prestressing* adalah pemberian gaya tekan *internal* pada suatu elemen struktur dengan cara memberikan tegangan pada tendon yang terdapat di dalam elemen struktur tersebut, dengan besar dan distribusi tegangan yang akan terjadi direncanakan sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban eksternal. Pada elemen-

elemen beton bertulang, sistem prategang biasanya dilakukan dengan menarik tulangnya [Lyn Ned, TY, Burns, H, *Desain Struktur Beton Prategang*].

### 2.2.1 Sistem Pratarik (*Pretension*)

Istilah pratarik dipakai untuk menggambarkan sistem prategang dimana tendon-tendon ditarik sebelum elemen beton dicor. Cara pelaksanaannya adalah tendon-tendon harus diangkurkan pada *abutment* atau lantai penahan pada waktu ditarik dan gaya prategang ditransferkan setelah beton mengeras. Kebanyakan cara ini diterapkan pada pabrik beton pracetak atau pada laboratorium yang mempunyai lantai penahan tarikan yang tetap, atau dapat juga diterapkan di lapangan jika dinding penahan dapat dibuat secara ekonomis.

Pada sistem pratarik, tendon-tendon memindahkan gaya prategang ke beton melalui rekatan (*bond*) didekat ujung-ujungnya. Keefektifan pemindahan gaya tersebut terbatas untuk kawat (*strand*) dengan diameter lebih besar yang memiliki sifat rekatan yang lebih baik dari kawat polos. *Strand* yang umum digunakan adalah untaian tujuh kawat, yang juga banyak dipakai di dalam sistem pasca-tarik

### 2.2.2 Sistem Pasca-tarik (*Posttension*)

Sistem ini merupakan kebalikan dari sistem pratarik, yaitu tendon ditarik setelah beton mengeras. Jadi sistem prategang hampir selalu dikerjakan pada beton yang telah mengeras, dan tendon diangkurkan pada elemen beton tersebut segera setelah penegangan. Cara ini dapat dipakai pada elemen-elemen baik beton pracetak maupun pada beton yang dicetak di tempat.

Pada sistem pasca-tarik tendon diangkurkan pada ujungnya dengan bantuan alat-alat mekanis untuk mengalihkan gaya prategang ke beton, cara seperti ini disebut pengangkurkan ujung. Tendon pada sistem pasca-tarik yang diisi air semen dan pasir halus (*grouting*) setelah penarikan kabel selesai, angkur ditinggalkan selama konstruksi elemen tersebut berdiri.

### **2.3 Sistem *External Prestressing***

Pada dasarnya sistem *external prestressing* sama dengan sistem prestressing yang selama ini dikenal, yaitu memberikan gaya tekan dengan atau tanpa eksentrisitas pada suatu konstruksi dengan maksud untuk menaikkan kapasitas lentur, geser dan memperbaiki ketahanan suatu konstruksi terhadap retakan. Tendon pada sistem *external prestressing* ini diletakkan di luar tampang, bentuk lay out tendon yang dipasang disesuaikan dengan tujuan dari perkuatannya.

#### **2.3.1 Jenis Penerapan *External Prestressing* Pada Elemen Jembatan**

##### **1 Penerapan Pada Jembatan Tipe Balok**

Pada umumnya *external prestressing* diterapkan pada jembatan tipe balok. Berbagai bentuk/profil tendon dapat digunakan untuk memenuhi besarnya kombinasi momen dan gaya normal yang diperlukan. Penambahan suatu elemen tekan dapat dilakukan apabila tegangan tekan yang timbul akibat adanya gaya prategang melebihi batas tegangan tekan yang diijinkan.

*External prestressing* dapat digunakan untuk memperbaiki setiap macam gelagar jembatan, seperti gelagar kayu, beton bertulang, beton pratekan, baja dan

bahan komposit. Tujuan utama dari penggunaan sistem *external prestressing* adalah untuk meningkatkan kekuatan lentur sesuai dengan yang diinginkan, dalam batas-batas tertentu. Mengingat gelagar yang ada kondisinya sudah tidak mampu lagi memikul beban standar yang berlaku saat ini. Metode ini dapat juga digunakan untuk menaikkan kapasitas geser yang ada.

## 2. Penerapan pada Pelat Jembatan

Hingga saat ini belum ada yang menerapkan kasus-kasus pelat yang diperkuat dengan menggunakan *external prestressing*. Pada dasarnya sistem ini dapat digunakan untuk menggantikan gaya prategang yang hilang pada struktur pelat prategang. Tetapi kesulitan yang mungkin timbul adalah penempatan anker pada pelat yang ada.

## 3. Penerapan Pada Jembatan Rangka Baja

Teknik perkuatan *external prestressing* telah digunakan pada jembatan rangka baja sejak tahun 1950-an dengan berbagai kombinasi. Puslitbang PU sendiri telah melakukan uji coba terhadap jembatan rangka baja pada jembatan baja Kemlaka-Gede Cirebon-Palimanan dengan hasil yang memuaskan.

## 4. *External Prestressing* Arah Melintang

*External prestressing* dapat juga digunakan dalam arah melintang, yaitu untuk memperbaiki distribusi beban arah melintang. Metode ini sangat baik digunakan untuk menambah kekakuan melintang dan sangat baik untuk

menggantikan kehilangan gaya prategang arah melintang karena rangkai dan korosi.

Cara ini dapat digunakan untuk memperbaiki balok atas/kantilever dari pilar jembatan yang mengalami retak akibat momen berlebih.

### 5. *External Prestressing Arah Vertikal*

*External prestressing* arah memanjang dapat memperbaiki kapasitas geser dari balok. Akan tetapi apabila perkuatan lebih ditekankan untuk memperbaiki kapasitas geser dari pada kapasitas lentur balok, maka *external prestressing* arah vertikal akan lebih efektif.

*External prestressing* arah vertikal dapat diterapkan pada sisi balok. Pada konstruksi *box girder*, penempatan kabel dapat dilakukan pada sisi dalam dan sisi luar dinding *box girder*.

Karena pada umumnya *external prestressing* arah vertikal hanya memerlukan panjang yang sedikit, maka penggunaan batang baja tegangan tinggi lebih disukai dengan cara mengencangkan baut pada ulirnya.

Untuk jembatan yang terletak pada daerah gempa, penggunaan prategang arah vertikal akan sangat membantu memegang struktur bangunan atas untuk tetap terikat pada bangunan bawahnya.

### 2.3.2 Keuntungan dan Kerugian *External Prestressing*

Sebagaimana yang ada pada semua metoda perkuatan, terdapat hal-hal yang menguntungkan dan kurang menguntungkan.



## 1. Keuntungan

- Metode ini cukup ekonomis, karena cukup mudah diterapkan dan tidak perlu mengganti struktur atas bangunan jembatan. Peralatan yang digunakan cukup ringan dan mudah dioperasikan. Angker dan deviator dengan mudah dapat dibuat dan dipasang.
- Kekuatan geser dan lentur balok dapat sekaligus ditingkatkan.
- Konstruksi ini mudah diperiksa dan dirawat, sehingga menambah keandalan dari jembatan.
- Kabel/tendon dapat ditegang ulang (*re-stressed*). Penegangan ulang ini dapat dilakukan tanpa mengganggu arus lalu lintas yang lewat diatas jembatan asalkan kompensasi akibat adanya kendaraan selama penegangan sudah diperhitungkan. Besar tegangan dapat ditingkatkan guna menghadapi kemungkinan kenaikan dan volume lalu lintas di masa depan. Penegangan ini dapat juga digunakan untuk mengetahui beban sisa yang bekerja pada tendon.
- Bagi tendon yang sudah terserang korosi, tendon tersebut dapat diganti dengan yang baru dan dipasang pada tempat yang lama.
- Dengan *external prestressing*, perkuatan jembatan dapat dilakukan tanpa mengganggu lalu lintas diatas jembatan.
- Kehilangan gaya prategang akibat gesekan pada *external* tendon lebih kecil dibanding dengan *internal* tendon. Hal ini berarti bahwa tendon dapat dibuat lebih panjang dengan sudut kemiringan yang lebih besar.
- Tersedianya berbagai metode proteksi korosi dapat melindungi *external* tendon.

## 2. Kerugian

- Penerapan sistem ini sangat tergantung pada kondisi jembatan yang ada. Untuk jembatan beton dengan mutu rendah maka gaya prategang yang diberikan menjadi terbatas.
- Diperlukan ketelitian dalam pemasangan deviator dan angker, untuk mencegah terjadinya konsentrasi tegangan pada struktur jembatan lama.
- *External* tendon lebih rawan terhadap kecelakaan dari luar, seperti kebakaran, sehingga aspek keamanan dari *external* tendon ini perlu dipertimbangkan.
- Dari segi estetika struktur diluar, terlebih yang berada dibawah gelagar jembatan memberikan kesan kurang menarik.
- Diperlukan pentahapan dalam penegangan kabel untuk menghindari resiko retak pada pelat akibat adanya perbedaan lendutan pada balok akibat penegangan.

### 2.4 Kehilangan Gaya Prategang

Besarnya kehilangan gaya prategang tidak dapat ditentukan dengan pasti hal ini mengingat bahwa kehilangan gaya prategang dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah sifat-sifat beton dan baja, pemeliharaan dan keadaan kelembaban, besar dan waktu penggunaan gaya prategang serta proses penggunaannya itu sendiri. Dimana faktor ini akan mempengaruhi penentuan nilai-nilai dari perpendekan elastik, rangkai beton, susut beton dan relaksasi baja, yang mana nilai-nilai ini akan menentukan besarnya kehilangan gaya prategang disamping akibat gaya gesek sepanjang tendon.

Karena kesulitan untuk menentukan besarnya kehilangan gaya prategang yang pasti tersebut, maka dalam perencanaan diperbolehkan menggunakan perkiraan yang masuk akal agar dapat menjamin kondisi memenuhi syarat pada beban kerja, hal ini sesuai dengan pernyataan komisi *Prestressed Concrete Institute* (PCI) pada tahun 1975 sebagai berikut :

Penentuan kehilangan tegangan yang tepat pada komponen-komponen struktur beton prategang adalah persoalan yang rumit karena laju kehilangan tegangan akibat satu faktor seperti relaksasi pada tendon secara terus-menerus berubah oleh tegangan akibat faktor-faktor lain yang tidak pasti.

Sebagai kendala terhadap ketidakpastian tadi akibat interaksi dari susut, rangkai dan relaksasi, kondisi fisik seperti variasi pada sifat beton yang sebenarnya dibuat dengan kekuatan sama, dapat menimbulkan kehilangan tegangan total yang berbeda. Sebagai hasilnya perhitungan kehilangan prategang tidak harus eksak, tetapi prosedur yang akan dikemukakan di sini akan memberikan hasil yang lebih teliti.

Kesalahan didalam menentukan kehilangan gaya prategang akan mempengaruhi keadaan elemen struktur pada saat dibebani seperti lendutan keatas (*camber*), lendutan ke bawah, dan retak pengaruh pada kekakuan batas (*ultimate strength*) dari komponen struktur yang menahan lentur tidak ada, kecuali jika tendon tidak direkatkan atau tegangan akhir setelah kehilangan kurang dari 0,5 *fpu*.

Tidak dianjurkan bahwa informasi dan prosedur dalam laporan ini memberikan satu-satunya penyelesaian yang memenuhi syarat untuk masalah yang rumit ini. Disini hanya menyatakan titik temu dari komisi yang memiliki pandangan dari hasil penelitian yang

berbeda untuk menghasilkan rumus perancangan, parameter perhitungan yang relatif lebih sederhana dan mudah untuk diteliti.

Dengan mempertimbangkan hal-hal diatas , maka dalam penulisan tugas akhir ini prosentase kehilangan gaya prategang diambil dari ketentuan yang diberikan oleh T.Y. Lyn Ned – H. Burns, yaitu untuk sifat baja dan beton rata-rata yang dirawat dalam kondisi udara rata-rata dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Prosentase rata-rata dari kehilangan gaya prategang

	Pratarik ( % )	Pasca tarik ( % )
- Perpendekan elastis & lentur elastis balok	4	1
- Rangkak beton	6	5
- Susut beton	7	6
- Relaksasi baja	8	8
Kehilangan total	25	20

Prosentase rata-rata kehilangan gaya prategang ini menganggap bahwa telah dilakukan tarikan yang lebih besar untuk mengurangi rangkak pada baja dan mengatasi kehilangan gaya prategang akibat gesekan dan pengangkutan. Tetapi harus diingat bila keadaan bergeser dari rata-rata, kelonggaran yang berbeda harus dibuat sesuai dengan :

- Bila tegangan akibat gaya prategang  $P_o/A_b$  tinggi atau sekitar 7 Mpa ( $70 \text{ kg/cm}^2$ ) maka kehilangan prategang ini akan bertambah sekitar 30 % untuk pratarik dan 25 % untuk pasca tarik.
- Bila tegangan akibat prategang  $P_o/A_b$  rendah atau sekitar 1,7 Mpa ( $17 \text{ kg/cm}^2$ ), kehilangan gaya prategang akan berkurang sampai 18 %

untuk pratarik dan 15 % untuk pasca tarik [Lin Ned, TY, Burns, H, Desain Struktur Beton Prategang ]

## 2.5 Kuat Lentur Balok Beton Prategang

### 2.5.1 Tegangan Akibat Gaya Prategang dan Momen Lentur

#### 1. Tegangan Akibat Gaya Prategang

Menurut praktek sekarang, analisa maupun desain dengan menggunakan beban kerja pada tegangan beton akibat prategang selalu dihitung dengan teori elastisitas (Konsep Balok Homogen). Jika P bekerja pada titik berat penampang beton dan penampang yang dipertimbangkan cukup jauh dari titik bekerjanya gaya prategang, maka dengan prinsip *St.Venant* tegangan satuan beton merata pada seluruh penampang diberikan oleh rumus :

$$f = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana, A = Luas penampang beton

Untuk balok beton pratarik maupun pasca tarik pada kondisi tendon terikat (*bounded*) akibat grouting, luas penampang beton yang dipakai adalah luas penampang transformasi. Sedangkan untuk tendon tak terikat (*unbounded*) luas penampang yang dipakai adalah luas penampang netto.

Apabila gaya prategang bekerja pada penampang dengan eksentrisitas sebesar *e* (gambar 2.3), maka dimungkinkan untuk memecah gaya prategang tersebut menjadi dua komponen yaitu, beban konsentris P yang melalui titik berat dan momen *P.e* diberikan oleh rumus :

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

Dimana,  $M$  = momen akibat gaya prategang

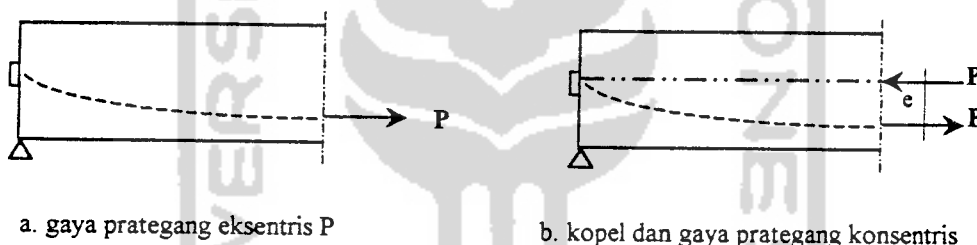
$y$  = letak garis netral

$I$  = inertia tampang

$e$  = eksentrisitas tendon

maka resultan tegangan serat akibat prategang eksentris adalah

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



Gambar 2.3. gaya prategang eksentris pada penampang

## 2. Tegangan pada Balok Beton Prategang Akibat Beban Eksternal

Tegangan pada balok beton prategang yang dihasilkan oleh momen lentur eksternal baik akibat berat sendiri balok atau akibat beban eksternal lainnya dihitung dengan rumus 2.2, dimana momen disini bukan akibat  $P_e$ .

Untuk balok pratarik baja selalu direkatkan ke beton sebelum momen eksternal bekerja, sehingga penampang yang bekerja menahan momen eksternal adalah penampang transformasi, dengan demikian nilai-nilai  $y$  dan  $I$  harus dihitung berdasarkan penampang transformasi. Akan tetapi untuk menyederhanakan analisis yang rumit, penampang bruto dapat dipakai dalam

perhitungan. Kecuali jika diinginkan perhitungan tegangan yang lebih teliti, penampang transformasi adalah yang tepat secara teoritis [ Lyn,Ned, Burns, H, Desain Struktur Beton Prategang].

Balok pascatarik dengan tendon terekat, ketentuan pemakaian penampang sama dengan balok pratarik , seperti yang telah diuraikan di atas. Sedangkan untuk balok pascatarik tanpa rekatan, penentuan nilai  $y$  dan  $I$  dapat dihitung menurut penampang bruto ataupun penampang netto, walaupun secara teoritis yang benar adalah penampang netto [ Lyn,Ned, Burns, H, Desain Struktur Beton Prategang].

Kombinasi tegangan-tegangan pada beton akibat gaya prategang dan beban eksternal diberikan pada persamaan :

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{P.e.y}{I} \pm \frac{M.y}{I} \dots\dots\dots(2.4)$$

### 3. Tegangan-tegangan Ijin pada Beton Prategang

Karena hampir semua kelebihan tegangan pada beton prategang adalah pada tingkat beban kerja dan besarnya gaya prategang umumnya ditentukan oleh tegangan ijin di dalam beton, maka bagian utama hitungan analisis maupun desain harus sesuai dengan peraturan-peraturan tentang tegangan ijin yang berlaku.

Tegangan-tegangan ijin pada beton prategang menurut SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.11.4 adalah :

1). Tegangan beton sesaat sesudah pemindahan gaya prategang (sebelum kehilangan prategang) tidak boleh melampaui :

1. serat lentur mengalami tegangan tekan.....  $\leq 0.60 f'_{ci}$
2. serat lentur mengalami tegangan tarik.....  $\leq 0.25\sqrt{f'_{ci}}$

2). Tegangan beton pada tingkat beban kerja ( saat layan) tidak boleh melampaui :

1. serat lentur mengalami tegangan tekan.....  $\leq 0.45 f'_{c}$
2. serat lentur mengalami tegangan tarik.....  $\leq 0.50\sqrt{f'_{c}}$

Bila tegangan tarik yang terjadi melebihi ketentuan tersebut di atas, maka tulangan non prategang perlu dipasang untuk menahan tegangan tarik total yang terjadi pada balok beton prategang.

### 2.5.2 Pola Tegangan Balok Prategang

Pola tegangan yang terjadi pada penampang balok beton prategang direncanakan dengan cara meninjau tegangan akibat gaya dan beban yang bekerja pada tahap-tahap tertentu.

#### 1. Tahap Awal

Batang atau strukur diberi gaya prategang tetapi tidak dibebani oleh beban eksternal. Tahap ini selanjutnya dapat dibagi dalam beberapa tahap.

##### a. Sebelum Diberi gaya Prategang

Sebelum beton diberi gaya prategang, beton cukup lemah dalam memikul beban, oleh karena itu harus dicegah agar tidak terjadi kehancuran pada perletakan. Jika diijinkan untuk memperkecil atau menghilangkan retak-retak pada



beton prategang, pemeliharaan (*curing*) yang seksama sebelum peralihan gaya prategang sangat penting. Kekeringan atau perubahan temperatur secara mendadak harus dihindarkan.

**b. Pada Saat Diberi Gaya Prategang**

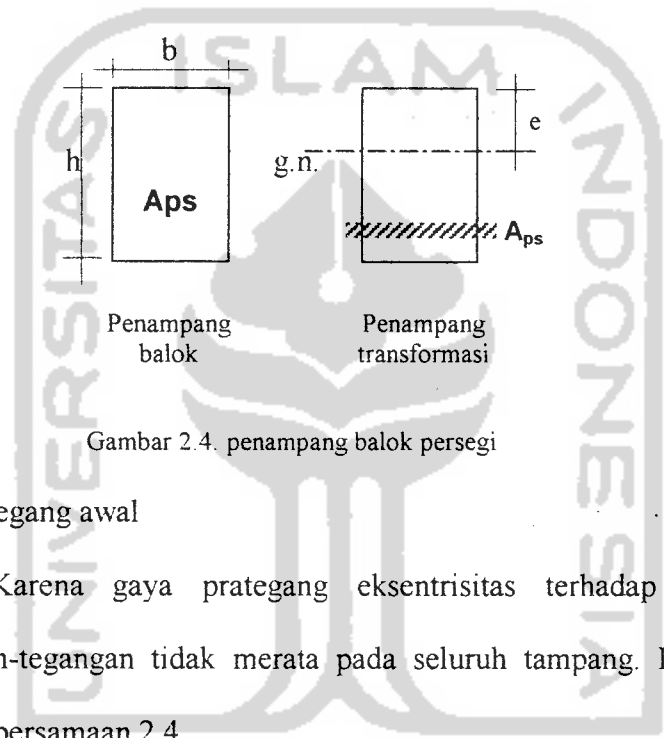
Ini adalah saat yang kritis dari kekuatan tendon. Seringkali, tegangan maksimum yang mungkin dialami oleh tendon – sekitar  $0,80 f_{pu}$  atau  $0,94 f_{py}$  [Lyn, TY, Burns, H, Desain Struktur Beton Prategang]. Kadang-kadang kabel putus sebelum diberi gaya prategang (penarikan kabel), disebabkan cacat pada waktu pembuatan. Tetapi putusnya kabel kurang berarti, karena seringkali di dalam komponen struktur terdapat banyak kabel. Jika sebuah kabel putus dalam satu komponen struktur yang hanya terdiri dari beberapa kabel saja, maka harus segera diganti dengan kabel yang baru. Untuk beton, proses penarikan adalah saat untuk mengetahui kekuatan/daya dukung angkurnya. Karena beton belum cukup umur pada saat itu, sementara gaya prategang mencapai maksimum, kehancuran beton pada saat pengangkutan dapat terjadi jika beton mutunya tidak standar atau terdapat keropos pada beton.

**c. Pada Saat Peralihan Gaya Prategang**

Pada komponen pratarik, peralihan gaya prategang dilakukan sekaligus dan dalam waktu yang singkat. Untuk komponen-komponen pasca-tarik, transfer gaya prategang seringkali secara bertahap, gaya prategang pada tendon dialihkan satu-persatu. Pada keadaan tersebut tidak ada gaya eksternal yang bekerja pada komponen struktur kecuali berat sendiri. Untuk alasan ekonomis, dalam desain

struktur prategang, berat sendiri komponen struktur diperhitungkan untuk mengimbangi lendutan ke atas akibat pengaruh gaya prategang.

Untuk menerangkan mengenai tegangan-tegangan yang timbul, akan diambil balok tampang persegi dengan kedudukan tendon mempunyai eksentrisitas terhadap pusat berat penampang.

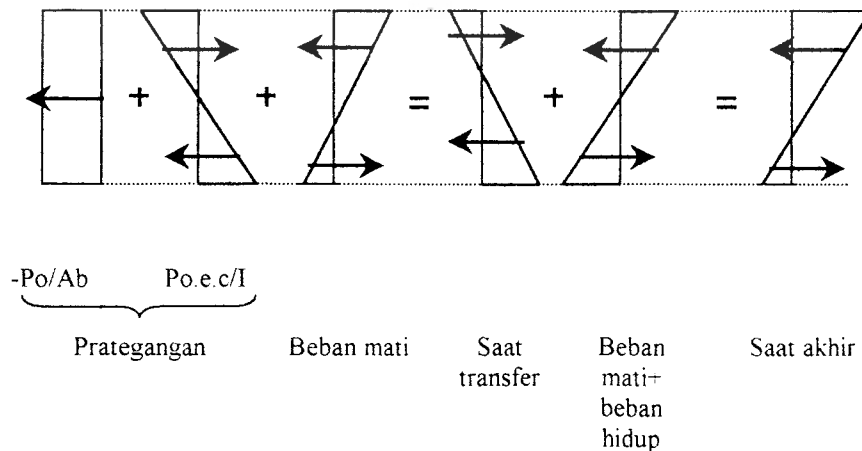


Gambar 2.4. penampang balok persegi

a. Prategang awal

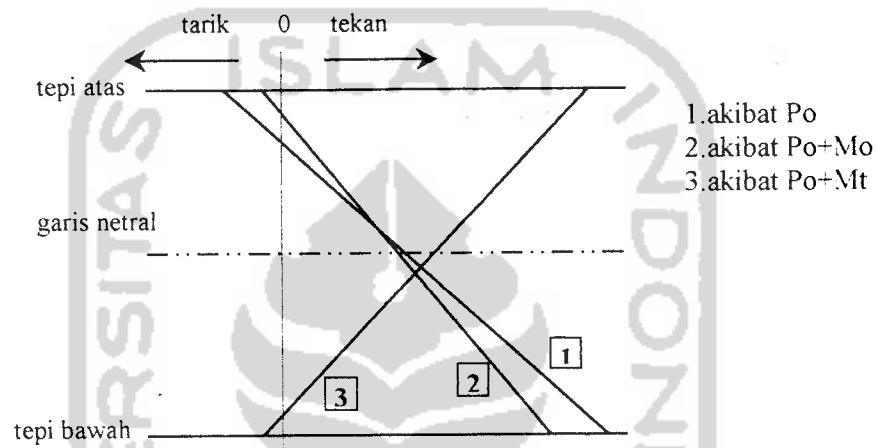
Karena gaya prategang eksentrisitas terhadap garis netral, tegangan-tegangan tidak merata pada seluruh tampang. Dapat dihitung dengan persamaan 2.4.

Diagram tegangan



Gambar 2.5. Tegangan balok ditengah bentang

Pada dasarnya peninjauan pola tegangan balok prategang dilakukan pada dua saat yang berbeda, yaitu saat transfer dan saat layan. Pada saat terjadi tegangan-tegangan awal, beban yang diperhitungkan adalah gaya prategang awal dan beban mati. Apabila letak tendon eksentris terhadap garis netral penampang, mengakibatkan distribusi tegangan pada penampang tidak merata.



Gambar 2.6. Pola Tegangan

Dari gambar diatas didapatkan pola tegangan sebagai berikut :

Pada serat tepi atas :

$$f_t = -\frac{P_o}{A} \left\{ 1 - \frac{e \cdot y_t}{I} \right\} - \frac{M_o \cdot y_t}{I} \dots\dots\dots(2.5)$$

Pada serat tepi bawah :

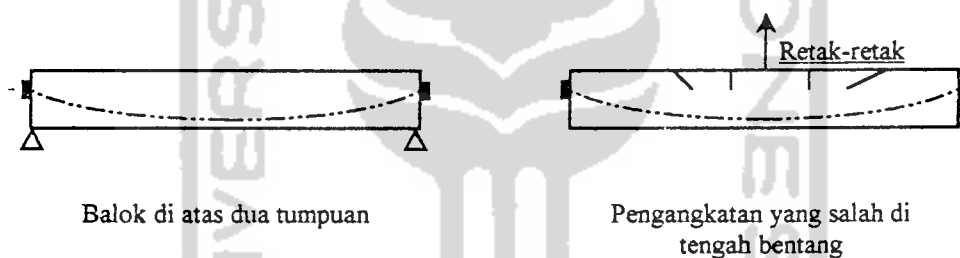
$$f_b = -\frac{P_o}{A} \left\{ 1 + \frac{e \cdot y_b}{I} \right\} + \frac{M_o \cdot y_b}{I} \dots\dots\dots(2.6)$$

Sedangkan pada saat layan beban yang dihitung adalah gaya prategangan setelah mengalami kehilangan prategang, beban mati, beban hidup. Apabila menggunakan tendon *bonded* pada pasca-tarik, perhitungan dengan menggunakan tampang transformasi, akan terdapat hubungan sebagai berikut.

Dimana,  $M_t = \text{Momen total} = M_o + M_{DD} + M_{LL}$   
 $P_o = \text{ gaya prategang awal}$   
 $P_e = \text{ gaya prategang efektif} = (1 - R) \cdot P_o$   
 $R = \text{kehilangan prategang}$

## 2. Tahap Antara (*Intermediate*)

Seringkali lokasi proyek berada pada tempat yang berlainan dengan tempat pembuatan, sehingga diperlukan pengangkatan dan pengakutan komponen-komponen struktur beton prategang. Hal ini penting untuk menjamin bahwa komponen-komponen struktur tersebut dapat diperlakukan dengan benar.



Gambar 2.7. Keruntuhan balok akibat kelalaian dalam pengangkatan

Tidak hanya pada waktu pengangkatan komponen itu sendiri, tetapi juga pada saat penambahan beban mati.

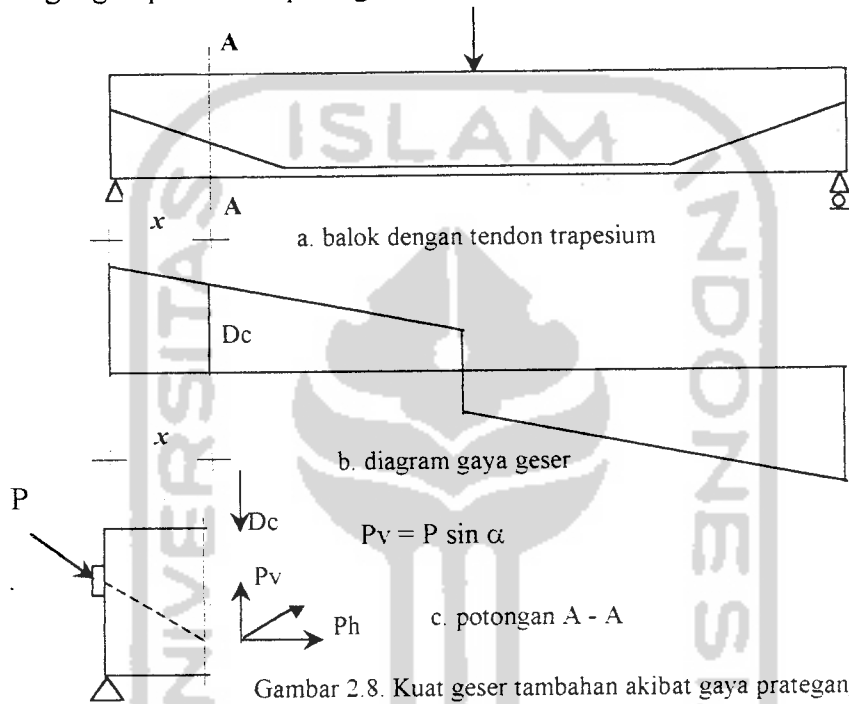
## 3. Tahap Akhir

Lendutan ke atas atau ke bawah dari komponen struktur beton prategang merupakan faktor yang penting dalam perencanaan, sehingga perlu adanya pembatasan lendutan maksimal yang diijinkan.

Struktur yang didesain berdasarkan tegangan kerja, disyaratkan harus mempunyai kekuatan batas, yang didefinisikan sebagai beban maksimum yang dapat dipikul sebelum hancur.

**2.6 Kuat Geser Beton Prategang**

Analisis kuat geser beton prategang pada dasarnya sama dengan analisis kuat geser beton biasa. Sebagai gambaran penambahan kuat geser beton akibat gaya prategang dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.8. Kuat geser tambahan akibat gaya prategang

Apabila diambil potongan A – A sejauh x dari tumpuan maka gaya geser pada potongan A – A akibat beban kerja adalah Dc ( gambar 2.8.b). Sedangkan gaya geser akibat gaya prategang adalah Pv ( gambar 2.8.c). Dengan demikian gaya geser nominal pada potongan A –A adalah :

$$D_n = D_c - P_v \dots\dots\dots(2.7)$$

Dan tegangan geser yang terjadi adalah :

$$\tau = \frac{8 D_n}{7 b.d} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana, b = lebar balok (cm )

d = tinggi efektif balok (cm)

Dengan adanya pengurangan gaya geser akibat beban kerja  $D_c$  oleh adanya gaya prategang  $P_v$ , hal ini menunjukkan bahwa pada beton tegangan gesernya akan berkurang, dengan kata lain kekuatan geser beton akan meningkat.

## 2.7 Lendutan Akibat Adanya Gaya Prategang

Untuk mendapatkan nilai lendutan yang benar-benar tepat tidak mudah, karena nilai dari modulus elastisitas beton dapat berubah sesuai dengan besarnya tegangan dan usia beton. Pada peninjauan lendutan balok pada saat beban kerja, keadaan tegangan beton pada saat ini adalah mendekati atau sama dengan tegangan ijin. Adapun nilai modulus elastisitas beton pada saat beban kerja dapat diambil sesuai dengan ketentuan PBI 1971 pasal 11.1.1, yaitu :

$$E_b = 6400 \sqrt{\sigma'_{bk}} \dots \dots \dots (2.9)$$

Kesulitan lain adalah untuk menentukan nilai koefisien rangkai, karena besar dan lamanya beban yang bekerja tidak dapat diperkirakan terlebih dahulu secara tepat. Akan tetapi untuk tujuan praktis, metode pendekatan untuk memperkirakan lendutan ke atas akibat gaya prategang dari sebuah komponen setelah selang waktu tertentu dapat digunakan angka pengali yang diturunkan oleh *Martin* dan dipakai di *PCI Design Handbook*, ditunjukkan dalam tabel 2.2.

Tabel 2.2. Angka pengali yang diusulkan untuk digunakan sebagai pedoman memperkirakan lendutan ke atas dan lendutan jangka panjang untuk komponen struktur tipikal [ Lyn, Ned ,TY, Burns, H, Desain Struktur Beton Prategang ]

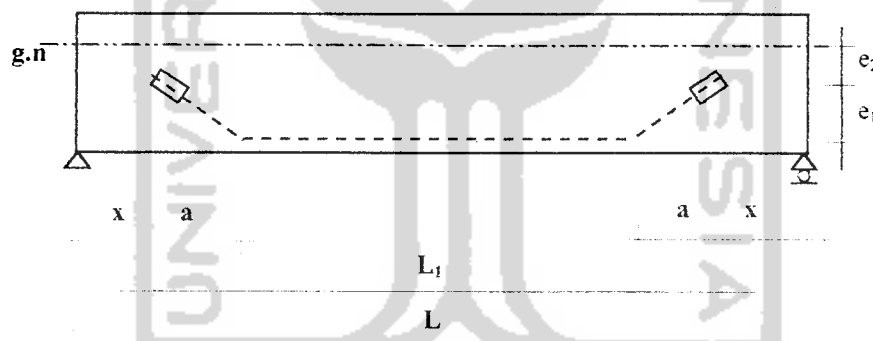
	Tanpa lapisan atas komposit	Dengan lapisan atas komposit
Saat pengangkatan		
1. Komponen lendutan (ke bawah) digunakan untuk lendutan elastik akibat berat komponen struktur saat pelepasan gaya prategang.	1,85	1,85
2. Komponen lendutan ( ke atas ) digunakan untuk lendutan elastik ke atas akibat gaya prategang saat pelepasan gaya prategang.	1,80	1,80
Saat akhir		
3. Komponen lendutan (ke bawah) digunakan untuk lendutan yang pada (1) di atas.	2,70	2,40
4. Komponen lendutan (ke atas) digunakan pada lendutan ke atas ( <i>camber</i> ) yang dihitung pada (2) di atas.	2,45	2,20
5. Lendutan (ke bawah) digunakan pada lendutan elastik hanya akibat beban mati di atasnya.	3,00	3,00
6. Lendutan (ke bawah) digunakan pada lendutan elastik yang disebabkan oleh lapisan atas komposit.	-	2,30

Jika tendon direkatkan pada saat pemakaian beban, penampang yang ditransformasikan termasuk baja, harus dipakai dalam perhitungan momen inerti. Dan jika tidak direkatkan penampang netto beton harus digunakan, akan tetapi untuk tujuan praktis sudah cukup teliti jika dipakai penampang total beton [ Lyn, TY, Burns, H, Desain Struktur Beton Prategang ]

Selain dipengaruhi oleh modulus elastisitas beton, inersia dan koefisien rangkai, lendutan juga ditentukan oleh bentuk dari perletakan tendon seperti bentuk parabola sederhana, parabola offset, lurus segitiga atau trapesium. Karena besarnya eksentrisitas tendon tergantung dari bentuk perletakan tendon tersebut, dimana eksentrisitas ini menentukan besar kecilnya momen yang mengakibatkan lendutan ke atas disamping besarnya gaya prategang itu sendiri.

