

**PERENCANAAN JEMBATAN BRANTAS DI
MOJOKERTO MENGGUNAKAN METODE BETON
PRATEGANG SEGMENTAL STATIS TAK TENTU**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi Struktur
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

R. ZULQA NUR RAHMAT ARIF
NRP. 3110 100 118

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :



Surabaya, Juli 2014

PERENCANAAN JEMBATAN BRANTAS DI MOJOKERTO MENGGUNAKAN METODE BETON PRATEGANG SEGMENTAL STATIS TAK TENTU

Nama Mahasiswa : R. Zulqa Nur Rahmat Arif
NRP : 3110100118
Jurusan : Teknik Sipil
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

ABSTRAK

Pesatnya pertumbuhan ekonomi yang ditandai dengan semakin berkembangnya industri, pemukiman, pemekaran wilayah kota menyebabkan semakin meningkatnya kebutuhan *kelancaran* Transportasi JalanUtama (Primer) dari sentra bahan baku dan industry kedaerah Pemasaran. Rencana Pembangunan JalanTol Kertosono – Mojokerto merupakan Program Pemerintah untuk mengatasi pertumbuhan lalu lintas di Kabupaten Mojokerto dan Kabupaten Jombang yang mana Jalan Tol ini akan terhubung dengan Jalan Tol Surabaya – Mojokerto.

Dalam perencanaannya, tol tersebut membutuhkan beberapa konstruksi jembatan salah satunya jembatan Brantas di ruas jalan tol Kertosono-Mojokerto.

Jembatan Brantas ini direncanakan menggunakan struktur beton pratekan *box girder* dengan metode *balanced cantilever*. Desain existing dari *cross section* jembatan ini dirasa kurang efektif dan belum optimal. Oleh karena itu penulis tertarik untuk merencanakan ulang jembatan tersebut dengan mengoptimalkan desain *cross section* untuk mendapatkan hasil yang efisien. Masalah yang muncul adalah bagaimana mendapatkan desain dari *cross section* dan sambungan antar *segment* untuk menghasilkan struktur menerus parsial.

Dalam tugas akhir ini, peraturan yang digunakan adalah SNI T-02-2005. Hasil dari perencanaan ulang ini adalah gambar akhir rencana dari gelagar jembatan dan struktur bangunan bawah.

Kata Kunci: Balok Pratekan, *box girder*, balanced cantilever segmental,.

BRANTAS BRIDGE PLANNING IN MOJOKERTO USING PRESTRESS CONCRETE SEGMENTAL STATICALLY INDETERMINATE

Student name : R. Zulqa Nur Rahmat Arif
NRP : 3110100118
Major : Civil Engineering
Lecturer : Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

ABSTRAK

The rapid economic growth that is marked by the development of industry, settlement, expansion of urban areas led to the increasing need for the smooth transportation of raw materials and industrial centers to the area of Marketing. Kertosono – Mojokerto Highway Development Plan is a Government program in anticipation of traffic growth in Mojokerto and Jombang where the toll road will connect with Surabaya - Mojokerto Highway.

According to the plan, the Surabaya-mojokerto toll road need some of bridge construction, the brantas bridge is one of them that located at the kertosono-mojokerto toll segment.

Brantas bridge is planned using prestressed concrete box girder structure with balanced cantilever method. Existing design of the bridge cross section is less effective and not optimal. Therefore, the authors are interested in re-plan the bridge by optimizing the design of the bridge cross section to obtain efficient results. The problem that arises is how to get the design of the cross section and the joints between the segments to produce a continuous partial structure.

The code used in this final project are SNI T-02-2005 and SNI T-12-2005. The results of this redesign is the final drawing of the plan of bridge girder and bridge under structure.

Keyword: Prestress girder, *box girder*, balanced cantilever segmental.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Dasar Beton Pratekan

Ada 3 konsep dasar menurut (T.Y. Lin, Ned H. Burns ,1981) mengenai beton prategang, diantaranya:

- ***Sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastic.*** Konsep ini memperlakukan beton sebagai bahan yang elastic. Ini merupakan pemikiran dari *Eugene Freyssinet* yang memvisualisasikan beton prategang pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastic dengan memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu (pratekan) pada bahan tersebut. Beton yang tidak mampu menahan tarikan dan kuat memikul tekanan (umumnya dengan baja mutu-tinggi yang ditarik) diolah sedemikian rupa sehingga beton yang getas dapat memikul tegangan tarik. dari konsep ini lahirlah criteria “tidak ada tegangan tarik” pada beton.

- ***Sistem beton prategang untuk Kombinasi Baja Mutu Tinggi dengan beton.*** Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai kombinasi (gabungan) dari baja dan beton, seperti pada beton bertulang, dimana baja menahan tarikan dan beton menahan tekanan, dengan demikian kedua

bahan membentuk kopel penahan melawan momen eksternal. Pada beton prategang, baja mutu tinggi dipakai dengan jalan menariknya sebelum kekuatannya dimanfaatkan sepenuhnya, dengan menarik dan menjangkarkan baja ke beton, dihasilkan tegangan dan regangan yang diinginkan pada kedua bahan, tegangan dan regangan tekan pada beton, dan tegangan dan regangan tarik pada baja. Kombinasi ini memungkinkan pemakaian yang aman dan ekonomis dari kedua bahan dimana hal ini tidak dapat dicapai jika baja hanya ditanamkan di dalam beton seperti pada beton bertulang biasa.

• ***Sistem Prategang Untuk mencapai Kesetimbangan Beban.*** Konsep ini terutama menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah batang. Pada keseluruhan desain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lenturan seperti pelat (*slab*), balok, dan gelagar (*girder*) tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. Ini memungkinkan transformasi dari batang lentur menjadi batang yang mengalami tegangan langsung dan sangat menyederhanakan persoalan baik didalam desain maupun analisis dari struktur yang rumit.

Didalam bukunya (Ir.Winarni Hadipratomo, 1981) menjelaskan bahwa dalam kondisi pembebanan yang tinggi (overload), segera setelah kekuatan tarik lentur beban

tercapai, maka beton prategang akan berlaku seperti beton bertulang biasa, dan pada beban batas atau pada kondisi runtuh dari suatu bagian yang menerima lentur, tahanan tarik dan tekan yang diperlukan untuk mengatasi kondisi ini adalah sama, baik untuk bagian beton bertulang maupun beton prategang. Selanjutnya bila gaya prategang menjadi nol, beton prategang itu akan bersifat hamper sama seperti beton bertulang.

Berikut adalah beberapa keuntungan dari beton prategang yang di kemukakan oleh (Ir.Winarni Hadipratomo,1981):

1. Terhindarnya retak terbuka didaerah tarik, jadi lebih tahan terhadap korosif
2. Kedap air, cocok untuk pipa dan tanki.
3. Jumlah berat baja prategang jauh lebih kecil dibandingkan berat besi beton.
4. Penampang struktur lebih kecil, sebab seluruh luas penampang dipakai secara efektif.
5. Ketahanan geser balok bertambah sebelum retak maka konstruksi dapat langsing dengan bentang besar.

2.2 Tegangan pada beton prategang

Tegangan pada beton prategang adalah tegangan yang terjadi pada penampang beton prategang akibat beban ultimate (gaya eksternal) yang terjadi di tambah dengan tegangan kabel yang menekan penampang beton dari dalam (gaya internal).

Sesuai yang dijelaskan (T.Y. Lin, Ned H Burns, 1981) bahwa:

Gaya tarik prategang F pada tendon menghasilkan gaya tekan F yang sama pada beton yang juga bekerja pada titik berat tendon. Pada keadaan ini gaya berada pada titik berat penampang beton. Akibat gaya prategang F , tegangan tekan merata sebesar

$$f = \frac{F}{A} \quad (2-1)$$

Akan timbul pada penampang seluas A . jika M adalah momen eksternal pada penampang akibat beban dan berat sendiri balok, maka tegangan pada setiap titik sepanjang penampang akibat M adalah

$$f = \frac{My}{I} \quad (2-2)$$

Dimana:

y = jarak dari sumbu yang melalui titik berat

I = momen inersia penampang

Jadi, distribusi tegangan yang dihasilkan adalah

$$f = \frac{F}{A} \pm \frac{My}{I} \quad (2-3)$$

Rumus diatas bisa diterapkan jika tendon diposisikan sepanjang sumbu yang dilalui titik berat. Penyelesaian akan menjadi sedikit lebih rumit jika tendon ditempatkan secara eksentris terhadap titik berat penampang beton.

Disini, resultan gaya F pada beton bekerja pada titik berat tendon yang berjarak e dari c.g.s akan menimbulkan gaya prategang yang eksentris, yang mengakibatkan beton akan terbebani oleh momen dan beban langsung. Jika momen yang dihasilkan oleh sistem prategang adalah Fe , dan tegangan-tegangan akibat momen ini adalah

$$f = \frac{Fey}{I} \quad (2-4)$$

Maka, distribusi tegangan yang dihasilkan adalah

$$f = \frac{F}{A} \pm \frac{Fey}{I} \pm \frac{My}{I} \quad (2-5)$$

2.3 Kehilangan Gaya Prategang

Tidak seluruh gaya prategangan akan bekerja efektif untuk melawan gaya yang bekerja .ini disebabkan adanya kehilangan gaya prategang selama proses pemberian tegangan dan selama beban bekerja.

Dalam buku (Sri Murni Dewi, Beton Prategang,2006) menjelaskan bahwa ada beberapa penyebab terjadinya kehilangan prategang, diantaranya:

2.3.1 Kehilangan prategang akibat Penggelinciran (slip) pada dongkrak

Dalam sistem penjangkaran tertentu ketika dongkrak dilepas dapat terjadi slip pada kabel terhadap jangkar, besarnya slip bergantung pada tipe jangkar dan gaya prategang. besarnya kehilangan prategang yang diakibatkan bergantung pada:

- Besarnya Slip
- Modulus Elastisitas Baja
- Panjang Kabel
- Besarnya prategangan

2.3.2 Kehilangan Prategangan Akibat Gesekan

Ketika kabel diregangkan dengan dongkrak, tidak seluruh gaya dongkrak ditahan dalam bentuk

tegangan kabel. Sebagian dari gaya tersebut ditahan oleh gesekan pada:

- Dongkrak
- Unit penjangkaran
- Persinggungan kabel dengan dinding pembungkus baik dalam keadaan lurus maupun dalam keadaan lengkung.

Gesekan pada dongkrak bergantung pada tipe dongkrak .biasanya dongkrak dikalibrasi dan efektifitas gaya dongkrak dinyatakan dalam koefisien efektifitas dongkrak yang berkisar 95%-98%. Untuk menghitung kehilangan gaya prategangan ini perlu diketahui:

- μ = koefisien gesek antara baja dan dinding pembungkus
- K = koefisien wobble yaitu reduksi prategangan persatuan panjang kabel
- α = perubahan sudut bengkokan ekivalen.

2.3.3 Kehilangan Prategangan Akibat Regangan Elastis Beton

Akibat dari gaya prategang yang diberikan, beton mengalami perpendekan elastic dan ini menyebabkan regangan kembali dari baja, yang berlawanan dengan regangan semula. Akibat dari perpendekan ini regangan efektif baja berkurang

dan dengan sendirinya tegangan efektif beton berkurang.

2.3.4 Kehilangan Prategang Akibat Rangkak

Rangkak adalah suatu deformasi plastis beton akibat beban jangka panjang. Jika beton dibebani dan beban tersebut dibiarkan menetap akan timbul pertambahan regangan walaupun beban tidak ditambah.

2.3.5 Kehilangan prategang akibat susut beton

Besarnya regangan susut bergantung pada kelembaban, prosentase tulangan, factor air semen, tebal beton.

2.3.6 Kehilangan Prategang Akibat Relaksasi Baja

Relaksasi baja adalah bertambah panjangnya baja dalam waktu lama walau beban tidak ditambahkan(sering disebut rangkak pada baja), kehilangan tegangan akibat relaksasi ini berkisar 2%-3%.

2.4 Pemilihan tipe jembatan

Tipe jembatan bisa ditentukan berdasarkan bentang dari jembatan yang akan dibangun, berikut adalah tabel

yang menghubungkan antara bentang jembatan dan tipe yang cocok untuk digunakan.

Tabel 2.1 Tabel hubungan antara bentang jembatan dan tipe jembatan

Sumber : Buku *Prestressed Concrete Segmental Bridges*

| Span | Bridge Types |
|-------------|---|
| 0- 150 ft | I-type pretensioned girder |
| 100- 300 ft | Cast-in-place post-tensioned box girder |
| 100- 300 ft | Precast balanced cantilever segmental, constant depth |
| 250- 600 ft | Precast balanced cantilever segmental, variable depth |
| 200-1000 ft | Cast-in-place cantilever segmental |
| 800-1500 ft | Cable-stay with balanced cantilever segmental |

*1 ft = 0.3048 m.

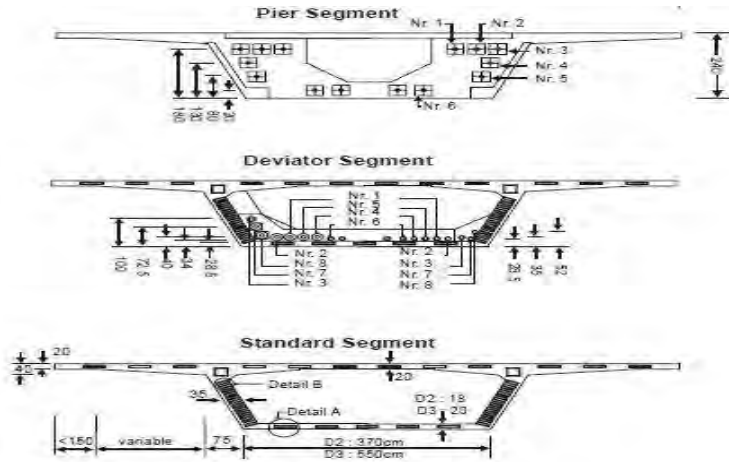
2.5 Precast Segmental Box Girder

Precast segmental box girder adalah salah satu perkembangan penting dalam teknik jembatan yang tergolong baru dalam beberapa tahun terakhir. Berbeda dengan sistem konstruksi monolit, sebuah jembatan segmental *box girder* terdiri dari elemen-elemen pracetak yang diprtekan bersama-sama oleh tendon eksternal (Prof. Dr.-Ing. G. Rombach, 2002).

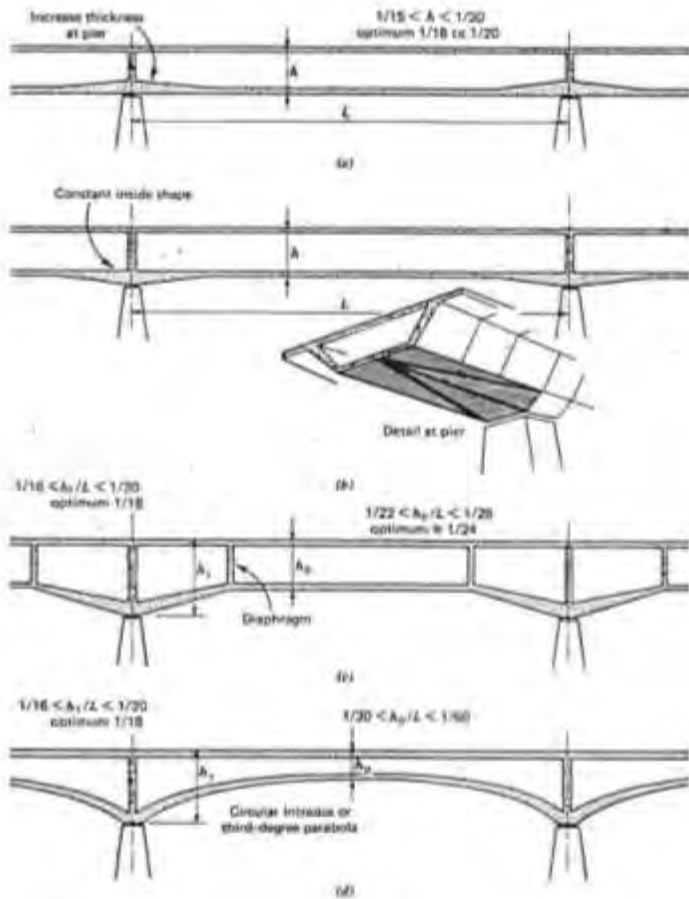
2.5.1 Elemen Struktural Jembatan Segmental Box Girder

Jembatan segmental seharusnya dibangun seperti struktur bentang tunggal untuk menghindari adanya sambungan kabel *post-tension*. Sehubungan dengan adanya eksternal *post-tension* maka diperlukan tiga macam segmen yang berbeda, diantaranya (Prof. Dr.-Ing. G. Rombach, 2002):

- *Pier Segment* : Bagian ini terletak tepat di atas abutment dan memerlukan diafragma yang kokoh untuk dapat memperkaku *box girder*. Selain itu berfungsi sebagai bidang pengankuran dari tendon pratekan
- *Deviator segment* : Bagian ini dibutuhkan untuk pengaturan deviasi tendon.
- *Standard segment* : Dimensi standard box girder yang digunakan.