Dalam Tugas Akhir ini, perletakan tendon yang ditinjau adalah bentuk trapesium seperti yang di terapkan pada jembatan Cikeruh.

### 2.7.1 Lendutan Akibat Gaya Prategang



Gambar 2.9. Perletakan tendon trapesium jembatan Cikeruh

Persamaan lendutan awal di tengah bentang akibat gaya prategang dengan perletakan tendon seperti gambar 2.9. adalah :

$$\Delta_1 = \frac{P_0 \cdot L_1^2}{8 \cdot E \cdot I} \left[ e_2 + e_1 - \frac{e_1}{3} \left( \frac{2 \cdot a}{L_1} \right)^2 \right] \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana,  $\Delta_1$  = lendutan akibat gaya prategang awal (cm)

$P_0$  = gaya prategang awal (kg)

$e_1$  = eksentrisitas tendon di tengah bentang terhadap angkur (cm)

$e_2$  = eksentrisitas angker terhadap garis netral (cm)

$a$  = jarak angker terhadap deviator (cm)



$L_1$  = panjang bentang yang diberi gaya prategang (cm)

Lendutan akhir akibat kehilangan gaya prategang adalah

$$\Delta_2 = \Delta_1 \frac{P_e}{P_o} \dots\dots\dots(2.11)$$

### 2.7.2 Lendutan Sebelum Diberi Gaya Prategang

Kondisi jembatan adalah jembatan lama dimana beban kerja telah membebani gelagar jembatan tersebut, maka analisa lendutan dapat dihitung dengan persamaan 2.12.

$$\delta_{\max} = \frac{5 \cdot (q_{DL} + q_{LL}) \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} + \frac{P \cdot k \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \dots\dots\dots(2.12)$$

- Dimana,  $q_{DL}$  = beban mati (kg/cm)  
 $q_{LL}$  = beban hidup (kg/cm)  
 $L$  = panjang bentang (cm)  
 $E$  = modulus elastis beton (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $I$  = momen inertiya tampang (cm<sup>4</sup>)  
 $P$  = beban garis (kg)  
 $k$  = faktor kejut

### 2.7.3 Lendutan Setelah Diberi Gaya Prategang

Perletakan angker yang tidak berhimpit dengan tumpuan mengakibatkan gaya prategang hanya bekerja pada bentang yang diberi tendon saja, yaitu sepanjang  $L_1$  (gambar 2.9), atau dengan kata lain pada jarak  $x$  dari tumpuan tidak dipengaruhi oleh gaya prategang. Sehingga lendutan yang terjadi sepanjang  $x$  adalah lendutan seperti perilaku beton biasa dan dapat dihitung dengan persamaan :

$$\delta_x = \frac{(q_{II} + q_{III}) \cdot x}{24 \cdot E \cdot I} (L^3 - 2L \cdot x^2 + x^3) + \frac{P \cdot k \cdot x}{48 \cdot E \cdot I} (3L^2 - 4x^2) \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan demikian pada perletakan angker lendutan yang terjadi tidak sama dengan nol, tetapi sebesar  $\delta_x$ . Untuk menghitung saat akhir akibat rangkai maka  $\delta_x$  dikalikan dengan koefisien rangkai dan susut  $\lambda$ .

Perlu diketahui juga bahwa kondisi jembatan Cikeruh merupakan jembatan beton bertulang biasa dan telah lama menerima beban kerja sehingga untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton sesungguhnya, dilakukan dengan mengambil sampel beton (*core drill*), kemudian diuji di laboratorium. Hasil uji inilah yang merupakan nilai kuat beton yang sesungguhnya, kemudian modulus elastis beton tersebut dihitung dengan persamaan 2.9.

Sedangkan nilai momen inertiya yang dipakai untuk menghitung lendutan sesaat beton bertulang biasa harus dihitung dengan menggunakan nilai momen inertiya efektif [ PBI 1989 ]. Dan untuk menghitung momen inertiya efektif ini dapat dengan rumus pendekatan yang diberikan oleh *Branson* ( persamaan 2.14 ), sejak tahun 1971 Peraturan PCI juga telah menggunakan rumus pendekatan *Branson* tersebut.

$$I_e = \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \cdot I_g + \left[ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \cdot I_{cr} \leq I_g \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana,  $M_{cr}$  = momen retak

$$M_{cr} = f_r \cdot (I_g / y_b)$$

$f_r$  = modulus runtuh beton tarik dapat diambil untuk beton normal ( $\text{kg/cm}^2$ )

$$f_r = 0,70 \sqrt{\sigma'_{bk}}$$

$y_b$  = jarak garis netral terhadap serat penampang ekstrim tarik (cm)

$M_a$  = momen akibat beban kerja dimana lendutan hendak dihitung (kg.cm)

$I_{cr}$  = momen inerti transformasi penampang retak (cm<sup>4</sup>)

$I_g$  = momen inerti penampang bruto beton yang belum retak (cm<sup>4</sup>)

Lendutan total akibat kehilangan gaya prategang dan beban tetap di tengah bentang :

$$\Delta_3 = \Delta_2 - \delta_{mak} \dots \dots \dots (2.15)$$

Lendutan total akhir di tengah bentang akibat kehilangan gaya prategang, akibat beban tetap dan akibat dari rangkai serta susut beton dihitung dengan persamaan :

$$\Delta_{total\ akhir} = \Delta_3 \cdot \lambda \dots \dots \dots (2.16)$$

dimana  $\lambda$  = Koefisien rangkai dan susut yang tergantung waktu untuk beban tetap.

Lendutan akibat adanya rangkai dan susut pada balok beton jembatan Cikeruh adalah berperilaku dominan sebagai balok beton biasa, walaupun balok beton tersebut telah diberi gaya prategang dengan sistem *external prestressing*. Untuk menghitung lendutan akibat rangkai dan susut tersebut, PBI 1989 pasal 9.5.2.5 memberikan faktor pengali lendutan sesaat akibat beban tetap yang ditinjau.

$$\lambda = \frac{\xi}{1 + 50 \rho'} \dots\dots\dots(2.17)$$

dimana :  $\rho' = \frac{A_s'}{b \cdot d}$

$\xi$  = faktor konstanta ketergantungan waktu untuk beban tetap ( tabel 2.3 )

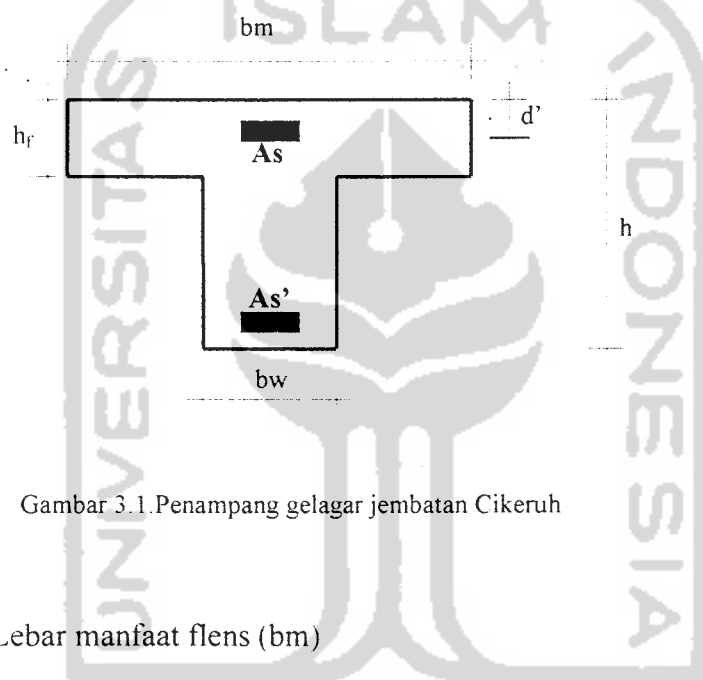
Tabel 2.3 Harga faktor konstanta ketergantungan waktu untuk beban tetap pada keadaan jangka panjang.

Waktu beban tetap kerja	$\xi$
$\geq 5$ tahun	2.0
12 bulan	1.4
6 bulan	1.2
3 bulan	1.0

**BAB III**  
**METODE *EXTERNAL PRESTRESSING***  
**PADA JEMBATAN CIKERUH**

**3.1 Analisa Penampang**

Analisa penampang balok T sebagai berikut :



Gambar 3.1. Penampang gelagar jembatan Cikeruh

- Lebar manfaat flens ( $b_m$ )

menurut PBI 1971 pasal 10.8.3, diambil nilai terkecil dari :

$$b_m \leq b_w + L/5$$

$$b_m \leq b_w + L/10 + b_k/2$$

$$b_m \leq b$$

dimana,  $b_k$  = jarak terkecil antara tengah-tengah badan pada lapangan kiri dan kanan yang berbeda.

$b$  = jarak antara tengah-tengah lapangan kiri dari badan Dan tengah-tengah lapangan kanan dari badan.

- Beban mati ( $q_{DL}$ )

$$* \text{ Balok } = [ h_f \cdot b_m + b_w ( h - h_f ) ] \gamma_{bt}$$

$$* \text{ Aspal } = t \cdot b_m \cdot \gamma_{as}$$

$$* \text{ Air } = t \cdot b_m \cdot \gamma_{air}$$

---


$$q_{DL} = \dots \dots \dots t/m^2$$

- Momen akibat beban mati

$$M_{DL} = 1/8 \cdot q_{DL} \cdot L^2 \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana,  $q_{DL}$  = beban mati ( t/m )

$L$  = panjang gelagar jembatan ( m )

- Beban hidup 100 % Bina Marga ( LL )

$$\text{Faktor kejut } k = 1 + \frac{20}{50 + L}$$

Muatan merata  $q = \dots \dots \dots t / \text{lajur}$

Muatan garis  $P = \dots \dots \dots t / \text{lajur}$

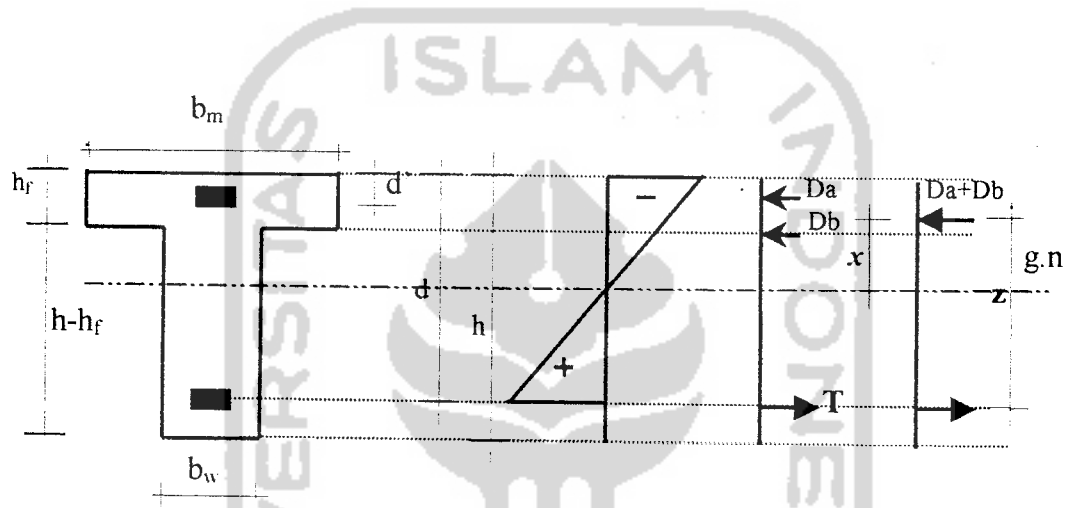
- Momen akibat beban hidup ( 100 % BM)

$$M_{LL} = 1/8 \cdot q \cdot L^2 + 1/4 \cdot P \cdot L \cdot k \dots \dots \dots (3.2)$$

- Statis momen terhadap garis netral

$$b_m \cdot h_f ( y - 1/2 h_f ) + 1/2 \cdot b_w ( y - h_f )^2 + ( n - 1 ) \cdot A_s ( y - d' ) = n \cdot A_s ( d - y ) \dots \dots (3.3)$$

- dimana,  $b_m$  = lebar manfaat flens ( cm )  
 $h_f$  = tebal flens ( cm )  
 $b_w$  = lebar badan ( cm )  
 $y$  = jarak garis netral dari tepi atas ( cm )  
 $h$  = tinggi balok total ( cm )  
 $d'$  = jarak dari tepi atas balok ke pusat tulangan  $A_s'$



Gambar 3.2. Penampang balok jembatan Cikeruh dan diagram tegangannya

- Gaya tekan pada beton

$$D_b = 1/2 \cdot f_c \cdot y \cdot b_m - 1/2 \cdot f_c \cdot (b_m - b_w) \cdot \frac{(y - h_f)^2}{y} \dots\dots\dots(3.4)$$

- Gaya tekan pada baja tulangan

$$D_a = (n-1) \cdot A_s' \left( \frac{y - d'}{y} \right) f_c \dots\dots\dots(3.5)$$

- Jarak titik berat gaya tekan terhadap garis netral

Jika,

$$s = 1/2 \cdot f_c \cdot y \cdot b_m$$

$$t = 1/2 \cdot f_c (b_m - b_w) \frac{(y - h_r)^2}{y}$$

maka,

$$x = \frac{s(2/3 y) - t \cdot 2/3 (y - h_r) + D_a (y - d')}{s - t + D_a} \dots\dots\dots(3.6)$$

- Lengan momen

$$Z = d - y + x \dots\dots\dots(3.7)$$

Dimana, Z = lengan momen (cm)

d = tinggi efektif balok (cm)

y = jarak garis netral ke tepi atas (cm)

x = jarak titik berat gaya tekan terhadap garis netral (cm)

- Tegangan-tegangan yang terjadi pada tampang

Tegangan pada baja tarik akibat beban

$$f_a = \frac{M}{(n \cdot A_s) \cdot z} \dots\dots\dots(3.8)$$

dimana, M = momen akibat beban (kg.cm)

A<sub>s</sub> = luasan baja tarik (cm<sup>2</sup>)

Tegangan pada beton akibat beban

dimana, D<sub>a</sub> + D<sub>b</sub> = T dan T = n.A<sub>s</sub>.f<sub>a</sub>

maka, D<sub>a</sub> + D<sub>b</sub> = n.A<sub>s</sub>.f<sub>a</sub> .....(3.9)

karena D<sub>a</sub> dan D<sub>b</sub> mengandung variabel f<sub>c</sub>, maka f<sub>c</sub> dapat dihitung dengan persamaan 3.9.

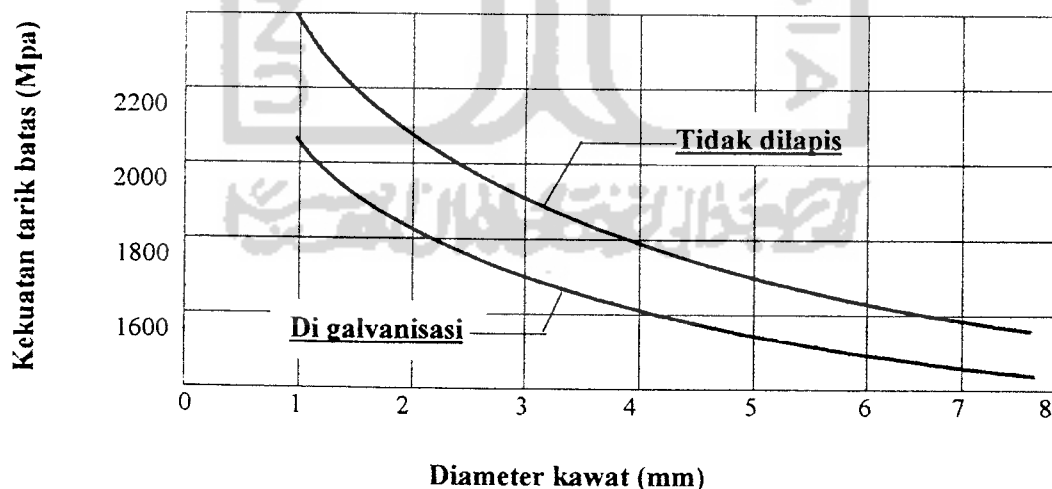


### 3.2 Unsur-unsur Perkuatan

Unsur-unsur utama yang digunakan dalam sistem perkuatan pada jembatan cikeruh berupa strand, anker, dan lapis pelindung korosi.

#### 3.2.1 Strand

Baja mutu tinggi merupakan bahan yang umum untuk menghasilkan gaya prategang dan mensuplai gaya tarik pada beton prategang. Cara yang paling umum untuk menambah kekuatan tarik baja prategang adalah dengan *cold-drawing*, baja mutu tinggi melalui serangkaian pencelupan. Proses *cold-drawing* cenderung untuk menyusun kembali kristal-kristal dan kekuatan bertambah setiap kali *drawing*, jadi semakin kecil diameter kawat makin tinggi kekuatan batasnya. Daktilitas berkurang sedikit akibat *cold-drawing*. Sebuah kurva menunjukkan perubahan kekuatan terhadap diameter seperti terlihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Variasi kekuatan kawat terhadap diameter  
[ Lyn Ned, TY, Burns, H, Desain Struktur Beton Prategang ]

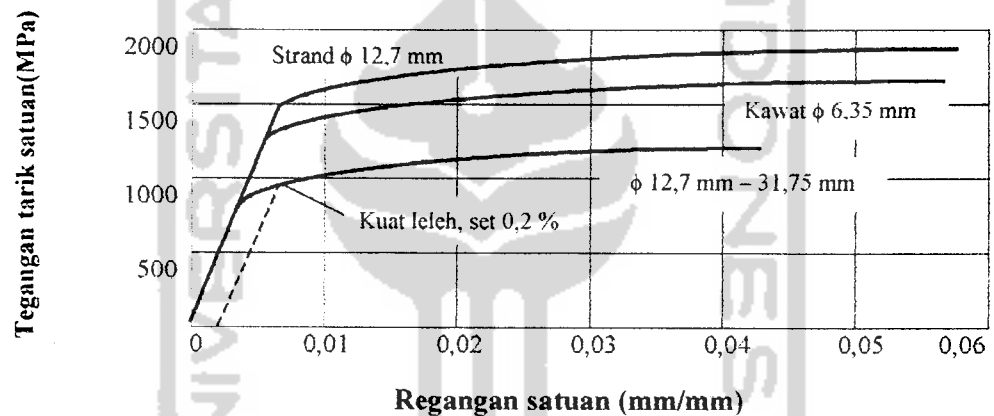
Baja mutu tinggi untuk sistem prategang biasanya merupakan salah satu dari ketiga bentuk kawat (*wire*), untai kawat (*strand*), batang (*bar*). Untuk sistem pasca-tarik banyak dipakai kawat yang digabungkan secara paralel menjadi kabel. Strand dibuat dipabrik dengan memuntir beberapa kawat bersama-sama.

Untaian kawat (*strand*) untuk sistem prategang umumnya disesuaikan dengan spesifikasi ASTM A-416. Strand 7 *wires* mempunyai sebuah kawat ditengah yang sedikit lebih besar dari keenam kawat sebelah luar yang membungkusnya. Tegangan putus berkisar 1720 MPa – 1860 MPa. Sifat dan karakteristik strand terlihat dalam tabel 3.1.

Tabel 3.1. Sifat-sifat strand 7 *wires*  
[ Lyn Ned, TY, Burns, H, Desain Struktur Beton Prategang ]

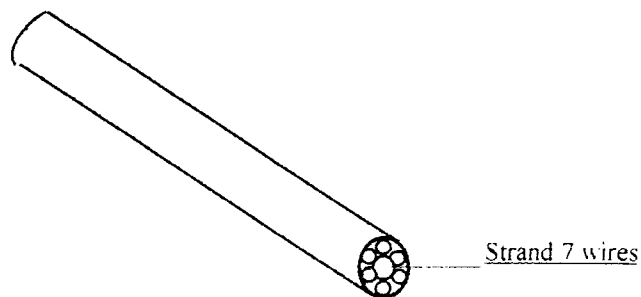
Diameter nominal (mm)	Kekuatan putus (mm)	Luas nominal strand (mm <sup>2</sup> )	Beban minimum pada pemuaian 1% (kN)
Derajat 1720 MPa			
6,35	40,0	23,22	34,0
7,94	64,5	37,42	54,7
9,53	89,0	51,61	75,6
11,11	120,0	69,68	102,3
12,70	160,1	92,90	136,2
15,24	240,2	139,35	204,2
Derajat 1860 MPa			
9,53	102,3	54,84	87,0
11,11	137,9	74,19	117,2
12,70	183,7	98,71	156,1
15,24	260,7	140,00	221,5

Sejak tahun 1962, baja yang lebih kuat yang dikenal sebagai derajat 1860 MPa telah diproduksi oleh beberapa perusahaan. Untuk ukuran nominal yang sama derajat 1860 MPa mempunyai luas baja yang lebih besar daripada ASTM A-416 derajat 1720 MPa. Baja derajat 1860 adalah baja yang umum digunakan untuk strand 7 wires, termasuk strand yang dipakai pada jembatan Cikeruh sekarang ini. Kurva tegangan – regangan untuk strand *stress-relieved* dengan 7 wires diameter 12,7 mm (ASTM A – 416 ) diperlihatkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.4. Kurva tegangan – regangan untuk baja yang diberi prategang  
[ Lyn Ned, Burns, H, Desain Struktur Beton Prategang ]

Tipe strand yang digunakan pada jembatan Cikeruh adalah 7 wires strand dengan luas nominal  $98,71 \text{ mm}^2$  beban putus 18,733 ton produksi PT.VSL.

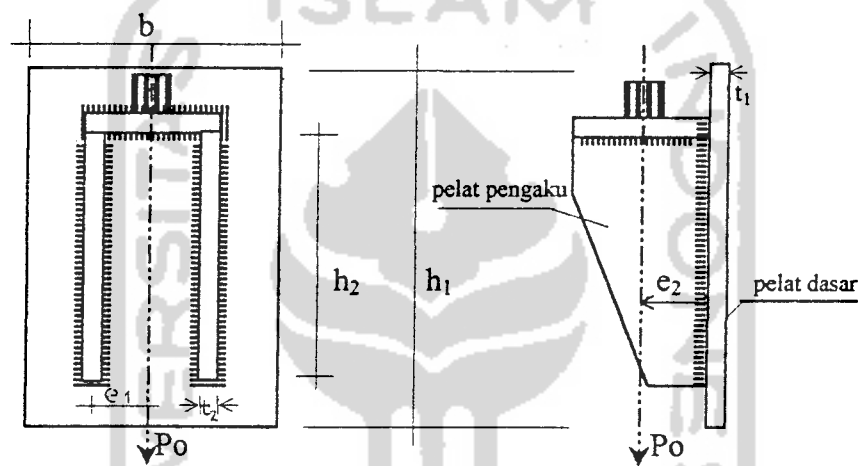


Gambar 3.5. Strand 7 wires

### 3.2.2 Angker

Tipe angker yang dipakai pada setiap balok adalah sama, dengan rencana dapat menahan beban *prestressing* sebesar 13,6 ton. Tegangan ijin pelat baja 1400 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 1. Sambungan Pelat Pengaku dan Pelat Dasar



Gambar 3.6. Sambungan pada angker

Sambungan pelat pengaku dan pelat dasar menggunakan las, karena terdapat dua buah pelat pengaku maka gaya yang bekerja pada masing-masing pengaku adalah :

$$P = \frac{1}{2} \cdot P_o \dots\dots\dots(3.10)$$

- Beban yang timbul :

- a. Akibat perpindahan beban P dari pelat pelimpah ke pelat pengaku menimbulkan momen puntir.

$$M_{pt} = P \cdot e_1 \dots\dots\dots(3.11)$$

- b. Akibat perpindahan beban P dari pelat pengaku ke rigi-rigi las terjadi momen lentur

$$M = P \cdot e_2 \dots\dots\dots(3.12)$$

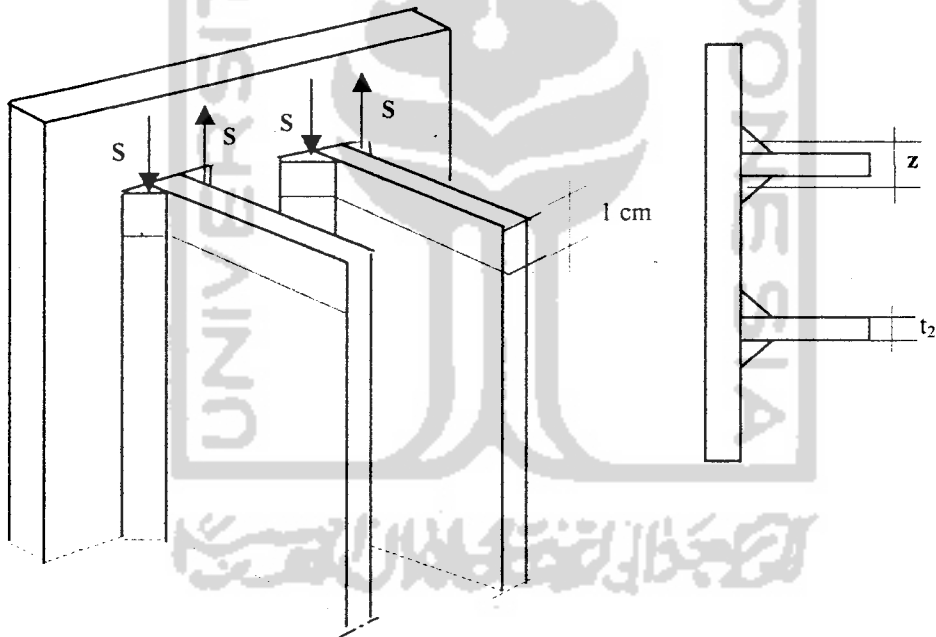
- c. Beban Po

Sambungan menggunakan las dengan tebal las :

$$a \leq \frac{t}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots(3.13)$$

- Tegangan-tegangan yang terjadi :

- a. Akibat momen puntir



Gambar 3.7. Arah kerja gaya S pada las

\* Jarak lengan momen ( z )

$$z = t_2 + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot (a\sqrt{2}) \dots\dots\dots(3.14)$$

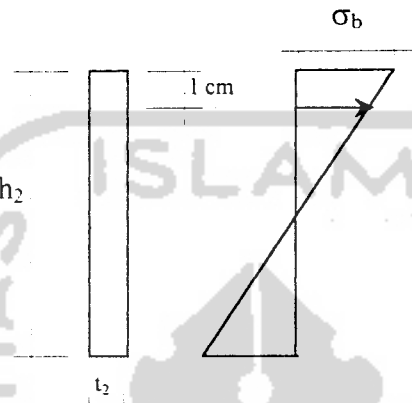
\* Gaya las S

$$S = M_{pt} / z \dots\dots\dots(3.15)$$

\* Gaya per 1 cm rigi-rigi las

$$\Delta S = S / h_2 \dots\dots\dots(3.16)$$

b. Akibat momen lentur



Gambar 3.8. Tegangan pada sambungan

$$\sigma_b = \frac{M}{S_{plt}} \dots\dots\dots(3.17)$$

dimana,  $\sigma_b$  = tegangan pada plat baja ( $\text{kg/cm}^2$ )

$M$  = momen akibat  $P_0$  ( $\text{kg.cm}$ )

$S_{plt}$  = momen lembam =  $1/6 \cdot t_2 \cdot h_2^2$  ( $\text{cm}^3$ )

Peninjauan per 1 cm, gaya tarik yang dipikul pelat = gaya yang dipikul las

$$P \text{ 1 cm} = \sigma_b \cdot t_2 \cdot 1 \dots\dots\dots(3.18)$$

Jadi,  $N = 0,531 \cdot P$  ( gaya tarik  $\perp$  bidang geser las)

$D = 0,177 \cdot P$  ( gaya geser pada bidang geser las)

Tegangan tarik dan tegangan geser pada las :

$$\sigma_a = \frac{N}{a \cdot \ell} \dots\dots\dots(3.19)$$

$$\tau_1 = \frac{D}{a \cdot \ell} \dots\dots\dots(3.20)$$

Dimana, a = tebal las (cm)

$\sigma_a$  = tegangan tarik pada las (kg/cm<sup>2</sup>)

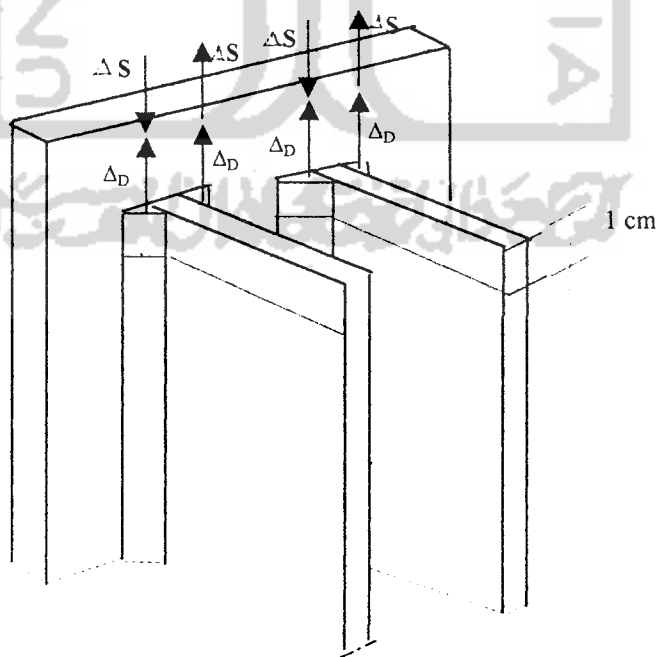
$\tau_1$  = tegangan geser pada las ( kg/cm<sup>2</sup>)

$\ell$  = panjang las per 1 cm

c. Akibat P

gaya las per 1 cm :

$$\Delta D = \frac{P}{2 \cdot h_2} \dots\dots\dots(3.21)$$



Gambar. 3.9 Gaya bidang las



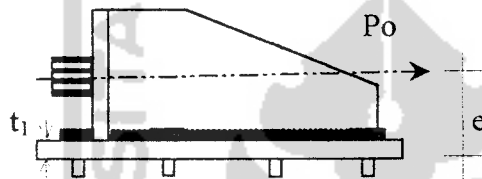
Tegangan geser yang menentukan adalah akibat  $\Delta D + \Delta S$

$$\tau_2 = \frac{\Delta D + \Delta S}{a \cdot \ell} \dots\dots\dots(3.22)$$

d. Kombinasi tegangan geser dan tegangan tarik

$$\sigma_1 = \sqrt{\sigma_a^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_2^2)} \leq \bar{\sigma} \dots\dots\dots(3.23)$$

### 3.2.2.2 Sambungan Pelat Dasar Dengan Gelagar Beton



Gambar. 3.10 Sambungan angker dengan gelagar

Sambungan menggunakan baut

- Momen yang terjadi akibat gaya prategang dan eksentrisitas

$$M = P_o \cdot e \dots\dots\dots(3.24)$$

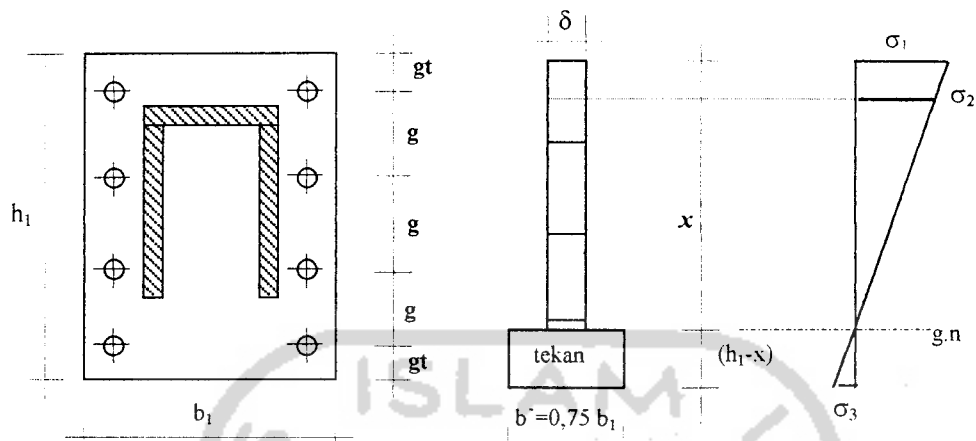
- Baut dianggap sebagai pelat dengan lebar :

$$\delta = \frac{2 \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot d^2}{g} \dots\dots\dots(3.25)$$

Dimana, d = diameter baut (cm)

g = jarak antar baut (cm)





Penampang idialisir      Diagram tegangan

Gambar. 3.11 Diagram tegangan sambungan dengan baut

- Mencari jarak garis netral

$$\delta \cdot x \cdot \frac{1}{2} x = b' (h_1 - x) \frac{1}{2} (h_1 - x) \dots \dots \dots (3.25)$$

- Tegangan lentur ujung yang terjadi

$$\frac{1}{2} \cdot \sigma_1 \cdot \delta \cdot x \cdot \frac{2}{3} x + \frac{1}{2} \cdot \sigma_3 \cdot b' (h_1 - x) \frac{2}{3} (h_1 - x) = M \dots \dots \dots (3.26)$$

dengan melihat tegangan pada diagram tegangan didapat :

$$\sigma_3 = \left( \frac{h_1 - x}{x} \right) \sigma_1 \dots \dots \dots (3.27)$$

jadi gaya yang dipikul baut teratas (yang paling ekstrim )

$$N = \delta \cdot g \cdot \sigma_2 \dots \dots \dots (3.28)$$

Gaya per baut :

$$N_1 = \frac{1}{2} \cdot N \quad (\text{tarik})$$

Gaya geser baut :

$$G = P_o / n \dots \dots \dots (3.29)$$

dimana, n = jumlah baut

- Tegangan – tegangan yang terjadi pada baut

$$\sigma_p = \frac{G}{d \cdot t_l} \leq \bar{\sigma}_p = 1,5 \bar{\sigma} \quad \dots\dots\dots(3.30)$$

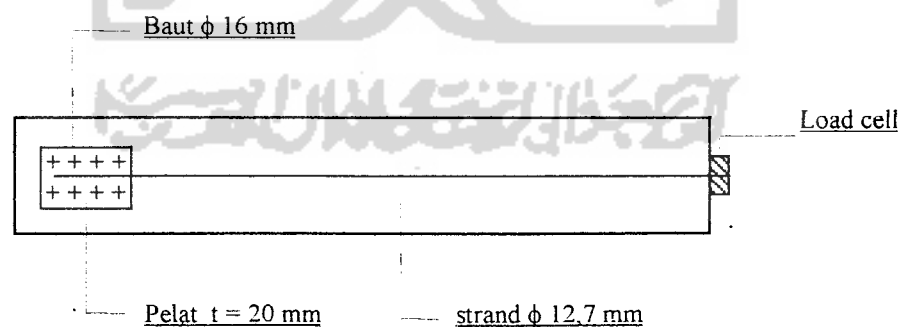
$$\tau = \frac{G}{1/4 \cdot \pi \cdot d^2} \leq \bar{\tau} = 0,6 \bar{\sigma} \quad \dots\dots\dots(3.31)$$

$$\sigma_a = \frac{N_l}{1/4 \cdot \pi \cdot d^2} \leq \bar{\sigma}_a = 0,7 \bar{\sigma} \quad \dots\dots\dots(3.32)$$

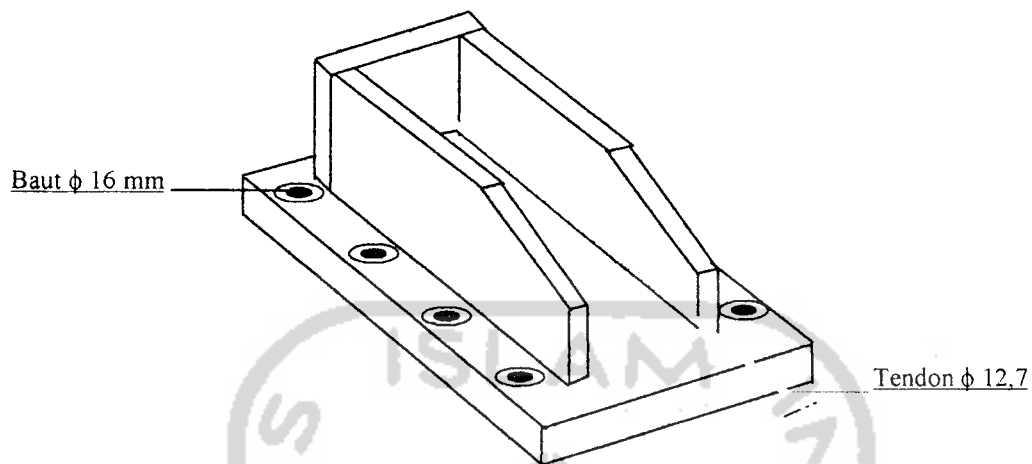
Kombinasi tegangan tarik dan tegangan geser :

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_a^2 + 1,56 \cdot \tau^2} \leq \bar{\sigma}_d \quad \dots\dots\dots(3.33)$$

Setelah angker yang direncanakan dianalisa, kemudian dilakukan pengujian angker di laboratorium Puslitbang Pekerjaan Umum Bandung, untuk membuktikan keandalan angker tersebut.



Gambar 3.12. Angker dan kabel strand (uji di Lab.)



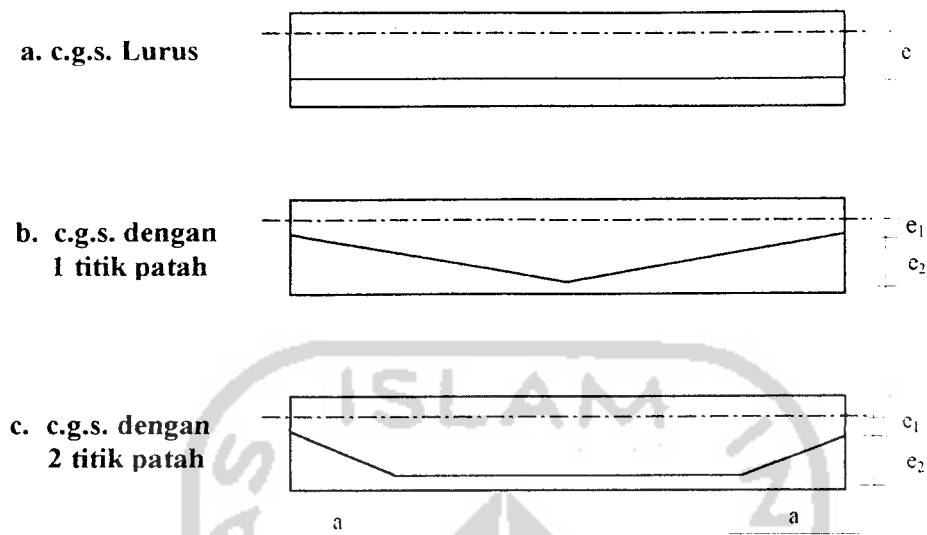
Gambar 3.13 Perspektif Model Penampang Angker

### 3.2.3 Lapis Pelindung

Mengingat strand akan dipasang diluar elemen (udara terbuka) tanpa grouting, maka diperlukan suatu lapisan untuk melindungi strand dari pengaruh korosi. Lapisan pelindung yang dipakai adalah dari bahan 'Medium Density Polyethylene'.

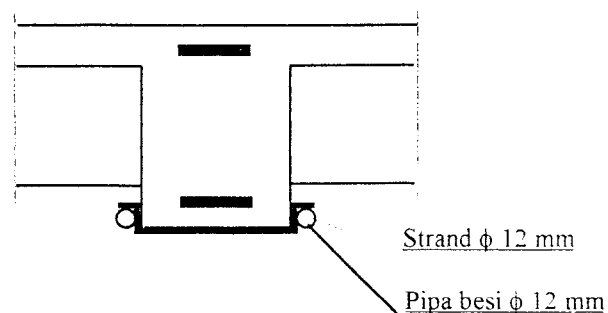
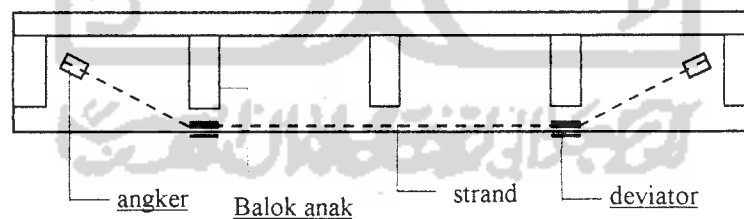
### 3.3 Penempatan Kabel *External Prestressing*

Berbagai *lay out* tendon dapat digunakan untuk memenuhi besarnya kombinasi momen dan gaya normal yang diperluka. Penempatan pada balok/gelagar jembatan sistem *external prestressing* dapat dipasang lurus atau menekuk sesuai dengan kepentingannya.



Gambar 3.14 Lay out tendon External Prestressing

Pada gambar 3.14a tendon dengan *lay out* lurus lebih ditekankan untuk perbaikan kapasitas geser. Pada gambar 3.14 b dan c tendon dengan *lay out* segitiga dan trapesium lebih ditekankan untuk perbaikan elemen struktur yang bermasalah dengan kapasitas lentur (momen positif).



Gambar 3.15 Lay out tendon jembatan Cikeruh

Pada kasus jembatan Cikeruh yang mengalami kondisi *under design* terhadap pembebanan 100 % standar Bina Marga akan ditingkatkan kapasitas dukungnya sehingga dapat memenuhi standar yang berlaku, maka *lay out* yang digunakan adalah pada gambar 3.17.c.

### 3.4 Teknis Pelaksanaan di Lapangan

Beberapa tahapan yang dilakukan dalam pelaksanaan perkuatan jembatan Cikeruh dengan menggunakan metode *external prestressing* :

#### 1. Survey Lapangan

Survey dilakukan untuk mendapatkan data-data awal yang dibutuhkan dalam perencanaan, meliputi : pencatatan semua kondisi fisik, tipe dan ukuran serta gambar penulangan awal jembatan. Untuk mendapatkan sampel beton jembatan dilakukan dengan *core drill* (survey lapangan dapat dilihat pada halaman lampiran foto).

#### 2. Analisa

Sampel beton yang diperoleh diuji dalam laboratorium untuk mendapatkan mutu beton sesungguhnya yang akan dipakai dalam analisa. Besar gaya prategang yang diberikan ditentukan sesuai beban standar yang akan didukung oleh jembatan. Langkah berikutnya adalah melakukan analisa tampang gelagar (untuk mengetahui tegangan dan lendutan), metode pengankuran, dan model angkur. Semua tegangan yang terjadi pada gelagar akibat pembebanan harus lebih kecil dari batas ijinnya.

### 3. Uji Laboratorium

Pengujian terhadap model angker dilakukan oleh Laboratorium Puslitbang Jalan PU Bandung. Model angker dibuat dengan skala penuh (pengujian model angkur dapat dilihat pada halaman lampiran foto). Uji laboratorium dimaksudkan untuk mengetahui keandalan angker sebelum diterapkan di lapangan.

### 4. Penerapan di Lapangan

Semua analisa dan hasil uji yang sudah dinyatakan layak, diterapkan di lapangan. Pemasangan elemen-elemen perkuatan meliputi : pengeboran gelagar, pemasangan angker, deviator serta penegangan kabel harus dilakukan dengan hati-hati, karena kegiatan lalu-lintas di atas jembatan tetap berlangsung. Untuk menghindarkan terjadinya konsentrasi tegangan pada pelat akibat penegangan kabel, maka penarikan dilakukan secara bertahap (proses penerapan di lapangan dapat dilihat pada halaman lampiran foto).

**BAB IV**  
**ANALISIS “EXTERNAL PRESTRESSING”**  
**PADA JEMBATAN CIKERUH**

**4.1 Data Jembatan Cikeruh**

1. Data-data jembatan Cikeruh yang dipakai dalam perencanaan adalah :

- a. Panjang bentang jembatan (L) = 15,00 m
- b. Panjang as – as balok = 1,75 m
- c. Mutu baja tulangan = U<sub>24</sub>
- d. Modulus elastis Baja (Ea) =  $2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$
- e. Mutu beton (dari hasil *core drill*)  $f_c = 166 \text{ kg/cm}^2$   
 $\sigma'_{bk} = 166 / 0.83 = 200 \text{ kg/cm}^2$
- f. Modulus elastis beton (Eb) =  $90509,668 \text{ kg/cm}^2$
- g. Rasio moduler ( $n = E_a/E_b$ ) = 23
- h. Luas tulangan tarik balok ( $A_s$ ) =  $19 \phi 25 = 93,3 \text{ cm}^2$
- i. Luas tulangan tekan balok ( $A_s'$ ) =  $4 \phi 25 = 19,6 \text{ cm}^2$

2. Tegangan-tegangan ijin ( pembebanan tetap ) :

a. Tegangan ijin beton K-200 ( PBI 1971, tabel 10.4.2 )

- 1). tegangan tekan  $\bar{\sigma}'_b = 0,33 \cdot \sigma'_{bk} = 0,33 \cdot 200 = 66 \text{ kg/cm}^2$
- 2). tegangan tarik  $\bar{\sigma}_b = 0,48 \sqrt{\sigma'_{bk}} = 0,48 \cdot \sqrt{200} = 6,78 \text{ kg/cm}^2$
- 3). tegangan geser  $\bar{\tau}_b = 0,43 \sqrt{\sigma'_{bk}} = 0,43 \cdot \sqrt{200} = 6,1 \text{ kg/cm}^2$

b. Tegangan ijin tarik baja  $U_{24}$  ( PBI 1971, tabel 10.4.1 ) :

$$\bar{\sigma}_a = 1400 \text{ kg/cm}^2$$

c. Tegangan ijin pada beton akibat akibat gaya prategang menurut SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.11.4 adalah :

1). Tegangan beton sesaat sesudah pemindahan gaya prategang (sebelum kehilangan prategang) tidak boleh melampaui :

$$\begin{aligned} \text{a). serat lentur mengalami tegangan tekan} &\leq 0,60 \sigma'_{bk} \\ &\leq 0,60 \cdot 200 = 120 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b). serat lentur mengalami tegangan tarik} &\leq 0,25 \sqrt{\sigma'_{bk}} \\ &\leq 0,25 \sqrt{200} = 3,54 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

2). Tegangan beton pada tingkat beban kerja ( saat layan) tidak boleh melampaui :

$$\begin{aligned} \text{a). serat lentur mengalami tegangan tekan} &\leq 0,45 \sigma'_{bk} \\ &\leq 0,45 \cdot 200 = 90 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

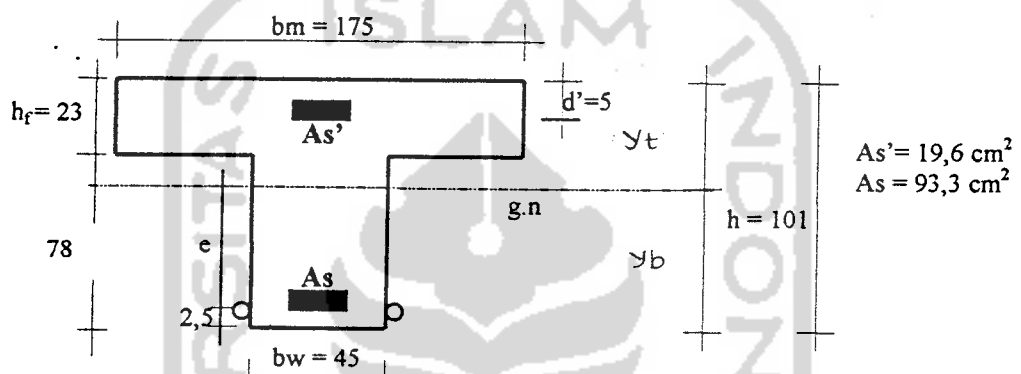
$$\begin{aligned} \text{b). serat lentur mengalami tegangan tarik} &\leq 0,50 \sqrt{\sigma'_{bk}} \\ &\leq 0,50 \sqrt{200} = 7,07 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$



## 4.2 Analisa Penampang *External Prestressing*

### 4.2.1 Analisa Penampang Balok Tengah

Analisa penampang balok T sebagai berikut :



Gambar 4.1 Penampang Balok Tengah

#### 1. Lebar manfaat flens ( $b_m$ )

menurut PBI 1971 pasal 10.8.3, diambil nilai terkecil dari :

a.  $b_m \leq b_w + L/5$

$$b_m \leq 45 + 1500 / 5 = 345 \text{ cm}$$

b.  $b_m \leq b_w + L/10 + b_k/2$

$$b_m \leq 45 + 1500 / 10 + 175/2 = 282,5 \text{ cm}$$

c.  $b_m \leq b$

$$b_m \leq 175 \text{ cm}$$

maka, lebar manfaat balok diambil  $b_m = 175 \text{ cm}$

2. Beban mati ( $q_{DL}$ )

$$\begin{aligned}
 \text{Balok} &= [h_f \cdot b_m + b_w (h - h_f)] \gamma_{bt} \\
 &= (0,05 \cdot 1,75 + 0,45 \cdot 0,78) \cdot 2,5 = 1,884 \text{ t/m}^2 \\
 \text{Aspal} &= t \cdot b_m \cdot \gamma_{as} \\
 &= 0,05 \cdot 1,75 \cdot 2,2 = 0,193 \text{ t/m}^2 \\
 \text{Air} &= t \cdot b_m \cdot \gamma_{air} \\
 &= 0,05 \cdot 1,75 \cdot 1,0 = 0,008 \text{ t/m}^2 \\
 \hline
 q_{DL} &= \dots\dots\dots = 2,165 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

## 3. Momen akibat beban mati

$$\begin{aligned}
 M_{DL} &= 1/8 \cdot q_{DL} \cdot L^2 \\
 &= 1/8 \cdot 2,165 \cdot 15^2 = 60,891 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

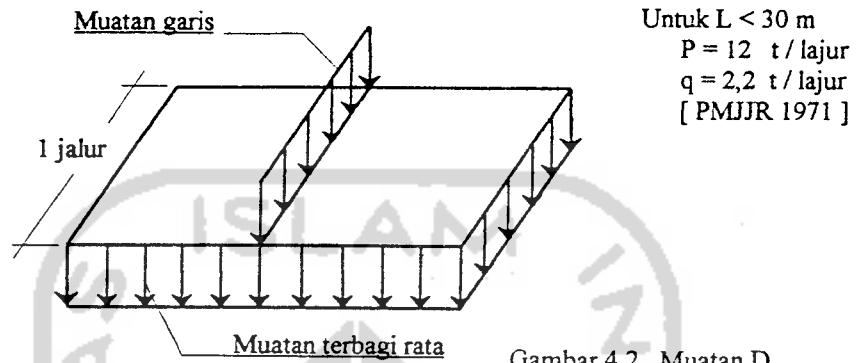
## 4. Beban hidup 100 % Bina Marga (LL)

$$\text{Faktor kejut } k = 1 + \frac{20}{50 + L} = 1,31$$

$$\text{Muatan merata } q = 2,2 \text{ t/lajur}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Muatan garis } P &= 12 \text{ t/lajur [ Muatan "D" PMJJR Bina Marga]} \\
 &= \text{lebar lajur} = 2,75 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Bagan muatan D adalah sebagai berikut :



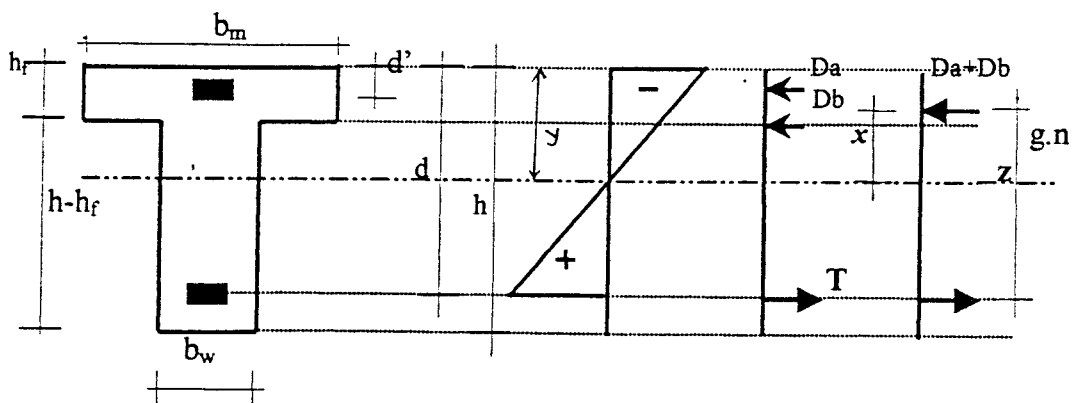
Gambar 4.2 Muatan D

5. Momen akibat beban hidup ( 100 % BM)

$$\begin{aligned}
 M_{LL} &= 1/8 \cdot q \cdot L^2 + 1/4 \cdot P \cdot k \cdot L \\
 &= 1/8 \cdot (2,2/2,75) 1,75 \cdot 15^2 + 1/4 \cdot (12/2,75) 1,75 \cdot 1,31 \cdot 15 \\
 &= 76,889 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

6. Statis momen terhadap garis netral

$$\begin{aligned}
 b_m \cdot h_f (y - 1/2 h_f) + 1/2 \cdot b_w (y - h_f)^2 + (n - 1) \cdot A_s' (y - d') &= n \cdot A_s (d - y) \\
 175 \cdot 23 (y - 1/2 \cdot 23) + 1/2 \cdot 45 (y - 23)^2 + (23 - 1) \cdot 19,6 (y - 5) &= 23 \cdot 93,3 (91 - y) \\
 22,5 y^2 + 5567,1 y + 231817,9 &= 0 \\
 \text{didapat } y &= 36,3 \text{ cm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.3 Penampang Balok Tengah  
Beton Konvensional

## 7. Gaya tekan pada beton

$$\begin{aligned}
 D_b &= 1/2 \cdot f_c \cdot y \cdot b_m - 1/2 \cdot f_c \cdot (b_m - b_w) \cdot \frac{(y - h_r)^2}{y} \\
 &= 1/2 \cdot f_c \cdot 36,3 \cdot 175 - 1/2 \cdot f_c \cdot (175 - 45) \cdot \frac{(36,3 - 23)^2}{36,3} \\
 &= 2859,5 f_c
 \end{aligned}$$

## 8. Gaya tekan pada baja tulangan

$$\begin{aligned}
 D_s &= (n - 1) \cdot A_s' \left( \frac{y - d'}{y} \right) f_c \\
 &= (23 - 1) \cdot 19,6 \left( \frac{36,3 - 5}{36,3} \right) \cdot f_c \\
 &= 371,81 f_c
 \end{aligned}$$

## 9. Jarak titik berat gaya tekan terhadap garis netral

Jika,

$$s = 1/2 \cdot f_c \cdot y \cdot b_m = 3176,25 f_c$$

$$t = 1/2 \cdot f_c \cdot (b_m - b_w) \cdot \frac{(y - h_r)^2}{y} = 316,75 f_c$$

maka,

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{s(2/3y) - t \cdot 2/3(y - h_r) + D_a(y - d')}{s - t + D_a} \\
 &= \frac{3176,25 f_c \cdot (2/3 \cdot 36,3) - 316,75 f_c \cdot 2/3(36,3 - 23) + 371,81 f_c(36,3 - 5)}{3176,25 f_c - 316,75 f_c + 371,81 f_c} \\
 &= 25,99 \approx 26 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

## 10. Lengan momen

$$Z = d - y + x$$

$$= 91 - 36,3 + 26 = 80,7 \text{ cm}$$

## 11. Tegangan-tegangan yang terjadi sebelum diberi gaya prategang

## a. Tegangan akibat beban mati

## 1). Tegangan pada baja tarik

$$f_{a_{DL}} = \frac{M_{DL}}{(n \cdot A_s) \cdot z}$$

$$= \frac{6089100}{23 \cdot 93,3 \cdot 80,7} = 35,162 \text{ kg/cm}^2$$

## 2.) Tegangan pada beton tekan

dimana,  $D_a + D_b = T$  dan  $T = n \cdot A_s \cdot f_a$

maka,  $D_a + D_b = n \cdot A_s \cdot f_a$

$$371,81 f_c + 2859,5 f_c = 23 \cdot 93,3 \cdot 35,162$$

$$f_{c_{DL}} = 23,351 \text{ kg/cm}^2$$

## b. Tegangan akibat beban hidup 100 % standar BM

## 1). Tegangan pada baja tarik

$$f_{a_{LL}} = \frac{M_{LL}}{n \cdot A_s \cdot Z}$$

$$= \frac{7688900}{23 \cdot 93,3 \cdot 80,7} = 44,4 \text{ kg/cm}^2$$

## 2.) Tegangan pada beton tekan

$$D_a + D_b = T \text{ dan } T = n \cdot A_s \cdot f_a$$

$$3231,31 f_c = 23 \cdot 93,3 \cdot 44,4$$

$$f_{c_{LL}} = 29,484 \text{ kg/cm}^2$$

## 12. Kombinasi tegangan akibat beban mati + beban hidup 100 % standar BM

## a. Tegangan pada baja tarik

$$f_{a_{tot}} = f_{a_{DL}} + f_{a_{LL}} \leq \bar{\sigma}_a / n$$

$$= 35,162 + 44,4 > 1400 / 23 = 60,87 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 79,562 \text{ kg/cm}^2 > 60,87 \text{ kg/cm}^2$$

→ baja tidak mampu menahan kombinasi beban

## b. Tegangan pada beton tekan

$$f_{c_{tot}} = f_{c_{DL}} + f_{c_{LL}} \leq 0,33 \cdot \sigma'_{bk}$$

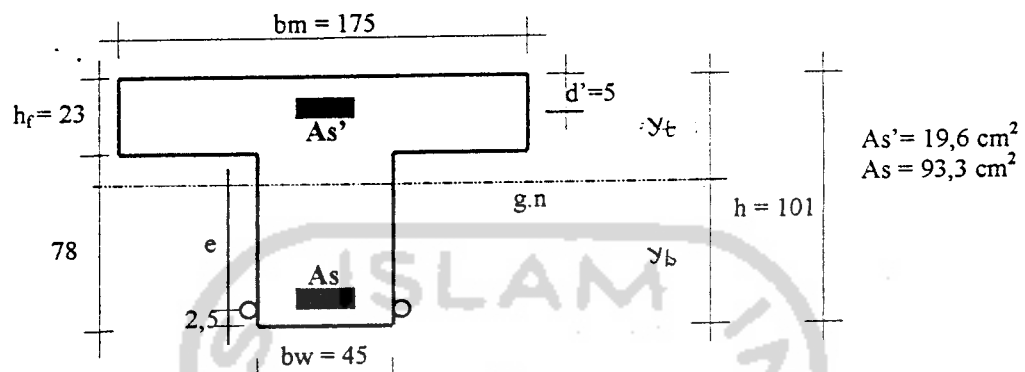
$$= 23,351 + 29,484 < 0,33 \cdot 200 = 66 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 52,835 \text{ kg/cm}^2 < 66 \text{ kg/cm}^2$$

→ beton masih mampu menahan kombinasi beban

## 13. Tegangan yang terjadi setelah diberi gaya prategang

Untuk menganalisa tegangan pada penampang akibat gaya prategang dipakai luas tampang transformasi dan momen inerti transformasi ( transformasi tulangan baja non prategang ke luasan beton).



Gambar 4.4 Penampang Balok dengan *External Prestressing*.

- a. Luas tampang transformasi :

$$\begin{aligned} A_t &= 175 \cdot 23 + 45 \cdot 78 + (23 - 1) \cdot 93,3 + (23 - 1) \cdot 19,6 \\ &= 10018,8 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

- b. Letak garis netral penampang terhadap tepi atas

$$\begin{aligned} y_t &= \frac{175 \cdot 23 \cdot 11,5 + 45 \cdot 78 \cdot (23 + 1/2 \cdot 78) + (23 - 1) \cdot 19,6 \cdot 5 + (23 - 1) \cdot 93,3 \cdot 91}{175 \cdot 23 + 45 \cdot 78 + (23 - 1) \cdot 19,6 + (23 - 1) \cdot 93,3} \\ &= 45,2 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$y_b = 101 - 45,2 = 55,8 \text{ cm}$$

- c. Momen inerti transformasi ( $I_t$ ) dari gambar didapat :

$$I_{t \text{ flens}} = 1/12 \cdot 175 \cdot 23^3 + 175 \cdot 23 (33,7)^2 = 4748587,667 \text{ cm}^4$$

$$I_{t \text{ badan}} = 1/12 \cdot 45 \cdot 78^3 + 45 \cdot 78 (16,8)^2 = 2770232,400 \text{ cm}^4$$

$$\text{Tul.}_{As'} = (23 - 1) \cdot 19,6 \cdot 40,2^2 = 696836,448 \text{ cm}^4$$

$$\text{Tul.}_{As} = (23 - 1) \cdot 93,3 \cdot 45,8^2 = 4305615,864 \text{ cm}^4$$

---


$$I_t = 12521272,380 \text{ cm}^4$$

d. Eksetrisitas tendon :

$$\begin{aligned} e &= y_b - 2,5 \\ &= 55,8 - 2,5 = 53,3 \text{ cm} \end{aligned}$$

e. Gaya prategang awal  $P_o = 2.13,60$  ton

14. Tegangan saat prategang awal

Serat atas :

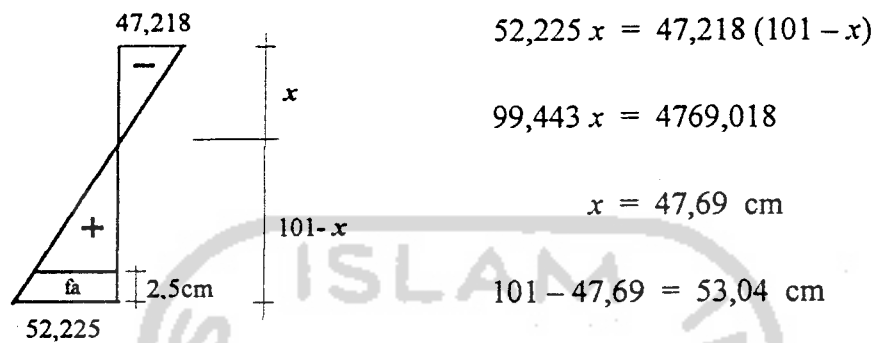
$$\begin{aligned} f_t &= \left[ -\frac{P_o}{A_t} + \frac{P_o \cdot e \cdot y_t}{I_t} - \frac{(M_{DL} + M_{LL}) \cdot y_t}{I_t} \right] \\ &= \left[ -\frac{2.13600}{10018,8} + \frac{2.13600 \cdot 53,3 \cdot 45,2}{12521272,38} - \frac{(60,891 + 76,889) \cdot 10^5 \cdot 45,2}{12521272,38} \right] \\ &= -47,218 \text{ kg/cm}^2 < 0,60 \sigma'_{bk} = 120 \text{ kg/cm}^2 \\ &\quad \rightarrow \text{aman} \end{aligned}$$

Serat bawah :

$$\begin{aligned} f_b &= \left[ -\frac{P_o}{A_t} - \frac{P_o \cdot e \cdot y_b}{I_t} + \frac{(M_{DL} + M_{LL}) \cdot y_b}{I_t} \right] \\ &= \left[ -\frac{2.13600}{10018,8} - \frac{2.13600 \cdot 53,3 \cdot 55,8}{12521272,38} + \frac{(60,891 + 76,889) \cdot 10^5 \cdot 55,8}{12521272,38} \right] \\ &= 52,225 \text{ kg/cm}^2 > 0,25 \sqrt{\sigma'_{bk}} = 3,54 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

→ Pada serat bawah terjadi tegangan tarik, maka tegangan tarik seluruhnya ditahan tulangan non prategang yang ada. Cek terhadap tulangan non prategang





Gambar 4.5 Diagram Tegangan Balok dengan Transfer Tegangan ke Tulangan Non Prategang (Prategang Awai)

$$52,225 x = 47,218 (101 - x)$$

$$99,443 x = 4769,018$$

$$x = 47,69 \text{ cm}$$

$$101 - 47,69 = 53,04 \text{ cm}$$

$$f_a = (52,225 \cdot (53,04 - 2,5)) / 53,04$$

$$= 49,76 \text{ kg/cm}^2 < 60,87 \text{ kg/cm}^2$$

→ aman

#### 15. Tegangan setelah "lost prestressing"

Prosentase kehilangan prategang jika prategang menyimpang dari kondisi rata-rata, maka prosentase kehilangan prategang :

$$\begin{aligned} P_o / A_t &= 2.13600 / 10018,8 \\ &= 2,71 \text{ kg/cm}^2 < 1,7 \text{ Mpa ( } 17 \text{ kg/cm}^2 \text{)} \end{aligned}$$

Untuk pasca tarik diambil LOP sebesar 15 %

$$\begin{aligned} P_{\text{eff}} &= (1 - R) \cdot P_o \\ &= (1 - 0,15) \cdot 2.13600 = 2.11560 \text{ kg} \end{aligned}$$

Serat atas :

$$f_t = \left[ -\frac{P_{eff}}{A_t} + \frac{P_{eff} \cdot e \cdot y_t}{I_t} - \frac{(M_{DL} + M_{LL}) \cdot y_t}{I_t} \right]$$

$$= \left[ -\frac{2 \cdot 11560}{10018,8} + \frac{2 \cdot 11560 \cdot 53,3 \cdot 45,2}{12521272,38} - \frac{(60,891 + 76,889) \cdot 10^5 \cdot 45,2}{12521272,38} \right]$$

$$= -47,596 \text{ kg/cm}^2 < 0,45 \cdot \sigma'_{bk} = 90 \text{ kg/cm}^2$$

Serat bawah :

$$f_t = \left[ -\frac{P_{eff}}{A_t} - \frac{P_{eff} \cdot e \cdot y_b}{I_t} + \frac{(M_{DL} + M_{LL}) \cdot y_b}{I_t} \right]$$

$$= \left[ -\frac{2 \cdot 11560}{10018,8} - \frac{2 \cdot 11560 \cdot 53,3 \cdot 55,8}{12521272,38} + \frac{(60,891 + 76,889) \cdot 10^5 \cdot 55,8}{12521272,38} \right]$$

$$= 53,6 \text{ kg/cm}^2 > 0,5 \sqrt{\sigma'_{bk}} = 7,07 \text{ kg/cm}^2$$

→ Pada serat bawah terjadi tegangan tarik, maka tegangan tarik seluruhnya ditahan tulangan non prategang yang ada. Cek terhadap tulangan non prategang

$$53,60 x = 47,596 (101 - x)$$

$$101,196 x = 4807,196$$

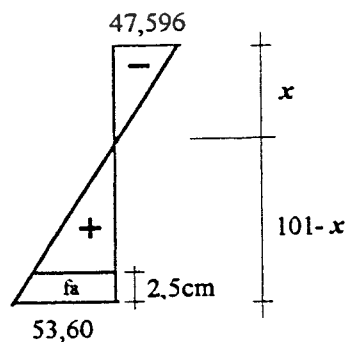
$$x = 47,504 \text{ cm}$$

$$101 - 47,504 = 53,496 \text{ cm}$$

$$f_a = (53,60 \cdot (53,496 - 2,5)) / 53,496$$

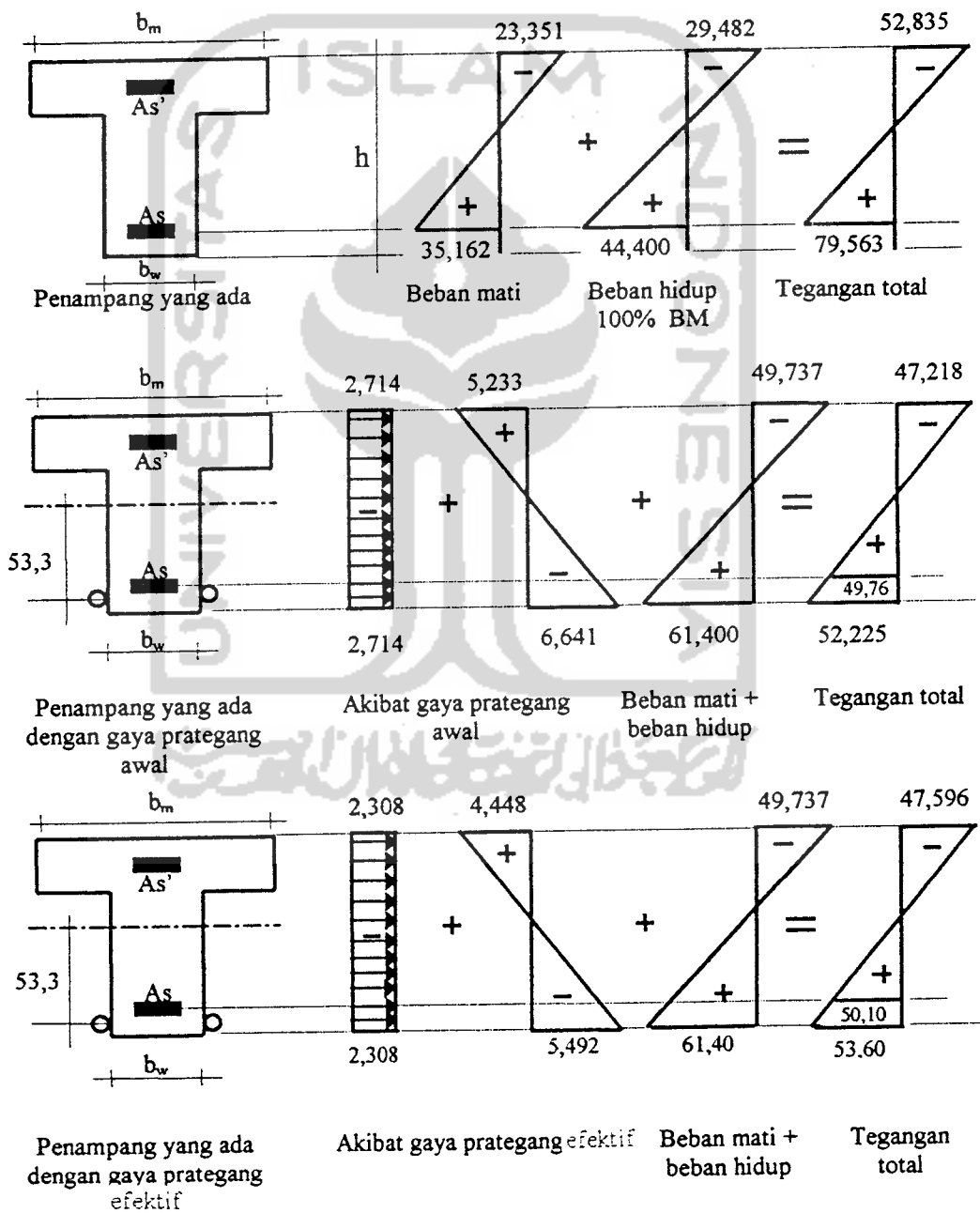
$$= 51,10 \text{ kg/cm}^2 < 60,87 \text{ kg/cm}^2$$