Gambar 2.1 Tipe Segmen *Box Girder*
 Sumber : jurnal Prof. Dr.-Ing. G. Rombach, 2002



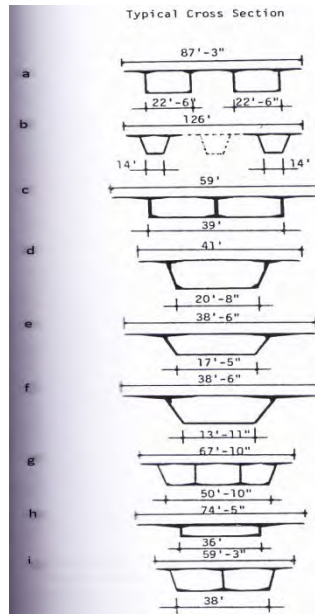
Gambar 2.2 Longitudinal profile for segmental bridges. (a) Constant depth. (b) Semiconstant depth. (c) Straight haunches. (d) Variable depth.

Sumber : Buku *Prestressed Concrete Segmental Bridges*

Dalam Tugas Akhir ini penulis memilih tipe (d) yaitu *Variable depth*.

2.5.2 Pemilihan cross section

Pemilihan cross section dari box girder mempengaruhi efektivitas dari jembatan yang direncanakan. Berikut adalah beberapa tipe *box girder cross section* yang diterapkan pada jembatan-jembatan bentang panjang di eropa.



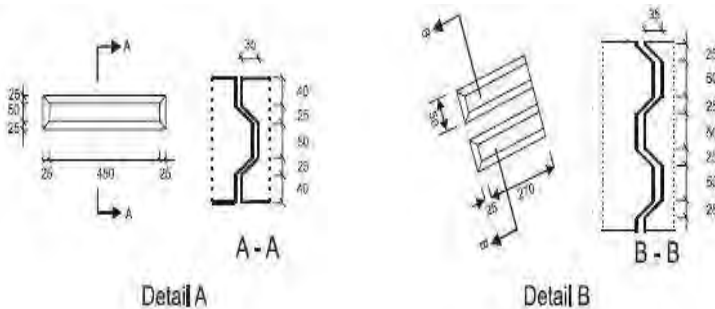
Gambar 2.3. dimensi box girder: a. Rio Niteroi, Brazil(1971), precast, 262; b. Pine Valley, U.S.A. (1974), cast in place, 450; c. Kipapa, U.S.A. (1977), cast in place, 450; d. kishwaukee, U.S.A., precast, 250; e. Long Key, U.S.A., precast, 118; f. Seven Mile, U.S.A., precast, 135; g. Columbiana River, U.S.A., cast in place and precast, 600; h.

Zilwaukee, U.S.A., precast, 375; i. Houston Ship Channel, U.S.A., cast in place, 750.

Sumber : Buku *Prestressed Concrete Segmental Bridges*

2.5.3 Desain Elemen Sambungan

Sambungan pada jembatan segmental telah dirancang sesuai dengan rekomendasi AASHTO. (Prof. Dr.-Ing. G.Rombach, 2002)



Gambar 2.4 Detail sambungan pada *segmental box girder*

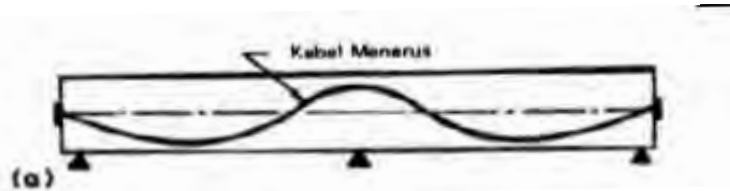
Sumber : Jurnal Prof. Dr.-Ing. G. Rombach, 2002

2.6 Balok Patekan Menerus Statis Tak Tentu

Dalam tugas akhir ini direncanakan jembatan dengan konstruksi beton pratekan statis tak tentu. Seperti halnya dengan struktur menerus lainnya, lendutan pada balok menerus akan lebih kecil daripada lendutan pada balok sederhana (diatas duatumpuan) (T.Y Lin dan Ned H. Burn, 1988). Kontinuitas pada konstruksi beton prategang dicapai

dengan memakai kabel-kabel melengkung atau lurus yang menerus sepanjang beberapa bentangan. Juga dimungkinkan untuk menimbulkan kontinuitas antara dua balok pracetak dengan memakai “kabel tutup” (*capcable*). Alternatif lain, tendon-tendon lurus yang pendek dapat dipakai diatas tumpuan untuk menimbulkan kontinuitas antara dua balok prategang pracetak.

Beberapa metode untuk mengembangkan kontinuitas pada konstruksi beton prategang telah diuji secara kritis oleh Lin dan Visvesvaraya dan kawan kawan mengenai kelayakannya untuk dipakai dalam suatu situasi tertentu (N. Krishna Raju, 1989)



Gambar 2.5 Tata letak kabel untuk balok menerus

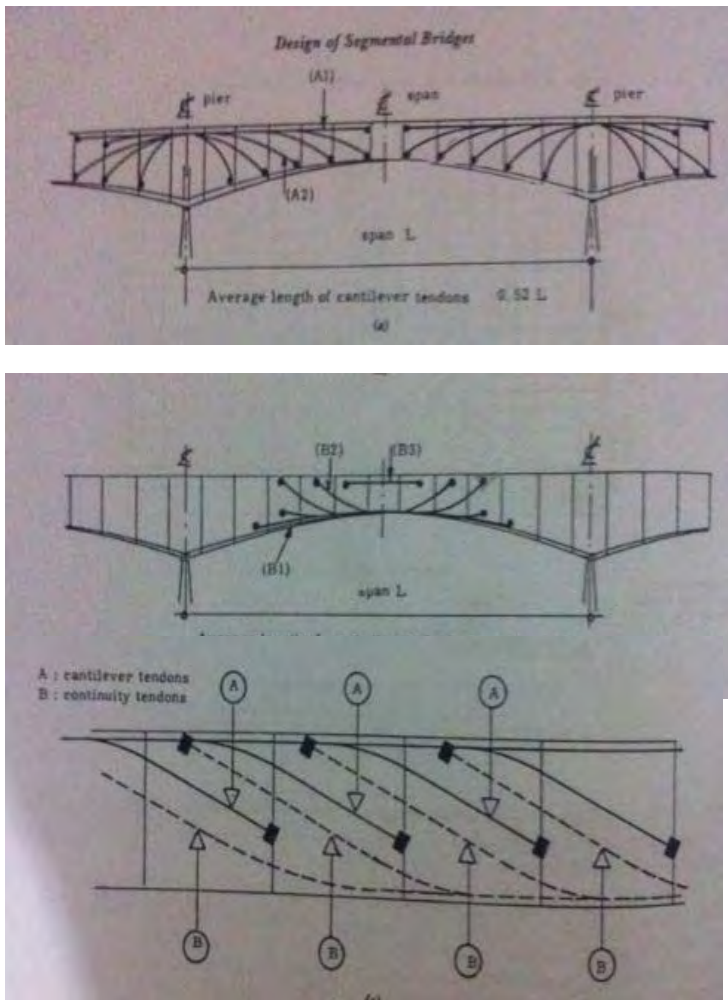
Sumber : buku referensi karangan N. Khrisna Raju, 1989

Dalam Tugas Akhir ini penulis merencanakan jembatan pratekan dengan tipe tendon seperti tergambar di atas yang menumpu diatas 3 perletakan dengan tambahan kantilever pada masing-masing ujungnya.

2.7 Tata letak tendon

Tata letak tendon bertujuan untuk memberi daerah batas letak tendon untuk menghindari terjadinya tegangan diluar tegangan yang diijinkan.

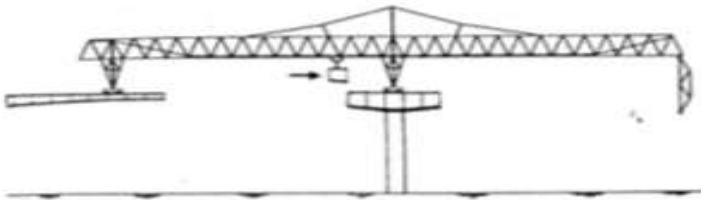
Box girder yang dibuat secara *cast in situ* maupun pracetak ditanamkan sebuah penampang profil pada badan box guna untuk memanfaatkan komponen vertikal dari pratekan untuk mengurangi tegangan geser. Dalam konfigurasi letak akan terjadi *overlapping* tendon yang cukup panjang di badan *box girder* , karena *cantilever prestress* diangkur pada bagian bawah badan *box* sedangkan *continuity prestress* diangkur pada bagian atas sayap dari *box*. Lihat pada gambar 2.7 untuk tipe jembatan menggunakan *constant depth* dan *variable depth*.



Gambar 2.6 (a) *cantilever tendons* (b) *continuity tendons* (c) layout tendon untuk segmen yang *constant depth*.
 Sumber : Buku *Prestressed Concrete Segmental Bridges*

2.8 Metode Konstruksi

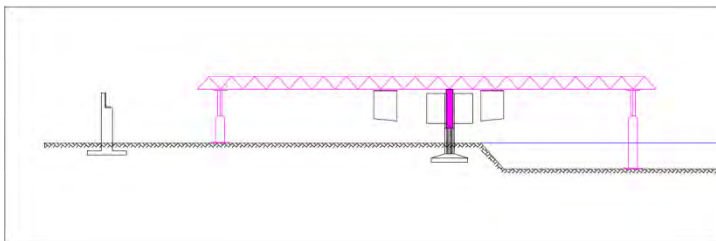
Metode konstruksi yang dipilih dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah metode *Balance Cantilever Using Launching Gantry*. Pada metode ini membutuhkan alat *Launching Gantry* sebagai penopang utama dalam proses perpindahan dan pemasangan *segmental box girder*. Dengan konstruksi alat *Launching Gantry* yang menumpu di tiap-tiap pilar.



Gambar 2.7 Metode pelaksanaan *segmental box girder*
Sumber : Buku *Prestressed Concrete Segmental Bridges*

Berikut adalah urutan metode pelaksanaannya :

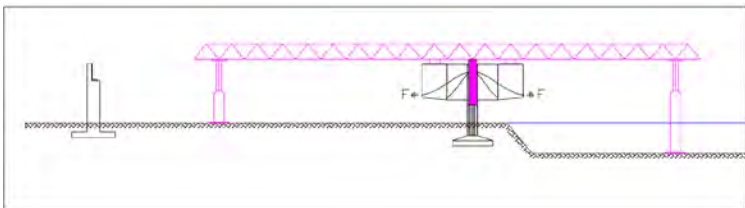
1.



Gambar 2.8 pengangkatan segmen *box girder* dengan
Launching Gantry

Selesaikan terlebih dahulu jembatan bagian tepi sungai untuk memudahkan mobilisasi segmen-segmen *box girder* pracetak. *Box Girder* di angkut dari tempat fabrikasi dengan menggunakan truk dan papan luncur. Kemudian *box girder* diangkat dan digerakkan menuju tempat yang sesuai dengan bantuan alat *Launching Gantry*.

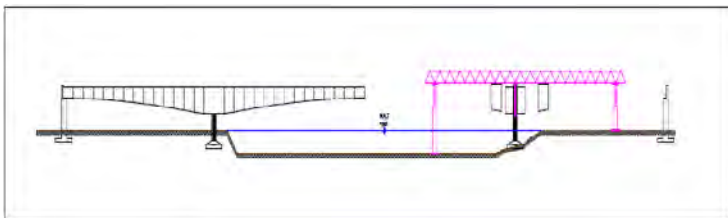
2.



Gambar 2.9 *Box girder* diturunkan kemudian dilakukan *jacking*.

Kemudian *box girder* diturunkan hingga mencapai elevasi yang sesuai. Baru kemudian dilakukan *stressing/jacking* pada tendon kantilever yang telah dipasang di sepanjang segmen tersebut untuk mengimbangi berat sendiri *box girder* pada saat pelaksanaan.

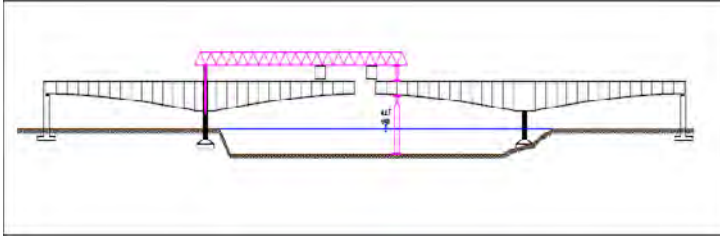
3



Gambar 2.10 Pemasangan *box girder* sisi timur.

Beralih ke pekerjaan di sisi sebelah timur penampang sungai, dilakukan sama seperti tahap ke 1-3.

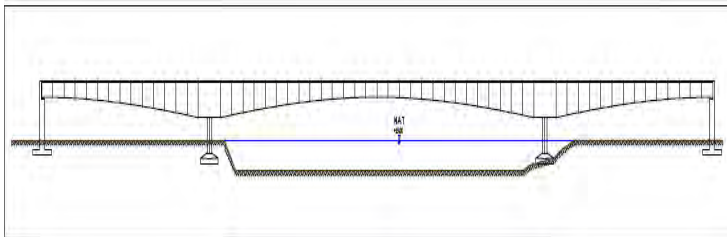
4.



Gambar 2.11 Pemasangan *box girder* pada bentang tengah.

Setelah bentang pada tepi timur dan barat telah selesai, kemudian dilanjutkan pekerjaan pada bentang tengah. Tahap pekerjaannya sama seperti tahap ke 1-2 hingga seluruh *box girder* telah terpasang penuh di sepanjang jembatan.

5.



Gambar 2.12 penyempurnaan dan *finishing*.

Setelah semua *box girder* telah terpasang penuh kemudian dilakukan penyempurnaan pada titik tertentu yang masih memerlukan adanya *stressing/jacking* pada tendon menerus. Kemudian dilanjutkan ke tahap finishing antara lain pekerjaan pemasangan pelat beton, aspal, pagar pembatas, dan sarana utilitas jembatan yang diperlukan.

2.9 Perencanaan Pondasi

Pondasi direncanakan sesuai kedalaman tanah keras

Tabel 2.2 Hubungan jenis pondasi terhadap kedalamamantah keras

| Kedalaman Tanah Keras (m) | Jenis Pondasi |
|---------------------------|-----------------------|
| 0.00 - 3.00 | Pondasi Langsung |
| 3.00 - 10.00 | Pondasi Sumuran |
| 10.00 -20.00 | Pondasi Tiang pancang |
| > 20.00 | Pondasi Tiang Pancang |

2.9.1 Pondasi Langsung (pondasi telapak)

Pondasi telapak adalah suatu pondasi yang mendukung bangunan secara langsung pada tanah pondasi, bilamana terdapat lapisan tanah yang cukup tebal dengan kualitas yang baik dan mampu mendukung bangunan itu pada permukaan tanah atau sedikit dibawah permukaan tanah

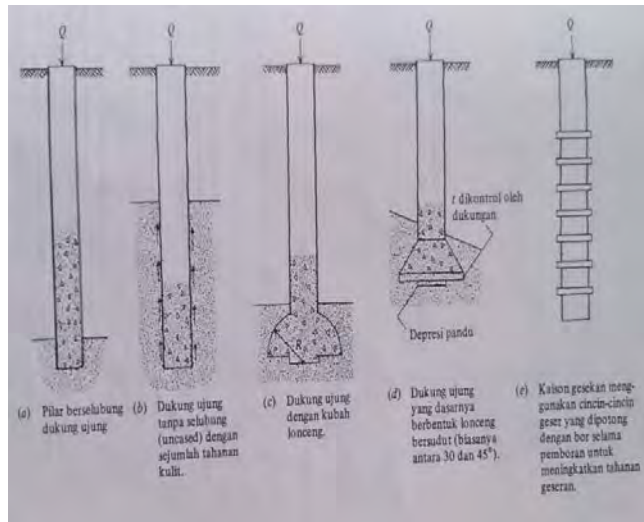
Pondasi telapak umumnya dibangun diatas tanah pendukung pondasi dengan membuat suatu tumpuan yang bentuk dan ukurannya (dimensinya sesuai dengan beban bangunan dan daya dukung tanah pondasi itu. Pondasi itu bersatu dengan bagian utama bangunan (tembok penahan tanah, tembok membujur dari kepala jembatan atau kolom dermaga) sehingga merupakan suatu konstruksi yang monolit.

2.9.1 Tiang Pancang

Tiang pancang adalah bagian-bagian konstruksi yang dibuat dari kayu, beton, dan/atau baja, yang digunakan untuk (mentransmisikan beban-beban permukaan ke tingkat-tingkat permukaan yang lebih rendah dalam masa tanah. Hal ini merupakan distribusi vertical dari beban sepanjang poros tiang pancang atau pemakaian beban secara langsung terhadap lapisan yang lebih rendah melalui ujung tiang pancang.