→ aman



Gambar 4.6 Diagram Tegangan Balok dengan Transfer Tegangan ke Tulangan Non Prategang (Prategang efektif)

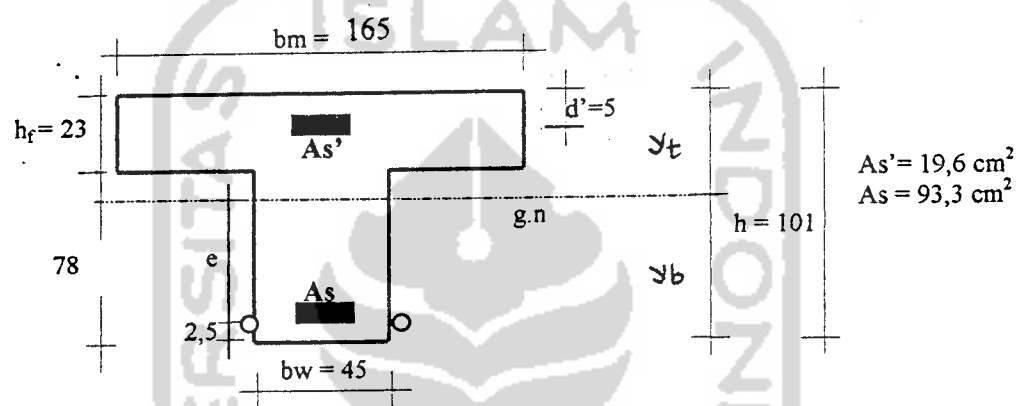
- Diagram tegangan



Gambar 4.7 a. Diagram Tegangan Balok Sebelum Prategang ....  
 b. Diagram Tegangan Balok Akibat Prategang awal  
 c. Diagram Tegangan Balok Akibat *Lost Prestressing*

### 4.2.2 Analisa Penampang Balok Tepi

Analisa penampang balok T sebagai berikut :



Gambar 4.8 Penampang Balok Tepi

#### 1. Lebar manfaat flens ( $b_m$ )

menurut PBI 1971 pasal 10.8.3, diambil nilai terkecil dari :

a.  $b_m \leq b_w + L/5$

$$b_m \leq 45 + 1500 / 5 = 345 \text{ cm}$$

b.  $b_m \leq b_w + L/10 + b_k/2$

$$b_m \leq 45 + 1500 / 10 + 175/2 = 282,5 \text{ cm}$$

c.  $b_m \leq b$

$$b_m \leq 165 \text{ cm}$$

maka, lebar manfaat balok diambil  $b_m = 165 \text{ cm}$

2. Beban mati ( $q_{DL}$ )

$$\begin{aligned} \text{Balok} &= [h_f \cdot b_m + b_w (h - h_f)] \gamma_{bt} \\ &= (0,23 \cdot 1,65 + 0,45 \cdot 0,78) \cdot 2,5 = 1,855 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Aspal} &= t \cdot b_m \cdot \gamma_{as} \\ &= 0,05 \cdot (1,75 - 0,55) \cdot 2,2 = 0,127 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Air} &= t \cdot b_m \cdot \gamma_{air} \\ &= 0,05 \cdot 1,65 \cdot 1,0 = 0,085 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Trotoar} = 0,22 \cdot 0,55 \cdot 2,4 = 0,291 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Sandaran} = 0,100 \text{ t/m}^2$$

---


$$q_{DL} = \dots\dots\dots = 2,458 \text{ t/m}^2$$

## 3. Momen akibat beban mati

$$\begin{aligned} M_{DL} &= 1/8 \cdot q_{DL} \cdot L^2 \\ &= 1/8 \cdot 2,458 \cdot 15^2 = 69,131 \text{ tm} \end{aligned}$$

## 4. Beban hidup 100 % Bina Marga (LL)

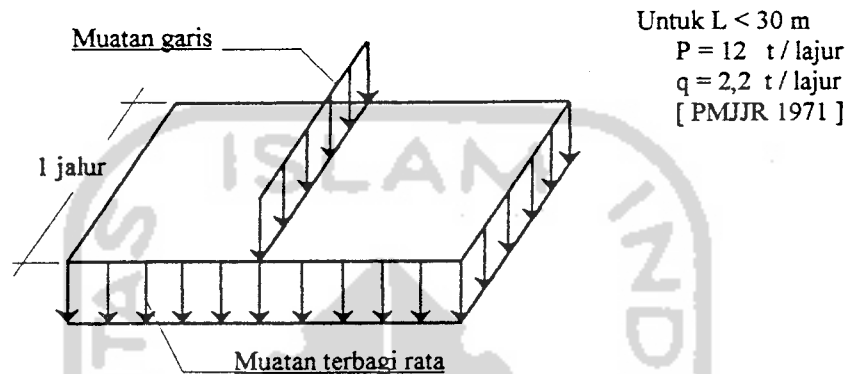
$$\text{Faktor kejut } k = 1 + \frac{20}{50 + L} = 1,31$$

$$\text{Muatan merata } q = 2,2 \text{ t/lajur}$$

$$\text{Muatan garis } P = 12 \text{ t/lajur [ Muatan "D" PMJJR Bina Marga]}$$

$$= \text{lebar lajur} = 2,75 \text{ m}$$

Bagan muatan D adalah sebagai berikut :



Gambar 4.9 Muatan D

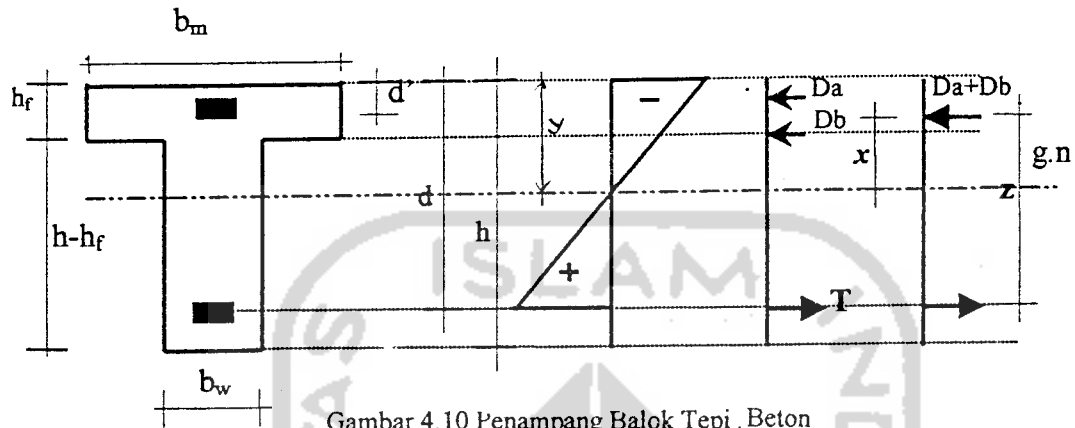
5. Momen akibat beban hidup ( 100 % BM)

$$\begin{aligned}
 M_{LL} &= 1/8 \cdot q \cdot L^2 + 1/8 \cdot q_{pk} \cdot L^2 + 1/4 \cdot P \cdot L \cdot k \\
 &= 1/8 \cdot (2,2/2,75) \cdot (1,7-0,55) \cdot 15^2 + 1/8 \cdot 0,5 \cdot 0,55 \cdot 15^2 + 1/4 \cdot (12/2,75) \cdot 1,65 \cdot 1,31 \cdot 15 \\
 &= 56,261 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

6. Statis momen terhadap garis netral

$$\begin{aligned}
 b_m \cdot h_f (y - 1/2 h_f) + 1/2 \cdot b_w (y - h_f)^2 + (n - 1) \cdot A_s' (y - d') &= n \cdot A_s (d - y) \\
 1,65 \cdot 23 (y - 1/2 \cdot 23) + 1/2 \cdot 45 (y - 23)^2 + (23 - 1) \cdot 19,6 (y - 5) &= 23 \cdot 93,3 (91 - y) \\
 22,5 y^2 + 5452,1 y + 230495,4 &= 0
 \end{aligned}$$

$$\text{didapat } y = 36,7 \text{ cm}$$



Gambar 4.10 Penampang Balok Tepi . Beton Konvensional

7. Gaya tekan pada beton

$$\begin{aligned}
 D_b &= 1/2 \cdot f_c \cdot y \cdot b_m - 1/2 \cdot f_c \cdot (b_m - b_w) \cdot \frac{(y - h_f)^2}{y} \\
 &= 1/2 \cdot f_c \cdot 36,7 \cdot 165 - 1/2 \cdot f_c \cdot (165 - 45) \cdot \frac{(36,7 - 23)^2}{36,7} \\
 &= 2799,86 f_c
 \end{aligned}$$

8. Gaya tekan pada baja tulangan ( $D_a$ )

$$\begin{aligned}
 D_a &= (n - 1) \cdot A_s' \left( \frac{y - d'}{y} \right) f_c \\
 &= (23 - 1) \cdot 19,6 \left( \frac{36,7 - 5}{36,7} \right) \cdot f_c \\
 &= 372,45 f_c
 \end{aligned}$$

9. Jarak titik berat gaya tekan terhadap garis netral

Jika,

$$s = 1/2 \cdot f_c \cdot y \cdot b_m = 3119,5 \text{ fc}$$

$$t = 1/2 \cdot f_c (b_m - b_w) \frac{(y - hf)^2}{y} = 319,64 \text{ fc}$$

maka,

$$x = \frac{s(2/3 y) - t \cdot 2/3 \cdot (y - hf) + D_a (y - d')}{s - t + D_a}$$

$$= \frac{3119,5 \text{ fc} \cdot (2/3 \cdot 36,7) - 319,64 \text{ fc} \cdot 2/3 \cdot (36,7 - 23) + 372,45 \text{ fc}(36,7 - 5)}{3119,5 \text{ fc} - 319,64 \text{ fc} + 372,45 \text{ fc}}$$

$$= 26,86 \text{ cm}$$

10. Lengan momen

$$Z = d - y + x$$

$$= 91 - 36,7 + 26,86 = 81,16 \text{ cm}$$

11. Tegangan-tegangan sebelum diberi gaya prategang

1). Tegangan pada baja tarik akibat beban mati

$$f_{a_{DL}} = \frac{M_{DL}}{(n \cdot A_s) \cdot Z}$$

$$= \frac{6913100}{23 \cdot 93,3 \cdot 81,16} = 39,693 \text{ kg/cm}^2$$

2). Tegangan pada beton tekan

$$\text{dimana, } D_a + D_b = T \text{ dan } T = n \cdot A_s \cdot f_a$$

$$\text{maka, } D_a + D_b = n \cdot A_s \cdot f_a$$

$$372,45 f_c + 2799,86 f_c = 23 \cdot 93,3 \cdot 39,693$$

$$f_{c_{DL}} = 26,85 \text{ kg/cm}^2$$



## 12. Tegangan akibat beban hidup 100 % standar BM

## a. Tegangan pada baja tarik

$$f_{a_{LL}} = \frac{M_{LL}}{n \cdot A_s \cdot Z}$$

$$= \frac{5826100}{23 \cdot 93,3 \cdot 81,16} = 33,45 \text{ kg/cm}^2$$

## b. Tegangan pada beton tekan

$$D_a + D_b = T \text{ dan } T = n \cdot A_s \cdot f_a$$

$$3172,31 f_c = 23 \cdot 93,3 \cdot 33,45$$

$$f_{c_{LL}} = 22,629 \text{ kg/cm}^2$$

## 13. Kombinasi tegangan akibat beban mati + beban hidup 100 % standar BM

## a. Tegangan pada baja tarik

$$f_{a_{tot}} = f_{a_{DL}} + f_{a_{LL}} \leq \bar{\sigma}_a / n$$

$$= 39,693 + 33,45 > 1400 / 23 = 60,87 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 79,143 \text{ kg/cm}^2 > 60,87 \text{ kg/cm}^2$$

→ baja tidak mampu menahan kombinasi beban

## b. Tegangan pada beton tekan

$$f_{c_{tot}} = f_{c_{DL}} + f_{c_{LL}} \leq 0,33 \cdot \sigma'_{bk}$$

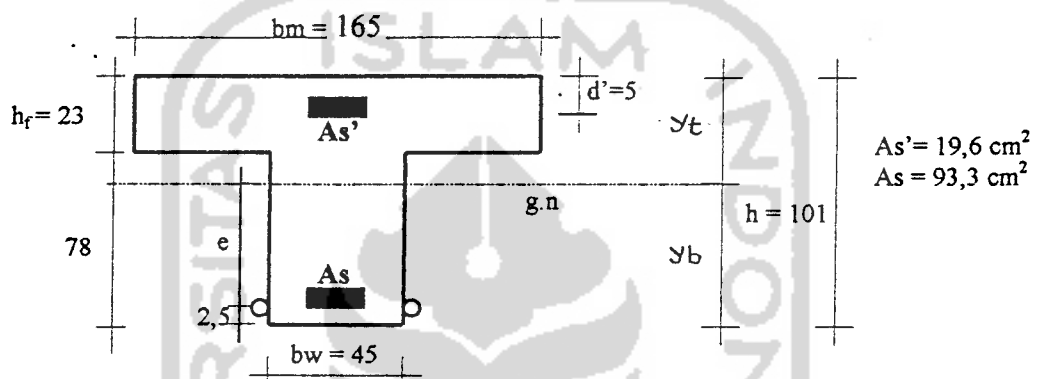
$$= 26,85 + 22,629 < 0,33 \cdot 200 = 66 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 49,479 \text{ kg/cm}^2 < 66 \text{ kg/cm}^2$$

→ beton masih mampu menahan kombinasi beban.

14. Tegangan yang terjadi setelah diberi gaya prategang

Untuk menganalisa tegangan pada penampang akibat gaya prategang dipakai luas tampang transformasi dan momen inerti transformasi ( transformasi tulangan baja non prategang ke luasan beton).



Gambar 4.11 Penampang Balok Tepi dengan *External Prestressing*.

a. Luas tampang transformasi :

$$\begin{aligned} A_t &= 165 \cdot 23 + 45 \cdot 78 + (23 - 1) \cdot 93,3 + (23 - 1) \cdot 19,6 \\ &= 9903,8 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

b. Letak garis netral terhadap sisi atas

$$\begin{aligned} y_t &= \frac{165 \cdot 23 \cdot 11,5 + 45 \cdot 78 \cdot (23 + 1/2 \cdot 78) + (23 - 1) \cdot 19,6 \cdot 5 + (23 - 1) \cdot 93,3 \cdot 91}{165 \cdot 23 + 45 \cdot 78 + (23 - 1) \cdot 19,6 + (23 - 1) \cdot 93,3} \\ &= 45,59 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$y_b = 101 - 45,59 = 55,41 \text{ cm}$$

c. Momen inerti transformasi ( $I_t$ ) dari gambar didapat :

$$I_{t \text{ flens}} = 1/12 \cdot 165 \cdot 23^3 + 165 \cdot 23 \cdot (34,09)^2 = 4716286,704 \text{ cm}^4$$

$$I_{t \text{ badan}} = 1/12 \cdot 45 \cdot 78^3 + 45 \cdot 78 \cdot (16,41)^2 = 2724771,231 \text{ cm}^4$$

$$\text{Tul.}_{As'} = (23 - 1) \cdot 19,6 \cdot 40,59^2 = 710442,741 \text{ cm}^4$$

$$\text{Tul.}_{As} = (23 - 1) \cdot 93,3 \cdot 45,41^2 = 4232600,982 \text{ cm}^4$$

---


$$\mathbf{I_t = 12384081,660 \text{ cm}^4}$$

d. Eksetrisitas tendon :

$$\begin{aligned} e &= y_b - 2,5 \\ &= 55,41 - 2,5 = 52,91 \text{ cm} \end{aligned}$$

15. Tegangan saat prategang awal

Serat atas :

$$\begin{aligned} f_t &= \left[ -\frac{P_o}{A_t} + \frac{P_o \cdot e \cdot y_t}{I_t} - \frac{(M_{DL} + M_{LL}) \cdot y_t}{I_t} \right] \\ &= \left[ -\frac{2 \cdot 13600}{9903,8} + \frac{2 \cdot 13600 \cdot 52,91 \cdot 55,41}{12384081,66} - \frac{(69,131 + 58,261) \cdot 10^5 \cdot 55,41}{12384081,66} \right] \\ &= -44,346 \text{ kg/cm}^2 < 0,60 \sigma'_{tk} = 120 \text{ kg/cm}^2 \\ &\quad \rightarrow \text{aman} \end{aligned}$$

Serat bawah :

$$\begin{aligned} f_b &= \left[ -\frac{P_o}{A_t} - \frac{P_o \cdot e \cdot y_b}{I_t} + \frac{(M_{DL} + M_{LL}) \cdot y_b}{I_t} \right] \\ &= \left[ -\frac{2 \cdot 13600}{9903,8} - \frac{2 \cdot 13600 \cdot 53,91 \cdot 55,41}{12384081,66} + \frac{(69,131 + 58,261) \cdot 10^5 \cdot 55,41}{12384081,66} \right] \\ &= 47,813 \text{ kg/cm}^2 > 0,25 \sqrt{\sigma'_{tk}} = 3,54 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

→ Pada serat bawah terjadi tegangan tarik, maka tegangan tarik seluruhnya ditahan tulangan non prategang yang ada. Cek terhadap tulangan non prategang

$$47,813 x = 44,346 (101 - x)$$

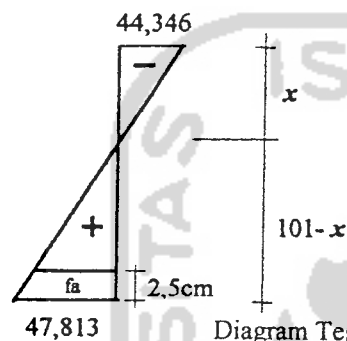
$$92,159 x = 4478,946$$

$$x = 48,60 \text{ cm}$$

$$101 - 48,60 = 52,40 \text{ cm}$$

$$f_a = (47,813 \cdot (52,40 - 2,5)) / 52,40$$

$$= 45,53 \text{ kg/cm}^2 < 60,87 \text{ kg/cm}^2$$



Gambar 4.12

47,813

Diagram Tegangan Balok Tepi dengan Transfer Tegangan ke Tulangan Non Prategang (Prategang Awal)

→ aman

#### 16. Tegangan setelah "lost prestressing"

Prosentase kehilangan prategang jika prategang menyimpang dari kondisi rata-rata, maka prosentase kehilangan prategang :

$$P_o / A_t = 2.13600 / 9903,8$$

$$= 2,746 \text{ kg/cm}^2 < 1,7 \text{ Mpa (17 kg/cm}^2)$$

Untuk pasca tarik diambil LOP sebesar 15 %

$$P_{\text{eff}} = (1 - R) \cdot P_o$$

$$= (1 - 0,15) \cdot 13600 = 11560 \text{ kg}$$

Serat atas :

$$f_t = \left[ -\frac{P_{\text{eff}}}{A_t} + \frac{P_{\text{eff}} \cdot e \cdot y_t}{I_t} - \frac{(M_{\text{DL}} + M_{\text{LL}}) \cdot y_t}{I_t} \right]$$

$$= \left[ -\frac{2 \cdot 11560}{9903,8} + \frac{2 \cdot 11560 \cdot 52,91 \cdot 45,59}{12384081,66} - \frac{(69,131 + 58,261) \cdot 10^5 \cdot 45,59}{12384081,66} \right]$$

$$= -44,728 \text{ kg/cm}^2 < 0,45 \cdot \sigma'_{\text{bk}} = 90 \text{ kg/cm}^2$$

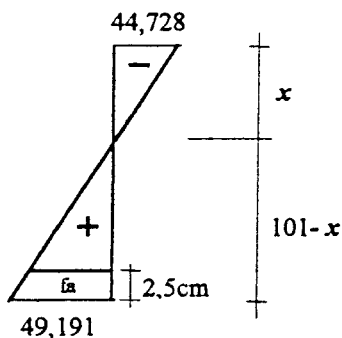
Serat bawah :

$$f_t = \left[ -\frac{P_{\text{eff}}}{A_t} - \frac{P_{\text{eff}} \cdot e \cdot y_b}{I_t} + \frac{(M_{\text{DL}} + M_{\text{LL}}) \cdot y_b}{I_t} \right]$$

$$= \left[ -\frac{2 \cdot 11560}{9903,8} - \frac{2 \cdot 11560 \cdot 52,91 \cdot 55,41}{12384081,66} + \frac{(69,131 + 58,261) \cdot 10^5 \cdot 55,41}{12384081,66} \right]$$

$$= 49,191 \text{ kg/cm}^2 > 0,5 \sqrt{\sigma'_{\text{bk}}} = 7,07 \text{ kg/cm}^2$$

→ Pada serat bawah terjadi tegangan tarik, maka tegangan tarik seluruhnya ditahan tulangan non prategang yang ada. Cek terhadap tulangan non prategang



$$49,191 x = 44,728 (101 - x)$$

$$93,919 x = 4517,528$$

$$x = 48,10 \text{ cm}$$

$$101 - 48,10 = 52,90 \text{ cm}$$

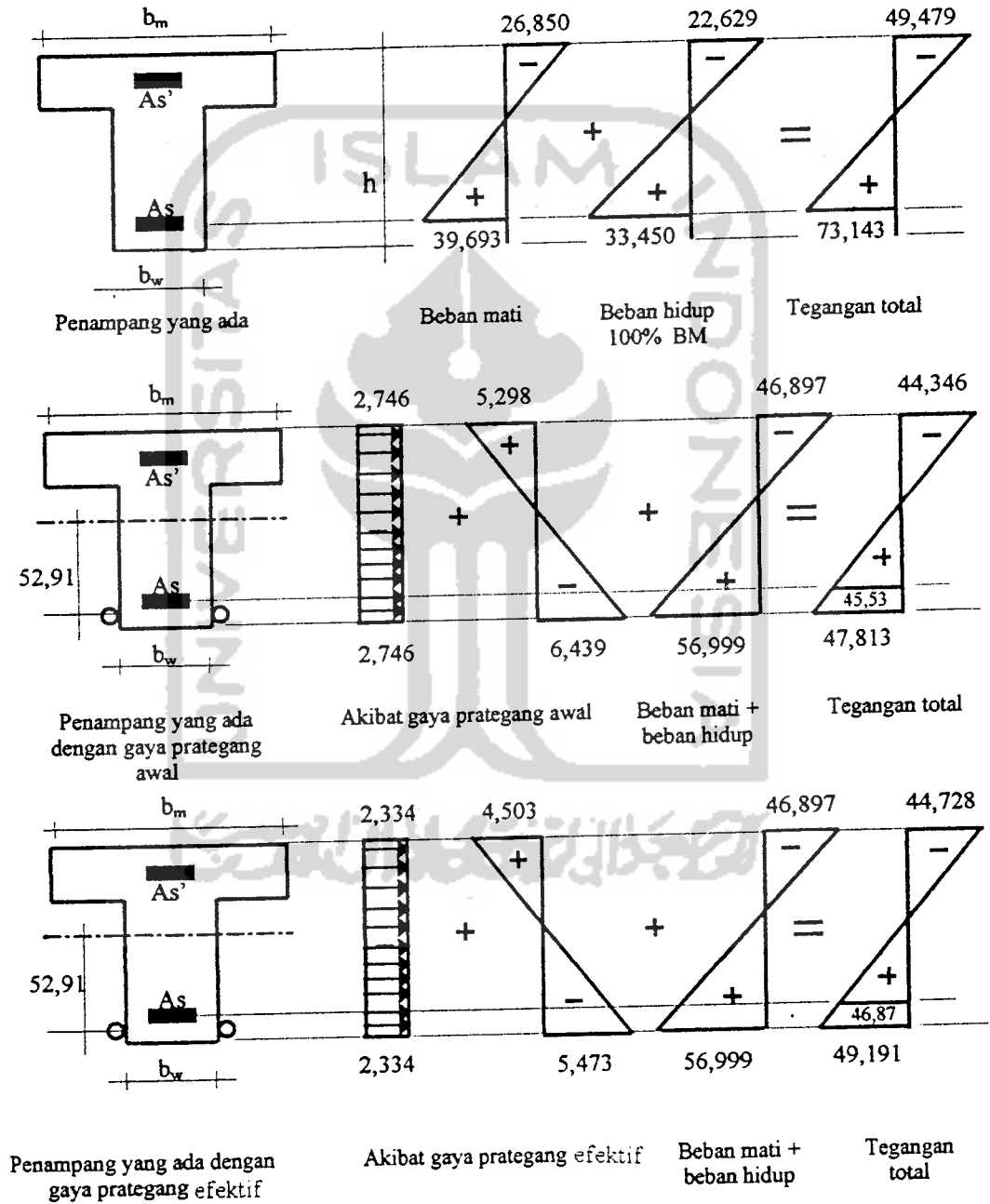
$$f_a = (49,191 \cdot (52,90 - 2,5)) / 52,90$$

$$= 46,87 \text{ kg/cm}^2 < 60,87 \text{ kg/cm}^2$$

→ aman

Gambar 4.13 Diagram Tegangan Balok Tepi dengan Transfer Tegangan ke Tulangan Non Prategang (Prategang efektif)

- Diagram tegangan



Gambar 4.14 a. Diagram Tegangan Balok Tepi Sebelum Prategang  
 b. Diagram Tegangan Balok Tepi Akibat Prategang awal  
 c. Diagram Tegangan Balok Tepi Akibat *Lost Prestressing*

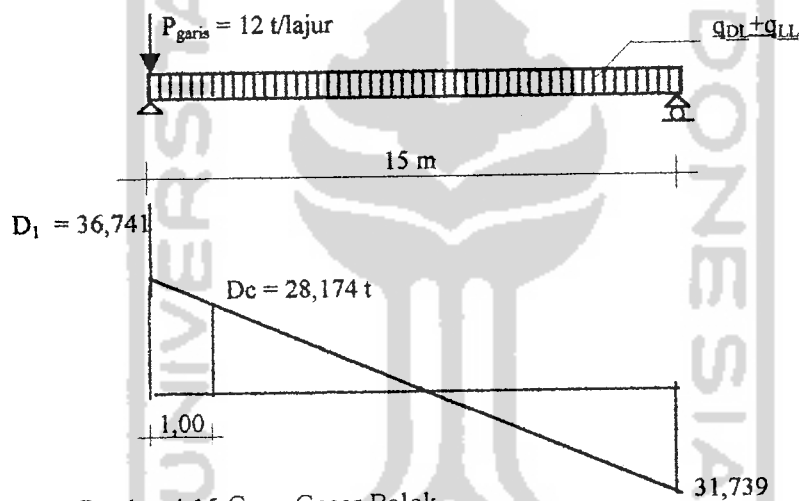
### 4.3 Kontrol Kekuatan Geser

Tulangan geser yang ada di dalam balok gelagar jembatan Cikeruh (balok tepi dan balok tengah) menggunakan tulangan  $\phi 10 - 30$  dengan mutu baja  $U_{24}$ .

#### 4.3.1 Kuat Geser Balok Tengah

1. Tegangan geser sebelum diberi gaya prategang

- a. Gaya lintang



Gambar 4.15 Gaya Geser Balok

$$D_1 = \frac{12}{2,75} \cdot 1,75 \cdot 1,31 + 1/2 \left[ 2,165 + \frac{2,2}{2,75} \cdot 1,75 \right] \cdot 15$$

$$= 36,741 \text{ ton}$$

$$D_c = \frac{31,739}{7,5} \cdot 6,5 = 28,174 \text{ ton}$$

b. Tegangan geser yang timbul

$$\tau = \frac{8}{7} \cdot \frac{D_c}{b \cdot d} \leq \bar{\tau}_b = 6,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$= \frac{8}{7} \cdot \frac{28174}{45 \cdot 91} = 7,863 \text{ kg/cm}^2 > 6,1 \text{ kg/cm}^2$$

Selisih tegangan ( $\tau - \bar{\tau}_b$ ) harus diberi tulangan geser dengan jarak

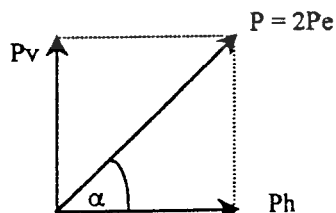
$$a = \frac{A_{geser} \cdot \bar{\sigma}_a}{b(\tau - \bar{\tau}_b)} > \text{jarak tulangan geser yang ada} = 30 \text{ cm}$$

$$= \frac{1,54 \cdot 1400}{45(7,863 - 6,1)}$$

$$= 27,176 \text{ cm} < 30 \text{ cm}$$

→ Jarak tulangan geser yang terjadi akibat beban mati + beban hidup 100 % BM tidak mampu lagi menahan beban tersebut.

c. Analisa tambahan kuat geser akibat gaya prategang



$$\alpha = 12^\circ 20'$$

$$P_v = P \sin \alpha$$

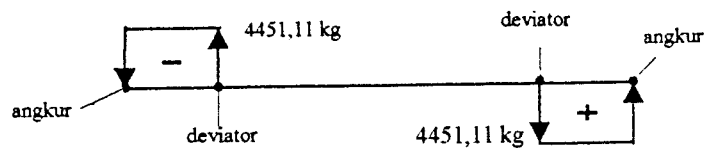
$$= 2 \cdot 11560 \sin 12^\circ 20' = 4451,11 \text{ kg}$$

Gambar 4.16 Gaya Geser Akibat Gaya Prategang.

Mulai dari angker sampai deviator terdapat gaya lintang sebesar

$$P_v = 4451,11 \text{ kg}$$





Gambar 4.17 Diagram Gaya Geser Akibat Gaya Prategang

Gaya geser nominal pada jarak 1,00 meter dari tumpuan (angkur)

$$D_n = D_c - P_v$$

$$= 28174 - 4451,11 = 23722,89 \text{ kg}$$

Besar gaya geser yang terjadi akibat kombinasi beban mati + beban hidup 100

% BM + gaya prategang  $P_v$

$$\tau = \frac{8}{7} \cdot \frac{D_n}{b \cdot d} \leq \bar{\tau}_b = 6,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$= \frac{8}{7} \cdot \frac{23722,89}{45 \cdot 91}$$

$$= 6,62 \text{ kg/cm}^2 > \bar{\tau}_b = 6,1 \text{ kg/cm}^2$$

Selisih tahanan geser di beri tulangan geser dengan jarak,

$$a = \frac{A_{\text{geser}} \cdot \sigma_a}{b \cdot (\tau - \bar{\tau}_b)} > 30 \text{ cm}$$

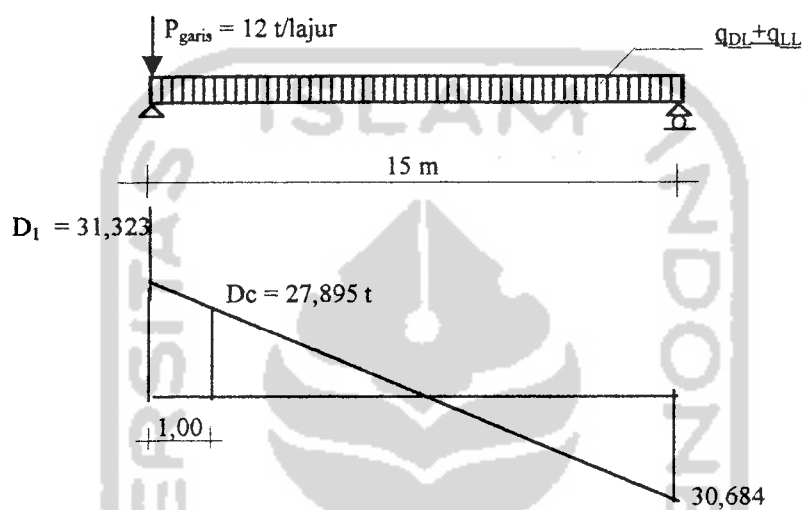
$$= \frac{1,57 \cdot 1400}{45 \cdot (6,62 - 6,1)} = 93,93 \text{ cm} > 30 \text{ cm}$$

→ Dengan adanya tambahan gaya geser  $P_v$  akibat gaya prategang, maka jarak tulangan geser yang terjadi lebih dari yang dibutuhkan, sehingga kapasitas geser balok tengah jembatan meningkat.

### 4.3.2 Kuat Geser Balok Tepi

1. Tegangan geser sebelum diberi gaya prategang

a. Gaya lintang



Gambar 4.18 Gaya Geser Balok Tepi

$$D_1 = \frac{12}{2,75} \cdot (1,65 - 0,55) \cdot 1,31 + 1/2 \left[ 2,458 + \frac{2,2}{2,75} \cdot (1,65 - 0,55) \right] \cdot 15$$

$$= 31,323 \text{ ton}$$

$$D_c = \frac{30,684}{7,5} \cdot 6,5 = 27,895 \text{ ton}$$

b. Tegangan geser yang timbul

$$\tau = \frac{8}{7} \cdot \frac{D_c}{b \cdot d} \leq \bar{\tau}_b = 6,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$= \frac{8}{7} \cdot \frac{27895}{45 \cdot 91} = 7,785 \text{ kg/cm}^2 > 6,1 \text{ kg/cm}^2$$

Selisih tegangan ( $\tau - \tau_b$ ) harus diberi tulangan geser dengan jarak,

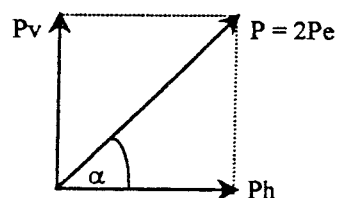
$$a = \frac{A_{geser} \cdot \bar{\sigma}_a}{b(\tau - \tau_b)} > \text{jarak tulangan geser yang ada} = 30 \text{ cm}$$

$$= \frac{1,57 \cdot 1400}{45(7,785 - 6,1)}$$

$$= 28,988 \text{ cm} < 30 \text{ cm}$$

→ Jarak tulangan geser yang terjadi akibat beban mati + beban hidup 100 % BM tidak mampu lagi menahan beban tersebut.

c. Analisa tambahan kuat geser akibat gaya prategang



$$\alpha = 12^\circ 20'$$

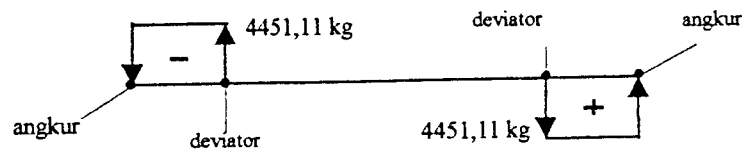
$$P_v = P \sin \alpha$$

$$= 2 \cdot 11560 \sin 12^\circ 20' = 4451,11 \text{ kg}$$

Gambar 4.19 Geser Akibat Prategang

Mulai dari angker sampai deviator terdapat gaya lintang sebesar

$$P_v = 4451,11 \text{ kg}$$



Gambar 4.20 Diagram Geser Balok Tepi Akibat Prategang

Gaya geser nominal pada jarak 1,00 meter dari tumpuan (angkur)

$$D_n = D_c - P_v$$

$$= 27895 - 4451,11 = 23443,89 \text{ kg}$$

Besar gaya geser yang terjadi akibat kombinasi beban mati + beban hidup  
100 % BM + gaya prategang  $P_v$

$$\tau = \frac{8}{7} \cdot \frac{D_n}{b \cdot d} \leq \bar{\tau}_b = 6,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$= \frac{8}{7} \cdot \frac{23443,89}{45 \cdot 91}$$

$$= 6,543 \text{ kg/cm}^2 > \bar{\tau}_b = 6,1 \text{ kg/cm}^2$$

Selisih tegangan geser di beri tulangan geser dengan jarak,

$$a = \frac{A_{\text{geser}} \cdot \sigma_a}{b \cdot (\tau - \tau_b)} > 30 \text{ cm}$$

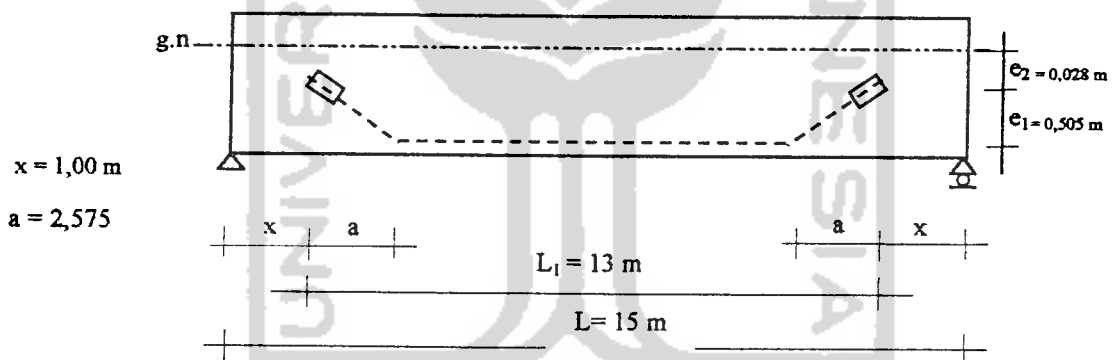
$$= \frac{1,57 \cdot 1400}{45 \cdot (6,543 - 6,1)} = 110,26 \text{ cm} > 30 \text{ cm}$$

→ Dengan adanya tambahan gaya geser  $P_v$  akibat gaya prategang, maka jarak tulangan geser yang terjadi lebih dari yang dibutuhkan, sehingga kapasitas geser balok tengah jembatan meningkat.

#### 4.4 Kontrol Lendutan

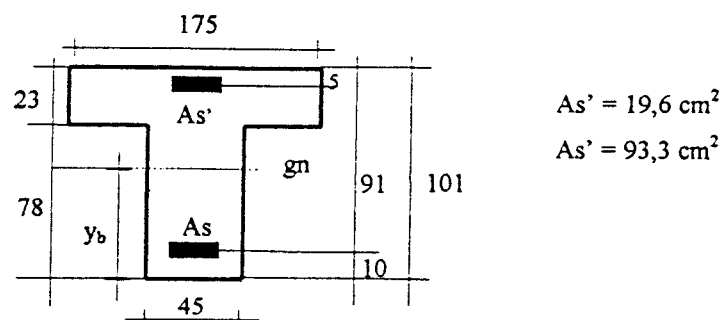
Jembatan Cikeruh merupakan jembatan beton bertulang biasa dan telah lama menerima beban kerja, walaupun kemudian diberi gaya prategang namun untuk menghitung lendutan tetap menggunakan modulus elastis beton yang sebenarnya dan menggunakan momen inerti efektif. Karena gelagar jembatan lebih dominan berperilaku sebagai gelagar beton bertulang biasa.

##### 4.4.1 Lendutan pada Gelagar Tengah Jembatan



Gambar 4.21 Gelagar Tengah

- a. Menghitung momen inerti efektif.



Gambar 4.22 Penampang Balok Tengah.

## 1). Penampang bruto

- Letak garis netral penampang bruto terhadap sisi bawah.

$$y_b = \frac{175 \cdot 23 \cdot 89,5 + 45 \cdot 78 \cdot 39}{175 \cdot 23 + 45 \cdot 78}$$

$$= 65,976 \text{ cm}$$

$$\text{jadi } h - y_b = 101 - 65,98 = 35,024 \text{ cm}$$

- Inertia penampang bruto

$$I_g = 1/12 \cdot 175 \cdot 23^3 + 175 \cdot 23 \cdot 23,524^2 + 1/12 \cdot 45 \cdot 78^3 + 45 \cdot 78 \cdot 26,976^2$$

$$= 6738597,247 \text{ cm}^4$$

- Momen retak

$$f_r = 0,7 \sqrt{200} = 9,899 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_{cr} = f_r \cdot \frac{I_g}{y_b}$$

$$= 9,899 \frac{6738597,247}{65,976} = 1011055,144 \text{ kg cm}$$

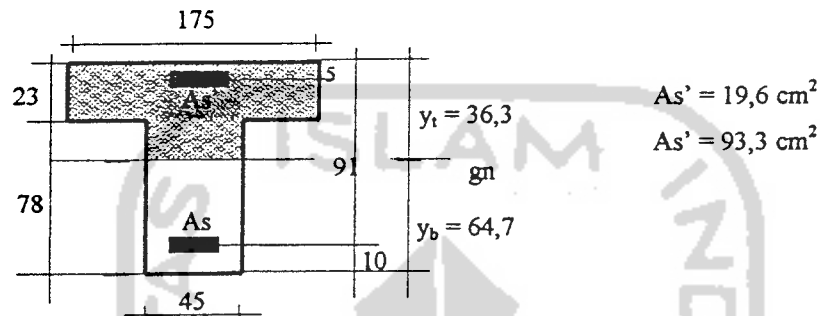
## 2). Penampang retak

- Kontrol letak garis netral penampang retak, ambil terhadap sisi bawah sayap.

$$175 \cdot 23 \cdot 11,5 + (23 - 1) \cdot 19,6 \cdot (23 - 5) < 23 \cdot 93,3 \cdot (91 - 23)$$

$$54049,1 < 145921,2 \text{ ( garis netral pada badan )}$$

- Menentukan letak garis netral ( lihat hitungan analisa penampang balok tengah).



Gambar 4.23 Penampang Retak Balok Tengah

- Momen inerti retak

$$\begin{aligned}
 I_{cr} &= 1/12 \cdot 175 \cdot 23^3 + 175 \cdot 23 (36,6 - 11,5)^2 + 1/12 \cdot 45 (36,3 - 23)^3 + 45 (36,3 \\
 &\quad - 23) \cdot [1/2 \cdot (36,3 - 23)]^2 + (23 - 1) \cdot 19,6 \cdot (36,3 - 5)^2 + 23 \cdot 93,3 (64,7 - \\
 &\quad 10)^2 \\
 &= 9531429,230 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

- Inertia efektif

$$I_e = \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \cdot I_g + \left[ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \cdot I_{cr} \leq I_g$$

dimana

$$\left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 = \left( \frac{1011055,144}{(6089100 + 7688900)} \right)^3 = 0,0004$$

$$\begin{aligned}
 I_e &= 0,0004 \cdot 6738597,247 + (1 - 0,0004) \cdot 9531429,230 \\
 &= 9530279,837 \text{ cm}^4 > I_g = 6738597,247 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

maka dipakai  $I_e = 6738597,247 \text{ cm}^4$

- Modulus elastis beton

$$E_b = 6400 \sqrt{200} = 90509,668 \text{ kg/cm}^2$$

### 1. Lendutan Sebelum Diberi Gaya Prategang

#### a. lendutan di tengah bentang

$$\begin{aligned}\delta_{\max} &= \left[ \frac{5 \cdot (q_{\text{dl}} + q_{\text{ll}}) \cdot L^4}{384 EI} \right] + \left[ \frac{P \cdot k \cdot L^3}{48 EI} \right] \leq \frac{L}{280} \\ &= \left[ \frac{5 \cdot \left( 21,65 + \frac{22}{275} \cdot 175 \right) \cdot 1500^4}{384 \cdot 90509,668 \cdot 6738597,247} \right] + \left[ \frac{\left( \frac{12000}{275} \cdot 175 \right) \cdot 1,31 \cdot 1500^3}{384 \cdot 90509,668 \cdot 6738597,247} \right] \\ &= 5,006 \text{ cm (ke bawah)} < \frac{1500}{280} = 5,357 \text{ cm}\end{aligned}$$

→ Lendutan gelagar jembatan masih aman terhadap beban mati dan hidup 100% BM.

#### b. lendutan pada perletakan angkur ( $x = 1,00$ m)

$$\begin{aligned}\delta_x &= \left[ \frac{(q_{\text{DL}} + q_{\text{LL}}) \cdot x}{24 \cdot E \cdot I} (L^3 - 2Lx^2 + x^3) + \frac{P \cdot k \cdot x}{48 \cdot E \cdot I} (3L^2 - 4x^2) \right] \\ &= \left[ \frac{\left( 21,65 + \frac{22}{275} \cdot 175 \right) \cdot 100}{24 \cdot 90509,668 \cdot 6738597,247} (1500^3 - 2 \cdot 1500 \cdot 100^2 + 100^3) \right] \\ &\quad + \left[ \frac{\frac{12000}{275} \cdot 175 \cdot 1,31 \cdot 100}{48 \cdot 90509,668 \cdot 6738597,247} (3 \cdot 1500^2 - 4 \cdot 100^2) \right]\end{aligned}$$

$$= 0,815 + 0,361 = 1,176 \text{ cm (ke bawah)}$$



## 2. Lendutan Akibat Gaya Prategang

Lendutan akibat gaya prategang hanya terjadi sepanjang  $L_1 = 13 \text{ m}$ ,  
 $e_1 = 50,5 \text{ cm}$ ,  $e_2 = 2,80 \text{ cm}$ .

a. Lendutan ditengah bentang akibat gaya prategang awal :

$$\begin{aligned}\Delta_1 &= \frac{P_o \cdot L_1^2}{8 \cdot EI} \left[ e_2 + e_1 - \frac{e_1}{3} \left( \frac{2a}{L_1} \right)^2 \right] \\ &= \frac{2 \cdot 13600 \cdot 1300^2}{8 \cdot 90509,668 \cdot 6738597,247} \left[ 2,8 + 50,5 - \frac{50,5}{3} \left( \frac{2 \cdot 257,5}{1300} \right)^2 \right] \\ &= 0,4771 \text{ cm (ke atas)}\end{aligned}$$

b. Lendutan setelah kehilangan gaya prategang

$$\begin{aligned}\Delta_2 &= \Delta_1 \cdot P_e / P_o \\ &= 0,477 \cdot 11560 / 13600 \\ &= 0,406 \text{ cm (ke atas)}\end{aligned}$$

## 3. Lendutan Setelah Diberi Gaya Prategang

a. Lendutan total di tengah bentang setelah kehilangan gaya prategang dan beban tetap.

$$\begin{aligned}\Delta_3 &= \Delta_2 - \delta_{\text{mak}} \\ &= 0,406 - 5,006 \\ &= -4,60 \text{ cm (ke bawah)} < L / 280 = 5,357 \text{ cm}\end{aligned}$$

→ akibat adanya gaya prategang, lendutan sesaat setelah kehilangan gaya prategang, semakin berkurang sehingga gelagar jembatan semakin aman.

b. Lendutan total akhir di tengah bentang setelah kehilangan gaya prategang dan pengaruh rangkai serta susut.

$$\Delta_{\text{tot akhir}} = \Delta_3 \cdot \lambda$$

$$\text{dimana, } \lambda = \xi / (1 + 50 \rho')$$

$$\rho' = A_s' / bd$$

$$= 19,6 / (45 \cdot 91) = 0,0048$$

- Lendutan setelah 12 bulan (1 tahun)

$$\lambda = 1,4 / (1 + 50 \cdot 0,0048) = 1,1296$$

$$\text{jadi, } \Delta_{\text{tot akhir 1 th}} = 4,60 \cdot 1,1296$$

$$= 5,196 \text{ cm (ke bawah)} < L / 280 = 5,357 \text{ cm}$$

→ Gelagar tengah jembatan masih aman terhadap lendutan setelah 1 tahun.

- Lendutan setelah  $\geq 5$  tahun

$$\lambda = 2,0 / (1 + 50 \cdot 0,0048) = 1,614$$

$$\text{jadi, } \Delta_{\text{tot akhir 5 th}} = 4,60 \cdot 1,614$$

$$= 7,424 \text{ cm (ke bawah)} > L / 280 = 5,357 \text{ cm}$$

→ Lendutan setelah  $\geq 5$  tahun lebih besar dari lendutan ijin, maka gelagar jembatan tidak aman lagi menahan beban tetap, sehingga bila kondisinya memungkinkan bisa dilakukan *restressed*.

c. Lendutan total akhir diperletakan angker ( $x = 1,00$  m)

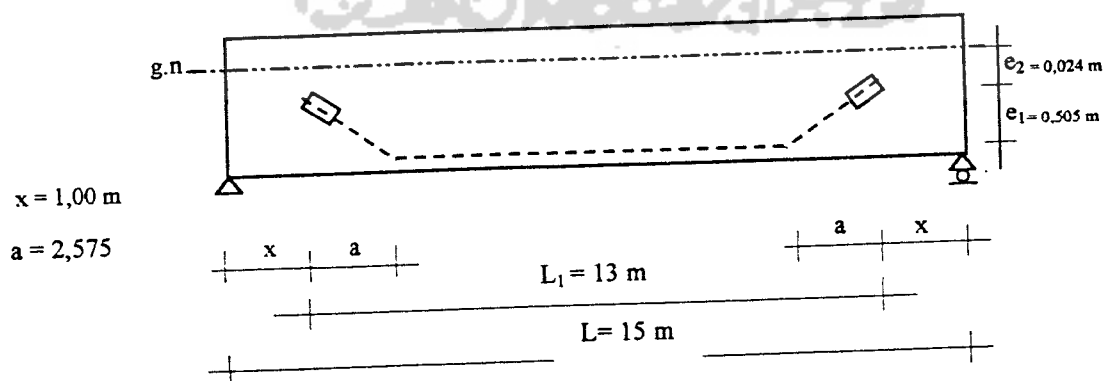
- Lendutan setelah 12 bulan ( 1 tahun)

$$\begin{aligned}\Delta_{\text{tot akhir 1 th di } x} &= 1,176 \cdot 1,1296 \\ &= 1,328 \text{ cm} < L / 280 = 5,357 \text{ cm}\end{aligned}$$

- Lendutan setelah  $\geq 5$  tahun

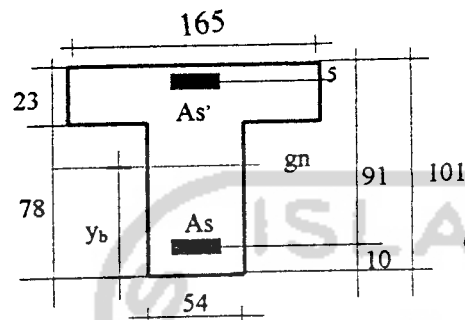
$$\begin{aligned}\Delta_{\text{tot akhir 5 th di } x} &= 1,176 \cdot 1,614 \\ &= 1,898 \text{ cm} < L / 280 = 5,357 \text{ cm}\end{aligned}$$

#### 4.4.2 Lendutan pada Gelagar Tepi Jembatan



Gambar 4.24 Gelagar Tepi

a. Menghitung momen inerti efektif.



$$As' = 19,6 \text{ cm}^2$$

$$As = 93,3 \text{ cm}^2$$

Gambar 4.25 Penampang Balok Tepi

1). Penampang bruto

- Letak garis netral penampang bruto terhadap sisi bawah.

$$y_b = \frac{165 \cdot 23 \cdot 89,5 + 45 \cdot 78 \cdot 39}{165 \cdot 23 + 45 \cdot 78}$$

$$= 65,610 \text{ cm}$$

$$\text{jadi } h - y_b = 101 - 65,610 = 35,390 \text{ cm}$$

- Inertia penampang bruto

$$I_g = 1/12 \cdot 45 \cdot 101^3 + 45 \cdot 101 \cdot 15,11^2 + 1/12 \cdot (165 - 45) \cdot 23^3 + (165 - 45) \cdot 23 \cdot 23,89^2$$

$$= 6547672,449 \text{ cm}^4$$

- Momen retak

$$f_r = 0,7 \sqrt{200} = 9,899 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_{cr} = f_r \cdot \frac{I_g}{y_b}$$

$$= 9,899 \frac{6547672,449}{65,61} = 987889,187 \text{ kg cm}$$

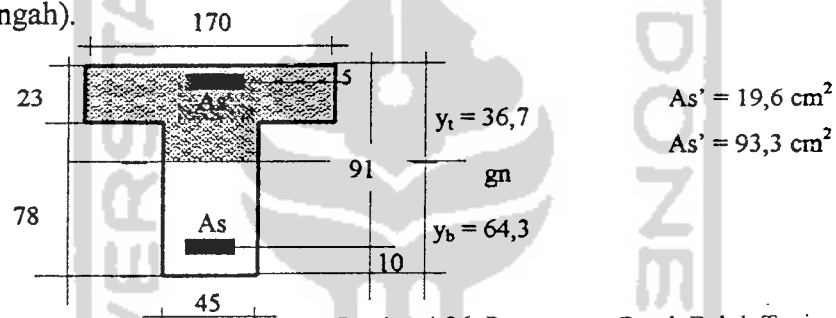
## 2). Penampang retak

- Kontrol letak garis netral penampang retak, ambil terhadap sisi bawah sayap.

$$170 \cdot 23 \cdot 11,5 + (23 - 1) \cdot 19,6 \cdot (23 - 5) < 23 \cdot 93,3 \cdot (91 - 23)$$

$$52726,6 < 145921,2 \quad (\text{garis netral pada badan})$$

- Menentukan letak garis netral ( lihat hitungan analisa penampang balok tengah).



Gambar 4.26 Penampang Retak Balok Tepi

- Momen inerti retak

$$\begin{aligned} I_{cr} &= 1/12 \cdot 170 \cdot 23^3 + 170 \cdot 23 (36,7 - 11,5)^2 + 1/12 \cdot 45 (36,7 - 23)^3 + 45 (36,7 \\ &\quad - 23) \cdot [1/2 \cdot (36,7 - 23)]^2 + (23 - 1) \cdot 19,6 \cdot (36,7 - 5)^2 + 23 \cdot 93,3 (64,3 - \\ &\quad 10)^2 \\ &= 9454414,787 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

- Inertia efektif

$$I_e = \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \cdot I_g + \left[ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \cdot I_{cr} \leq I_g$$

dimana

$$\left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 = \left( \frac{987889,187}{(691300 + 5826100)} \right)^3 = 0,00047$$

$$I_e = 0,00047 \cdot 6547672,449 + (1 - 0,00047) \cdot 9454415,787$$

$$= 9453060,27 \text{ cm}^4 > I_g = 6547672,449 \text{ cm}^4$$

maka dipakai  $I_e = 6547672,449 \text{ cm}^4$

b. Modulus elastis beton

$$E_b = 6400 \sqrt{200} = 90509,668 \text{ kg/cm}^2$$

1. **Lendutan Sebelum Diberi Gaya Prategang**

a. Lendutan di tengah bentang

$$\delta_{\text{mak}} = \left[ \frac{5 \cdot (q_{\text{at}} + q_{\text{it}}) \cdot L^4}{384 EI} \right] + \left[ \frac{P \cdot k \cdot L^3}{48 EI} \right] \leq \frac{L}{280}$$

$$= \left[ \frac{5 \cdot \left( 24,58 + \frac{22}{275} (170 - 55) + \frac{5}{275} \cdot 55 \right) \cdot 1500^4}{384 \cdot 90509,668 \cdot 6547672,449} \right]$$

$$+ \left[ \frac{\left( \frac{12000}{275} \cdot (170 - 55) \right) \cdot 1,31 \cdot 1500^3}{384 \cdot 90509,668 \cdot 6547672,449} \right]$$

$$= 4,648 \text{ cm} < \frac{1500}{280} = 5,357 \text{ cm}$$

→ Lendutan gelagar jembatan masih aman terhadap beban mati dan hidup 100% BM.

b. Lendutan pada perletakan angkur ( $x = 1,00 \text{ m}$ )

$$\delta_x = \left[ \frac{(q_{DL} + q_{LL}) \cdot x}{24 \cdot E \cdot I} (L^3 - 2Lx^2 + x^3) + \frac{P \cdot k \cdot x}{48 \cdot E \cdot I} (3L^2 - 4x^2) \right]$$

$$= \left[ \frac{\left( 24,58 + \frac{22}{275}(170 - 55) + \frac{5}{275} \cdot 55 \right) \cdot 100}{24 \cdot 90509,668 \cdot 6547672,449} (1500^3 - 2 \cdot 1500 \cdot 100^2 + 100^3) \right]$$

$$+ \left[ \frac{\frac{12000}{275}(170 - 55) \cdot 1,31 \cdot 100}{48 \cdot 90509,668 \cdot 6547672,449} (3 \cdot 1500^2 - 4 \cdot 100^2) \right]$$

$$= 0,818 + 0,155 = 0,973 \text{ cm (ke bawah)}$$

## 2. Lendutan Akibat Gaya Prategang

Lendutan akibat gaya prategang hanya terjadi sepanjang  $L_1 = 13 \text{ m}$ ,

$e_1 = 50,5 \text{ cm}$ ,  $e_2 = 2,41 \text{ cm}$ .

b. Lendutan ditengah bentang akibat gaya prategang awal :

$$\Delta_1 = \frac{P_o \cdot L_1^2}{8 \cdot E \cdot I} \left[ e_2 + e_1 - \frac{e_1}{3} \left( \frac{2a}{L_1} \right)^2 \right]$$

$$= \frac{2 \cdot 13600 \cdot 1300^2}{8 \cdot 90509,668 \cdot 6547672,449} \left[ 2,41 + 50,5 - \frac{50,5}{3} \left( \frac{2 \cdot 257,5}{1300} \right)^2 \right]$$

$$= 0,487 \text{ cm (ke atas)}$$

b. Lendutan setelah kehilangan gaya prategang

$$\begin{aligned}\Delta_2 &= \Delta_1 \cdot P_e / P_o \\ &= 0,486 \cdot 11560 / 13600 \\ &= 0,414 \text{ cm ( ke atas )}\end{aligned}$$

### 3. Lendutan Setelah Diberi Gaya Prategang

a. Lendutan total di tengah bentang akibat kehilangan gaya prategang dan beban tetap.

$$\begin{aligned}\Delta_3 &= \Delta_2 - \delta_{\text{mak}} \\ &= 0,414 - 4,648 \\ &= 4,234 \text{ cm ( ke bawah )} < L / 280 = 5,357 \text{ cm}\end{aligned}$$

→ Akibat adanya gaya prategang, lendutan sesaat setelah kehilangan gaya prategang, lendutan ke bawah semakin berkurang sehingga gelagar jembatan semakin aman.

b. Lendutan total akhir di tengah bentang akibat kehilangan gaya prategang dan pengaruh rangkai serta susut.

$$\Delta_{\text{tot akhir}} = \Delta_3 \cdot \lambda$$

$$\text{dimana, } \lambda = \xi / ( 1 + 50 \rho' )$$

$$\rho' = A_s' / b d$$

$$= 19,6 / ( 45 \cdot 91 ) = 0,0048$$



- Lendutan setelah 12 bulan (1 tahun)

$$\lambda = 1,4 / (1 + 50 \cdot 0,0048) = 1,1296$$

jadi,  $\Delta_{\text{tot akhir 1 th}} = 4,234 \cdot 1,1296$

$$= 4,783 \text{ cm (ke bawah)} < L / 280 = 5,357 \text{ cm}$$

→ Gelagar tengah jembatan masih aman terhadap lendutan setelah 1 tahun.

- Lendutan setelah  $\geq 5$  tahun

$$\lambda = 2,0 / (1 + 50 \cdot 0,0048) = 1,614$$

jadi,  $\Delta_{\text{tot akhir 5 th}} = 4,234 \cdot 1,614$

$$= 6,834 \text{ cm (ke bawah)} > L / 280 = 5,357 \text{ cm}$$

→ Lendutan  $\geq 5$  tahun lebih besar dari lendutan ijin, maka gelagar jembatan tidak aman lagi menahan beban tetap, sehingga bila kondisinya memungkinkan bisa dilakukan *restressed*.

- b. Lendutan total akhir diperletakkan angker ( $x = 1,00 \text{ m}$ )

- Lendutan setelah 12 bulan (1 tahun)

$$\Delta_{\text{tot akhir 1 th di } x} = 0,973 \cdot 1,1296$$

$$= 1,099 \text{ cm} < L / 280 = 5,357 \text{ cm}$$

- Lendutan setelah  $\geq 5$  tahun

$$\Delta_{\text{tot akhir 5 th di } x} = 0,973 \cdot 1,614$$

$$= 1,570 \text{ cm} < L / 280 = 5,357 \text{ cm}$$

## 4.5 Hasil Analisa Penampang

Tabel 4.1 Tegangan Lentur Gelagar Jembatan

	TEGANGAN ( kg/cm <sup>2</sup> )	KETERANGAN
<b>A. Gelagar Tengah</b>		
<input type="checkbox"/> Sebelum Prategang <ul style="list-style-type: none"> <li>- Beton tekan</li> <li>- Baja tarik</li> </ul>	- 52,835 + 79,563	Aman Tidak aman
<input type="checkbox"/> Setelah Prategang <ul style="list-style-type: none"> <li>• Akibat Prategang Awal <ul style="list-style-type: none"> <li>- Serat atas</li> <li>- Serat bawah</li> </ul> </li> <li>• Setelah Kehilangan Prategang <ul style="list-style-type: none"> <li>- Serat atas</li> <li>- Serat bawah</li> </ul> </li> </ul>	- 47,218 + 52,225  - 47,596 + 53,600	Aman Cek terhadap tulangan non prategang, $49,76 < 60,87 \text{ kg/cm}^2$ → aman  Aman Cek terhadap tulangan non prategang, $50,10 < 60,87 \text{ kg/cm}^2$ → aman
<b>B. Gelagar Tepi</b>		
<input type="checkbox"/> Sebelum Prategang <ul style="list-style-type: none"> <li>- Beton tekan</li> <li>- Baja tarik</li> </ul>	- 49,479 + 73,143	Aman Tidak aman
<input type="checkbox"/> Setelah Prategang <ul style="list-style-type: none"> <li>• Akibat Prategang Awal <ul style="list-style-type: none"> <li>- Serat atas</li> <li>- Serat bawah</li> </ul> </li> <li>• Setelah Kehilangan Prategang <ul style="list-style-type: none"> <li>- Serat atas</li> <li>- Serat bawah</li> </ul> </li> </ul>	- 44,346 + 47,813  - 44,728 + 49,191	Aman Cek terhadap tulangan non prategang, $45,53 < 60,87 \text{ kg/cm}^2$ → aman  Aman Cek terhadap tulangan non prategang, $46,87 < 60,87 \text{ kg/cm}^2$ → aman

Tabel 4.2 Jarak Tulangan Geser

	Jarak Tulangan Geser (cm)	Keterangan
A. Gelagar Tengah		
□ Sebelum prategang	30	Jarak tulangan yang ada semakin aman
□ Sesudah prategang	93,93	
B. Gelagar Tepi		
□ Sebelum prategang	30	Jarak tulangan yang ada semakin aman
□ Sesudah prategang	110,26	

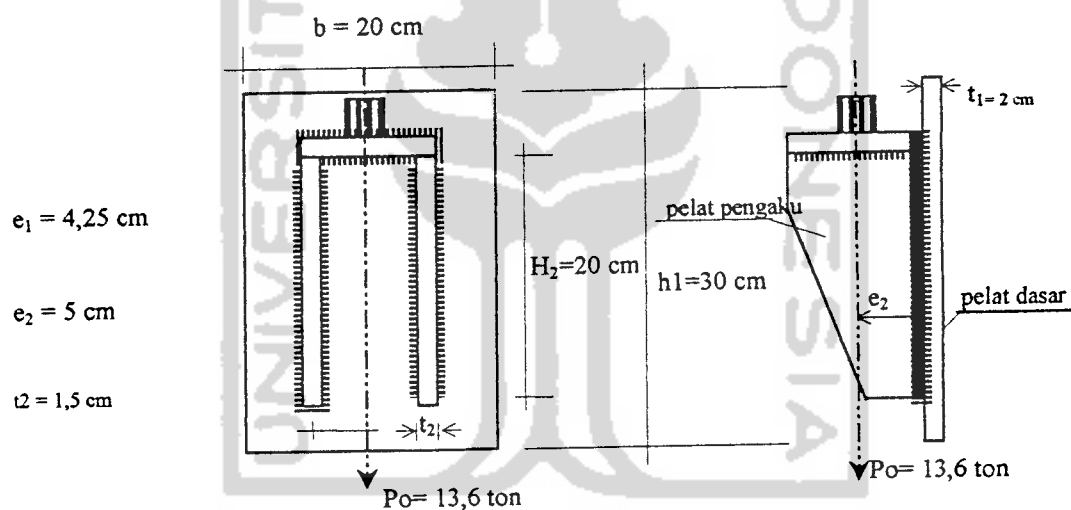
Tabel 4.3 Lendutan Gelagar Jembatan

	Lendutan (cm)			Keterangan
	Sesaat	1 tahun	≥ 5 tahun	
A. Gelagar Tengah				
□ Sebelum prategang				
- Di tengah bentang	5,006	-	-	ke bawah
- Di perletakan angkur	1,176	-	-	ke bawah
□ Sesudah prategang				
- Di tengah bentang	4,600	5,196	7,424	≥ 5 th lendutan ( ↓ ) sudah tidak aman
- Di perletakan angkur	1,176	1,328	1,898	ke bawah
B. Gelagar Tepi				
□ Sebelum prategang				
- Di tengah bentang	4,648	-	-	ke bawah
- Di perletakan angkur	0,973	-	-	ke bawah
□ Sesudah prategang				
- Di tengah bentang	4,234	4,783	6,834	≥ 5 th lendutan ( ↓ ) sudah tidak aman
- Di perletakan angkur	0,973	1,099	1,570	ke bawah

#### 4.6 Analisa Angkur

Tipe angkur yang dipakai pada masing-masing balok berdimensi sama, direncanakan mampu menahan beban prestressing 13,6 ton. Tegangan ijin baja yang dipakai  $\bar{\sigma} = 1400 \text{ kg/cm}^2$ .

##### 4.6.1 Sambungan Pelat Pengaku dan Pelat Dasar



Gambar 4.27 Sambungan Pelat Pengaku dengan Pelat Dasar

Sambungan pelat pengaku dan pelat dasar menggunakan las, karena terdapat dua buah pelat pengaku maka gaya yang bekerja pada masing-masing pengaku adalah

:

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{1}{2} \cdot P_o \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 13,6 = 6,8 \text{ ton} = 6800 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

1). Beban yang timbul :

- a. Akibat perpindahan beban P dari pelat pelimpah ke pelat pengaku menimbulkan momen puntir.

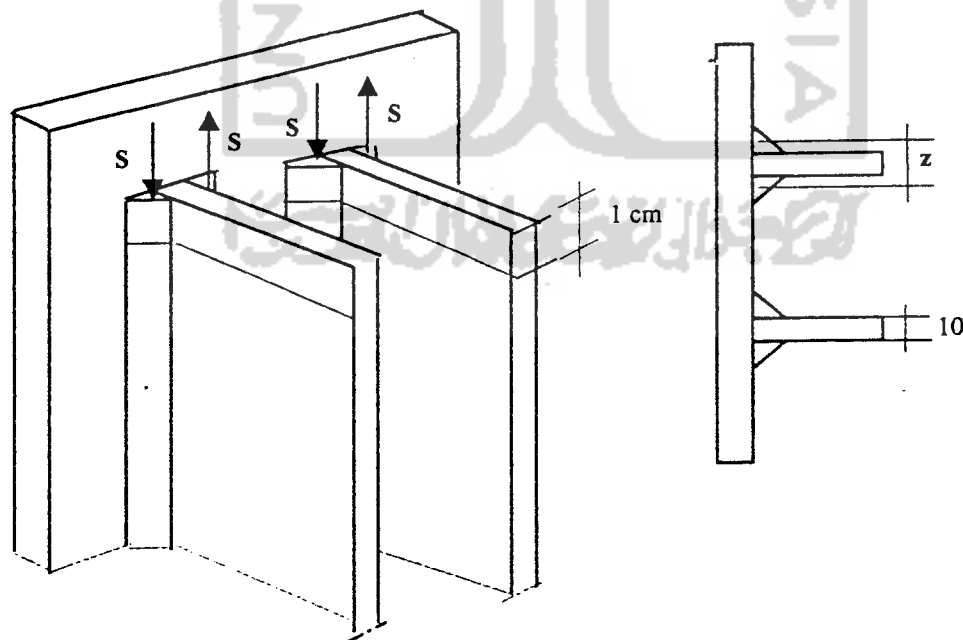
$$\begin{aligned} M_{pt} &= P \cdot e_1 \\ &= 6800 \cdot 4,25 = 28900 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

- b. Akibat perpindahan beban P dari pelat pengaku ke rigi-rigi las terjadi momen lentur

$$\begin{aligned} M &= P \cdot e_2 \\ &= 6800 \cdot 5 = 34000 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

- c. Akibat Beban P = 6800 kg

2). Tegangan-tegangan yang terjadi :



Gambar 4.28 Gaya Las Akibat Puntir

Sambungan menggunakan las dengan tebal las :

$$a \leq \frac{t}{\sqrt{2}} = \frac{15}{\sqrt{2}} = 11 \text{ mm}$$

$$\text{diambil } a = 10 \text{ mm} = 1 \text{ cm}$$

a. Akibat momen puntir

Jarak lengan momen ( z )

$$\begin{aligned} z &= t_2 + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot (a\sqrt{2}) \\ &= 1,5 + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot (1\sqrt{2}) \\ &= 2,44 \text{ cm} \end{aligned}$$

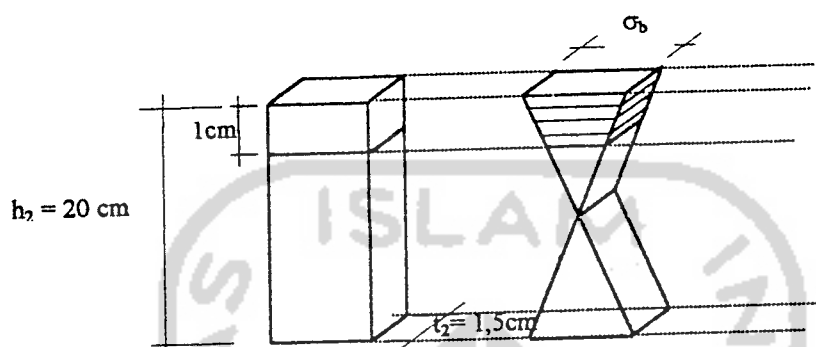
\* Gaya las S

$$\begin{aligned} S &= M_{pt} / z \\ &= 28900 / 2,44 \\ &= 11844,3 \text{ kg} \end{aligned}$$

\* Gaya per 1 cm rigi-rigi las

$$\begin{aligned} \Delta S &= S / h_2 \\ &= 11844,3 / 20 \\ &= 592,21 \text{ kg} \end{aligned}$$

## b. Akibat momen lentur



Gambar 4.29 Diagram Tegangan Akibat Momen Lentur

$$\sigma_b = \frac{M}{S_{plt}}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{\frac{1}{6} \cdot t_2 \cdot h_2^2} = \frac{34000}{\frac{1}{6} \cdot 1,5 \cdot 20^2} = 340 \text{ kg/cm}^2$$

Peninjauan per 1 cm, gaya tarik yang dipikul pelat = gaya yang dipikul las

$$P_{1 \text{ cm}} = \sigma_b \cdot t_2 \cdot 1$$

$$= 340 \cdot 1,5 \cdot 1 = 510 \text{ kg}$$

Jadi, gaya tarik  $\perp$  bidang geser las

$$N = 0,531 \cdot P_{1 \text{ cm}}$$

$$= 0,531 \cdot 510 = 270,81 \text{ kg}$$

gaya geser pada bidang geser las

$$D = 0,177 \cdot P_{1 \text{ cm}}$$

$$= 0,177 \cdot 510 \text{ kg} = 90,27 \text{ kg}$$

Tegangan tarik dan tegangan geser pada las per 1 cm :

$$\sigma_n = \frac{N}{a \cdot \ell} = \frac{270,81}{1,0 \cdot 1} = 270,81 < 0,7 \bar{\sigma} = 980 \text{ kg/cm}^2$$

→ aman

$$\tau_t = \frac{D}{a \cdot \ell} = \frac{90,27}{1,0 \cdot 1} = 90,27 < 0,6 \bar{\sigma} = 840 \text{ kg/cm}^2$$

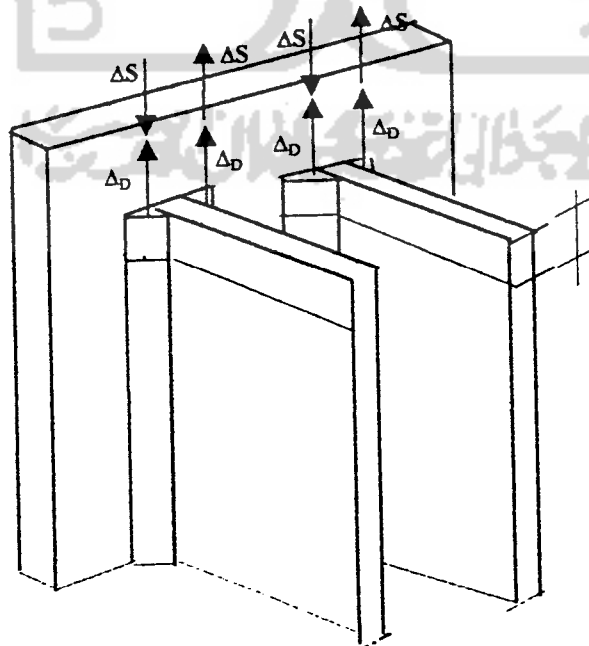
→ aman

c. Akibat gaya  $P = 6800 \text{ kg}$

gaya las per 1 cm :

$$\begin{aligned} \Delta D &= \frac{P}{2 \cdot h_2} \\ &= \frac{6800}{2 \cdot 20} = 170 \text{ kg} \end{aligned}$$

d. Kombinasi tegangan



Gambar 4.30 Kombinasi Gaya Las Akibat Puntir dan Akibat Po .