2.9.2 Pondasi Sumuran

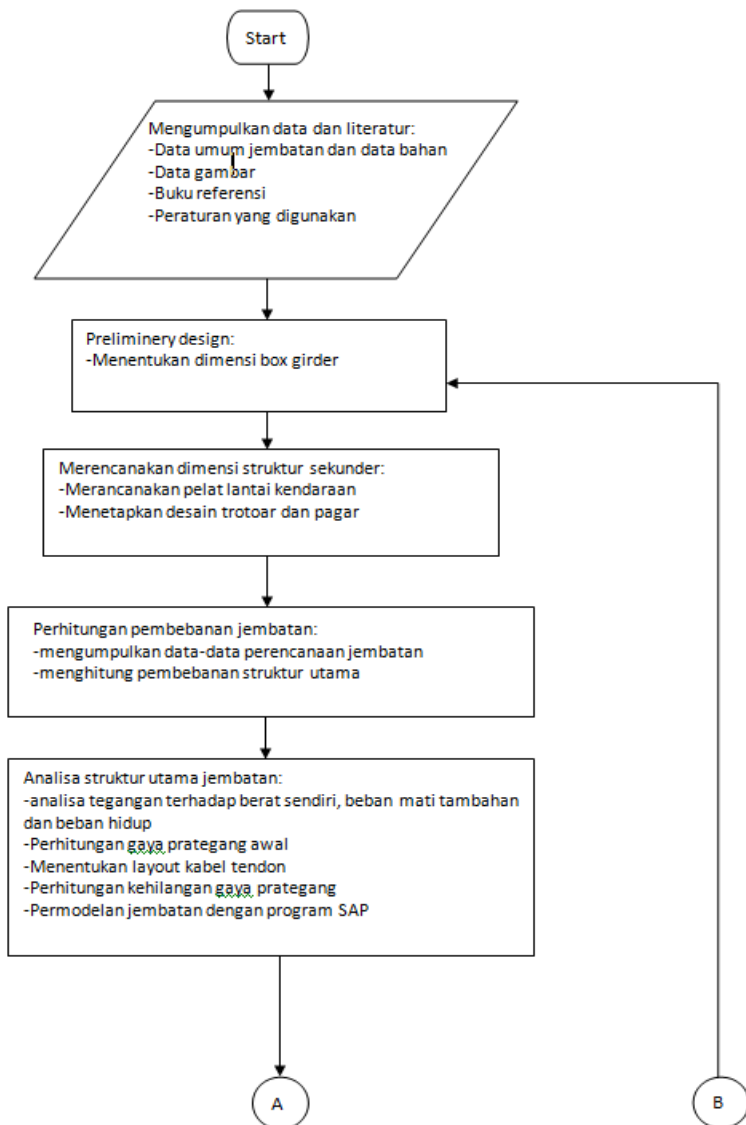
Metode sumuran yang dibor (*drilled shaft*) yaitu pondasi yang dibuat dengan cara membor sebuah lubang silindris hingga pada kedalaman yang diinginkan dan sesudah itu diisi dengan beton. Beton silindris atau sumuran ini bisa berupa lubang lurus atau bagian dasarnya diperluas dengan cara penggerekan dasar lubang (*underreaming*).

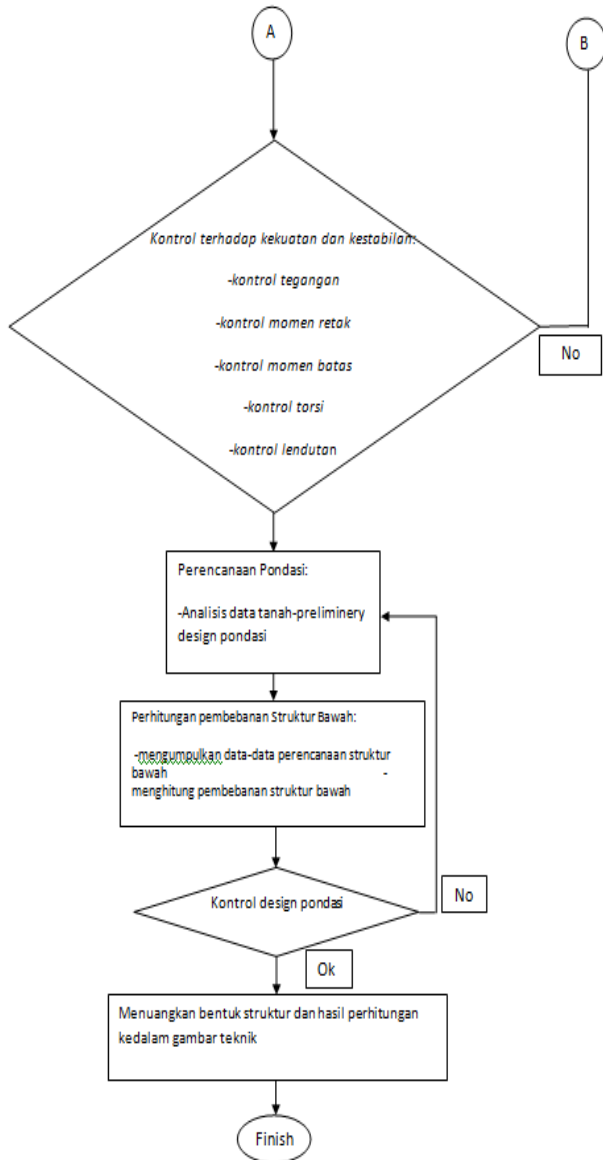


Gambar 2.13 jenis-jenis pondasi sumuran
 Sumber: Buku Analisis dan Desain Pondasi

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI





Gambar 3.1 Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir

3.1 Pengumpulan Data dan Literatur

Data-data perencanaan diperoleh dari dinas Pekerjaan Umum Tingkat Kota, Kota Mojokerto, Jawa Timur. Jembatan Brantas Mojokerto ini di desain ulang dengan memakai *box girder* pratekan dengan bentang menerus (statis tak tentu). Adapun data data yang digunakan dalam perencanaan adalah sebagai berikut:

1. Panjang jembatan : 300 m, terdiri dari 1 bentang utama dan dua kantilever ujung. (75 m + 150 m + 75 m)
2. Lebar jembatan : 26,5 m
3. Lebar rencana jalan : 22,5 m.
4. Lantai kendaraan beton bertulang : 6 lajur 2 a rah @ 4 m
5. Lebar trotoar : 2 x 1,5 m
6. Gelagar utama : Box girder

3.2 Preliminari design

3.2.1 Tafsiran Tinggi *box girder*

Untuk menentukan tinggi balok (h), digunakan rumus :

$$\text{Area tumpuan} = \frac{1}{16} < \frac{h1}{L} < \frac{1}{20} \quad (3-1)$$

$$\text{Area tengah bentang} = \frac{1}{30} < \frac{h0}{L} < \frac{1}{50} \quad (3-2)$$

3.2.2 Ketebalan Minimum Web Box Girder

200 mm = jika selongsong tendon tidak berada pada *box*.

250 mm = jika terdapat selongsong tendon berukuran kecil yang dipasca tarik secara vertikal maupun longitudinal terjadi dibadan *box*.

300 mm = jika terdapat selongsong tendon (12 ½ in) pada badan *box*.

350 mm = jika terdapat ankur tendon (12 ½ in) pada badan *box*.

3.2.3 Ketebalan Minimum Top Flange Box Girder

175 mm = lebar antar badan kurang dari 3 m.

200 mm = lebar antar badan berkisar 3 m sampai 4,5 m.

250 mm = lebar antar badan berkisar antara 4,5 m sampai 7,5 m.

3.2.4 Ketebalan Minimum Bottom Flange Box Girder

Pada jembatan yang telah ada menggunakan ketebalan yang kecil kurang lebih 125mm dengan tujuan untuk mengurangi pengaruh momen akibat berat sendiri.

3.3 Perhitungan Momen Statis Tak Tentu

Pada perhitungan ini beban-beban yang diperhitungkan meliputi :

1. Beban sendiri *box girder*
2. Beban lantai kendaraan, aspal, dan air hujan
3. Beban hidup (lalu lintas)

Untuk menghitung momen yang terjadi pada struktur statis tak tentu yaitu dengan menggunakan program bantu SAP 2000.

3.4 Perhitungan Gaya Prategang Awal

Merencanakan besarnya gaya prategang

$$\bullet \quad \sigma_{ti} = \frac{F_0}{A} - \frac{F_0 x_e}{Wt} + \frac{Mg}{Wt} \quad (3-3)$$

$$\bullet \quad \sigma_{ci} = \frac{F_0}{A} + \frac{F_0 x_e}{Wb} - \frac{Mg}{Wb} \quad (3-4)$$

3.5 Pemilihan kabel.

Pemilihan kabel yang dipakai dalam perencanaan ini adalah kabel jenis *strand seven wires low relaxation* (7 kawat untaian) dengan mengacu pada ASTM A416-85 *Grade 270*.

3.6 Kehilangan gaya prategang

Dalam perencanaan beton pratekan, analisis gaya-gaya efektif dari tendon penting sekali untuk diketahui. Dalam buku karangan T.Y Lin dan Ned H Burns tahun 1988 disebutkan bahwa kehilangan gaya prategang akan terjadi dalam dua tahap dan keduanya akan sangat mempengaruhi hasil akhir gaya-gaya efektif tendon yang akan terjadi.

3.6.1 Tahap pertama,

pada saat setelah peralihan gaya prategang ke penampang beton, tegangan dievaluasi sebagai tolak ukur perilaku elemen struktur. Pada tahap ini kehilangan gaya prategang meliputi :

- Perpendekan elastis beton (ES)

Pada saat gaya pratekan dialihkan ke beton, komponen struktur akan memendek dan baja akan ikut memendek bersamanya. Jadi ada kehilangan gaya pratekan pada baja. Rekomendasi ACI-ASCE untuk memperhitungkan kehilangan gaya pratekan adalah dengan persamaan berikut:

$$ES = K_s E_s \frac{f_{cir}}{E_{ci}} \quad (3-5)$$

dengan nilai f_{cir} sebagai berikut

$$f_{cir} = \frac{F_o}{A} + \frac{F_{ex} e^2}{I} - \frac{MG_x e}{I} \quad (3-6)$$

Dimana,

- F_{cir} = Tegangan beton pada garis berat baja (c.g.s) akibat gaya prategang yang efektif segera setelah gaya prategang telah dikerjakan pada beton
- MG = Momen akibat berat sendiri beton.
- K_s = 1 untuk komponen struktur pratarik
- K_s = 0.5 untuk komponen struktur pasca - tarik bila kabel-kabel secara berturutan ditarik dengan gayayang sama
- E_s = Modulus elastisitas tendon prategang
- E_{ci} = Modulus elastisitas beton pada saat pengangkutan Gesekan (FR)

Selama terjadi pengalihan gaya pratekan pada sistem pasca tarik, kabel yang ditarik sedikit demi sedikit akan mengalami kehilangan tegangan nya pada saat

tendon melengkung. Perumusan untuk menghitung kehilangangaya pratekan ini adalah sebagai berikut :

$$F_{pF} = F_i \times e^{-((\mu \times \alpha) + (K \times L))} \quad (3-7)$$

$$\Delta f_{pF} = F_i - F_{pF} \quad (3-8)$$

$$\alpha = \frac{8f}{L} \quad (3-9)$$

Dimana:

- F_{pF} = Gaya prategang setelah terjadi kehilangan akibat friction
 Δf_{pF} = Besarnya gaya kehilangan prategang akibat friksi
 F_i = Gaya awal prategang
 α = Sudut Kelengkungan
 K = Koefisien wobble
 L = Panjang bersih balok
 f = Fokus tendon (eksentrisitas dari cgs)
 μ = koefisien lengkungan.

Tabel 3.1 koefisien-koefisien gesekan untuk tendon pasca-tarik

| Tipe Tendon | K tiap meter | M |
|---------------------------------------|---------------------|----------------|
| Tendon pada selubung logam fleksibel: | 0,0033 – 0,0049 | 0,15 – |
| - Tendon kawat | 0,0016 – 0,0066 | 0,25 |
| - Strand dengan untaian 7 kawat | 0,0003 – 0,0020 | 0,15 – 0,25 |
| - Baja mutu tinggi | | 0,08 – 0,30 |
| Tendon pada selubung logam kaku | 0,0007 | 0,15 – |

| | | |
|---|-----------------|-------------|
| - Strand dengan untaian 7 kawat | | 0,25 |
| Tendon yang diminyaki terlebih dahulu - Tendon kawat dan strand dengan untaian 7 kawat | 0,001 – 0,0066 | 0,05 – 0,15 |
| Tendon yang diberi lapisan mestic - Tendon kawat dan strand dengan untaian 7 kawat | 0,0033 – 0,0066 | 0,05 – 0,15 |

- Slip angkur (ANC)

Untuk kebanyakan system pasca tarik, pada saat tendonditarik sampai nilai penuh dongkrak dilepas dan gayaprategang dialihkan ke angkur. Peralatan angkur yang mengalami tegangan pada saat peralihan cenderung untuk berdeformasi, jadi tendon dapat tergelincir sedikit. Rumus umum untuk menghitung kehilangan gaya prategang akibat slip pengangkutan adalah :

$$F_{pA} = \Delta f_{pA} \times A_{ps} \quad (3-10)$$

$$\Delta f_{pA} = 2f_{st} \times \left(\frac{\mu x \alpha}{L} + K \right) \times X \quad (3-11)$$

Dimana:

F_{pA} = Kehilangan gaya prategang akibat slip angkur

A_{ps} = Luas penampang tendon

Δf_{pA} = Jumlah hilangnya tegangan prategang akibat angkur

- F_{st} = Besarnya tegangan ijin baja tendon minimum yang disyaratkan SNI 03-2002-2847
 α = Sudut Kelengkungan
 μ = Koefisien friksi (gesekan)
 K = Koefisien woble
 L = Panjang bersih balok
 X = Koefisien slip angkur berdasarkan bentuk profil tendon (digunakan profil tendon berbentuk parabola)

$$X = \sqrt{\frac{EPS \times g}{f_{st} \left(\frac{\mu \times \alpha}{L} + K \right)}} \times \frac{L}{2} \quad (3-12)$$

3.6.2 Tahap kedua

pada saat beban bekerja setelah semua gaya prategang terjadi dan tingkatan prategang efektif jangka panjang telah tercapai. Akibat waktu yang lama akan terjadi kehilangan gaya prategang sebagai berikut :

- Rangkak beton (CR)

Rangkak dianggap terjadi dengan beban mati permanen yang ditambahkan pada komponen struktur setelah beton diberi gaya prategang. Kehilangan gaya prategang akibat rangkakan untuk komponen struktur dengan tendon terekat dihitung dari persamaan berikut:

$$CR = K_{cr} \times \frac{E_s}{E_c} \times f_{ctir} - f_{cds} \quad (3-13)$$

Dimana,

K_{cr} = 2,0 untuk komponen struktur pratarik.

K_{cr} = 1,6 untuk komponen struktur pasca tarik.

F_{cds} = tegangan beton pada titik berat tendon akibat seluruh beban mati yang bekerja pada komponen struktur setelah diberi gaya prategang.

E_s = modulus elastisitas tendon prategang.

E_c = modulus elastisitas beton umur 28 hari.

Sedangkan kehilangan gaya prategang akibat rangkakan untuk komponen struktur dengan tendon tidak terikat dihitung dari persamaan berikut :

$$CR = K_{cr} \times \frac{E_s}{E_c} \times f_{cpa} \quad (3-14)$$

Dimana,

F_{cpa} = tegangan tekan rata-rata pada beton sepanjang komponen struktur pada titik berat tendon (c.g.s)

- Susut (SH)

Karena susut tergantung dari waktu, kita tidak mengalami 100% kehilangan tegangan batas dalam beberapa tahun, tetapi 80% terjadi pada tahun pertama. Besarnya susut yang terjadi pada beton pratekan dapat dijelaskan menggunakan persamaan berikut ini:

$$SH = 8.2 \times 10^{-6} \times K_{sh} \times E_s \left(1 - 0.0236 \frac{V}{S} \right) \times 100 - RH \quad (3-15)$$

Dimana,

K_{sh} = koefisien factor susut (tabel 2.2)

K_{sh} = 0,1 untuk struktur pratarik

RH = kelembaban relatif

V/S = perbandingan volume terhadap permukaan

Tabel 3.2 Nilai Ksh untuk komponen struktur pasca-tarik

| | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Jangka waktu setelah perawatan basah sampai penerapan prategang (hari) | 1 | 3 | 5 | 7 | 10 | 20 | 30 | 60 |
| K_{sh} | 0,92 | 0,85 | 0,80 | 0,77 | 0,73 | 0,64 | 0,58 | 0,45 |

- Relaksasi baja (RE)

Percobaan pada baja pratekan dengan perpanjangan yang konstan dan dijaga tetap pada suatu selang waktu memperlihatkan bahwa gaya pratekan akan berkurang secara perlahan. Kehilangan gaya pratekan ini dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$RE = [K_{re} - J(SH + CR + ES)] C \quad (3-16)$$

Dimana,

K_{re} dan C adalah nilai-nilai menurut tabel 3.3 dan tabel 3.4

Tabel 3.3 Nilai K_{re} dan J

| Tipe tendon | K_{re} | J |
|--|----------|------|
| Strand atau kawat stress-relieved derajat 1860 MPa | 138 | 0,15 |
| Strand atau kawat stress-relieved derajat 1720 MPa | 128 | 0,14 |

| | | |
|---|-----|-------|
| kawat stress-relieved derajat 1655 MPa atau 1620 MPa | 121 | 0,13 |
| Strand relaksasi-rendah derajat 1860 MPa | 35 | 0,040 |
| Kawat relaksasi-rendah derajat 1720 MPa | 32 | 0,037 |
| Kawat relaksasi-rendah derajat 1655 MPa atau 1620 MPa | 30 | 0,035 |
| Batang stress-relieved derajat 1000 MPa atau 1100 MPa | 41 | 0,05 |

Tabel 3.4 Nilai C

| fpi/fpu | Strand kawat stress-relieved atau stress- | Batang stress-relieved atau strand atau kawat relaksasi rendah |
|---------|---|--|
| 0,80 | | 1,28 |
| 0,79 | | 1,22 |
| 0,78 | | 1,16 |
| 0,77 | | 1,11 |
| 0,76 | | 1,05 |
| 0,75 | 1,45 | 1,00 |
| 0,74 | 1,36 | 0,95 |
| 0,73 | 1,27 | 0,90 |
| 0,72 | 1,18 | 0,85 |
| 0,71 | 1,09 | 0,80 |
| 0,70 | 1,00 | 0,75 |
| 0,69 | 0,94 | 0,70 |
| 0,68 | 0,89 | 0,66 |
| 0,67 | 0,83 | 0,61 |
| 0,66 | 0,78 | 0,57 |

| | | |
|------|------|------|
| 0,65 | 0,73 | 0,53 |
| 0,64 | 0,68 | 0,49 |
| 0,63 | 0,63 | 0,45 |
| 0,62 | 0,58 | 0,41 |
| 0,61 | 0,53 | 0,37 |
| 0,60 | 0,49 | 0,33 |

3.7 Pembebanan Pada Struktur Utama Jembatan

Pembebanan yang diterapkan mengacu kepada muatan atau aksi lain (beban perpindahan dan pengaruh lainnya) yang timbul pada suatu jembatan berdasarkan acuan RSNI T-02-2005. Aksi-aksi yang timbul dikelompokkan menurut sumbernya kedalam beberapa kelompok, yaitu:

3.7.1 Beban Mati [RSNI T-02-2005 pasal 5.1]

- Beban Tetap

Berat sendiri adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non struktural yang dianggap tetap.