- Tegangan geser yang menentukan adalah akibat  $\Delta D + \Delta S$

$$\begin{aligned}\tau_2 &= \frac{\Delta D + \Delta S}{a \cdot l} \\ &= \frac{170 + 592,21}{1,0 \cdot 1} = 762,21 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

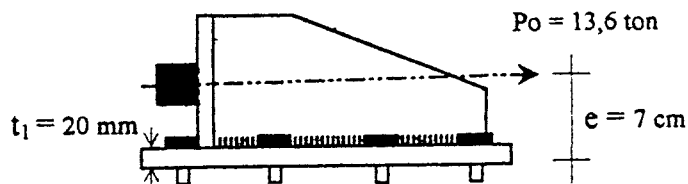
- Kombinasi tegangan geser dan tegangan tarik

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \sqrt{\sigma_{is}^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_2^2)} \leq \bar{\sigma} \\ &= \sqrt{(270,81)^2 + 3 \cdot (90,27^2 + 762,21^2)} \\ &= 1356,71 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma} = 1400 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

→ sambungan pelat pengaku dengan pelat dasar aman

#### 4.6.2 Sambungan Pelat Dasar dengan Gelagar Beton

Sambungan menggunakan baut dengan diameter 16 mm,  $\bar{\sigma} = 1400 \text{ kg/cm}^2$



Gambar 4.31 Sambungan Pelat Dasar dan Gelagar Beton

Sambungan menggunakan baut

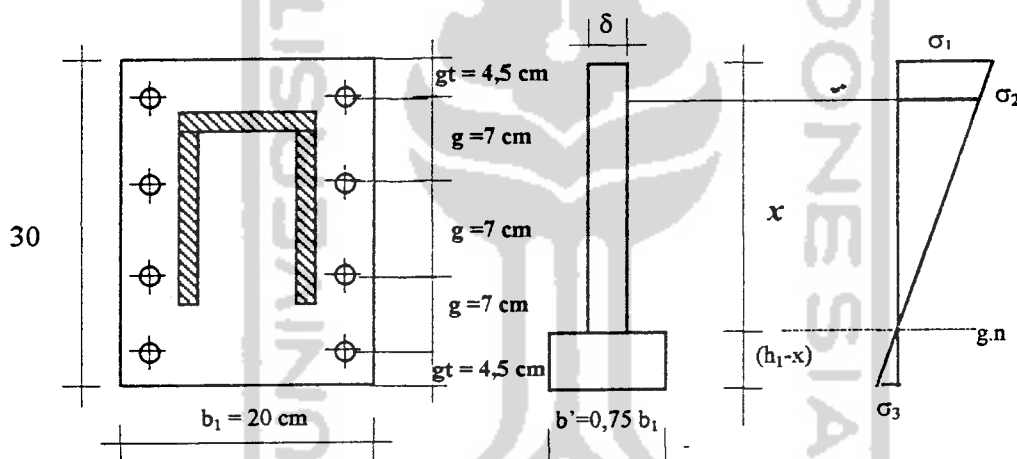
- Momen yang terjadi akibat gaya prategang dan eksentrisitas

$$M = P_o \cdot e$$

$$= 13600 \cdot 7 = 95200 \text{ kg cm}$$

- Baut dianggap sebagai pelat dengan lebar :

$$\delta = \frac{2 \cdot 1/4 \pi \cdot d^2}{g} = \frac{2 \cdot 1/4 \pi \cdot 1,6^2}{7} = 0,574 \text{ cm}$$



Gambar 4.32 Penampang Idialisir

- Mencari jarak garis netral (g.n)

$$\delta \cdot x \cdot \frac{1}{2} x = b' (h_1 - x) \frac{1}{2} (h_1 - x)$$

$$0,574 \cdot \frac{1}{2} x^2 = 15 (30 - x) \cdot \frac{1}{2} (30 - x)$$

$$0,287 x^2 = 7,5 \cdot (30 - x)^2$$

$$0,038 x^2 = x^2 - 60x + 900 \rightarrow x^2 - 62,37 x + 935,6 = 0$$

$$\text{didapat, } x = 25,106 \text{ cm}$$

$$\text{jadi, } h - x = 30 - 25,106 = 4,894 \text{ cm}$$

- Tegangan lentur ujung yang terjadi

dimana,

$$\sigma_3 = \left( \frac{h-x}{x} \right) \cdot \sigma_1$$

$$= \frac{4,894}{25,106} \cdot \sigma_1 = 0,195 \sigma_1$$

$$\frac{1}{2} \cdot \sigma_1 \cdot \delta \cdot x \cdot \frac{2}{3} x + \frac{1}{2} \cdot \sigma_3 \cdot b' (h_1 - x) \frac{2}{3} (h_1 - x) = M$$

$$\frac{1}{2} \cdot \sigma_1 \cdot 0,574 \cdot 25,106 \cdot \frac{2}{3} \cdot 25,106 + \frac{1}{2} \cdot \sigma_3 \cdot 15 \cdot 4,894 \cdot \frac{2}{3} \cdot 4,894 = 95200$$

$$120,6 \cdot \sigma_1 + 119,756 \cdot (0,195) \sigma_1 = 95200$$

$$\sigma_1 = 661,33 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{maka, } \sigma_3 = 0,195 \cdot 661,33 = 128,96 \text{ kg/cm}^2$$

dengan melihat tegangan pada diagram tegangan didapat :

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_1}{x} (x - gt)$$

$$= \frac{661,33}{25,106} (25,106 - 4,5) = 542,79 \text{ kg/cm}^2$$

jadi gaya yang dipikul baut teratas (yang paling ekstrim )

$$N = \delta \cdot g \cdot \sigma_2$$

$$= 0,572 \cdot 7 \cdot 542,79 = 2173,33 \text{ kg}$$

Gaya tarik per baut (paling atas):

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{1}{2} \cdot N \\ &= \frac{1}{2} \cdot 2173,33 = 1086,66 \text{ kg} \end{aligned}$$

Gaya geser baut :

$$\begin{aligned} G &= P_o / n \\ &= 13600 / 8 = 1700 \text{ kg} \end{aligned}$$

□ Tegangan – tegangan yang terjadi pada baut

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{G}{d \cdot t_1} \leq \bar{\sigma}_p = 1,5 \bar{\sigma} \\ &= \frac{1700}{1,6 \cdot 2} = 531,25 \text{ kg / cm}^2 < \bar{\sigma}_p = 1,5 \cdot 1400 = 2100 \text{ kg / cm}^2 \end{aligned}$$

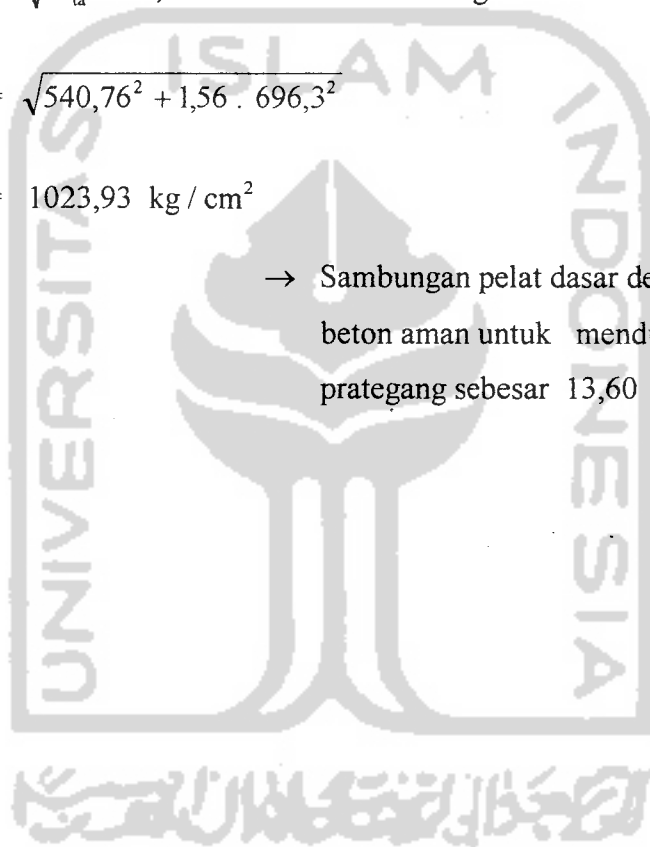
$$\begin{aligned} \sigma_{ta} &= \frac{N_1}{1/4 \cdot \pi \cdot d^2} \leq \bar{\sigma}_{ta} = 0,7 \bar{\sigma} \\ &= \frac{1086,66}{1/4 \cdot \pi \cdot 1,6^2} = 540,44 \text{ kg / cm}^2 < \bar{\sigma}_{ta} = 0,7 \cdot 1400 = 980 \text{ kg / cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{G}{1/4 \cdot \pi \cdot d^2} \leq \bar{\tau} = 0,6 \bar{\sigma} \\ &= \frac{1700}{1/4 \cdot \pi \cdot 1,6^2} = 696,30 \text{ kg / cm}^2 \leq \bar{\tau} = 0,6 \cdot 1400 = 840 \text{ kg / cm}^2 \end{aligned}$$

- Kombinasi tegangan tarik dan tegangan geser :

$$\begin{aligned}\sigma_i &= \sqrt{\sigma_{ta} + 1,56\tau^2} \leq \bar{\sigma} = 1400 \text{ kg/cm}^2 \\ &= \sqrt{540,76^2 + 1,56 \cdot 696,3^2} \\ &= 1023,93 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

→ Sambungan pelat dasar dengan gelagar beton aman untuk mendukung gaya prategang sebesar 13,60 ton



## **BAB V**

### **PEMBAHASAN**

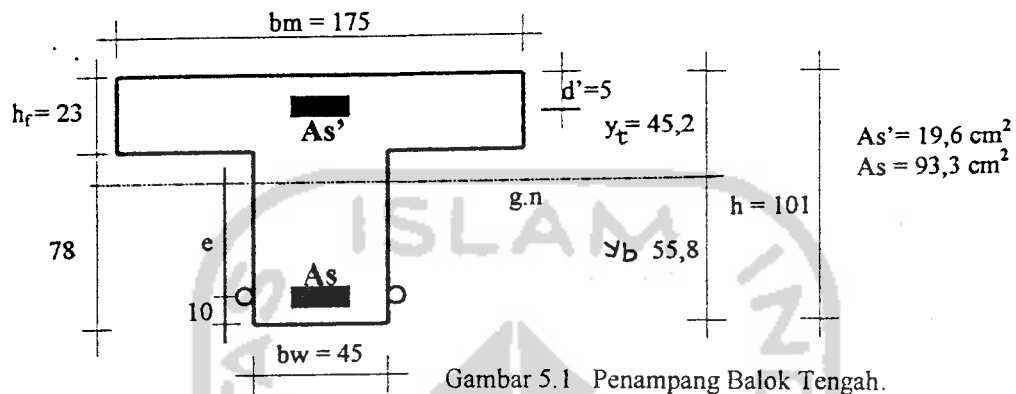
Dari hasil analisa *external prestressing* yang diterapkan di jembatan Cikeruh, menunjukkan bahwa kuat lentur dan kualitas lendutan yang dihasilkan kurang begitu efektif, hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal, seperti besarnya eksentrisitas tendon maupun besarnya gaya prategang yang diberikan. Akan tetapi *external prestressing* tersebut sudah dapat meningkatkan kemampuan gelagar jembatan untuk menahan beban mati dan beban hidup 100 % Bina Marga.

Dalam Tugas Akhir ini, akan dibahas beberapa alternatif lain yang mungkin dapat dipakai untuk meningkatkan efektifitas dari *external prestressing* yang diterapkan pada jembatan Cikeruh, tanpa merubah jumlah dan bentuk lay out tendon serta dengan mempertimbangan nilai ekonomisnya. Untuk analisa sebelum pemberian gaya prategang adalah sama dengan yang telah diuraikan dalam bab sebelumnya.

#### **5.1 Eksentrisitas Tendon**

Alternatif pertama adalah dengan mengubah eksentrisitas tendon. Tendon pada deviator dinaikan sampai sejajar dengan titik berat tulangan tarik gelagar (10 cm) dengan gaya prategang tetap.

### A. Gelagar Tengah Jembatan



□ Eksetrisitas tendon :

$$e = y_b - 10$$

$$= 55,8 - 10 = 45,8 \text{ cm}$$

□ Gaya prategang awal  $P_o = 2 \cdot 13,60 \text{ ton}$

1. Tegangan saat prategang awal

Serat atas :

$$f_t = \left[ -\frac{P_o}{A_t} + \frac{P_o \cdot e \cdot y_t}{I_t} - \frac{(M_{DL} + M_{LL}) \cdot y_t}{I_t} \right]$$

$$= \left[ -\frac{2 \cdot 13600}{10018,8} + \frac{2 \cdot 13600 \cdot 45,8 \cdot 45,2}{12521272,38} - \frac{(60,891 + 76,889) \cdot 10^5 \cdot 45,2}{12521272,38} \right]$$

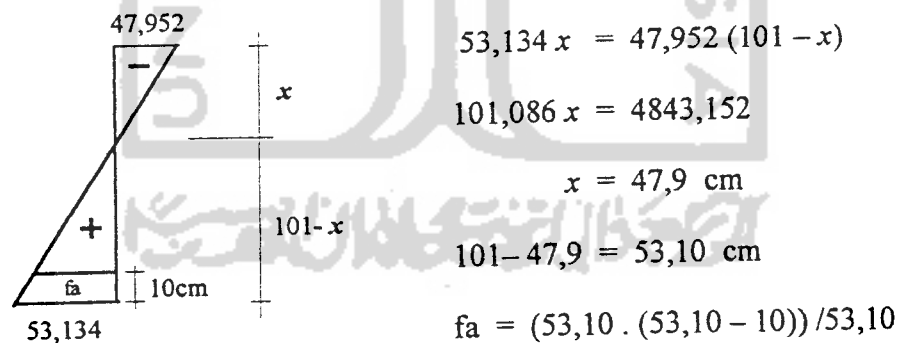
$$= -47,954 \text{ kg/cm}^2 < 0,60 \sigma'_{bk} = 120 \text{ kg/cm}^2$$

→ aman

Serat bawah :

$$\begin{aligned}
 f_b &= \left[ -\frac{P_o}{A_t} - \frac{P_o \cdot e \cdot y_b}{I_t} + \frac{(M_{DL} + M_{LL}) \cdot y_b}{I_t} \right] \\
 &= \left[ -\frac{2 \cdot 13600}{10018,8} - \frac{2 \cdot 13600 \cdot 45,8 \cdot 55,8}{12521272,38} + \frac{(60,891 + 76,889) \cdot 10^5 \cdot 55,8}{12521272,38} \right] \\
 &= 53,134 \text{ kg/cm}^2 > 0,25 \sqrt{\sigma'_{bk}} = 3,54 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

→ Pada serat bawah terjadi tegangan tarik, maka tegangan tarik seluruhnya ditahan tulangan non prategang yang ada. Cek terhadap tulangan non prategang



Gambar 5.2 Diagram Tegangan Balok Tengah dengan  $= 43,127 \text{ kg/cm}^2 < 60,87 \text{ kg/cm}^2$   
 Transfer Tegangan ke Tulangan Non Prategang → aman  
 (Prategang Awal)



## 2. Tegangan setelah "lost prestressing"

Serat atas :

$$f_t = \left[ -\frac{P_{\text{eff}}}{A_t} + \frac{P_{\text{eff}} \cdot e \cdot y_t}{I_t} - \frac{(M_{DL} + M_{LL}) \cdot y_t}{I_t} \right]$$

$$= \left[ -\frac{2 \cdot 11560}{10018,8} + \frac{2 \cdot 11560 \cdot 45,8 \cdot 45,2}{12521272,38} - \frac{(60,891 + 76,889) \cdot 10^5 \cdot 45,2}{12521272,38} \right]$$

$$= -48,222 \text{ kg/cm}^2 < 0,45 \cdot \sigma'_{bk} = 90 \text{ kg/cm}^2$$

Serat bawah :

$$f_t = \left[ -\frac{P_{\text{eff}}}{A_t} - \frac{P_{\text{eff}} \cdot e \cdot y_b}{I_t} + \frac{(M_{DL} + M_{LL}) \cdot y_b}{I_t} \right]$$

$$= \left[ -\frac{2 \cdot 11560}{10018,8} - \frac{2 \cdot 11560 \cdot 48,8 \cdot 55,8}{12521272,38} + \frac{(60,891 + 76,889) \cdot 10^5 \cdot 55,8}{12521272,38} \right]$$

$$= 55,711 \text{ kg/cm}^2 > 0,5 \sqrt{\sigma'_{bk}} = 7,07 \text{ kg/cm}^2$$

→ Pada serat bawah terjadi tegangan tarik, maka tegangan tarik seluruhnya ditahan tulangan non prategang yang ada. Cek terhadap tulangan non prategang

$$55,711 x = 48,222 (101 - x)$$

$$103,993 x = 4870,422$$

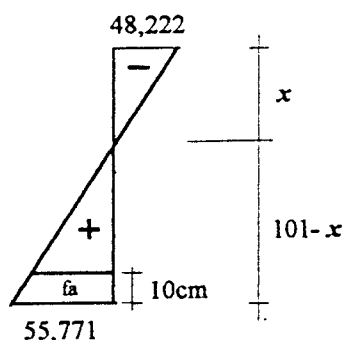
$$x = 46,86 \text{ cm}$$

$$101 - 46,86 = 54,140 \text{ cm}$$

$$f_a = (55,711 \cdot (54,14 - 10)) / 54,14$$

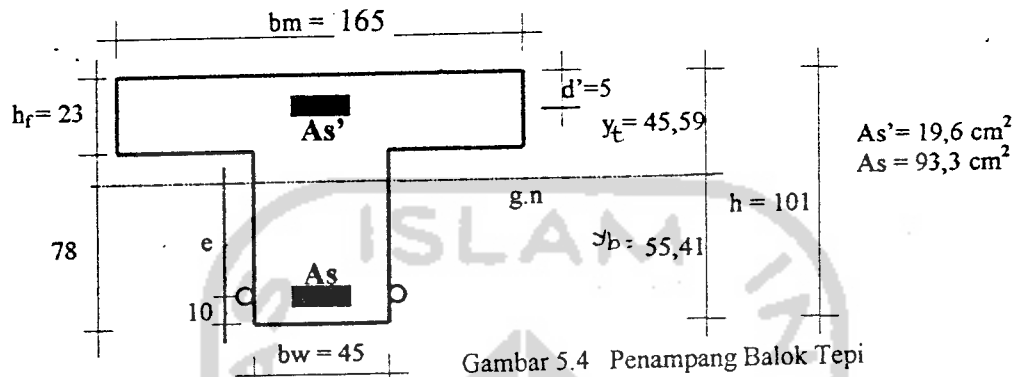
$$= 45,421 \text{ kg/cm}^2 < 60,87 \text{ kg/cm}^2$$

→ aman



Gambar 5.3 Diagram Tegangan Balok Tengah dengan Transfer Tegangan ke Tulangan Non Prategang (Prategang efektif)

## B. Gelagar Tepi Jembatan



- Eksetrisitas tendon :

$$\begin{aligned}
 e &= y_b - 10 \\
 &= 55,41 - 10 = 45,41 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Gaya prategang awal  $P_o = 2 \cdot 13,60 \text{ ton}$

### 1. Tegangan saat prategang awal

Serat atas :

$$f_t = \left[ -\frac{P_o}{A_t} + \frac{P_o \cdot e \cdot y_t}{I_t} - \frac{(M_{DL} + M_{LL}) \cdot y_t}{I_t} \right]$$

$$= \left[ -\frac{2 \cdot 13600}{9903,8} + \frac{2 \cdot 13600 \cdot 45,41 \cdot 45,59}{12384081,66} - \frac{(69,131 + 58,26) \cdot 10^5 \cdot 45,59}{12384081,66} \right]$$

$$= -45,097 \text{ kg/cm}^2 < 0,60 \sigma'_{tk} = 120 \text{ kg/cm}^2$$

→ aman

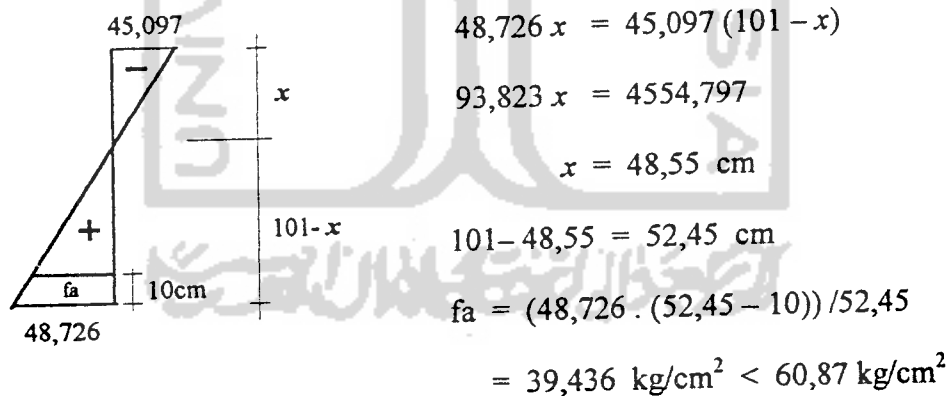
Serat bawah :

$$f_b = \left[ -\frac{P_o}{A_t} - \frac{P_o \cdot e \cdot y_b}{I_t} + \frac{(M_{DL} + M_{LL}) \cdot y_b}{I_t} \right]$$

$$= \left[ -\frac{2 \cdot 13600}{9903,8} - \frac{2 \cdot 13600 \cdot 45,41 \cdot 55,41}{12384081,66} + \frac{(69,131 + 58,261) \cdot 10^5 \cdot 55,41}{12384081,66} \right]$$

$$= 48,726 \text{ kg/cm}^2 > 0,25 \sqrt{\sigma'_{bk}} = 3,54 \text{ kg/cm}^2$$

→ Pada serat bawah terjadi tegangan tarik, maka tegangan tarik seluruhnya ditahan tulangan non prategang yang ada. Cek terhadap tulangan non prategang



Gambar 5.5 Diagram Tegangan Balok Tepi dengan Transfer Tegangan → aman  
ke Tulangan Non Prategang (Prategang Awal)

## 2. Tegangan setelah "lost prestressing"

Serat atas :

$$f_t = \left[ -\frac{P_{eff}}{A_t} + \frac{P_{eff} \cdot e \cdot y_t}{I_t} - \frac{(M_{DL} + M_{LL}) \cdot y_t}{I_t} \right]$$

$$= \left[ -\frac{2 \cdot 11560}{9903,8} + \frac{2 \cdot 11560 \cdot 45,41 \cdot 45,59}{12384081,66} - \frac{(69,131 + 58,261) \cdot 10^5 \cdot 45,59}{12384081,66} \right]$$

$$= -45,367 \text{ kg/cm}^2 < 0,45 \cdot \sigma'_{bk} = 90 \text{ kg/cm}^2$$

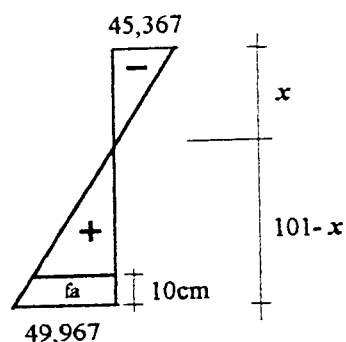
Serat bawah :

$$f_t = \left[ -\frac{P_{eff}}{A_t} - \frac{P_{eff} \cdot e \cdot y_b}{I_t} + \frac{(M_{DL} + M_{LL}) \cdot y_b}{I_t} \right]$$

$$= \left[ -\frac{2 \cdot 11560}{9903,8} - \frac{2 \cdot 11560 \cdot 45,41 \cdot 55,41}{12384081,66} + \frac{(69,131 + 58,261) \cdot 10^5 \cdot 55,41}{12384081,66} \right]$$

$$= 49,967 \text{ kg/cm}^2 > 0,5 \sqrt{\sigma'_{bk}} = 7,07 \text{ kg/cm}^2$$

→ Pada serat bawah terjadi tegangan tarik, maka tegangan tarik seluruhnya ditahan tulangan non prategang yang ada. Cek terhadap tulangan non prategang



$$49,967 x = 45,367 (101 - x)$$

$$95,334 x = 4582,067$$

$$x = 48,10 \text{ cm}$$

$$101 - 48,10 = 52,90 \text{ cm}$$

$$f_a = (49,967 \cdot (52,90 - 10)) / 52,90$$

$$= 40,521 \text{ kg/cm}^2 < 60,87 \text{ kg/cm}^2$$

→ aman

Gambar 5.6 Diagram Tegangan Balok Tepi dengan Transfer Tegangan ke Tulangan Non Prategang (Prategang efektif)

Tabel 5.1 Tegangan Lentur Penampang Gelagar Jembatan dengan Eksentrisitas yang diperkecil

	TEGANGAN ( kg/cm <sup>2</sup> )	KETERANGAN
<b>A. Gelagar Tengah</b>		
<input type="checkbox"/> Sebelum Prategang <ul style="list-style-type: none"> <li>- Beton tekan</li> <li>- Baja tarik</li> </ul>	- 52,835 + 79,563	Aman Tidak aman
<input type="checkbox"/> Setelah Prategang <ul style="list-style-type: none"> <li>• Akibat Prategang Awal               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Serat atas</li> <li>- Serat bawah</li> </ul> </li> <li>• Setelah Kehilangan Prategang               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Serat atas</li> <li>- Serat bawah</li> </ul> </li> </ul>	- 47,954 + 53,134  - 48,222 + 55,711	Aman Cek terhadap tulangan non prategang, $43,127 < 60,87 \text{ kg/cm}^2$ → aman  Aman Cek terhadap tulangan non prategang, $45,421 < 60,87 \text{ kg/cm}^2$ → aman
<b>B. Gelagar Tepi</b>		
<input type="checkbox"/> Sebelum Prategang <ul style="list-style-type: none"> <li>- Beton tekan</li> <li>- Baja tarik</li> </ul>	- 49,479 + 73,143	Aman Tidak aman
<input type="checkbox"/> Setelah Prategang <ul style="list-style-type: none"> <li>• Akibat Prategang Awal               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Serat atas</li> <li>- Serat bawah</li> </ul> </li> <li>• Setelah Kehilangan Prategang               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Serat atas</li> <li>- Serat bawah</li> </ul> </li> </ul>	- 45,097 + 48,726  - 45,367 + 49,967	Aman Cek terhadap tulangan non prategang, $39,436 < 60,87 \text{ kg/cm}^2$ → aman  Aman Cek terhadap tulangan non prategang, $40,521 < 60,87 \text{ kg/cm}^2$ → aman

Apabila dibandingkan, tegangan lentur gelagar jembatan akibat eksentrisitas awal (tabel 4.1) dengan tegangan lentur yang terjadi akibat eksentrisitas yang diperkecil (tabel 5.1), ternyata eksentrisitas awal

menghasilkan tegangan yang lebih kecil, dengan demikian eksentrisitas yang besar akan menghasilkan efektifitas yang lebih baik.

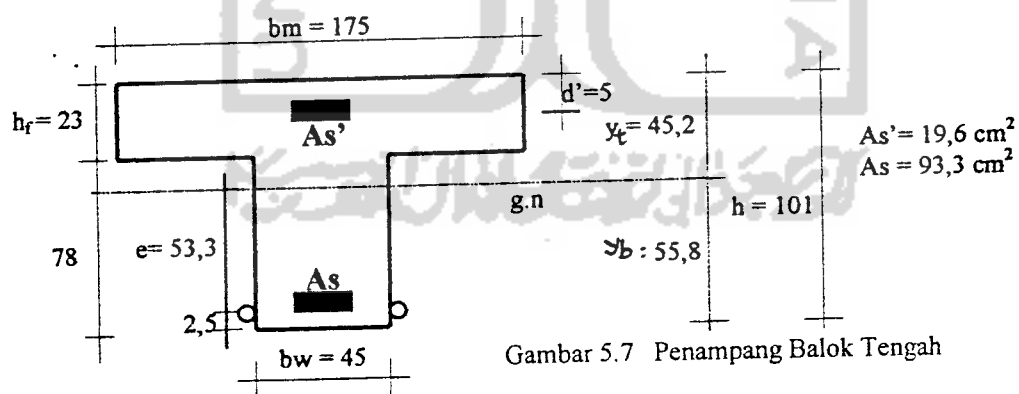
Karena dengan mengubah eksentrisitas menjadi lebih kecil tidak memberikan hasil yang lebih baik, maka kuat geser dan lendutan yang terjadi tidak dihitung.

## 5.2 Penambahan Gaya Prategang

*External Prestressing* yang dilakukan pada jembatan Cikeruh hanya menerapkan gaya prategang sebesar 13,6 ton, sedangkan tegangan putus kabel adalah 18,733 ton, oleh karena itu gaya prategang akan ditingkatkan menjadi 18 ton.