Tabel 3.5 Faktor beban untuk berat sendiri

| JANGKA WAKTU | FAKTOR BEBAN | |
|--------------|--------------------------|-----------------------------------|
| | K_{MS}^S | K_{MS}^U Biasa Terkurangi |
| Tetap | Baja, aluminium 1,0 | 1,1 0,9 |
| | Beton pracetak 1,0 | 1,2 0,85 |
| | Beton dicor ditempat 1,0 | 1,3 0,75 |
| | Kayu 1,0 | 1,4 0,7 |

- **Beban Mati Tambahan**
Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural, dan mungkin besarnya berubah selama umur jembatan.

Tabel 3.6 Faktor beban untuk beban mati tambahan

| JANGKA WAKTU | FAKTOR BEBAN | | |
|--|----------------------|------------|------------|
| | K_{MS}^S | K_{MS}^U | |
| | | Biasa | Terkurangi |
| Tetap | Keadaan umum 1,0 (1) | 2,0 | 0,7 |
| | Keadaan khusus 1,0 | 1,4 | 0,8 |
| CATATAN (1) Faktor beban daya layan 1,3 digunakan untuk berat utilitas | | | |

3.7.2 Pengaruh penyusutan dan rangkak

Apabila rangkak dan penyusutan bisa mengurangi pengaruh muatan lainnya, maka harga dari rangkak dan penyusutan tersebut harus diambil minimum (misalnya pada waktu transfer dari beton prategang).

3.7.3 Pengaruh prategang

Prategang akan menyebabkan pengaruh sekunder pada komponen-komponen yang terkekang pada bangunan statididak tentu. Pengaruh sekunder tersebut harus diperhitungkan baik pada batas daya layan ataupun batasultimit.

3.7.4 Beban Hidup

3.6.4.1 Beban Lalu – Lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur "D" dan beban truk "T".

➤ **Beban Lajur "D"** [RSNI T-02-2005 6.3]

Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring – iringan kendaraan yang sebenarnya.

Jumlah total beban lajur "D" yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri.

Tabel 3.7 Faktor beban akibat beban lajur "D"

| JANGKA WAKTU | FAKTOR BEBAN | |
|--------------|--------------|------------|
| | K_{TD}^S | K_{TD}^U |
| Transien | 1,0 | 1,8 |

a. **Beban Tersebar Merata (UDL = q)** [RSNI T-02-2005 6.3]

Mempunyai intensitas q kPa, dimana besarnya q tergantung pada panjang total yang dibebani L seperti berikut:

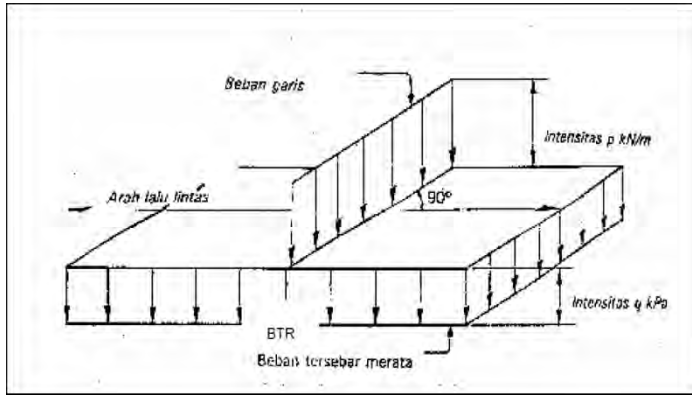
($L < 30$ meter), $q = 9.0$ KN/m²

($L > 30$ meter), $q = 9.0 (0.5 + 15/L)$

b. **Beban Garis (KEL= P)**

Dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan.

Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m. [RSNI T-02-2005 pasal 6.3.1]

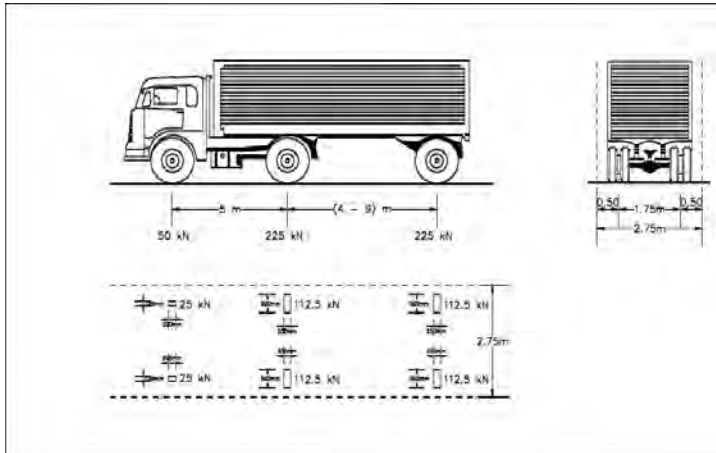


Gambar 3.2 Distribusi Beban Lajur “D”

➤ **Beban Lajur “T” [RSNI T-02-2005 pasal 6.4.1]**

Beban truck “T” adalah satu kendaraan berat dengan 3 as yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu – lintas rencana. Tiap as terdiri dari 2 bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truck “T” diterapkan per lajur lalu – lintas rencana.

Beban T di tempatkan pada beberapa posisi yang digunakan untuk menganalisa pelat lajur lalu-lintas agar mendapat gaya maksimum. Akan tetapi beban kendaraan truck “T” ini harus ditempatkan ditengah – tengah lajur lalu – lintas rencana seperti gambar 3.1. Jarak antara 2 astersebut antara 4.0 m sampai 9.0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan



Gambar 3.3 Distribusi Beban "T"

3.7.4.2 Faktor Beban Dinamis (FBD)

Faktor beban dinamis (FBD) merupakan suatu interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Besarnya FBD tergantung dari frekuensi dasar dari suspense kendaraan, biasanya antara 2 sampai 5 Hz untuk kendaraan berat, dan frekuensi dari getaran lentur jembatan. FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen.

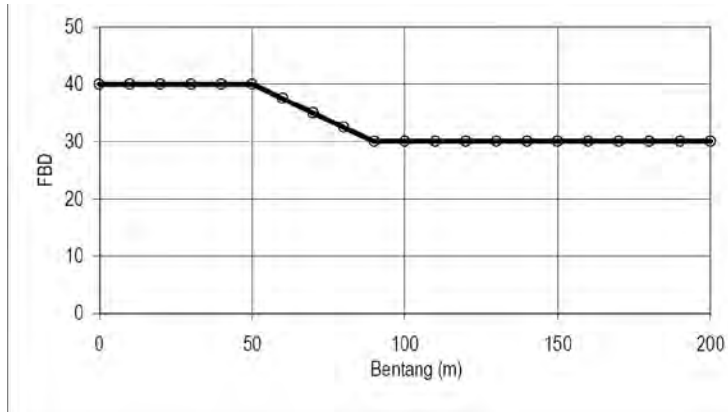
$$LE = \sqrt{L_{ev} \times L_{max}} \quad (3-17)$$

Dimana :

L_{ev} = Panjang bentang rata – rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara menerus.

L_{max} = Panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambungkan secara menerus.

Untuk pembebanan Truck ” T ” : FBD diambil sebesar 0.3 [RSNI T-02-2005 pasal 6.6]



Gambar 3.4 Grafik Koefisien Pembebanan Dinamis Beban “D”

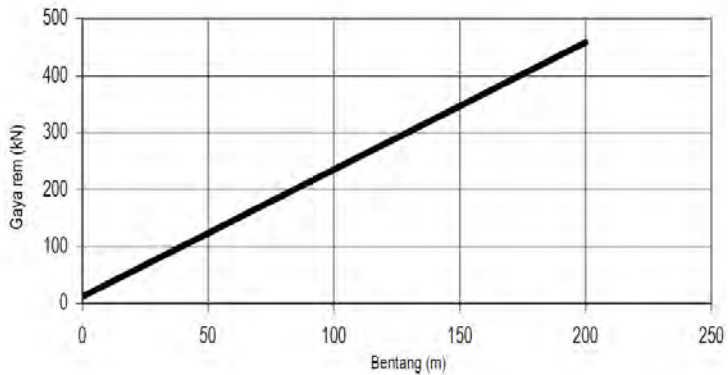
3.7.4.3 Gaya Rem [RSNI T-02-2005 pasal 6.7]

Bekerjanya gaya-gaya di arah memanjang jembatan, akibat gaya rem dan traksi, harus ditinjau untuk kedua jurusan lalu lintas. Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan gaya rem sebesar 5% dari beban lajur D yang dianggap ada pada semua jalur lalu lintas (Tabel 11 dan Gambar 5), tanpa dikalikan dengan faktor beban dinamis dan dalam satu jurusan. Gaya rem tersebut dianggap bekerja horisontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,8 m di atas permukaan lantai kendaraan. Beban lajur D disini jangan direduksi bila panjang bentang melebihi 30 m, digunakan rumus 1: $q = 9$ kPa.

Gaya rem tidak boleh digunakan tanpa memperhitungkan pengaruh beban lalu lintas vertikal. Dalam hal dimana beban lalu lintas vertikal mengurangi pengaruh dari gaya rem (seperti pada stabilitas guling dari pangkal jembatan), maka Faktor Beban Ultimit berkurang sebesar 40% boleh digunakan untuk pengaruh beban lalu lintas vertikal.

Tabel 3.8 Faktor beban akibat gaya rem

| JANGKA WAKTU | FAKTOR BEBAN | |
|--------------|--------------|------------|
| | K_{TB}^S | K_{TB}^U |
| Transien | 1,0 | 1,8 |



Gambar 3.5 Grafik Gaya Rem per lajur 2,75 m

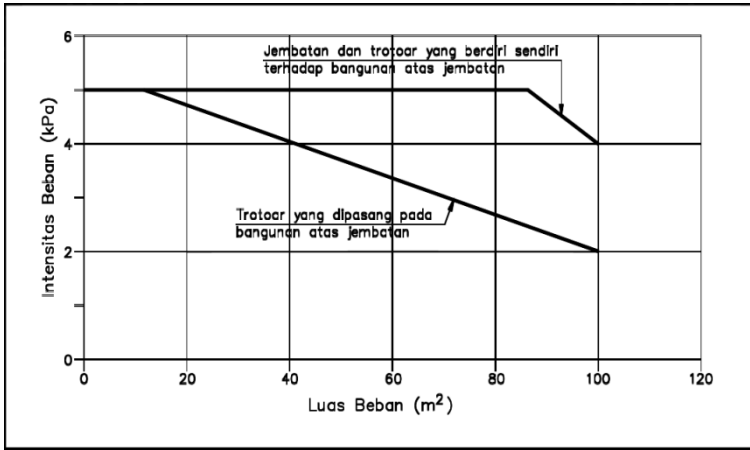
3.7.4.4 Faktor Pejalan Kaki [RSNI T-02-2005 pasal 6.9]

Semua elemen dari trotoar atau jembatan penyeberangan yang langsung memikul pejalan kaki harus direncanakan untuk beban nominal 5 kPa.

Apabila trotoar memungkinkan digunakan untuk kendaraan ringan atau ternak, maka trotoar harus direncanakan untuk bisa memikul beban hidup terpusat sebesar 20 kN.

Tabel 3.9 Faktor beban akibat pembebanan untuk pejalan kaki

| JANGKA WAKTU | FAKTOR BEBAN | |
|--------------|--------------|------------|
| | K_{TP}^S | K_{TP}^U |
| Transien | 1,0 | 1,8 |



Gambar 3.6 Grafik Pembebanan bagi Pejalan Kaki

Jembatan pejalan kaki dan trotoar pada jembatan jalan raya harus direncanakan untuk memikul beban per m² dari luas yang dibebani seperti pada Gambar 3.5

3.7.5 Beban Lingkungan

Beban lingkungan dapat terjadi karena pengaruh temperature, angin, banjir, gempa, dan penyebab – penyebablainnya.

3.7.5.1 Beban Angin [RSNI T-02-2005 pasal 7.6]

Gaya nominal ultimate dan daya layan jembatan akibatangin tergantung kecepatan angin rencana seperti berikut :

$$T_{ew} = 0.0006 C_w (V_w)^2 A_b \rightarrow kN \quad (3-18)$$

Dimana :

V_w = Kecepatan angin rencana untuk keadaan batasyang ditinjau (m/det).

C_w = Koefisien seret

A_b = Luas koefisien bagian samping jembatan (m²)

Luas ekivalen bagian samping jembatan adalah luas total bagian yang masif dalam arah tegak lurus sumbu memanjang jembatan. Angin harus dianggap bekerja secara merata pada seluruh bangunan atas.

Dan apabila suatu kendaraan sedang berada diatas jembatan, beban garis merata tambahan arah horizontal harus diterapkan pada permukaan lantai seperti rumus berikut ini :

$$T_{ew} = 0.0012 C_w (V_w)^2 \rightarrow kN/m \quad (3-19)$$

Dimana :

Tabel 3.10 Koefisien C_w

| Type Bangunan Atas Masif | Koef. C_w |
|--------------------------|-------------|
| b/d = 1 | 2.1 |
| b/d = 2 | 1.5 |
| b/d = 6 | 1.25 |
| Bangunan rangka 1.2 | |

Tabel 3.11 Kecepatan Angin Rencana

| Limit State Keadaan Batas | Location Lokasi | |
|---------------------------|---|--|
| | < 5 km of the coast < 5 km dari pantai | > 5 km from the coast > 5 k m dari pantai |
| Serviceability Daya layan | 30 m/s | 25 m/s |
| Ultimate | 35 m/s | 30 m/s |

Tabel 3.12 Faktor beban akibat beban angin

| JANGKA WAKTU | FAKTOR BEBAN | |
|--------------|--------------|------------|
| | K_{EW}^S | K_{EW}^U |
| Transien | 1,0 | 1,2 |

3.7.5.2 Beban Gempa [RSNI T-02-2005 pasal 7.7]

Pengaruh gempa rencana hanya ditinjau pada keadaan batas ultimate.

Tabel 3.13 Faktor beban akibat pengaruh gempa

| JANGKA WAKTU | FAKTOR BEBAN | |
|--------------|---------------------|------------|
| | $K S;;EQ;$ | $K U;;EQ;$ |
| Transien | Tak dapat digunakan | 1.0 |

Untuk beban rencana gempa minimum diperoleh darirumus berikut:

$$T'_{EQ} = K_h \cdot I \cdot W_T \quad (3-20)$$

Dan

$$K_h = C \cdot S \quad (3-21)$$

Dimana :

- T'_{EQ} = Gaya geser dasar total dalam arah yang ditinjau (kN)
- K_h = Koefisien beban gempa horizontal
- C = Koefisien geser dasar untuk daerah, waktu dankondisi setempat yang sesuai.
- I = Faktor kepentingan.

- S = Faktor tipe bangunan.
 W_T = Berat total nominal bangunan yang mempengaruhi percepatan gempa diambil sebagai beban mati ditambah beban mati tambahan (kN).