### 5.2.1 Peningkatan Kuat Lentur

#### A. Gelagar Tengah Jembatan



□ Eksentrisitas tendon :

$$e = y_b - 2,5$$

$$= 55,8 - 2,5 = 53,3 \text{ cm}$$

□ Gaya prategang awal  $P_o = 2 \cdot 18,00 \text{ ton}$

## 1. Tegangan saat prategang awal

Serat atas :

$$f_t = \left[ -\frac{P_o}{A_t} + \frac{P_o \cdot e \cdot y_t}{I_t} - \frac{(M_{DL} + M_{LL}) \cdot y_t}{I_t} \right]$$

$$= \left[ -\frac{2.18000}{10018,8} + \frac{2.18000 \cdot 53,3 \cdot 45,2}{12521272,38} - \frac{(60,891 + 76,889) \cdot 10^5 \cdot 45,2}{12521272,38} \right]$$

$$= -46,403 \text{ kg/cm}^2 < 0,60 \sigma'_{uk} = 120 \text{ kg/cm}^2$$

→ aman

Serat bawah :

$$f_b = \left[ -\frac{P_o}{A_t} - \frac{P_o \cdot e \cdot y_b}{I_t} + \frac{(M_{DL} + M_{LL}) \cdot y_b}{I_t} \right]$$

$$= \left[ -\frac{2.18000}{10018,8} - \frac{2.18000 \cdot 53,3 \cdot 55,8}{12521272,38} + \frac{(60,891 + 76,889) \cdot 10^5 \cdot 55,8}{12521272,38} \right]$$

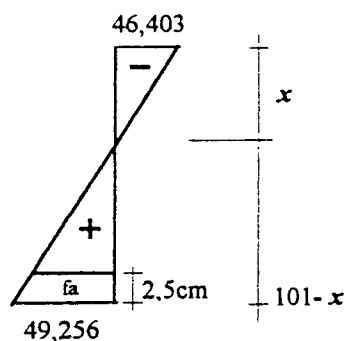
$$= 49,256 \text{ kg/cm}^2 > 0,25 \sqrt{\sigma'_{uk}} = 3,54 \text{ kg/cm}^2$$

→ Pada serat bawah terjadi tegangan tarik,

maka tegangan tarik seluruhnya ditahan

tulangan non prategang yang ada. Cek

terhadap tulangan non prategang



$$49,256 x = 46,403 (101 - x)$$

$$95,659 x = 4686,703$$

$$x = 48,99 \text{ cm}$$

$$101 - 48,99 = 52,01 \text{ cm}$$

$$f_a = (49,256 \cdot (52,01 - 2,5)) / 52,01$$

$$= 43,89 \text{ kg/cm}^2 < 60,87 \text{ kg/cm}^2$$

→ aman

Gambar 5.8 Diagram Tegangan Balok Tengah dengan Transfer Tegangan ke Tulangan Non Prategang (Prategang Awal)

## 2. Tegangan setelah "lost prestressing"

$$P_{eff} = 18000 (1 - 0,15)$$

$$= 15300 \text{ kg}$$

Serat atas :

$$f_t = \left[ -\frac{P_{eff}}{A_t} + \frac{P_{eff} \cdot e \cdot y_t}{I_t} - \frac{(M_{DL} + M_{LL}) \cdot y_t}{I_t} \right]$$

$$= \left[ -\frac{2 \cdot 15300}{10018,8} + \frac{2 \cdot 15300 \cdot 53,3 \cdot 45,2}{12521272,38} - \frac{(60,891 + 76,889) \cdot 10^5 \cdot 45,2}{12521272,38} \right]$$

$$= -46,90 \text{ kg/cm}^2 < 0,45 \cdot \sigma'_{bk} = 90 \text{ kg/cm}^2$$

Serat bawah :

$$f_t = \left[ -\frac{P_{eff}}{A_t} - \frac{P_{eff} \cdot e \cdot y_b}{I_t} + \frac{(M_{DL} + M_{LL}) \cdot y_b}{I_t} \right]$$

$$= \left[ -\frac{2 \cdot 15300}{10018,8} - \frac{2 \cdot 15300 \cdot 53,3 \cdot 55,8}{12521272,38} + \frac{(60,891 + 76,889) \cdot 10^5 \cdot 55,8}{12521272,38} \right]$$

$$= 51,08 \text{ kg/cm}^2 > 0,5 \sqrt{\sigma'_{bk}} = 7,07 \text{ kg/cm}^2$$

→ Pada serat bawah terjadi tegangan tarik, maka tegangan tarik seluruhnya ditahan tulangan non prategang yang ada. Cek terhadap tulangan non prategang

$$51,08 x = 46,90 (101 - x)$$

$$97,99 x = 4736,90$$

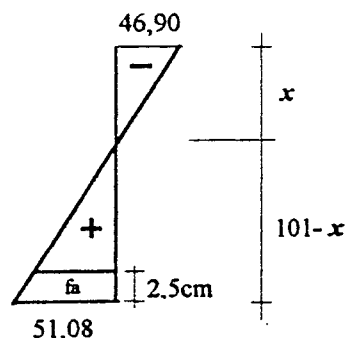
$$x = 48,36 \text{ cm}$$

$$101 - 48,36 = 52,64 \text{ cm}$$

$$f_a = (51,08 \cdot (52,64 - 2,5)) / 52,64$$

$$= 48,65 \text{ kg/cm}^2 < 60,87 \text{ kg/cm}^2$$

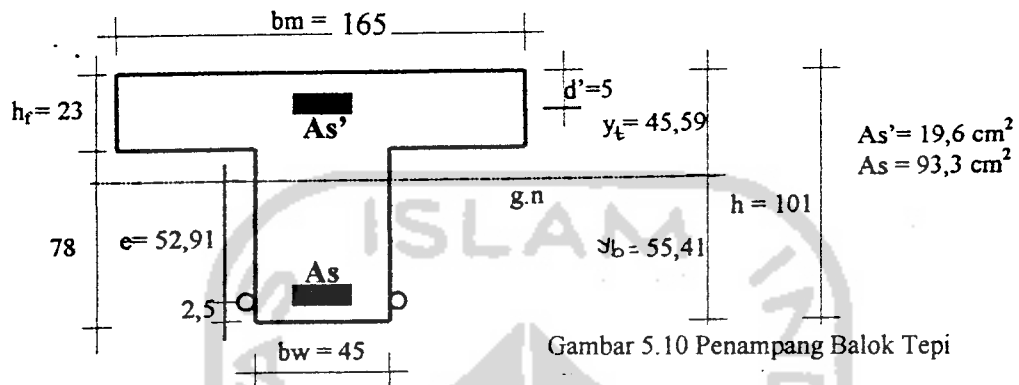
→ aman



Gambar 5.9 Diagram Tegangan Balok Tengah dengan Transfer Tegangan ke Tulangan Non Prategang (Prategang efektif)



## B. Gelagar Tepi Jembatan



□ Eksetrisitas tendon :

$$\begin{aligned}
 e &= y_b - 2,5 \\
 &= 55,41 - 2,5 = 52,91 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

□ Gaya prategang awal  $P_o = 2 \cdot 18,00 \text{ ton}$

1. Tegangan saat prategang awal

Serat atas :

$$\begin{aligned}
 f_t &= \left[ -\frac{P_o}{A_t} + \frac{P_o \cdot e \cdot y_t}{I_t} - \frac{(M_{DL} + M_{LL}) \cdot y_t}{I_t} \right] \\
 &= \left[ -\frac{2 \cdot 18000}{9903,8} + \frac{2 \cdot 18000 \cdot 52,91 \cdot 45,59}{12384081,66} - \frac{(69,131 + 58,26) \cdot 10^5 \cdot 45,59}{12384081,66} \right]
 \end{aligned}$$

$$= -43,52 \text{ kg/cm}^2 < 0,60 \sigma'_{bk} = 120 \text{ kg/cm}^2$$

→ aman

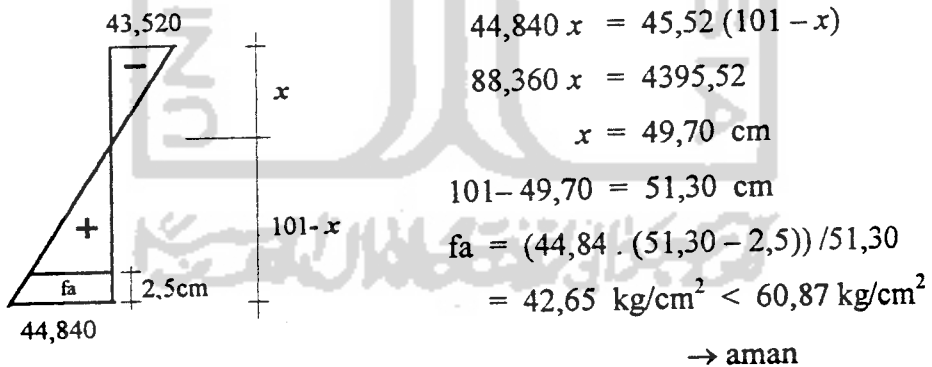
Serat bawah :

$$f_b = \left[ \frac{P_o}{A_t} - \frac{P_o \cdot e \cdot y_b}{I_t} + \frac{(M_{DL} + M_{LL}) \cdot y_b}{I_t} \right]$$

$$= \left[ \frac{2 \cdot 18000}{9903,8} - \frac{2 \cdot 18000 \cdot 52,91 \cdot 55,41}{12384081,66} + \frac{(69,131 + 58,261) \cdot 10^5 \cdot 55,41}{12384081,66} \right]$$

$$= 44,84 \text{ kg/cm}^2 > 0,25 \sqrt{\sigma'_{bk}} = 3,54 \text{ kg/cm}^2$$

→ Pada serat bawah terjadi tegangan tarik, maka tegangan tarik seluruhnya ditahan tulangan non prategang yang ada. Cek terhadap tulangan non prategang



Gambar 5.11 Diagram Tegangan Balok Tepi dengan Transfer Tegangan ke Tulangan Non Prategang (Prategang Awal)

## 2. Tegangan setelah "lost prestressing"

Serat atas :

$$f_t = \left[ -\frac{P_{eff}}{A_t} + \frac{P_{eff} \cdot e \cdot y_t}{I_t} - \frac{(M_{DL} + M_{LL}) \cdot y_t}{I_t} \right]$$

$$= \left[ -\frac{2 \cdot 15300}{9903,8} + \frac{2 \cdot 15300 \cdot 52,91 \cdot 45,59}{12384081,66} - \frac{(69,131 + 58,261) \cdot 10^5 \cdot 45,59}{12384081,66} \right]$$

$$= -44,03 \text{ kg/cm}^2 < 0,45 \cdot \sigma'_{bk} = 90 \text{ kg/cm}^2$$

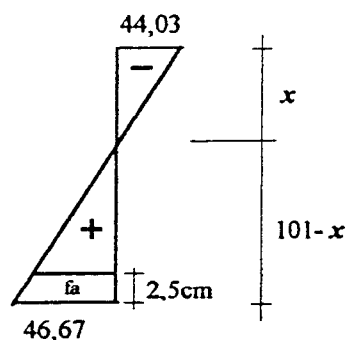
Serat bawah :

$$f_t = \left[ \frac{P_{eff}}{A_t} - \frac{P_{eff} \cdot e \cdot y_b}{I_t} + \frac{(M_{DL} + M_{LL}) \cdot y_b}{I_t} \right]$$

$$= \left[ \frac{2 \cdot 15300}{9903,8} - \frac{2 \cdot 15300 \cdot 52,91 \cdot 55,41}{12384081,66} + \frac{(69,131 + 58,261) \cdot 10^5 \cdot 55,41}{12384081,66} \right]$$

$$= 46,67 \text{ kg/cm}^2 > 0,5 \sqrt{\sigma'_{bk}} = 7,07 \text{ kg/cm}^2$$

→ Pada serat bawah terjadi tegangan tarik, maka tegangan tarik seluruhnya ditahan tulangan non prategang yang ada. Cek terhadap tulangan non prategang



$$46,67 x = 44,03 (101 - x)$$

$$90,70 x = 4447,03$$

$$x = 49,03 \text{ cm}$$

$$101 - 49,03 = 51,97 \text{ cm}$$

$$f_a = (46,67 \cdot (51,97 - 2,5)) / 51,97$$

$$= 44,42 \text{ kg/cm}^2 < 60,87 \text{ kg/cm}^2$$

→ aman

Gambar 5.12 Diagram Tegangan Balok Tepi dengan Transfer Tegangan ke Tulangan Non Prategang (Prategang efektif)

Tabel 5.2 Tegangan Lentur Penampang Gelagar Jembatan dengan Gaya Prategang  
2 x 18,00 ton

	TEGANGAN ( kg/cm <sup>2</sup> )	KETERANGAN
<b>C. Gelagar Tengah</b> <input type="checkbox"/> Sebelum Prategang - Beton tekan - Baja tarik <input type="checkbox"/> Setelah Prategang • Akibat Prategang Awal - Serat atas - Serat bawah • Setelah Kehilangan Prategang - Serat atas - Serat bawah	- 52,835 + 79,563 - 46,403 + 49,256 - 46,900 + 51,080	Aman Tidak aman Aman Cek terhadap tulangan non prategang, $48,65 < 60,87 \text{ kg/cm}^2$ → aman Aman Cek terhadap tulangan non prategang, $48,65 < 60,87 \text{ kg/cm}^2$ → aman
<b>D. Gelagar Tepi</b> <input type="checkbox"/> Sebelum Prategang - Beton tekan - Baja tarik <input type="checkbox"/> Setelah Prategang • Akibat Prategang Awal - Serat atas - Serat bawah • Setelah Kehilangan Prategang - Serat atas - Serat bawah	- 49,479 + 73,143 - 43,520 + 44,840 - 44,030 + 46,670	Aman Tidak aman Aman Cek terhadap tulangan non prategang, $42,65 < 60,87 \text{ kg/cm}^2$ → aman Aman Cek terhadap tulangan non prategang, $44,420 < 60,87 \text{ kg/cm}^2$ → aman

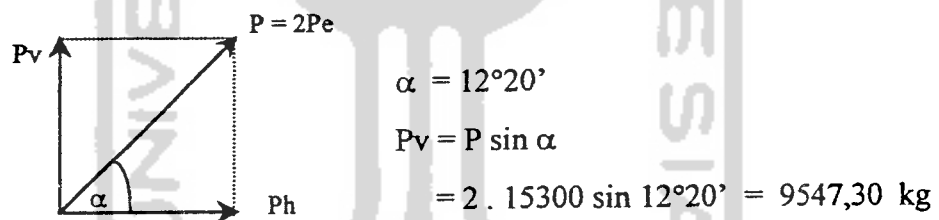
Ternyata pada tabel 5.2 menunjukkan adanya peningkatan efektifitas dari tegangan lentur akibat gaya prategang sebesar 2 x 18 ton. Dengan demikian penambahan gaya prategang akan meningkatkan kuat lentur gelagar jembatan tersebut.

Untuk mengetahui adanya kuat geser dan lendutan akibat gaya prategang sebesar 2 x 18,00 ton, di bawah ini akan dibahas mengenai kuat geser dan lendutan yang terjadi.

## 5.2.2 Peningkatan Kuat Geser

### A. Gelagar Tengah

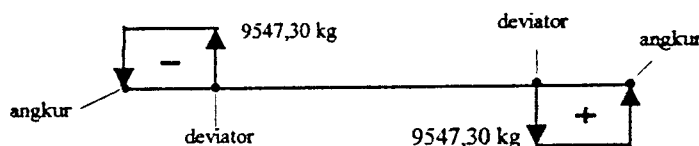
- Analisa tambahan kuat geser akibat gaya prategang



Gambar 5.13 Gaya Geser Balok Tengah Akibat Prategang

Mulai dari angkur sampai deviator terdapat gaya lintang sebesar

$$P_v = 9547,30 \text{ kg}$$



Gambar 5.14 Diagram Geser Balok Tengah Akibat Prategang

Gaya geser nominal pada jarak 1,00 meter dari tumpuan (ankur)

$$\begin{aligned}
 D_n &= D_c - P_v \\
 &= 28174 - 9547,30 = 18626,70 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Besar gaya geser yang terjadi akibat kombinasi beban mati +beban hidup

100 % BM + gaya prategang  $P_v$

$$\tau = \frac{8}{7} \cdot \frac{D_n}{b \cdot d} \leq \bar{\tau} = 6,1 \text{ kg/cm}^2$$

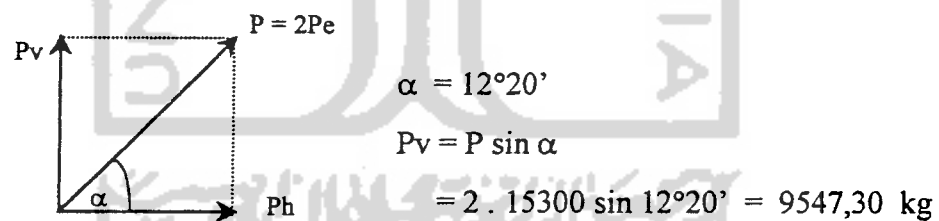
$$= \frac{8}{7} \cdot \frac{18626,70}{45 \cdot 91}$$

$$= 4,55 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\tau} = 6,1 \text{ kg/cm}^2$$

Dengan adanya tambahan gaya prategang sebesar 2 x 18 ton menyebabkan tidak diperlukan tulangan geser (kuat geser semakin besar).

## B. Gelagar Tepi

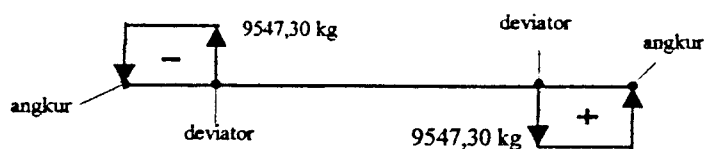
- Analisa tambahan kuat geser akibat gaya prategang



Gambar 5.15 Gaya Geser Balok Tepi

Mulai dari angker sampai deviator terdapat gaya lintang sebesar

$$P_v = 9547,30 \text{ kg}$$



Gambar 5.16 Diagram Geser Balok Tepi Akibat Prategang

Gaya geser nominal pada jarak 1,00 meter dari tumpuan (angkur)

$$\begin{aligned} D_n &= D_c - P_v \\ &= 27895,7 - 9547,30 = 18347,30 \text{ kg} \end{aligned}$$

Besar gaya geser yang terjadi akibat kombinasi beban mati +beban hidup

100 % BM + gaya prategang  $P_v$

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{8}{7} \cdot \frac{D_n}{b \cdot d} \leq \bar{\tau}_b = 6,1 \text{ kg/cm}^2 \\ &= \frac{8}{7} \cdot \frac{18347,70}{45 \cdot 91} \\ &= 4,48 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\tau}_b = 6,1 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Dengan adanya tambahan gaya prategang sebesar 2 x 18 ton menyebabkan tidak diperlukan tulangan geser (kuat geser semakin besar).

### 5.2.3 Peningkatan Kualitas Lendutan

#### A. Gelagar Tengah

- Lendutan Akibat Gaya Prategang

Lendutan akibat gaya prategang sebesar 2 x 18 ton hanya terjadi sepanjang

$$L_1 = 13 \text{ m}, \quad e_1 = 50,5 \text{ cm}, \quad e_2 = 2,80 \text{ cm}.$$

- Lendutan ditengah bentang akibat gaya prategang awal :

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \frac{P_o \cdot L_1^2}{8 \cdot EI} \left[ e_2 + e_1 - \frac{e_1}{3} \left( \frac{2 \cdot a}{L_1} \right)^2 \right] \\ &= \frac{2 \cdot 18000 \cdot 1300^2}{8 \cdot 90509,668 \cdot 6738597,247} \left[ 2,8 + 50,5 - \frac{50,5}{3} \left( \frac{2 \cdot 257,5}{1300} \right)^2 \right] = 0,632 \text{ cm (ke atas)} \end{aligned}$$

- Lendutan setelah kehilangan gaya prategang

$$\begin{aligned}\Delta_2 &= \Delta_1 \cdot P_e / P_o \\ &= 0,632 \cdot 15300 / 18000 \\ &= 0,537 \text{ cm ( ke atas )}\end{aligned}$$

- Lendutan total di tengah bentang setelah kehilangan gaya prategang dan beban tetap.

$$\begin{aligned}\Delta_3 &= \Delta_2 - \delta_{\text{mak}} \\ &= 0,537 - 5,006 \\ &= -4,469 \text{ cm ( ke bawah )} < L / 280 = 5,357 \text{ cm}\end{aligned}$$

→ akibat adanya gaya prategang, lendutan sesaat setelah kehilangan gaya prategang, semakin berkurang sehingga gelagar jembatan semakin aman.

- Lendutan total akhir di tengah bentang setelah kehilangan gaya prategang dan pengaruh rangkai serta susut.

$$\Delta_{\text{tot akhir}} = \Delta_3 \cdot \lambda$$

$$\text{dimana, } \lambda = \xi / (1 + 50 \rho')$$

$$\rho' = A_s' / bd$$

$$= 19,6 / (45 \cdot 91) = 0,0048$$

- Lendutan setelah 12 bulan (1 tahun)

$$\lambda = 1,4 / (1 + 50 \cdot 0,0048) = 1,1296$$

$$\text{jadi, } \Delta_{\text{tot akhir 1 th}} = 4,469 \cdot 1,1296$$

$$= 5,048 \text{ cm (ke bawah)} < L / 280 = 5,357 \text{ cm}$$



→ Gelagar tengah jembatan masih aman terhadap lendutan setelah 1 tahun.

- Lendutan setelah  $\geq 5$  tahun

$$\lambda = 2,0 / (1 + 50 \cdot 0,0048) = 1,614$$

$$\text{jadi, } \Delta_{\text{tot akhir 5 th}} = 4,469 \cdot 1,614$$

$$= 7,21 \text{ cm (ke bawah)} < L / 280 = 5,357 \text{ cm}$$

→ Lendutan setelah  $\geq 5$  tahun lebih besar dari lendutan ijin, maka gelagar jembatan tidak aman lagi menahan beban tetap, sehingga bila kondisinya memungkinkan bisa dilakukan *restressed*.

- Lendutan total akhir diperletakkan angker ( $x = 1,00$  m)

- Lendutan setelah 12 bulan ( 1 tahun)

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{tot akhir 1 th di } x} &= 1,176 \cdot 1,1296 \\ &= 1,328 \text{ cm} < L / 280 = 5,357 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Lendutan setelah  $\geq 5$  tahun

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{tot akhir 5 th di } x} &= 1,176 \cdot 1,614 \\ &= 1,898 \text{ cm} < L / 280 = 5,357 \text{ cm} \end{aligned}$$

## B. Gelagar Tepi

- Lendutan Akibat Gaya Prategang

Lendutan akibat gaya prategang sebesar 2 x 18 ton hanya terjadi sepanjang

$$L_1 = 13 \text{ m}, \quad e_1 = 50,5 \text{ cm}, \quad e_2 = 2,41 \text{ cm}.$$

- Lendutan ditengah bentang akibat gaya prategang awal :

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \frac{P_o \cdot L_1^2}{8 \cdot EI} \left[ e_2 + e_1 - \frac{e_1 \left( \frac{2 \cdot a}{L_1} \right)^2}{3} \right] \\ &= \frac{2 \cdot 18000 \cdot 1300^2}{8 \cdot 90509,668 \cdot 6547672,449} \left[ 2,41 + 50,5 - \frac{50,5 \left( \frac{2 \cdot 257,5}{1300} \right)^2}{3} \right] = 0,645 \text{ cm (ke atas)} \end{aligned}$$

- Lendutan setelah kehilangan gaya prategang

$$\begin{aligned} \Delta_2 &= \Delta_1 \cdot P_e / P_o \\ &= 0,645 \cdot 15300 / 18000 \\ &= 0,548 \text{ cm (ke atas)} \end{aligned}$$

- Lendutan total di tengah bentang setelah kehilangan gaya prategang dan beban tetap.

$$\begin{aligned} \Delta_3 &= \Delta_2 - \delta_{\text{mak}} \\ &= 0,548 - 4,648 \\ &= -4,10 \text{ cm (ke bawah)} < L / 280 = 5,357 \text{ cm} \end{aligned}$$

→ akibat adanya gaya prategang, lendutan sesaat setelah kehilangan gaya prategang, semakin berkurang sehingga gelagar jembatan semakin aman.

- Lendutan total akhir di tengah bentang setelah kehilangan gaya prategang dan pengaruh rangkaiak serta susut.

$$\Delta_{\text{tot akhir}} = \Delta_3 \cdot \lambda$$

$$\text{dimana, } \lambda = \xi / (1 + 50 \rho')$$

$$\rho' = A_s' / bd$$

$$= 19,6 / (45 \cdot 91) = 0,0048$$

- Lendutan setelah 12 bulan (1 tahun)

$$\lambda = 1,4 / (1 + 50 \cdot 0,0048) = 1,1296$$

$$\text{jadi, } \Delta_{\text{tot akhir 1 th}} = 4,10 \cdot 1,1296$$

$$= 4,631 \text{ cm (ke bawah)} < L / 280 = 5,357 \text{ cm}$$

→ Gelagar tengah jembatan masih aman terhadap lendutan setelah 1 tahun.

- Lendutan setelah  $\geq 5$  tahun

$$\lambda = 2,0 / (1 + 50 \cdot 0,0048) = 1,614$$

$$\text{jadi, } \Delta_{\text{tot akhir 5 th}} = 4,10 \cdot 1,614$$

$$= 6,62 \text{ cm (ke bawah)} > L / 280 = 5,357 \text{ cm}$$

→ Lendutan setelah  $\geq 5$  tahun lebih besar dari lendutan ijin, maka gelagar jembatan tidak aman lagi menahan beban tetap, sehingga bila kondisinya memungkinkan bisa dilakukan *restressed*.

□ Lendutan total akhir diperletakan angker ( $x = 1,00$  m)

- Lendutan setelah 12 bulan (1 tahun)

$$\begin{aligned}\Delta_{\text{tot akhir 1 th di } x} &= 0,973 \cdot 1,1296 \\ &= 1,099 \text{ cm} < L/280 = 5,357 \text{ cm}\end{aligned}$$

- Lendutan setelah  $\geq 5$  tahun

$$\begin{aligned}\Delta_{\text{tot akhir 5 th di } x} &= 0,973 \cdot 1,614 \\ &= 1,570 \text{ cm} < L/280 = 5,357 \text{ cm}\end{aligned}$$

Tabel 5.3 Lendutan Gelagar Jembatan Akibat Gaya Prategang 2 x 18 Ton

	Lendutan (cm)			Keterangan
	Sesaat	1 tahun	$\geq 5$ tahun	
A. Gelagar Tengah				
□ Sebelum prategang				
- Di tengah bentang	5,006	-	-	ke bawah
- Di perletakan angkur	1,176	-	-	ke bawah
□ Sesudah prategang				
- Di tengah bentang	4,469	5,048	7,210	$\geq 5$ th lendutan ( $\downarrow$ ) sudah tidak aman
- Di perletakan angkur	1,176	1,328	1,898	ke bawah
B. Gelagar Tepi				
□ Sebelum prategang				
- Di tengah bentang	4,648	-	-	ke bawah
- Di perletakan angkur	0,973	-	-	ke bawah
□ Sesudah prategang				
- Di tengah bentang	4,100	4,610	6,620	$\geq 5$ th lendutan ( $\downarrow$ ) sudah tidak aman
- Di perletakan angkur	0,973	1,099	1,570	ke bawah

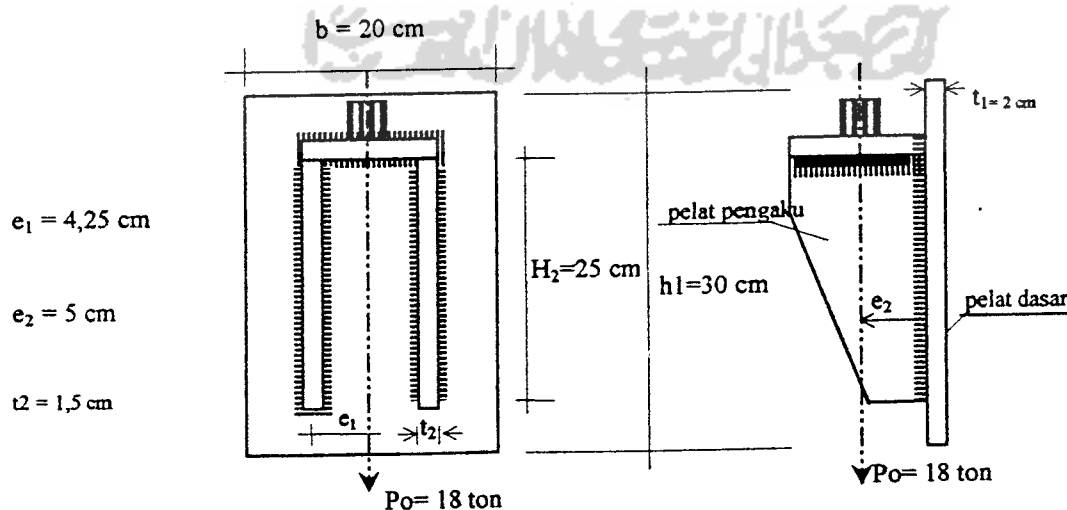
### 5.2.4 Analisa Angkur Untuk Beban *Prestressing* Sebesar 18 Ton

Tipe angkur yang dipakai pada masing-masing balok berdimensi sama, karena angkur yang ada hanya direncanakan mampu menahan beban *prestressing* sebesar 13,6 ton, maka angkur harus direncanakan kembali.

Dalam menentukan sambungan baut antara angkur (pelat dasar) dengan gelagar jembatan harus dipertimbangkan faktor keamanan dari struktur gelagar jembatan tersebut. Penambahan jumlah lobang untuk perletakan baut akan semakin berbahaya, hal ini disebabkan karena pengeboran pada gelagar dapat menyebabkan retakan-retakan bahkan dapat berakibat fatal yaitu patahnya gelagar. Oleh karena itu pengeboran harus dilakukan secara hati-hati.

#### A. Sambungan Pelat Pengaku dan Pelat Dasar

Tegangan ijin baut yang dipakai  $\bar{\sigma} = 1400 \text{ kg/cm}^2$ .



Gambar 5.17 Sambungan Pelat Pengaku dengan Pelat Dasar

Sambungan pelat pengaku dan pelat dasar menggunakan las, perubahan yang dilakukan adalah dengan memperpanjang pelat pengaku yaitu sebesar  $h_2 = 25$  cm. Karena terdapat dua buah pelat pengaku maka gaya yang bekerja pada masing-masing pengaku adalah :

$$P = \frac{1}{2} \cdot P_o$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 18 = 9 \text{ ton} = 9000 \text{ kg}$$

1). Beban yang timbul :

- a. Akibat perpindahan beban P dari pelat pelimpah ke pelat pengaku menimbulkan momen puntir.

$$M_{pt} = P \cdot e_1$$

$$= 9000 \cdot 4,25 = 38250 \text{ kg.cm}$$

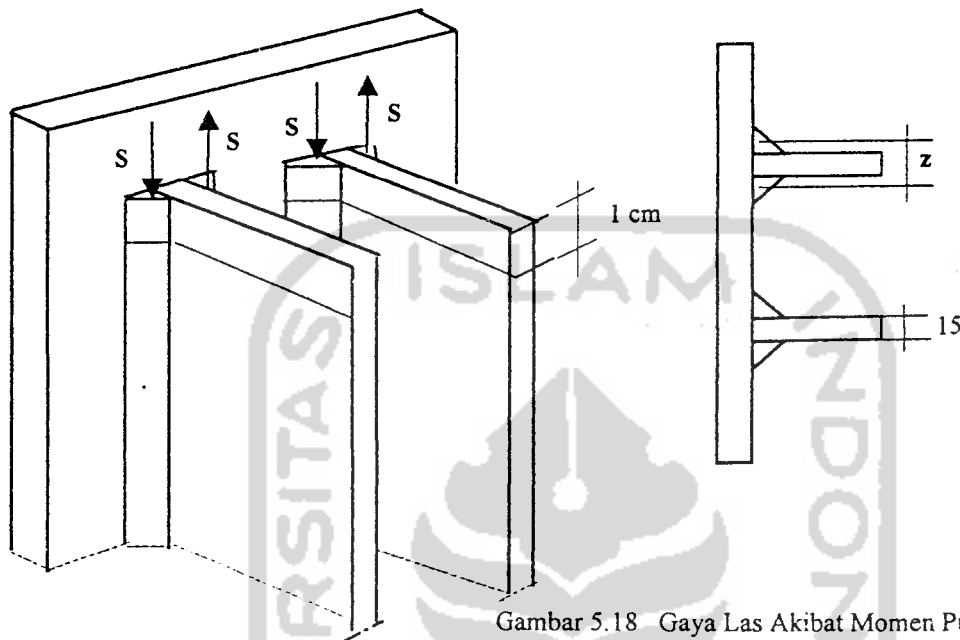
- b. Akibat perpindahan beban P dari pelat pengaku ke rigi-rigi las terjadi momen lentur

$$M = P \cdot e_2$$

$$= 9000 \cdot 5 = 45000 \text{ kg.cm}$$

- c. Akibat Beban  $P = 9000$  kg

2). Tegangan-tegangan yang terjadi :



Gambar 5.18 Gaya Las Akibat Momen Puntir.

Sambungan menggunakan las dengan tebal las :

$$a \leq \frac{t_2}{\sqrt{2}} = \frac{15}{\sqrt{2}} = 11,0 \text{ mm}$$

diambil  $a = 10 \text{ mm} = 1 \text{ cm}$

a. Akibat momen puntir

Jarak lengan momen (  $z$  )

$$z = t_2 + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot (a\sqrt{2})$$

$$= 1,5 + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot (1\sqrt{2})$$

$$= 2,44 \text{ cm}$$

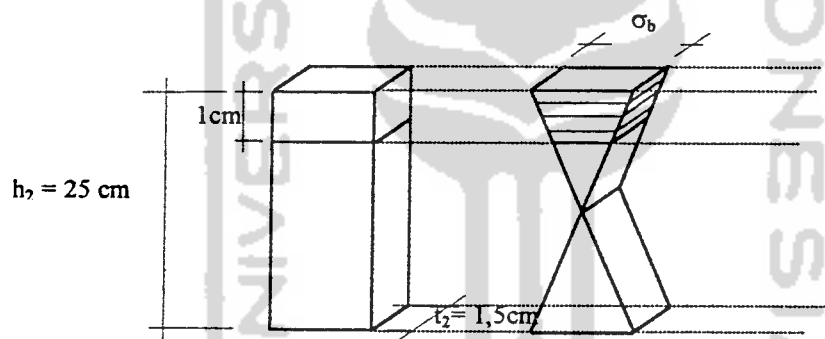
\* Gaya las S

$$\begin{aligned}
 S &= M_{pt} / z \\
 &= 38250 / 2,44 \\
 &= 15676,23 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

\* Gaya per 1 cm rigi-rigi las

$$\begin{aligned}
 \Delta S &= S / h_2 \\
 &= 15676,23 / 25 \\
 &= 627,05 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

b. Akibat momen lentur



Gambar 5.19 Tegangan Pelat Akibat Momen

$$\sigma_b = \frac{M}{S_{plt}}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{\frac{1}{6} \cdot t_2 \cdot h_2^2} = \frac{45000}{\frac{1}{6} \cdot 1,5 \cdot 25^2} = 288 \text{ kg/cm}^2$$

Peninjauan per 1 cm, gaya tarik yang dipikul pelat = gaya yang dipikul las

$$\begin{aligned}
 P \text{ 1 cm} &= \sigma_b \cdot t_2 \cdot 1 \\
 &= 288 \cdot 1,5 \cdot 1 = 432 \text{ kg}
 \end{aligned}$$



Jadi , gaya tarik  $\perp$  bidang geser las

$$\begin{aligned} N &= 0,531 \cdot P_{1\text{cm}} \\ &= 0,531 \cdot 432 = 229,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

gaya geser pada bidang geser las

$$\begin{aligned} D &= 0,177 \cdot P_{1\text{cm}} \\ &= 0,177 \cdot 432 = 76,46 \text{ kg} \end{aligned}$$

Tegangan tarik dan tegangan geser pada las per 1 cm :

$$\sigma_{\text{ta}} = \frac{N}{a \cdot \ell} = \frac{229,4}{1,0 \cdot 1} = 229,4 < 0,7 \bar{\sigma} = 980 \text{ kg/cm}^2$$

→ aman

$$\tau_1 = \frac{D}{a \cdot \ell} = \frac{76,46}{1,0 \cdot 1} = 76,46 < 0,6 \bar{\sigma} = 840 \text{ kg/cm}^2$$

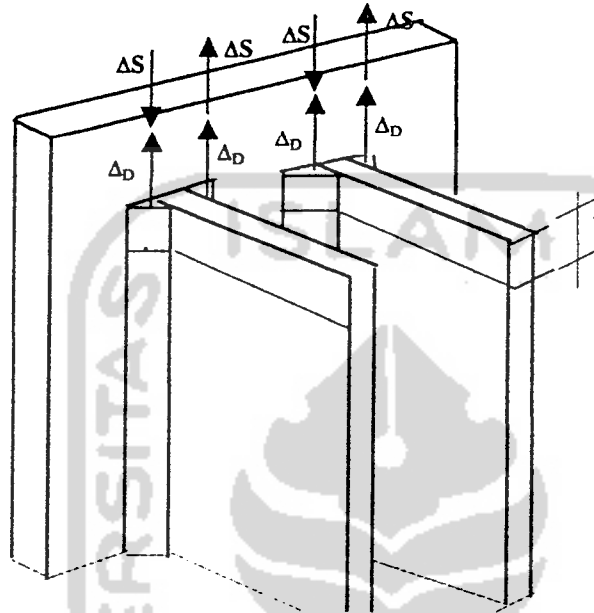
→ aman

c. Akibat gaya  $P = 9000 \text{ kg}$

gaya las per 1 cm :

$$\begin{aligned} \Delta D &= \frac{P}{2 \cdot h_2} \\ &= \frac{9000}{2 \cdot 25} = 180 \text{ kg} \end{aligned}$$

## d. Kombinasi tegangan



Gambar 5.20 Kombinasi Gaya Las Akibat Momen Puntir dan Gaya P

- Tegangan geser yang menentukan adalah akibat  $\Delta D + \Delta S$

$$\tau_2 = \frac{\Delta D + \Delta S}{a \cdot l}$$

$$= \frac{180 + 627,05}{1,0 \cdot 1} = 807,05 \text{ kg/cm}^2$$

- Kombinasi tegangan geser dan tegangan tarik

$$\sigma_1 = \sqrt{\sigma_u^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_2^2)} \leq \bar{\sigma}$$