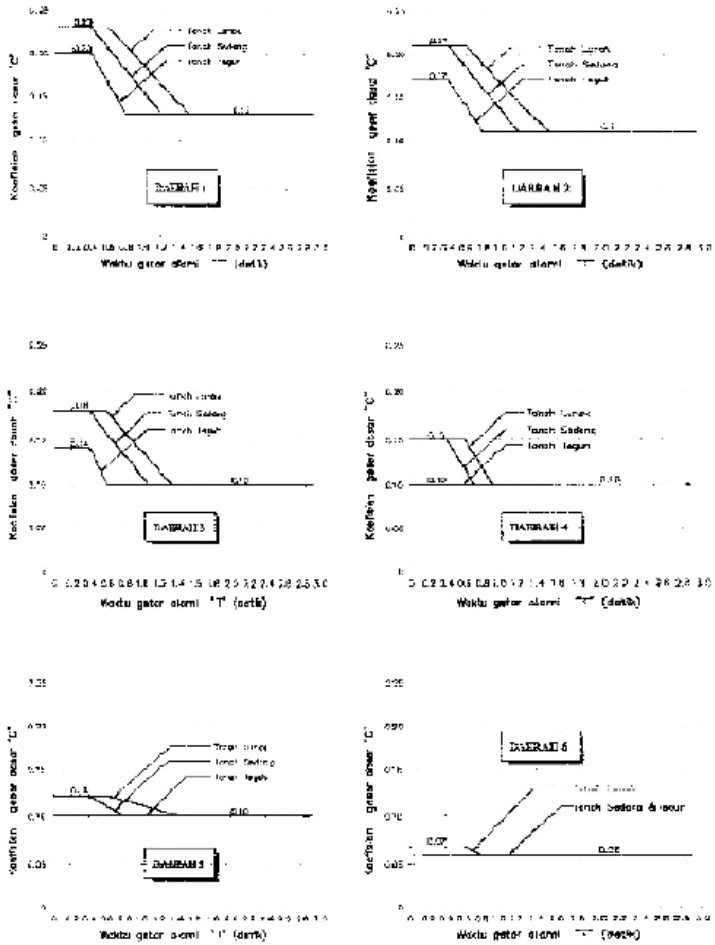
Waktu dasar getaran jembatan yang digunakan untuk menghitung geser dasar harus dihitung dari analisa yang meninjau seluruh elemen bangunan yang memberikan kekekakuan dan fleksibilitas dari sistem pondasi. Untuk bangunan yang mempunyai satu derajat kebebasan yang sederhana, memakai rumus sebagai berikut :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{WTP}{g \times Kp}} \quad (3-22)$$

Dimana :

- T = Waktu getar dalam detik
g = Percepatan gravitasi (m/dt²)
 WTP = Berat total nominal bangunan atas termasuk beban mati tambahan ditambah setengah berat pilar (kN)
 Kp = Kekakuan gabungan sebagai gaya horizontal yang diperlukan untuk menimbulkan satu satuan lendutan pada bagian atas pilar (kN/m)

Untuk waktu getar arah memanjang berbeda dengan arah melintang sehingga beban rencana statis ekuivalen yang berbeda harus dihitung untuk masing – masing arah.



Gambar 3.7 Koefisien geser dasar (C) plastis untuk analisis statis



Gambar 3.8 Wilayah gempa Indonesia untuk periode ulang 500 tahun

3.8 Kontrol desain.

3.8.1 Kontrol tegangan.

Melakukan kontrol terhadap tegangan yang terjadi pada saat transfer gaya prategang dan kondisi batas layan apakah dimensi balok dapat menerima tegangan yang diberikan.

Tegangan prategang + tegangan akibat beban mati

$$f = \frac{F}{A} \pm \frac{F_{xexy}}{I} \pm \frac{M_{matixy}}{I} \quad (3-23)$$

Tegangan prategang + tegangan akibat beban mati + tegangan akibat beban hidup

$$f = \frac{F}{A} \pm \frac{F_{xexy}}{I} \pm \frac{M_{matixy}}{I} \pm \frac{M_{hidupxy}}{I} \quad (3-24)$$

3.8.1.1 Tegangan Ijin Baja

- Saat Batas Layan
 1. Tendon pasca tarik, pada daerah jangkar dan sambungan, sesaat setelah penjangkaran tendon, sebesar 0,70 fpu
 2. Untuk kondisi layan, sebesar 0,60 fpu

- Saat transfer gaya prategang
 1. A kibat gaya penjangkaran tendon, sebesar 0,94 fpy tetapi tidak lebih besar dari 0,85 fpu atau nilai maksimum yang direkomendasikan oleh fabricator, pembuat tendon prategang atau jangkar.
 2. Sesaat setelah transfer gaya prategang, boleh diambil sebesar 0,82 fpy, tetapi tidak lebih besar dari 0,74 fpu

3.8.1.2 Tegangan Ijin Beton

- Tegangan ijin tekan pada kondisi beban sementara atau kondisi transfer gaya prategang untuk komponen beton prategang $0,60 f_{ci}'$
- Tegangan ijin tarik pada kondisi transfer gaya prategang serat terluar tidak melebihi $0,25\sqrt{f_{ci}'}$ kecuali untuk kondisi di bawah ini.
- Serat terluar pada ujung komponen yang didukung sederhana tidak melebihi $0,5\sqrt{f_{ci}'}$
- Tegangan ijin tarik pada kondisi beban layan tidak melebihi $0,5\sqrt{f_{c'}}$

3.8.2 Kontrol momen retak

Momen yang menghasilkan retak-retak rambut pertama pada balok prategang di hitung dengan teori elastik, dengan menganggap bahwa retak mulai terjadi saat tegangan tarik pada serat terluar beton mencapai modulus keruntuhannya. Nilai modulus keruntuhan pada peraturan ACI adalah $0,62\sqrt{f'c}$ dengan satuan untuk f_r dan $f'c$ dalam psi.

Momen total saat retak dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$M = M1 + M2 = F \left(e + \frac{r^2}{c} \right) + \frac{f_r x l}{c} \quad (3-25)$$

3.8.2 Kontrol momen batas

Kekuatan batas diestimasi dari terjadinya sendi plastis pada titik-titik kritis momen maksimum. Tetapi hal itu tidak dapat terjadi pada balok bertulang lebih (*overreinforced*) yang mengalami aksi plastis tidak sempurna.

Dalam peraturan ACI momen batas dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$Mu = \phi [A_{ps} x f_{ps} x (d - \frac{a}{2}) \quad (3-26)$$

Dimana:

Mu = momen batas

Aps = luas baja prategang

fps = tegangan tarik pada tendon pada saat keruntuhan balok

d = tinggi efektif

a = kedalaman sumbu netral

3.8.3 Perhitungan geser.

Perhitungan geser bertujuan untuk menentukan tulangan geser yang digunakan agar balok dapat menerima geser yang terjadi. Tegangan geser pada suatu titik dinyatakan sebagai:

$$\tau_v = \left(\frac{VxS}{Ix B} \right) \quad (3-27)$$

Dimana:

τ_v = tegangan geser akibat beban transversal

V = gaya geser

S = momen

I = momen inersia terhadap titik berat

B = lebar penampang pada titik yang ditentukan

3.8.4 Lendutan.

Menurut T.Y Lin tahun 1996 ada dua macam lendutan yang terjadi :

a. Lendutan ke atas (*camber*) akibat gaya prategang

$$\Delta = - \frac{5wL^4}{384 EI} \quad (3-28)$$

Dengan

$$w = \frac{8 Fh}{L^2} \quad (3-28)$$

dimana :

L = panjang bentang

E = modulus elastisitas beton

I = momen inersia penampang

b. Lendutan ke bawah akibat beban merata dan beban terpusat

$$\Delta = \frac{5qL^4}{384 EI} \quad (3-29)$$

$$\Delta = \frac{PL^3}{48 EI} \quad (3-30)$$

q = beban merata

P = beban terpusat di tengah bentang

3.9 Perencanaan pondasi

Menurut *Bowles*(1991), pilar-pilar yang dibor dipakai untuk mendukung beban-beban kompresif. Pilar yang dibor juga dipakai untuk mendukung beban-beban tarikan. Pilar yang dilubangi dapat juga mendukung beban-beban lateral atau rsuatu kombinasi antara beban-beban vertikal dan lateral. Kasus beban tarikan pada tiang-tiang pancang.

$$Q_{ult} = \sum Q_{si} + Q_b + W \quad (3-31)$$

Dimana :

$\sum Q_{si}$ = jumlah keliling x fs x ΔL dari beberapa (atau tunggal) elemen-elemen sumuran yang meruapakan panjang total L.

Q_b = tahanan tarikan kubah lonceng dan/atau titik isap (*point suction*). Sama seperti pada tiang-tiang pancang, kontribusi titik hisap hanya sementara sehingga jarang dipakai.

W = berat pilar total termasuk sumuran dan bell (alas yang berbentuk lonceng).

Faktor-faktor keamanan yang berkisar antara 2 sampai 4 akan memberikan

$$Qa = \frac{Qult}{SF} \quad (3-32)$$

Atau bisa juga,

$$Qa = \frac{\sum Qsi}{SFs} + \frac{Qb}{SFb} + \frac{W}{SFw} \quad (3-33)$$

Persamaan ini lebih baik karena kita bisa memakai SFs = 3 atau 4 untuk komponen tahanan kulit karena ketidaktentuan, SFb = 2 sampai 5 pada bell jika Qb dimasukkan dan SFw sekitar 1,4 karena volume beton dan beban akibat berat pilar sudah diketahui. Desain struktural memerlukan tegangan beton yang diizinkan pada tarikan ditambah tegangan tarikan tulangan yang diizinkan yang cukup memadai untuk mendukung desain beban tarikan $Qd \leq Qa$.

Untuk kapasitas akhir sebuah pilar yang dibor dalam kompresi adalah lebih kecil dari:

$$Qult = \sum Q'si + Qp \quad (3-34)$$

Atau

$$Qult = \sum Qsi + Q'p \quad (3-35)$$

Dimana:

$\sum Qsi$ = tahanan kulit akhir yang ditentukan dalam persamaan sebelumnya

$\sum Q'si$ = tahanan kulit terbatas umumnya $< Qsi$

Q_p = titik dukung akhir.

Q'_p = titik dukung pada transisi antara tahanan kulit akhir ke yang terbatas biasanya $< Q_p$

3.10 Menuangkan hasil perhitungan ke dalam gambar

Dalam menuangkan hasil perhitungan ke dalam gambartek`nik yaitu dengan menggunakan program Autocad.

“Halaman ini sengaja Dikosongkan”

BAB IV

PERHITUNGAN STRUKTUR SEKUNDER

4.1 Perhitungan Sandaran

Spesifikasi :

- Mutu beton (f_c) = 31,2 MPa
- Mutu tulangan baja (f_y) = 240 MPa
- Muatan horizontal H = 0,75 KN/m
- Tinggi tiang sandaran = 100
- Jarak tiang sandaran = 300 cm
- Pipa sandaran :
 - \varnothing 76,3 mm menggunakan BJ 37
 - t = 2,4 mm
 - G = 4,37 Kg/m
 - W = 9,98 cm³

4.1.1 Perhitungan Pipa Sandaran

Pada pipa sandaran bekerja beban horizontal sebesar 0,75 KN/m = 75 Kg/m terletak 95 cm diatas trotoar.

a. Pembebanan :

- Beban Vertikal

| | | |
|--------------------|--------------|---|
| Berat sendiri pipa | = 4,37 Kg/m | |
| Beban Luar | = 75 Kg /m | + |
| q vertikal | = 79,37 Kg/m | |

- Beban yang terjadi = $\sqrt{4,37^2 + 75^2} = 75,12 \text{ Kg/m}$

b. kontrol terhadap kekuatan pipa :

$$M = \frac{1}{12} q x l^2$$

$$= \frac{1}{12} x 75,12 x 3^2$$

$$= 5634 \text{ Kg. cm}$$

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

$$\sigma = \frac{5634}{9,98} = 564,52 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma = 564,52 \text{ Kg/cm}^2 \leq \sigma = 1600 \text{ Kg/cm}^2 \dots$$

Pipa Aman

4.1.2 Perhitungan Pelat Sandaran

Profil WF 100 x 50 x 7 x 5

$$B = 50 \text{ mm}$$

$$H = 100 \text{ mm}$$

$$tw = 7 \text{ mm}$$

$$tf = 5 \text{ mm}$$

$$I = 187 \text{ cm}^4$$

$$Z = 37,5$$

$$G = 9,3 \text{ Kg/m}$$

Beban horizontal = $3 \times 75 = 225 \text{ kg}$

Tinggi profil = 50 cm

Mmax yang terjadi = $225 \times 50 = 11250 \text{ kgcm}$

Cek tegangan yang terjadi = $\sigma_u < \sigma_{ijin}$

$$\frac{Mu}{w} = \frac{11250}{37,5} = 300 \text{ kg/cm}^2 \leq 1600 \text{ kg/cm}^2$$

4.1.2 Perhitungan Dinding Sandaran

Beban yang bekerja pada sandaran adalah berupa gaya horizontal sebesar 0,75 KN/m (RSNI T-02-2005). Beban ini bekerja pada ketinggian 100 cm terhitung dari lantai trotoar.

- Data perencanaan:

1. Panjang total jembatan = 300 m
2. Mutu beton f_c' = 31,2 MPa
3. Mutu baja f_y = 240 MPa
4. bentang palang antara tiang = 3 m

Beban sandaran pada tiang beton adalah :

$$\begin{aligned} w^* &= 0,75 \text{ KN/m} \\ L &= 5 \text{ m} \\ P &= w^* \times L \\ &= 0,75 \times 3 \\ &= 2,25 \text{ KN} \end{aligned}$$

Jadi momen ultimate yang dipikul oleh tiang sandaran dengan tinggi tiang sandaran $t = 95 \text{ cm}$ adalah :

$$\begin{aligned} Mu &= P \times t \\ &= 2,25 \times 0,95 \end{aligned}$$

$$= 2,1375 \text{ KNm}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu}{\phi} = \frac{2,1375 \text{ KNm}}{0,8} \\ &= 2,6718 \text{ KNm} = 2,6718 \times 10^6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Penulangan tiang sandaran :

Dimensi tiang sandaran = 1000 x 250 cm

Beton decking 40 mm

Direncanakan menggunakan tulangan D = 16 mm dan

tulangan sengkang = 10 mm

$$Mn = 2,6718 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} d &= 250 - 40 - \frac{\phi}{2} - \phi \text{ sengkang} \\ &= 150 - 20 - \frac{16}{2} - 10 = 192 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{2,6718 \times 10^6}{1000 \times 192^2} = 0,0724 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc} = \frac{240}{0,85 \times 31,2} = 9,05$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{240} = 0,0058$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times fc' \times \beta_1}{fy} \times \frac{600}{600 + fy}$$

$$= \frac{0,85 \times 31,2 \times 0,85}{240} \times \frac{600}{600 + 240} = 0,067$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \times 0,067 \\ &= 0,05 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m Rn}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{9,05} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,05 \times 1,7}{240}} \right)$$

$$=0,000302$$

Karena $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}}$ maka dipakai ρ_{min} :

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\text{min}} \times b \times d = 0,0058 \times 1000 \times 192 \\ &= 1120 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan D16 - 150 ($A_s = 1340,413 \text{ mm}^2$)

$$\rho = A_s / (b \times d) = 1340,413 / (1000 \times 192) = 0,00698$$

$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}}$... ok

$$\begin{aligned} \text{Tulangan pembagi} &= 0,2 \times A_s \text{ tulangan utama} \\ &= 0,2 \times 1340,413 = 268,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sengkang praktis $\emptyset 10 - 250$ (314 mm^2)

4.1.2 Perhitungan Pelat Landas

Direncanakan :

$$F'_c = 31,2 \text{ MPa} = 312 \text{ kg/cm}^2$$

Profil sandaran = WF 100 x 50 x 7 x 5

Tinggi sandaran = 50 cm

Gaya P = 225 kg

$$\sigma_{\text{beton}} = 0,3 \times 312 = 93,6 \text{ kg/cm}^2$$

Penentuan dimensi pelat

$$\sigma = P/A$$

$$A = 225 / 93,6 = 2,403 \text{ cm}^2$$

$$\text{Dibuat ukuran} = 16 \times 16 = 2,56 \text{ cm}^2 > A$$

Menentukan tebal pelat :

$$n = \frac{B-0,8b}{2}; b = \text{lebar sayap}$$

$$= \frac{16-0,8 \times 5}{2} = 6$$

$$m = \frac{L-0,95d}{2}; d = \text{tinggi penampang badan}$$

$$= \frac{16-0,95 \times 10}{2} = 3,25$$

Tebal pelat arah L

$$T = \sqrt{\frac{3 \times \sigma_{\text{beton}} \times m^2}{0,75 \times \sigma_y}} = \sqrt{\frac{3 \times 93,6 \times 3,25^2}{0,75 \times 2400}} = 1,283$$

Tebal pelat arah B

$$T = \sqrt{\frac{3 \times \sigma_{\text{beton}} \times n^2}{0,75 \times \sigma_y}} = \sqrt{\frac{3 \times 93,6 \times 6^2}{0,75 \times 2400}} = 2,36$$

Dipakai tebal = 2,36 \approx 2,4 cm

Ukuran plat landas = 16 x 16 x 2,4 cm

Menentukan angkur :

$$\sigma = P/A$$

$$0,58 \times 1600 = 225 / A$$

$$d = \sqrt{\frac{225 \times 4}{0,58 \times 1600 \times \pi}}$$

didapat d = 0,555 cm

dipakai baut \emptyset 10 mm

jumlah baut :

$$n = \frac{\sqrt{\frac{225 \times 4}{0,58 \times 1600 \times \pi}}}{d} = \frac{\sqrt{\frac{225 \times 4}{0,58 \times 1600 \times \pi}}}{1} = 0,555 \text{ buah} \approx \text{dipakai } 4$$

baut

4.2 Perhitungan Beban Trotoar

Trotoar direncanakan dengan lebar 80 cm dan tebal 25 cm dan ditempatkan di atas lantai kendaraan. Sesuai dengan RSNI T-02-2005 semua elemen dari trotoar atau jembatan penyebrangan secara langsung memikul beban pejalan kaki.

Luas areal yang dibebani pejalan kaki:

Berdasarkan gambar 10 pada RSNI T-02-2005 untuk luas trotoar (A) $> 100 \text{ m}^2$, maka beban nominal pejalan kaki sebesar $2 \text{ KPa} = 2000 \text{ N/m}^2$, karena lebar trotoar $0,8 \text{ m} \rightarrow 2000 \text{ N/m}^2 \times 0,8 \text{ m} = 1600 \text{ N/m}$. beban tersebut akan dibebankan pada box girder.

4.3 Perhitungan Kerb (Balok Trotoar)

Kerb merupakan balok trotoar yang terletak di sisi luar dari trotoar. Pada kerb bekerja gaya horizontal sebesar 500 kg . dimensi kerb direncanakan dengan lebar 20 cm dan tebal 25 cm .

Dipakai tulangan D13 – 150 ($A_s = 884,88 \text{ mm}^2$)

4.4 Kontrol Terhadap Geser Ponds

Berdasarkan Peraturan RSNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton untuk jembatan

- $$Vn_c = \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \sqrt{\frac{f'_c}{6}} \times U \times d$$

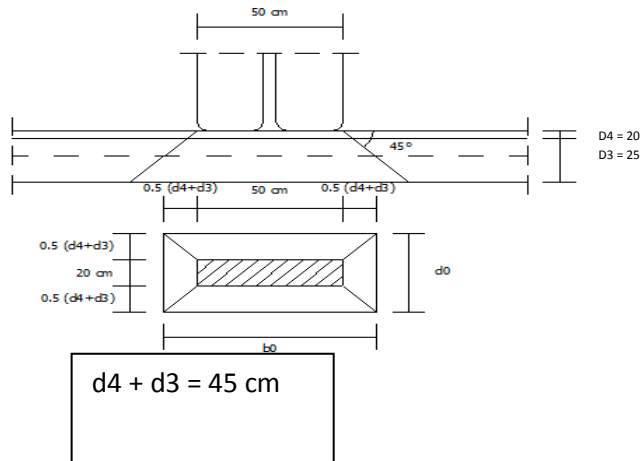
Dimana :

U = keliling kritis

d = Tinggi efektif diambil dari rata-rata di sekeliling garis keliling geser kritis

β = Perbandingan antara dimensi terpanjang dari luas efektif yang dibebani “y” dengan dimensi “x” (y/x)

Muatan “T” = 112,5 KN dengan luas bidang kontak roda 500 mm x 200 mm



Keliling kritis :

$$\begin{aligned}
 U &= 2 \times (b_0 + d_0) \\
 &= 2 \times (75 + 45) = 240 \text{ cm} \approx 2400 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\beta = \frac{50}{20} = 2,5$$

Gaya geser ultimate

$$\begin{aligned}
 V_u &= KTT \times 112500 \times (1 + FDB) \\
 &= 1,8 \times 112500 \times (1 + 0,3) \\
 &= 263250 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{n_c} &= \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \times U \times d \\
 &= \left(1 + \frac{2}{2,5}\right) \frac{\sqrt{31,2}}{6} \times 2400 \times 250
 \end{aligned}$$

$$= 1005425 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{\sqrt{f'c}}{3} \times U \times d \\ &= \frac{\sqrt{31,2}}{3} \times 2400 \times 250 \\ &= 1117139 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat penampang pada geser harus memenuhi :

- $V_u \leq \phi V_{n_c}$
 $263250 \text{ N} \leq 0,6 \times 1005425 \text{ N}$
 $263250 \text{ N} \leq 603255 \text{ N}$ OK!
- $V_c > V_{n_c}$
 $1117139 \text{ N} > 1005425 \text{ N}$ OK!

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN ATAS

5.1 Data Perencanaan.

Dalam tugas akhir ini jembatan Brantas akan dimodifikasi dengan menggunakan konstruksi Box Girder. berikut adalah data perencanaan dari jembatan Brantas :

| | |
|--------------------|--|
| Nama jembatan | : Jembatan Brantas. |
| Lokasi Jembatan | : Melintasi sungai brantas yang terletak di Kota Mojokerto, provinsi jawa timur |
| Tipe Jembatan | : Jembatan Box Girder Segmental non-prismatis dengan menggunakan struktur beton pratekan tipe single box girder. |
| Panjang total | : 300 m, terdiri dari 3 bentang dengan panjang masing- masing 74 m, 152 m, 74 m. |
| Metode pelaksanaan | : Dengan menggunakan metode precast balance cantilever using gantry crane . |

5.2 Data-Data Bahan.

5.2.1. Beton.

- Kuat tekan beton prategang (f_c') = 58.8 MPa.
- Kuat tekan beton untuk struktur sekunder (f_c') = 31,2 MPa.

5.2.2. Baja.

- Mutu baja yang akan digunakan untuk penulangan box girder adalah baja mutu (f_y) = 420 Mpa.
- Mutu baja yang digunakan untuk struktur sekunder adalah baja mutu (f_y) = 240 MPa.
- Dalam perencanaan ini akan digunakan jenis kabel ASTM A416-74 Grade 270 dengan diameter 15,2 mm.

5.3 Tegangan Ijin Bahan.

5.3.1. Beton prategang (pasal 20.4.1.1).

- Pada saat transfer.

Kekuatan beton pada saat transfer (f_{ci}')

$$\begin{aligned} f_{ci}' &= 65\% \times f_c' \\ &= 65\% \times 58.8 = 38.22 \text{ MPa.} \end{aligned}$$

Tegangan tekan dalam penampang beton tidak boleh melampaui nilai sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \sigma_{tekan} &= 0.6 \times f_{ci}' \\ &= 0.6 \times 38.22 = 22,93 \text{ MPa.} \end{aligned}$$

Untuk struktur jembatan cast in situ tegangan tarik yang diijinkan :

$$\begin{aligned} \sigma_{tarik} &= 0.25 \times \sqrt{f_{ci}'} \\ &= 0.25 \times \sqrt{38.22} \\ &= 1.5455 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Pada saat service.

Tegangan tekan dalam penampang beton tidak boleh melampaui nilai sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \sigma_{tekan} &= 0.45 \times f_c' \\ &= 0.45 \times 58.8 \\ &= 26.46 \text{ MPa.} \end{aligned}$$

Untuk tegangan tarik yang diijinkan pada kondisi batas layan :

$$\begin{aligned} \sigma_{tarik} &= 0.5 \times \sqrt{f_c'} \\ &= 0.5 \times 58.8 \\ &= 3.834 \text{ MPa.} \end{aligned}$$

- Modulus Elastisitas (E).

$$E = 4700 \times \sqrt{f'_{ci}}$$

$$= 4700 \times \sqrt{58.8} = 36040.144 \text{ MPa.}$$

5.3.2. Baja Prategang.

- Modulus elastisitas (E_s) = 200000 MPa.
- Tegangan Putus kabel (f_{pu}) = 1745 MPa.
- Tegangan leleh kabel (f_{py}) = $0.85 \times f_{py}$
= 0.85×1745
= 1483.25 MPa
- Tegangan tarik ijin kabel (jacking)
= $0.94 \times f_{py}$
= 0.94×1483.25
= 1394.255 MPa.
- Tegangan tarik ijin kabel (setelah pengangkuran)
= $0.7 \times f_{pu}$
= 0.7×1745
= 1221.5 MPa.

5.4 Preliminary Design.

5.4.1. Perencanaan Dimensi Box Girder.

Langkah awal dalam menentukan box girder adalah menentukan tinggi tafsiran penampang tersebut. Dalam merencanakan (H_{tafsiran}) diambil nilai sebagai berikut:

- H_{tafsiran} pada tengah bentang :

$$H_{\text{tafsiran}} = 1/47 \times L$$

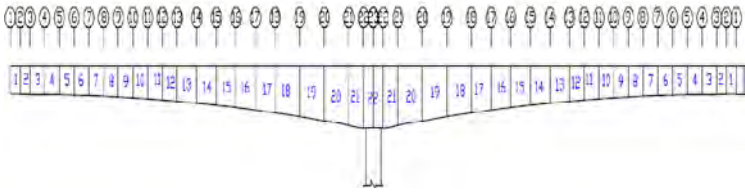
$$= 1/47 \times 152 = 2,93 \text{ m} \approx 3 \text{ m}$$

- H_{tafsiran} pada tumpuan :

$$H_{\text{tafsiran}} = 1/24 \times L$$

$$= 1/24 \times 152 = 6,33 \text{ m} \approx 6,5 \text{ m}$$

Dari H_{tafsiran} tersebut lalu diinput kedalam SAP2000 sehingga didapatkan tinggi box girder parabolik setiap segmen sebagai berikut:

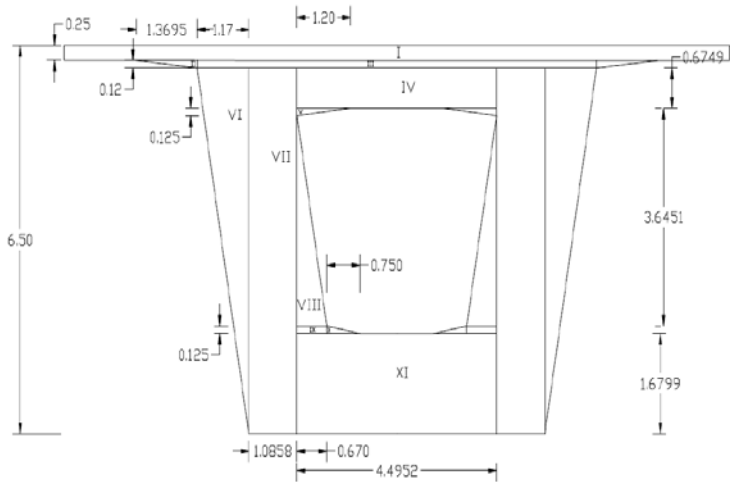


Gambar 5.1. Permodelan Jembatan Variable Depth.

Tabel 5.1 H_{tafsiran} setiap joint pada gambar 5.1

| joint | tinggi (H) |
|-------|------------|
| 23 | 6.5 |
| 22 | 6.5 |
| 21 | 6.2 |
| 20 | 5.728 |
| 19 | 5.294 |
| 18 | 4.898 |
| 17 | 4.608 |
| 16 | 4.342 |
| 15 | 4.1 |
| 14 | 3.882 |
| 13 | 3.689 |
| 12 | 3.559 |
| 11 | 3.443 |
| 10 | 3.34 |
| 9 | 3.251 |
| 8 | 3.175 |
| 7 | 3.113 |
| 6 | 3.065 |
| 5 | 3.03 |
| 4 | 3.008 |
| 3 | 3 |
| 2 | 2.964 |
| 1 | 2.936 |
| 24 | 2.9202 |

Berikut adalah contoh perhitungan dimensi box girder pada joint 23 dengan $H_{\text{tafsiran}} = 6500$ mm.



Gambar 5.2. dimensi box girder pada joint 23.

Tabel 5.2 tabel perhitungan dimensi box pada joint 23.

| No | Tinggi H(m) | Lebar (m) | Shape factor | jumlah tampang | Luas Tampang (m ²) | Jarak terhadap alas y (m) | statis momen A x y | lo | jarak titik berat tampang ke titik berat penampang | A x y ² |
|-------|-------------|-----------|--------------|----------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------|----------|--|--------------------|
| 1 | 0.25 | 15 | 1 | 1 | 3.75 | 6.375 | 23.90625 | 0.019531 | 2.946023487 | 32.54645 |
| 2 | 0.12 | 1.3695 | 0.5 | 2 | 0.16434 | 6.21 | 1.020551 | 0.000131 | 2.781023487 | 1.271021 |
| 3 | 0.12 | 9.0068 | 1 | 1 | 1.080816 | 6.19 | 6.690251 | 0.001297 | 2.761023487 | 8.239331 |
| 4 | 0.6749 | 4.4952 | 1 | 1 | 3.03381 | 4.71255 | 14.29698 | 0.115156 | 1.283573487 | 4.998388 |
| 5 | 0.125 | 1.2 | 0.5 | 2 | 0.15 | 4.333433 | 0.650015 | 0.00013 | 0.90445682 | 0.122706 |
| 6 | 6.13 | 1.17 | 0.5 | 2 | 7.1721 | 4.086667 | 29.30998 | 14.97252 | 0.657690154 | 3.102337 |
| 7 | 6.13 | 1.0858 | 1 | 2 | 13.31191 | 3.065 | 40.801 | 41.68502 | 0.363976513 | 1.763547 |
| 8 | 3.6451 | 0.67 | 0.5 | 2 | 2.442217 | 3.019933 | 7.375333 | 1.80273 | 0.40904318 | 0.408623 |
| 9 | 0.125 | 0.67 | 1 | 2 | 0.1675 | 1.7424 | 0.291852 | 0.000218 | 1.686576513 | 0.476461 |
| 10 | 0.125 | 0.75 | 0.5 | 2 | 0.09375 | 1.721567 | 0.161397 | 8.14E-05 | 1.707409846 | 0.273305 |
| 11 | 1.6799 | 4.4952 | 1 | 1 | 7.551486 | 0.83995 | 6.342871 | 1.775898 | 2.589026513 | 50.61805 |
| total | | | | | 42.6068 | | 130.8465 | 60.37271 | | 122.3233 |

Letak titik berat $y_b = \sum A^*y / \sum A = 3.009 \text{ m}$.

$$y_a = H - y_b = 3,49 \text{ m}$$

Momen inersia terhadap titik berat balok :

$$I_x = I_b - A \cdot y_b^2 = 182,696 \text{ m}^4$$

Tahanan momen sisi atas:

$$W_a = I_x / y_a = 60,709 \text{ m}^3$$

Tahanan momen sisi bawah:

$$W_b = I_x / y_b = 52,338 \text{ m}^3$$

Kern sisi atas:

$$K_a = W_b / \sum A = 1,424 \text{ m}$$

Kern sisi bawah:

$$K_b = W_a / \sum A = 1,228 \text{ m}$$

Tabel 5.3 tabel perhitungan dimensi box pada setiap joint.

| joint | tinggi (H) | L box (m) | Luas | Ya | Yb | l (m4) | Wa | Wb | Ka | Kb |
|-------|------------|-----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 23 | 6.5 | 0 | 42.6068 | 3.00936 | 3.49064 | 182.696 | 60.70925 | 52.33883 | 1.424872 | 1.228415 |
| 22 | 6.5 | 2 | 38.8488 | 3.0497 | 3.4503 | 176.5692 | 57.89724 | 51.17503 | 1.490322 | 1.317287 |
| 21 | 6.2 | 3 | 19.572 | 3.6439 | 2.5543 | 100.0614 | 27.45997 | 39.17371 | 1.403023 | 2.001518 |
| 20 | 5.728 | 5 | 18.1182 | 3.3117 | 2.4129 | 81.8318 | 24.70991 | 33.91429 | 1.363817 | 1.871836 |
| 19 | 5.294 | 5 | 16.7336 | 3.000768 | 2.288832 | 66.7978 | 22.26023 | 29.18423 | 1.330272 | 1.74405 |
| 18 | 4.898 | 5 | 15.4285 | 2.7113 | 2.1811 | 54.4528 | 20.08365 | 24.96575 | 1.301724 | 1.618158 |
| 17 | 4.608 | 4 | 14.4476 | 2.4951 | 2.1063 | 46.2187 | 18.52379 | 21.94308 | 1.282136 | 1.518804 |
| 16 | 4.342 | 4 | 13.5318 | 2.2937 | 2.0415 | 39.2624 | 17.1175 | 19.23213 | 1.264983 | 1.421255 |
| 15 | 4.1 | 4 | 12.684 | 2.1069 | 1.9863 | 33.4025 | 15.85386 | 16.81644 | 1.24991 | 1.3258 |
| 14 | 3.882 | 4 | 11.9071 | 1.9348 | 1.9142 | 28.4862 | 14.72307 | 14.88152 | 1.236495 | 1.249802 |
| 13 | 3.689 | 4 | 11.208 | 1.7788 | 1.9025 | 24.4054 | 13.72015 | 12.82807 | 1.224139 | 1.144546 |
| 12 | 3.559 | 3 | 10.7349 | 1.6722 | 1.8796 | 21.8179 | 13.04742 | 11.60774 | 1.215421 | 1.081308 |
| 11 | 3.443 | 3 | 10.3091 | 1.5755 | 1.8606 | 19.6024 | 12.44202 | 10.53553 | 1.206897 | 1.021964 |
| 10 | 3.34 | 3 | 9.9298 | 1.4884 | 1.8454 | 17.715 | 11.90204 | 9.599545 | 1.198619 | 0.966741 |
| 9 | 3.251 | 3 | 9.599 | 1.4117 | 1.8335 | 16.133 | 11.42807 | 8.799018 | 1.190548 | 0.91666 |
| 8 | 3.175 | 3 | 9.3182 | 1.3459 | 1.8244 | 14.8351 | 11.02244 | 8.131495 | 1.182894 | 0.872647 |
| 7 | 3.113 | 3 | 9.086 | 1.2913 | 1.8177 | 13.7959 | 10.68373 | 7.589756 | 1.175845 | 0.835324 |
| 6 | 3.065 | 3 | 8.9068 | 1.2483 | 1.8148 | 13.0047 | 10.41793 | 7.165914 | 1.16966 | 0.804544 |
| 5 | 3.03 | 3 | 8.7774 | 1.2173 | 1.7854 | 12.4464 | 10.2246 | 6.971211 | 1.164877 | 0.794223 |
| 4 | 3.008 | 3 | 8.6999 | 1.1986 | 1.8074 | 12.1153 | 10.10788 | 6.703165 | 1.161838 | 0.770488 |
| 3 | 3 | 3 | 8.673 | 1.1989 | 1.8011 | 12.0051 | 10.01343 | 6.665427 | 1.154552 | 0.768526 |
| 2 | 2.964 | 2 | 8.614 | 1.1778 | 1.7862 | 11.6763 | 9.913653 | 6.53695 | 1.150877 | 0.758875 |
| 1 | 2.936 | 2 | 8.616 | 1.1665 | 1.7695 | 11.4241 | 9.793485 | 6.456118 | 1.136663 | 0.749317 |
| 24 | 2.9202 | 1.5 | 8.6017 | 1.1601 | 1.7601 | 11.2832 | 9.726058 | 6.410545 | 1.130713 | 0.745265 |