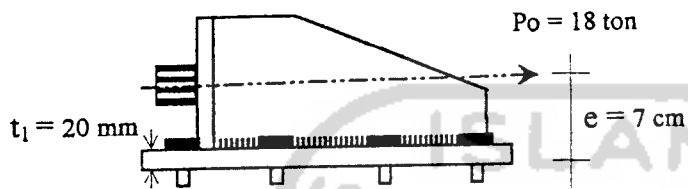
$$= \sqrt{(229,4)^2 + 3 \cdot (76,46^2 + 807,05^2)}$$

$$= 1385,71 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma} = 1400 \text{ kg/cm}^2$$

→ sambungan pelat pengaku dengan pelat dasar aman

## B. Sambungan Pelat Dasar dengan Gelagar Beton

Sambungan menggunakan baut dengan diameter 20 mm,  $\bar{\sigma} = 1400 \text{ kg/cm}^2$



Gambar 5.21 Sambungan Pelat Dasar Dengan Gelagar Beton

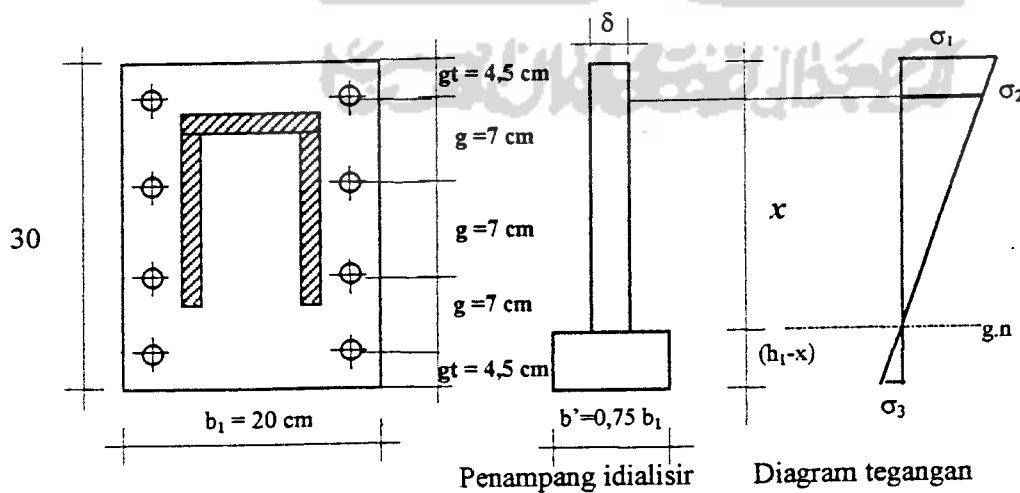
- Momen yang terjadi akibat gaya prategang dan eksentrisitas

$$M = P_o \cdot e$$

$$= 18000 \cdot 7 = 12600 \text{ kg cm}$$

- Baut dianggap sebagai pelat dengan lebar :

$$\delta = \frac{2 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot d^2}{g} = \frac{2 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 2^2}{7} = 0,897 \text{ cm}$$



Gambar 5.22 Penampang Idialisir

- Mencari jarak garis netral (g.n)

$$\delta \cdot x \cdot \frac{1}{2} x = b' (h_1 - x) \frac{1}{2} (h_1 - x)$$

$$0,449 \cdot \frac{1}{2} x^2 = 15 (30 - x) \cdot \frac{1}{2} (30 - x)$$

$$0,449 x^2 = 7,5 \cdot (30 - x)^2$$

$$0,0598 x^2 = x^2 - 60x + 900 \rightarrow x^2 - 63,82 x + 957,24 = 0$$

didapat,  $x = 24$  cm

jadi,  $h - x = 30 - 24 = 6$  cm

$$\sigma_3 = \left( \frac{h - x}{x} \right) \cdot \sigma_1$$

$$= \frac{6}{24} \cdot \sigma_1 = 0,25 \sigma_1$$

- Tegangan lentur ujung yang terjadi

dimana,

$$\frac{1}{2} \cdot \sigma_1 \cdot \delta \cdot x \cdot \frac{2}{3} x + \frac{1}{2} \cdot \sigma_3 \cdot b' (h_1 - x) \frac{2}{3} (h_1 - x) = M$$

$$\frac{1}{2} \cdot \sigma_1 \cdot 0,897 \cdot 24 \cdot \frac{2}{3} \cdot 24 + \frac{1}{2} \cdot \sigma_3 \cdot 15 \cdot 6 \cdot \frac{2}{3} \cdot 6 = 126000$$

$$172,224 \cdot \sigma_1 + 180 \cdot (0,25) \sigma_1 = 126000$$

$$\sigma_1 = 580,05 \text{ kg/cm}^2$$

maka,  $\sigma_3 = 0,25 \cdot 580,05 = 145,01 \text{ kg/cm}^2$

dengan melihat tegangan pada diagram tegangan didapat :

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_1}{x} (x - gt)$$

$$= \frac{580,05}{24} (24 - 4,5) = 471,29 \text{ kg/cm}^2$$

jadi gaya yang dipikul baut teratas (yang paling ekstrim )

$$\begin{aligned} N &= \delta \cdot g \cdot \sigma_2 \\ &= 0,572 \cdot 7 \cdot 471,29 = 2959,23 \text{ kg} \end{aligned}$$

Gaya tarik per baut (paling atas):

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{1}{2} \cdot N \\ &= \frac{1}{2} \cdot 2959,23 = 1479,61 \text{ kg} \end{aligned}$$

Gaya geser baut :

$$\begin{aligned} G &= P_0 / n \\ &= 18000 / 8 = 2250 \text{ kg} \end{aligned}$$

□ Tegangan – tegangan yang terjadi pada baut

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{G}{d \cdot t_1} \leq \overline{\sigma_p} = 1,5 \overline{\sigma_a} \\ &= \frac{2250}{2 \cdot 2} = 562,5 \text{ kg / cm}^2 < \overline{\sigma_p} = 1,5 \cdot 1400 = 2100 \text{ kg / cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{G}{1/4 \cdot \pi \cdot d^2} \leq \overline{\tau} = 0,6 \overline{\sigma_a} \\ &= \frac{2250}{1/4 \cdot \pi \cdot 2^2} = 716,56 \text{ kg / cm}^2 \leq \overline{\tau} = 0,6 \cdot 1400 = 840 \text{ kg / cm}^2 \end{aligned}$$

→ aman

$$\sigma_{ia} = \frac{N_1}{1/4 \cdot \pi \cdot d^2} \leq \overline{\sigma_{ia}} = 0,7 \overline{\sigma_a} .$$

$$= \frac{1479,61}{1/4 \cdot \pi \cdot 2^2} = 471,21 \text{ kg / cm}^2 < \overline{\sigma} 0,7 \cdot 1400 = 980 \text{ kg / cm}^2$$

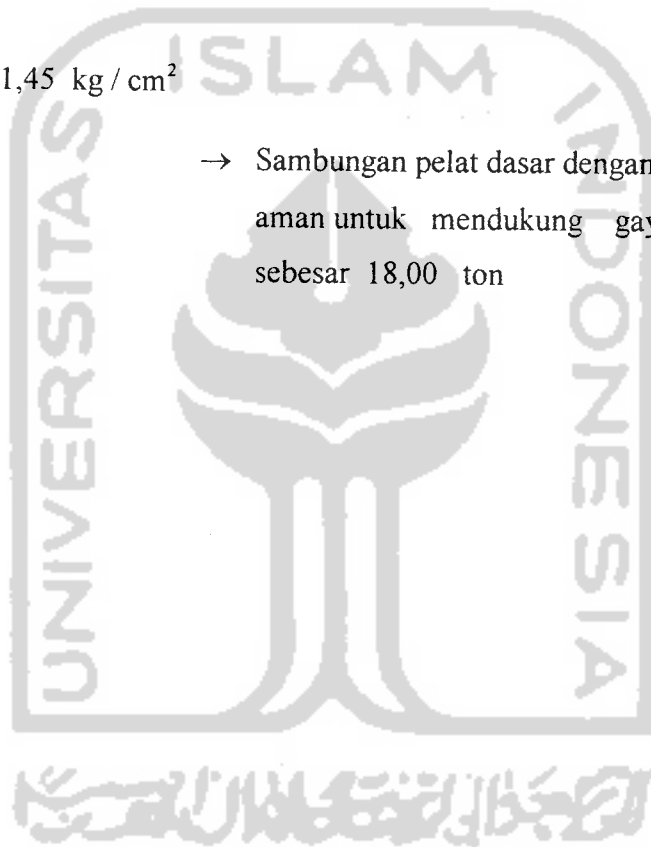
Kombinasi tegangan tarik dan tegangan geser :

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{ta} + 1,56\tau^2} \leq \bar{\sigma} = 1400 \text{ kg/cm}^2$$

$$= \sqrt{471,21^2 + 1,56 \cdot 716,56^2}$$

$$= 1011,45 \text{ kg/cm}^2$$

→ Sambungan pelat dasar dengan gelagar beton aman untuk mendukung gaya prategang sebesar 18,00 ton



## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa dan evaluasi terhadap perkuatan jembatan beton bertulang dengan sistem *external prestressing*, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Cara perkuatan jembatan dengan metode *external prestressing* dapat meningkatkan kemampuan gelagar jembatan, untuk menahan beban rencana dari 70 % menjadi 100 % beban hidup standar Bina Marga.
2. Kuat lentur, kuat geser dan kemampuan menahan lendutan meningkat, hal ini menunjukkan bahwa *external prestressing* efektif untuk meningkatkan kemampuan gelagar jembatan.
3. Penerapan perkuatan sistem *external prestressing* di lapangan dapat dilakukan tanpa mengganggu lalu lintas ada.
4. Penerapan sistem *external prestressing* di lapangan dapat dilakukan dengan mudah dan cepat.
5. Penarikan kabel dilakukan secara bertahap, yaitu setiap kali penarikan sebesar 50 % gaya prategang, hal ini dilakukan agar tidak terjadi momen sekunder yang besar pada pelat, sehingga dapat dihindarkan keretakan pada pelat jembatan.

## 6.2 Saran

Beberapa saran yang dapat dikemukakan sehubungan dengan perkuatan jembatan beton dengan sistem *external prestressing* antara lain :

1. Perlu dilakukan pemeriksaan yang lebih teliti pada kondisi struktur betonya, apakah masih memungkinkan dilakukan perkuatan dengan sistem *external prestressing* pada struktur jembatan tersebut.
2. Gaya prategang pada sistem *external prestressing* yang diterapkan pada jembatan Cikeruh masih dapat ditingkatkan, sebatas kemampuan dari *strand* dan kemampuan dari angkernya .
3. Pengeboran pada gelagar untuk perletakan angkur harus dilakukan dengan hati-hati dan harus disesuaikan dengan perletakan tulangan gesernya.
4. Jumlah lubang untuk penempatan baut (perletakan angkur) harus seminimal mungkin, hal ini dilakukan agar tidak terjadi retak-retak atau bahkan patah pada gelagar akibat pengeboran.
5. Apabila ruang bebas di bawah jembatan masih memungkinkan, disarankan untuk memanfaatkan eksentrisitas kabel seoptimal mungkin.
6. Perlu dilakukan monitoring terhadap jembatan yang sudah diperkuat dengan *external prestressing*, untuk mengetahui keefektifan penggunaan perkuatan tersebut.



## PENUTUP

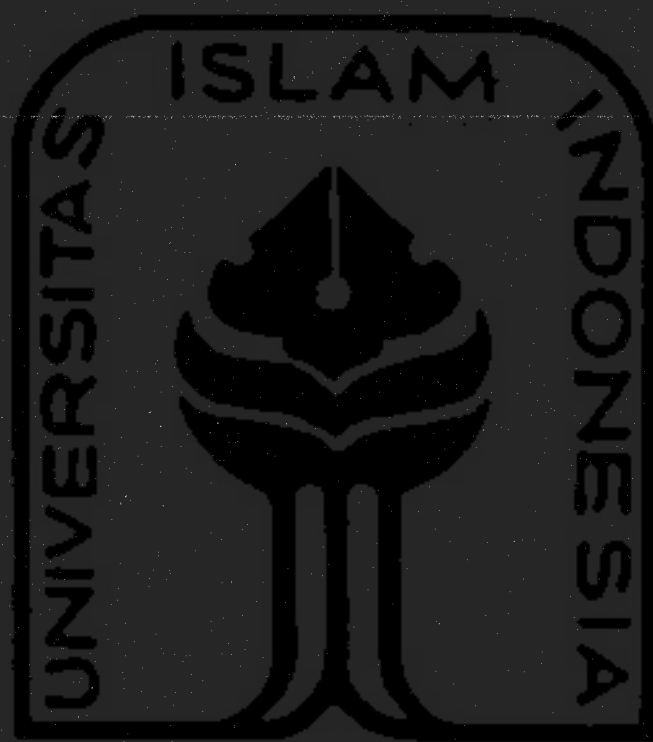
Alkhamdulillah, segala puji hanya hamba persembahkan kehadiran Allah SWT. Hanya karena rahmat dan hidayah-NYA usaha keras kami dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan sesuai dengan waktunya.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, kami berusaha menyampaikan serta menjelaskan permasalahan yang kami bahas dengan harapan pembaca lebih mengerti inti permasalahannya. Namun karena keterbatasan yang ada pada kami menjadikan karya yang kami sajikan kurang sempurna, untuk itu kami menerima secara terbuka kritik dan saran bagi penyempurnaan karya Tugas Akhir ini.

Kiranya apa yang telah kami usahakan dapat membawa manfaat bagi diri pribadi dan pembaca pada umumnya.

Akhirnya disampaikan terima kasih pada semua pihak yang telah membantu selama penyusunan karya Tugas Akhir hingga selesai. Semoga amal baiknya mendapat ridho dari Allah SWT.

Amin



الجامعة الإسلامية في إندونيسيا

## DAFTAR PUSTAKA

- Supartono FX, Januari 1997, *Eksternal Prestressing Untuk Perbaikan Struktur Gedung*, Konstruksi, Jakarta
- Witarnawan, W, Maret 1997, *Perkuatan Jembatan Lama dengan Sistem External - Prestressing*, Puslitbang Pekerjaan Umum, Bandung
- Witarnawan, W, Juni 1996, *Perkuatan Jembatan Lama dengan Sistem External - Prestressing*, Puslitbang Pekerjaan Umum, Bandung
- Lin Ty, 1988, *Desain Struktur Beton Prategang 1-2*, Erlangga, Jakarta
- Haraji MH, 1993, November 1993, *Strengthening of Concrete Beams By External - Prestressing*, Prestressed Concrete Journal, Detroit
- Raina VK, 1994, *Concrete Bridges*, Tata McGraw - Hill Publishing Company Limited, New Delhi
- Rao M.V.B, Ali MSM and Kurmi DP, April 1992, *Strengthening of RRC Bridges by Externally Bonded Plates*, Indian Highways, New Delhi
- Srinivasa Rao and George Mathew, July 1996, *Behavior of Externally Prestressed Concrete Beams With Multiple Deviators*, ACI Structural Journal, Detroit
- Oecd, 1980, *Evaluation of Load Carrying Capacity of Bridges*, A Report Prepared by an oecd Road Research Group, Paris Ced *external prestressing*, France
- Istimawan D, 1994, *Struktur Beton Bertulang*, Gramedia, Jakarta
- Gere, Timoshenko, 1987, *Mekanika Bahan*, Erlangga, Jakarta
- Ghalia, Neville, A.M, 1986, *Analisa Struktur*, Erlangga, Jakarta
- Danniel L, Schodek, 1991, *Struktur*, Enresco, Bandung
- \_\_\_\_\_, Mei 1992, *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan* Bagian 2 dan 9, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta
- \_\_\_\_\_, 1971, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*, Puslitbang PU, Bandung

- \_\_\_\_\_, 1989, *Pedoman Beton Untuk Bangunan Gedung*, Puslitbang PU Bandung
- \_\_\_\_\_, 1990, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, Puslitbang PU Bandung
- \_\_\_\_\_, 1983, *Peraturan Muatan Indonesia*, Puslitbang PU, Bandung
- \_\_\_\_\_, 1971, *Peraturan Muatan Jembatan dan Jalan Raya*, Puslitbang PU Bandung







UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1	AGUS SURANTO	90810080		STRUKTUR
2	EUDRO PRASTYO	90810074		STRUKTUR

Dosen Pembimbing I : : H. HUGASTRAWAN, MS  
Dosen Pembimbing II : : IR. A. RADIR ABCE, MS

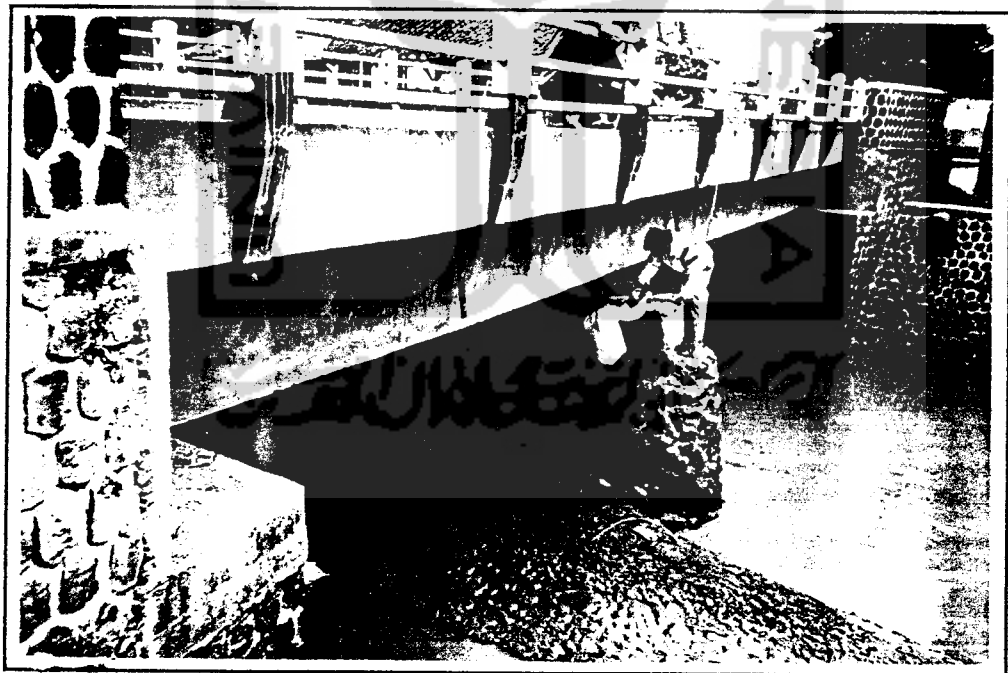
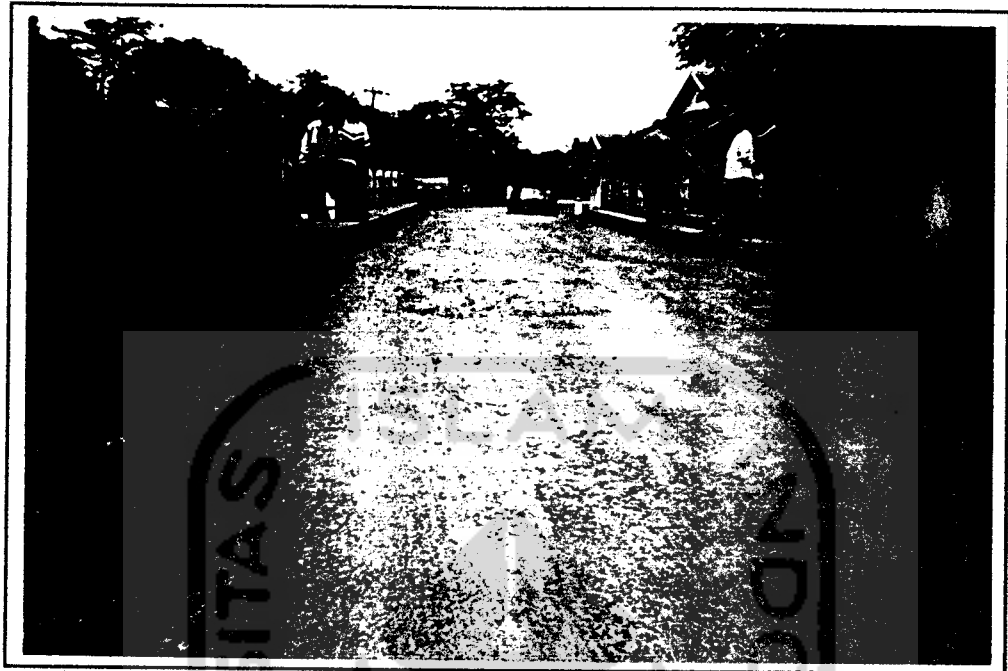
1

2

Yogyakarta,  
Dekan, 13 Oktober 1997  
An.  
Ketua Jurusan Teknik Sipil.



  
IR. BAMBANG SULISTIONO, MSCE

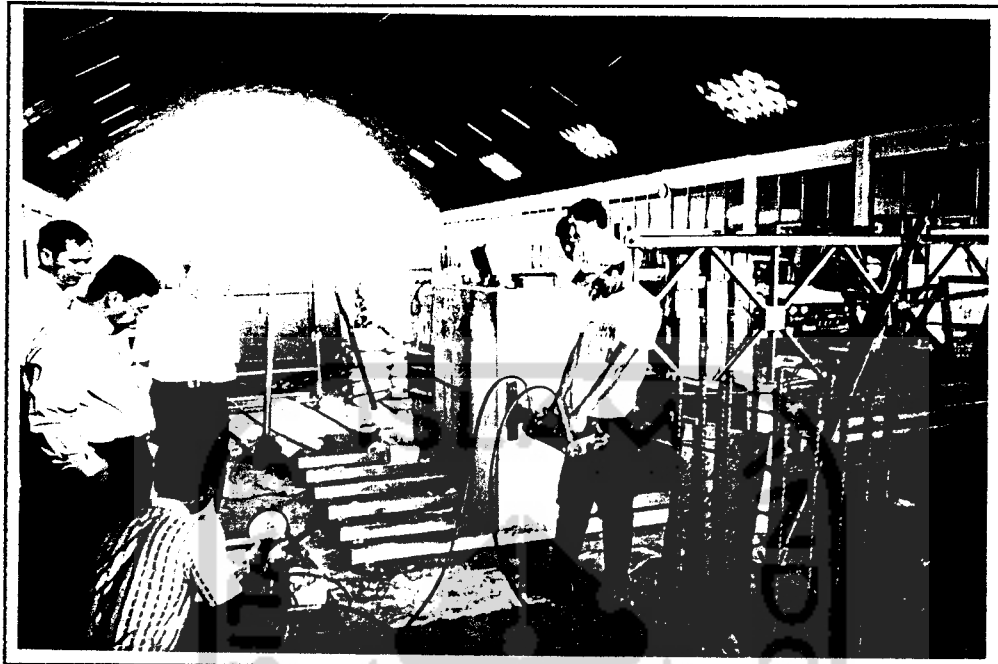


LAMPIRAN 1. PENCATATAN UKURAN JEMBATAN  
DAN SURVEY KONDISI SUNGAI

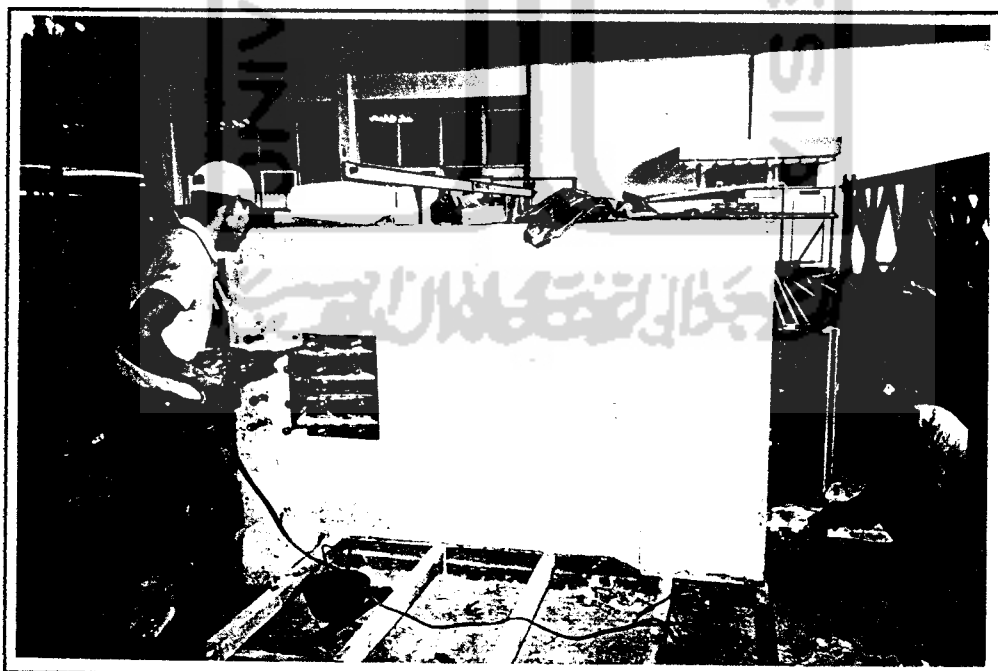


**LAMPIRAN 2. PENGAMBILAN BETON DENGAN “CORE  
DRILL” UNTUK MENGETAHUI MUTU  
BETON SESUNGGUHNYA**





LAMPIRAN 3. PENGUJIAN KEANDALAN SISTEM ANGKER  
DI LABORATORIUM



LAMPIRAN 4. PEMASANGAN ANGKER UNTUK UJI  
COBA LABORATORIUM

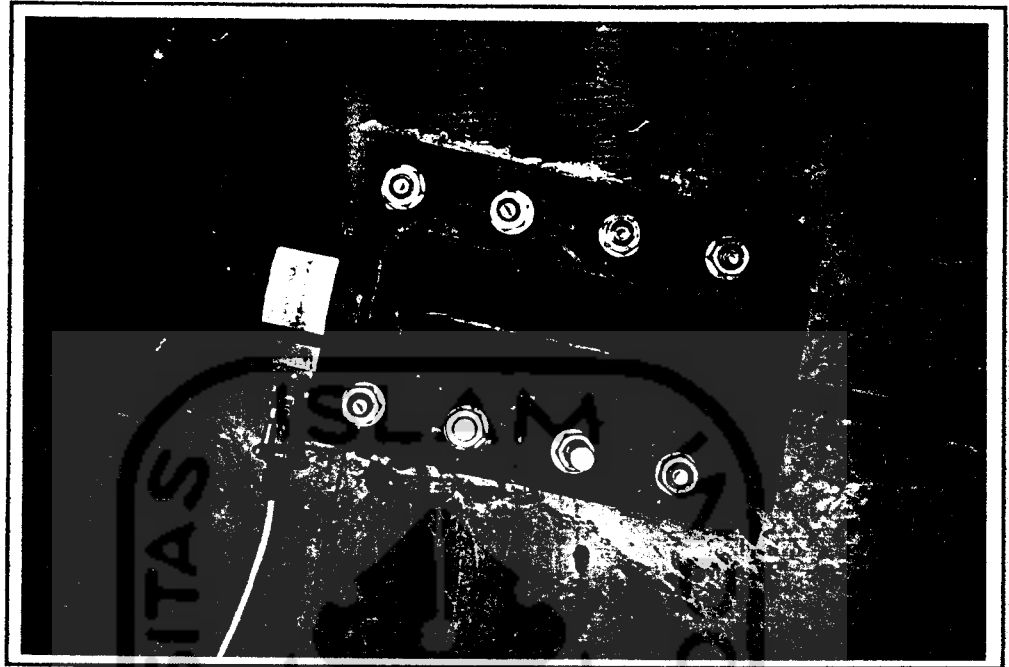


UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

LAMPIRAN 5. PENGEBORAN GELAGAR JEMBATAN  
UNTUK PEMASANGAN ANGKER



LAMPIRAN 6. PEMASANGAN ANGKER PADA GELAGAR  
JEMBATAN



LAMPIRAN 7. LOAD CELL UNTUK MENGUKUR  
BESARNYA GAYA PADA KABEL



LAMPIRAN 8. PROSES PENEGANGAN KABEL



LAMPIRAN 9. KONDISI KABEL SEBELUM DITEGANGKAN



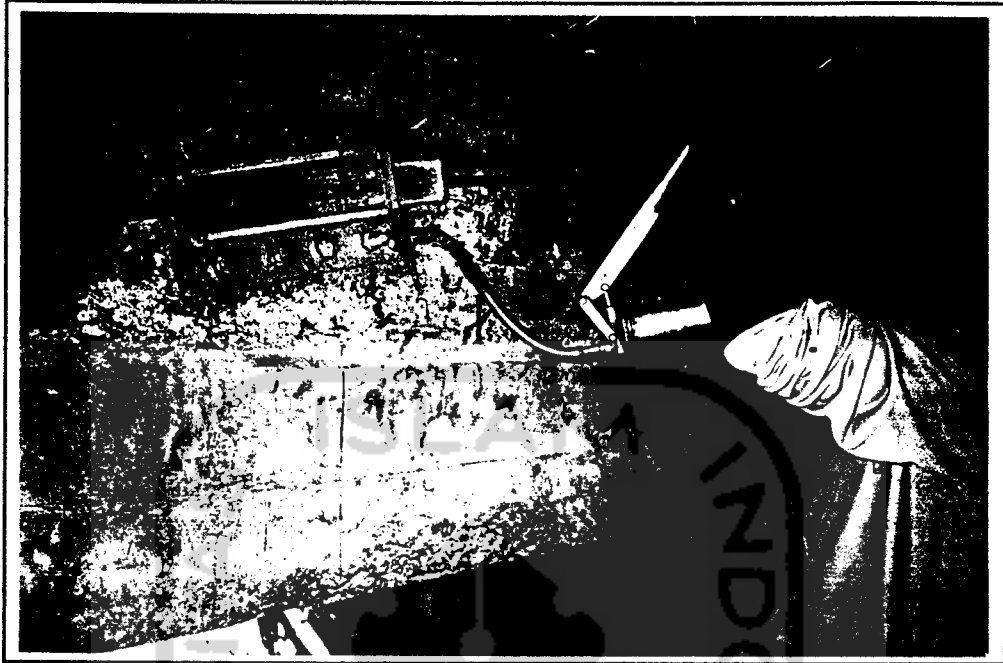
LAMPIRAN 10. KONDISI KABEL SETELAH DITEGANGKAN



LAMPIRAN 11. DEVIATOR



LAMPIRAN 12. PENGECATAN DEVIATOR



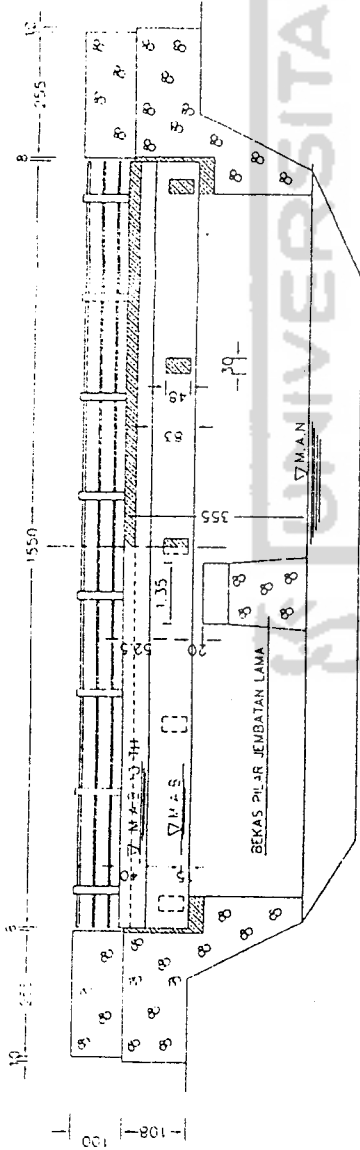
LAMPIRAN 13. PENGISIAN EPOXY PADA CELAH ANTARA  
LANDASAN ANGKER DAN BALOK BETON



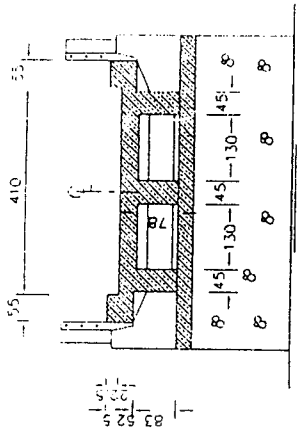
LAMPIRAN 14. PENGISIAN LAPIS PELINDUNG KOROSI  
PADA BAJI

KE GEDEBAGE / BUAH BATU

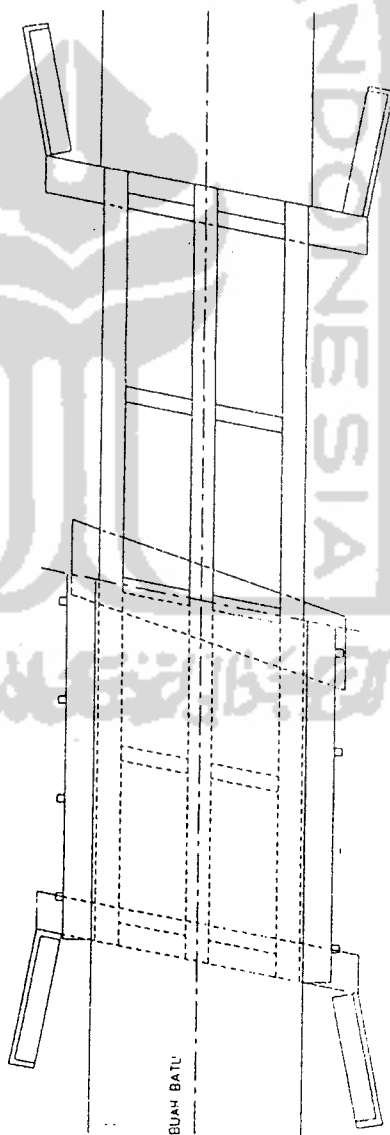
KE J. CACAK MAJALAYA / CIPARAY



TAMPAK DAN POT. MEMANJANG  
1 : 100



POT. MELINTANG  
1 : 100



DENAH  
1 : 100

KE J. CACAK MAJALAYA / CIPARAY



DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM  
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PU  
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN

PERLEMBAN PERKUATAN JEMBATAN BETON  
DENGAN SISTEM EXTERNAL PRESTRESSING  
TAHUN ANGGARAN 1996 - 1997  
JEMBATAN CIKERUH DI SAPAN  
KABUPATEN BANDUNG

PERLEMBAN	PERLU	NAMA	NO. SURTA
DOKUMEN	DOKUMEN	Y. WAWAN W MSc. ME	100/100
DIREKTOR	DIREKTOR	TATANG SUDJANA	100/100
DIREKTOR	DIREKTOR		





CATATAN - KONSULTASI

No.	Tanggal	Konsultasi ke:	KETERANGAN	Paraf
1	16/12/97	-	- Publikasi <i>Antena</i> - <i>Langit</i>	<i>M</i>
2	03/02/98	—	Pembacaan <i>Express</i>	<i>M</i>
3	12/01/98	→	<i>Sambutan &amp; musik</i> <i>kesimpulan &amp; sumber</i>	<i>M</i>
4	21/01/98	→	<i>ada, dapat dilanjutkan</i> <i>ke Dism Pembungkang I</i>	<i>M</i>
5	24/1/98		<i>Ace Sus</i>	