5.5 Analisis Pembebanan.

5.5.1. Analisis Beban Mati.

- a. Analisis Berat sendiri.
 Contoh perhitungan pada segmen 22 :
 $q = A \times B_j \text{ Beton.}$
 $q = 38.8488 \times 250.$
 $q = 971,22 \text{ kN/m.}$
- b. Beban Mati Tambahan
- Berat lapisan aspal = 52,8 kN/m
 - Air hujan = 6,86 kN/m
 - Pembatas jalan = 21,6 kN/m

5.5.2. Analisis Beban Hidup.

- a. Beban Lajur “D”
- Beban terbagi rata (UDL), untuk bentang 74 m

$$q = 9 \times \left(0,5 + \frac{15}{L} \right)$$

$$q = 9 \times \left(0,5 + \frac{15}{74} \right) = 6,324 \text{ kPa}$$

$$= 6,324 \text{ kN/m}^2$$

Beban per lajur untuk beban 100 % dan 50 % dengan jumlah lajur 3 masing- masing lajur lebarnya 4 m

$$qL_{100\%} = 100 \% \times q \times \text{lebar lajur} \times \text{jumlah lajur} \times K^u$$

$$qL_{100\%} = 100 \% \times 6,324 \times 4 \times 3 \times 1,8$$

$$= 136,605 \text{ kN/m}$$

$$qL_{50\%} = 50 \% \times q \times \text{lebar lajur} \times \text{jumlah lajur} \times K^u$$

$$qL_{50\%} = 50 \% \times 6,324 \times 4 \times 3 \times 1,8$$

$$= 68,302 \text{ kN/m}$$

- Beban terbagi rata (UDL), untuk bentang 152 m

$$q = 9 \times \left(0,5 + \frac{15}{L} \right)$$

$$q = 9 \times \left(0,5 + \frac{15}{152} \right) = 5,388 \text{ kPa}$$

$$= 5,388 \text{ kN/m}^2$$

Beban per lajur untuk beban 100 % dan 50 % dengan jumlah lajur 3 masing- masing lajur lebarnya 4 m

$$qL_{100\%} = 100\% \times q \times \text{lebar lajur} \times \text{jumlah lajur} \times K^u$$

$$qL_{100\%} = 100\% \times 5,388 \times 4 \times 3 \times 1,8$$

$$= 116,38 \text{ kN/m}$$

$$qL_{50\%} = 50\% \times q \times \text{lebar lajur} \times \text{jumlah lajur} \times K^u$$

$$qL_{50\%} = 50\% \times 5,388 \times 4 \times 3 \times 1,8$$

$$= 58,192 \text{ kN/m}$$

b. Beban Garis (KEL)

$$P = 49 \text{ kN/m}$$

$$P_{\text{lajur}} = P \times \text{lebar lajur}$$

$$= 49 \times 4 = 196 \text{ kN/lajur}$$

$$P1 = 100\% \times P \times \text{jumlah lajur}$$

$$= 100\% \times 196 \times 3 = 588 \text{ kN}$$

$$P2 = 50\% \times P \times \text{jumlah lajur}$$

$$= 50\% \times 196 \times 3 = 294 \text{ kN}$$

c. Beban Truk

$$\text{Beban roda truk} = 112,5 \text{ kN}$$

$$\text{Faktor beban dinamik} = 35\%$$

$$\text{Faktor beban} = 1,8$$

$$T_{tr} = T \times (1+FDB) \times kT$$

$$= 112,5 \times (1+0,35) \times 1,8$$

$$= 273,375 \text{ kN}$$

5.5.3. Analisis beban Angin.

a. Akibat angin

$$H_w = 0,0006 \times C_w \times (V_w)^2 \times A_b$$

$$= 0,0006 \times 1,493 \times (30)^2 \times 704,403 = 5,67 \text{ kN / m}$$

b. Akibat angin yang mengenai kendaraan

$$TEW = 0,0012 \times C_w \times (V_w)^2$$

$$= 0,0012 \times 1,493 \times (30)^2 = 1,61244 \text{ KN/m}$$

5.6 Perhitungan Momen dan Perencanaan Tendon Prategang.

5.6.1. Perencanaan tendon kantilever (Tahap 1).

Tendon kantilever dihitung berdasarkan berat sendiri box girder. Perhitungan Momen akibat berat sendiri dilakukan secara manual, yaitu dengan cara :

$$M = P \times L$$

Dimana :

M = Momen akibat berat sendiri (Nmm)

P = Berat sendiri box girder (N).

L = Panjang lengan (mm).

Diambil contoh perhitungan tendon pada saat pemasangan box girder no. 22 :

Direncanakan menggunakan tendon/ jenis kabel strand seven wire relieved (7 kawat untaian). Dengan mengacu pada tabel VSL, berikut adalah jenis dan karakteristik dari kabel tendon dan box girder yang akan dipasang :

- Diameter = 15.2 mm
- Luas nominal (A_s) = 143.3 mm²
- Minimum breaking load = 250 kN.
- Modulus elastisitas (E_s) = 200000 Mpa
- Data penampang box girder :

| | |
|---------------|----------------------------|
| Berat sendiri | = 2130340 N |
| H_{23} | = 6500 mm |
| H_{22} | = 6500 mm |
| A_{23} | = 42606800 mm ² |
| A_{22} | = 38848800 mm ² |
| Y_{a23} | = 3009,36 mm |
| Y_{a22} | = 3049,7.5 mm |
| Y_{b23} | = 3490,64 mm |
| Y_{b22} | = 3450,3 mm |

$$\begin{aligned}
 I_{23} &= 1,82696 \times 10^{14} \text{ mm}^4 \\
 I_{22} &= 1,77 \times 10^{14} \text{ mm}^4 \\
 W_{a23} &= 6,07 \times 10^{10} \text{ mm}^3 \\
 W_{a22} &= 5,79 \times 10^{10} \text{ mm}^3 \\
 K_{b23} &= 1424,872 \text{ mm} \\
 K_{b22} &= 1490,322 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Direncanakan tendon letak tendon secara parabolis diambil e yang bervariasi :
 e pada joint 23 = 509,36 mm
 e pada joint 22 = 524,7 mm

Momen yang terjadi pada tiap joint akibat berat sendiri :

$$M \text{ pada joint 23} = 2130340 \times 1000 = 2130340000$$

Nmm

$$M \text{ pada joint 22} = 2130340 \times 0 = 0 \text{ Nmm}$$

Direncanakan untuk pemasangan box girder 22 menggunakan 2 tendon VSL 55 sc sehingga didapatkan

$$F = 13750000 \times 2 = 27500000 \text{ N}$$

- Kontrol tegangan akibat tendon pada joint 23, 22 :
Serat Atas :

$$f_0 = -\frac{F_0}{A} - \frac{F_0 \times e \times Y_a}{I} + \frac{M_G \times Y_a}{I}$$

Pada joint 23 :

$$\begin{aligned}
 f_0 &= -\frac{27500000}{42606800} - \frac{27500000 \times 509,36 \times 3009,36}{1,82696 \times 10^{14}} \\
 &\quad + \frac{2130340000 \times 3009,36}{1,77 \times 10^{14}}
 \end{aligned}$$

$$f_0 = -0,841 < -22,93 \text{ MPa} \dots \text{OK}$$

(+/- hanya menunjukkan tarik/tekan).

Pada joint 22 :

$$f_0 = -\frac{27500000}{38848800} - \frac{27500000 \times 524,7 \times 3049,7,5}{1,77 \times 10^{14}}$$

$$+ 0$$

$f_0 = -0,957 < -22,93$ MPa OK
(+/- hanya menunjukkan tarik/tekan).

Serat Bawah :

$$f_0 = -\frac{F_0}{A} + \frac{F_0 \times e \times Y_b}{I} - \frac{M_G \times Y_b}{I}$$

Pada joint 23 :

$$f_0 = -\frac{27500000}{42606800} + \frac{27500000 \times 509,36 \times 3490,64}{1,82696 \times 10^{14}}$$

$$- \frac{2130340000 \times 3490,64}{1,82696 \times 10^{14}}$$

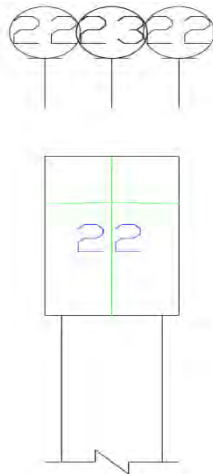
$f_0 = -0,418 < -22,93$ MPa OK
(+/- hanya menunjukkan tarik/tekan).

Pada joint 22 :

$$f_0 = -\frac{27500000}{38848800} + \frac{27500000 \times 524,7 \times 3490,64}{1,77 \times 10^{14}}$$

$$- 0$$

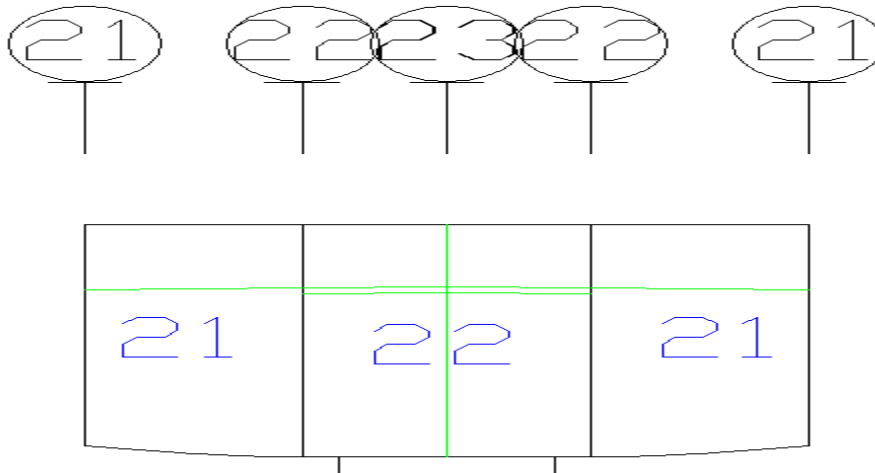
$f_0 = -0,425 < -22,93$ MPa OK
(+/- hanya menunjukkan tarik/tekan).



Gambar 5.3 letak tendon pada pemasangan box girder nomor 22.

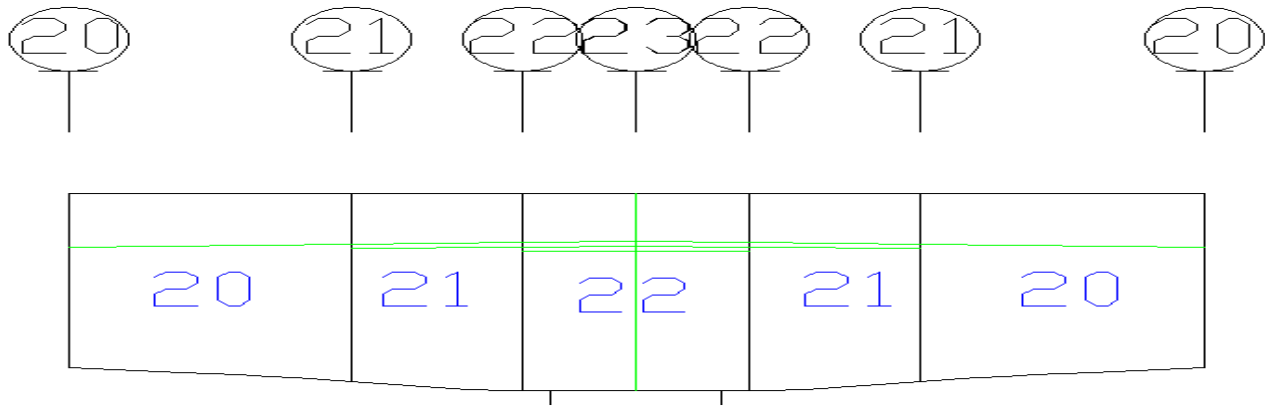
Tabel 5.4 Perhitungan Pemasangan Tendon pada Box Girder 21.

| joint | A(mm ²) | ya(mm) | yb(mm) | I(mm ⁴) | Mg(Nmm) | e(mm) | Jenis Tendon | F(N) sesuai VSL | Jumlah Tendon | F(N) kumulatif | F/A(Mpa) | F.e.y/I(Mpa) | | Mg.y/I(Mpa) | | Resultant(Mpa) | | Kondisi | |
|-------|---------------------|---------|---------|---------------------|------------|--------|--------------|-----------------|---------------|----------------|----------|--------------|---------|-------------|----------|----------------|----------|---------|-------|
| | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| 23 | 42606800 | 3009.36 | 3490.64 | 1.82696E+14 | 7385143750 | 709.36 | 55 | 13750000 | 2 | 55000000 | -1.29087 | -0.55205 | 0.64034 | 0.12165 | -0.1411 | -1.72128 | -0.79163 | OK | OK |
| 22 | 38848800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.76569E+14 | 2252058750 | 724.7 | 55 | 13750000 | 2 | 55000000 | -1.41575 | -0.59344 | 0.67139 | 0.0389 | -0.04401 | -1.97029 | -0.78836 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.00061E+14 | 0 | 1288.9 | 55 | 13750000 | 2 | 27500000 | -1.40507 | -1.27075 | 0.89077 | 0 | 0 | -2.67582 | -0.5143 | OK | OK |

**Gambar 5.4** letak tendon pada pemasangan box girder nomor 21.

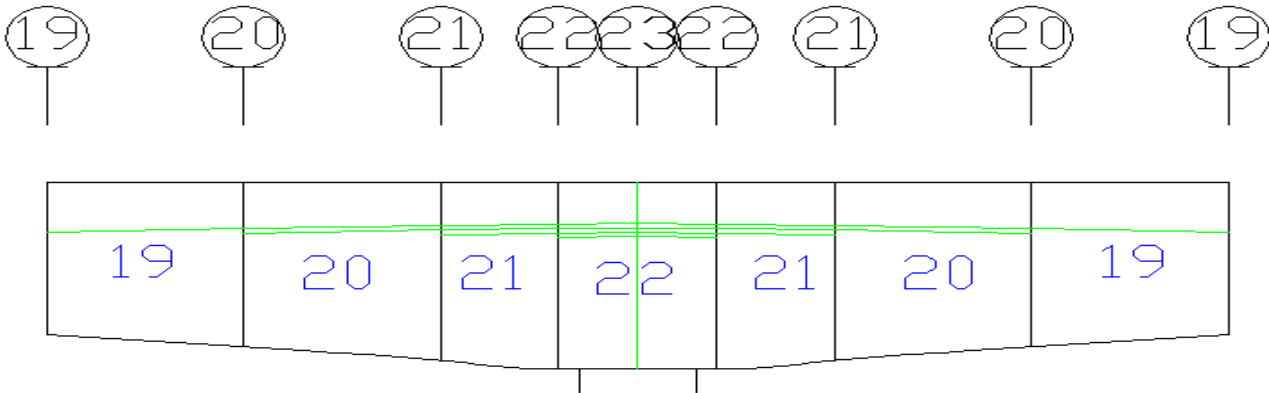
Tabel 5.5 Perhitungan Pemasangan Tendon pada Box Girder 20.

| joint | A(mm ²) | ya(mm) | yb(mm) | I(mm ⁴) | Mg(Nmm) | e(mm) | Jenis Tendon | F(N) sesuai VSL | Jumlah Tendon | F(N) kumulatif | F/A(Mpa) | F.e.yll(Mpa) | | Mg.yll(Mpa) | | Resultant(Mpa) | | Kondisi | |
|-------|---------------------|---------|---------|---------------------|-------------|--------|--------------|-----------------|---------------|----------------|----------|--------------|---------|-------------|----------|----------------|----------|---------|-------|
| | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| 23 | 42606800 | 3009.36 | 3490.64 | 1.82696E+14 | 25046237500 | 909.36 | 55 | 13750000 | 2 | 82500000 | -1.93631 | -0.96397 | 1.1814 | 0.41256 | -0.47854 | -2.48773 | -1.29671 | OK | OK |
| 22 | 38848800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.76569E+14 | 15203527500 | 924.7 | 55 | 13750000 | 2 | 82500000 | -2.12362 | -1.03265 | 1.1683 | 0.2626 | -0.29709 | -2.89368 | -1.25241 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.00061E+14 | 58870312500 | 1468.9 | 55 | 13750000 | 2 | 55000000 | -2.81014 | -2.74179 | 1.92194 | 0.21439 | -0.15028 | -5.33754 | -1.03848 | OK | OK |
| 20 | 18118200 | 3311.7 | 2412.9 | 8.18318E+13 | 0 | 1036.7 | 55 | 13750000 | 2 | 27500000 | -1.51781 | -1.15376 | 0.84063 | 0 | 0 | -2.67157 | -0.67718 | OK | OK |

**Gambar 5.5** letak tendon pada pemasangan box girder nomor 20.

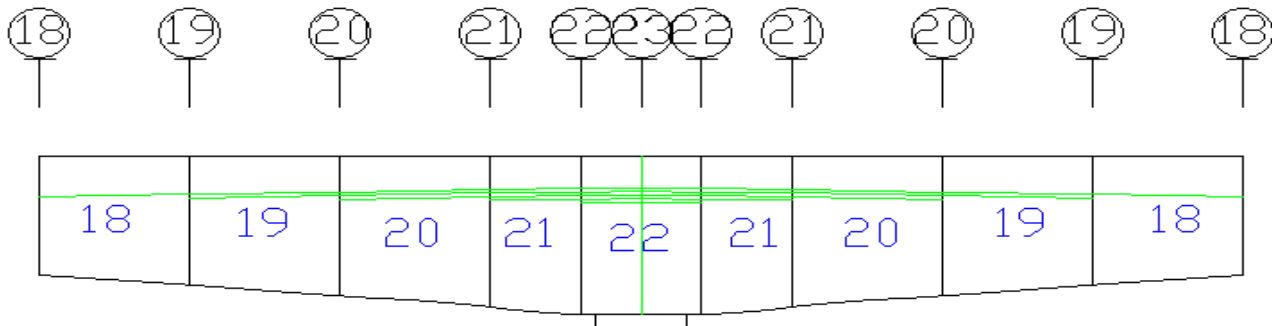
Tabel 5.6 Perhitungan Pemasangan Tendon pada Box Girder 12.

| joint | A (mm ²) | ya (mm) | yb (mm) | I (mm ⁴) | Mg (Nmm) | e (mm) | Jenis Tendon | F (N) sesuai VSL | Jumlah Tendon | F (N) kumulatif | F/A (Mpa) | F.e.y/II (Mpa) | | Mg.y/II (Mpa) | | Resultant (Mpa) | | Kondisi | |
|-------|----------------------|----------|---------|----------------------|-------------|---------|--------------|------------------|---------------|-----------------|-----------|----------------|---------|---------------|----------|-----------------|----------|---------|-------|
| | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| 23 | 42606800 | 3009.36 | 3490.64 | 1.82696E+14 | 52259831250 | 1109.36 | 55 | 13750000 | 2 | 110000000 | -2.58175 | -1.46649 | 1.70102 | 0.86082 | -0.93649 | -3.18742 | -1.87921 | OK | OK |
| 22 | 36848800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.76569E+14 | 38062946250 | 1124.7 | 55 | 13750000 | 2 | 110000000 | -2.83149 | -1.56686 | 1.77268 | 0.65742 | -0.74378 | -3.74093 | -1.80259 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.00061E+14 | 22215187500 | 1668.9 | 55 | 13750000 | 2 | 82500000 | -4.21521 | -4.41312 | 3.09351 | 0.809 | -0.56709 | -7.81933 | -1.68879 | OK | OK |
| 20 | 18118200 | 3311.7 | 2412.9 | 8.18318E+13 | 5442718750 | 1236.7 | 55 | 13750000 | 2 | 55000000 | -3.03562 | -2.5301 | 1.84343 | 0.22026 | -0.16048 | -5.34546 | -1.35268 | OK | OK |
| 19 | 16733600 | 3000.768 | 2288.83 | 6.67978E+13 | 0 | 825.768 | 55 | 13750000 | 2 | 27500000 | -1.6434 | -1.02014 | 0.77811 | 0 | 0 | -2.66354 | -0.86529 | OK | OK |

**Gambar 5.6** letak tendon pada pemasangan box girder nomor 19.

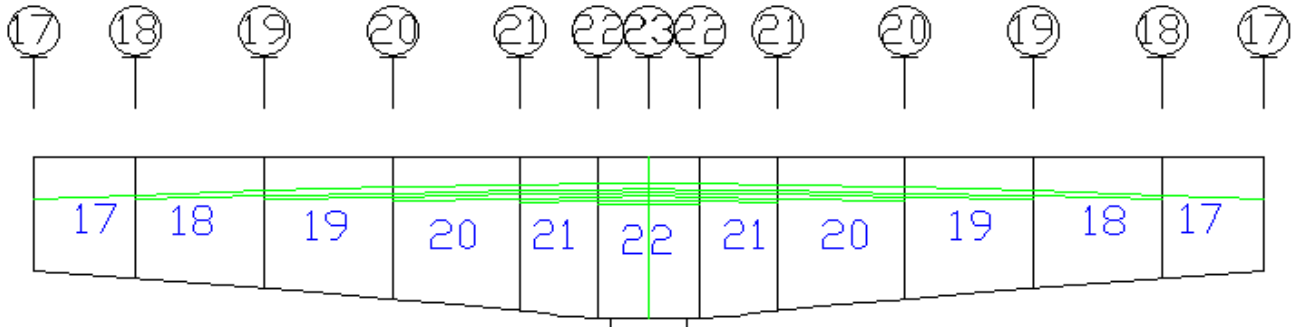
Tabel 5.7 Perhitungan Pemasangan Tendon pada Box Girder 18.

| joint | A(mm ²) | ya(mm) | yb(mm) | I(mm ⁴) | Mg(Nmm) | e(mm) | Jenis Tendon | F(N) sesuai VSL | Jumlah Tendon | F(N) kumulatif | F/A(Mpa) | F.e.y/I(Mpa) | | Mg.y/I(Mpa) | | Resultant(Mpa) | | Kondisi | |
|-------|---------------------|----------|---------|---------------------|-------------|---------|--------------|-----------------|---------------|----------------|----------|--------------|---------|-------------|----------|----------------|----------|---------|-------|
| | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| 23 | 42606800 | 3009.36 | 3490.64 | 1.82696E+14 | 87413612500 | 1309.36 | 44 | 11000000 | 2 | 132000000 | -3.0981 | -1.94098 | 2.2514 | 1.43987 | -1.67015 | -3.59921 | -2.51685 | OK | OK |
| 22 | 38848800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.78569E+14 | 69199152500 | 1324.7 | 44 | 11000000 | 2 | 132000000 | -3.39779 | -2.07023 | 2.34217 | 1.19521 | -1.35221 | -4.27281 | -2.40783 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.00061E+14 | 47325031250 | 1868.9 | 44 | 11000000 | 2 | 104500000 | -5.33926 | -5.91042 | 4.14309 | 1.72342 | -1.20808 | -9.52626 | -2.40426 | OK | OK |
| 20 | 18118200 | 3311.7 | 2412.9 | 8.18318E+13 | 20508625000 | 1436.7 | 44 | 11000000 | 2 | 77000000 | -4.24987 | -3.80924 | 2.7754 | 0.82998 | -0.60472 | -7.22913 | -2.07918 | OK | OK |
| 19 | 16733600 | 3000.768 | 2288.83 | 6.67378E+13 | 5021968750 | 1025.77 | 44 | 11000000 | 2 | 49500000 | -2.95812 | -2.03392 | 1.55137 | 0.2256 | -0.17208 | -4.76644 | -1.57883 | OK | OK |
| 18 | 15428500 | 2711.3 | 2181.1 | 5.45E+13 | 0 | 636.3 | 44 | 11000000 | 2 | 22000000 | -1.42593 | -0.69701 | 0.56071 | 0 | 0 | -2.12295 | -0.86522 | OK | OK |

**Gambar 5.7** letak tendon pada pemasangan box girder nomor 18.

Tabel 5.8 Perhitungan Pemasangan Tendon pada Box Girder 17.

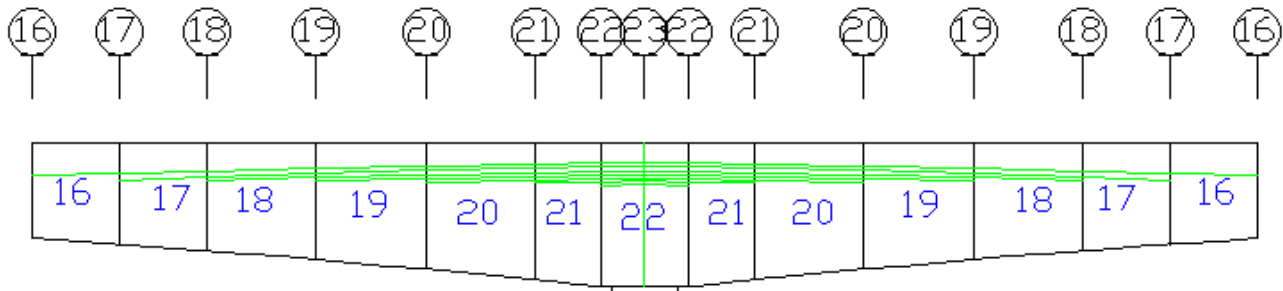
| joint | A(mm ²) | ya(mm) | yb(mm) | I(mm ⁴) | Mg(Nmm) | e(mm) | Jenis Tendon | F(N) sesuai VSL | Jumlah Tendon | F(N) kumulatif | F/A(Mpa) | F.e.y/I(Mpa) | | Mg.y/I(Mpa) | | Resultant(Mpa) | | Kondisi | |
|-------|---------------------|---------|---------|---------------------|-------------|---------|--------------|-----------------|---------------|----------------|----------|--------------|---------|-------------|----------|----------------|----------|---------|-------|
| | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| 23 | 42606800 | 3009.36 | 3490.64 | 1.82696E+14 | 1.2026E+11 | 1959.36 | 27 | 6750000 | 2 | 145500000 | -3.41495 | -2.37669 | 2.75678 | 1.98093 | -2.29773 | -3.81071 | -2.95589 | OK | OK |
| 22 | 38848800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.76569E+14 | 99059952500 | 1974.7 | 27 | 6750000 | 2 | 145500000 | -3.74529 | -2.53067 | 2.86309 | 1.71096 | -1.93571 | -4.565 | -2.81791 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.00061E+14 | 72706711250 | 2518.9 | 27 | 6750000 | 2 | 118000000 | -6.02302 | -7.14878 | 5.01115 | 2.64773 | -1.85601 | -10.5301 | -2.87388 | OK | OK |
| 20 | 18118200 | 3311.7 | 2412.9 | 8.18318E+13 | 38425105000 | 2086.7 | 27 | 6750000 | 2 | 90500000 | -4.99498 | -4.94928 | 3.60604 | 1.55505 | -1.13301 | -8.38921 | -2.52194 | OK | OK |
| 19 | 16733600 | 3049.7 | 2288.83 | 6.67978E+13 | 15473248750 | 1674.7 | 27 | 6750000 | 2 | 63000000 | -3.76488 | -3.06612 | 2.32605 | 0.70644 | -0.53019 | -6.12456 | -1.96902 | OK | OK |
| 18 | 15428500 | 2711.3 | 2181.1 | 5.45E+13 | 29860800000 | 1161.3 | 27 | 6750000 | 2 | 35500000 | -2.30094 | -1.47763 | 1.18867 | 0.14868 | -0.11961 | -3.62988 | -1.23187 | OK | OK |
| 17 | 14447600 | 2495.1 | 2106.3 | 4.62187E+13 | 0 | 770.1 | 27 | 6750000 | 2 | 13500000 | -0.93441 | -0.56124 | 0.47379 | 0 | 0 | -1.49565 | -0.46062 | OK | OK |



Gambar 5.8 letak tendon pada pemasangan box girder nomor 17

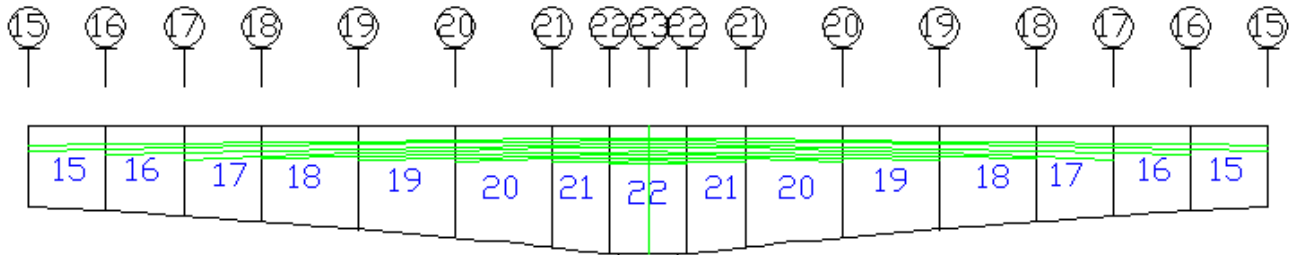
Tabel 5.9 Perhitungan Pemasangan Tendon pada Box Girder 16.

| joint | A(mm ²) | ya(mm) | yb(mm) | I(mm ⁴) | Mg(Nmm) | e(mm) | Jenis Tendon | F(N) sesuai VSL | Jumlah Tendon | F(N) kumulatif | F/A(Mpa) | F.e.y/I(Mpa) | | Mg.y/I(Mpa) | | Resultant(Mpa) | | Kondisi | |
|-------|---------------------|---------|---------|---------------------|-------------|---------|--------------|-----------------|---------------|----------------|----------|--------------|---------|-------------|----------|----------------|----------|---------|-------|
| | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| 23 | 42606800 | 3009.36 | 3490.64 | 1.82696E+14 | 1.56614E+11 | 2109.36 | 26 | 6500000 | 2 | 158500000 | -3.72006 | -2.82838 | 3.28071 | 2.57975 | -2.99232 | -3.96869 | -3.43167 | OK | OK |
| 22 | 38848800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.76569E+14 | 1.32617E+11 | 2124.7 | 26 | 6500000 | 2 | 158500000 | -4.07992 | -3.00774 | 3.40283 | 2.29057 | -2.59145 | -4.7971 | -3.26854 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.00061E+14 | 1.0207E+11 | 2668.9 | 26 | 6500000 | 2 | 131000000 | -6.69324 | -8.41228 | 5.89684 | 3.71703 | -2.60556 | -11.3885 | -3.40196 | OK | OK |
| 20 | 1818200 | 3311.7 | 2412.9 | 8.18318E+13 | 60796785000 | 2236.7 | 26 | 6500000 | 2 | 103500000 | -5.71249 | -6.12602 | 4.46341 | 2.46042 | -1.79266 | -9.37809 | -3.04174 | OK | OK |
| 19 | 16733600 | 3049.7 | 2288.83 | 6.67978E+13 | 30853778750 | 1874.7 | 26 | 6500000 | 2 | 78000000 | -4.54176 | -4.1788 | 3.16113 | 1.40865 | -1.05721 | -7.31191 | -2.43784 | OK | OK |
| 18 | 15428500 | 2711.3 | 2181.1 | 5.45E+13 | 11375460000 | 1436.3 | 26 | 6500000 | 2 | 48500000 | -3.14353 | -2.40733 | 1.93658 | 0.5664 | -0.45564 | -4.98446 | -1.6626 | OK | OK |
| 17 | 14447600 | 2495.1 | 2106.3 | 4.62187E+13 | 2796460000 | 1120.1 | 26 | 6500000 | 2 | 28500000 | -1.83421 | -1.34733 | 1.13738 | 0.15097 | -0.12744 | -3.03058 | -0.82427 | OK | OK |
| 16 | 13531800 | 2293.7 | 2041.5 | 3.92624E+13 | 0 | 818.7 | 26 | 6500000 | 2 | 13000000 | -0.9607 | -0.62177 | 0.5534 | 0 | 0 | -1.58247 | -0.4073 | OK | OK |

**Gambar 5.9** letak tendon pada pemasangan box girder nomor 16

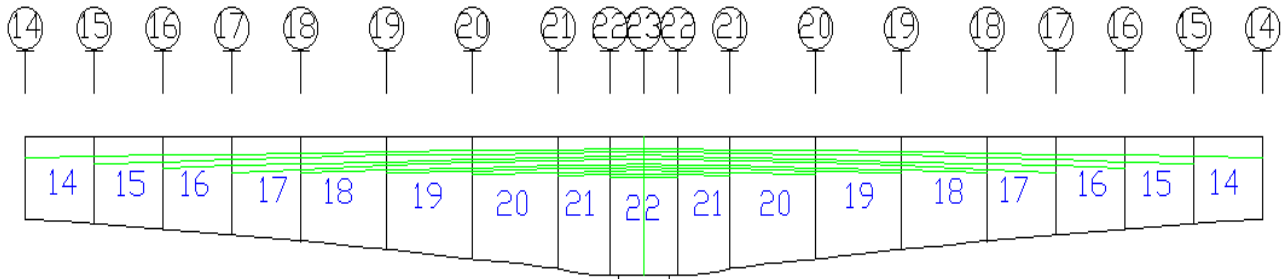
Tabel 5.10 Perhitungan Pemasangan Tendon pada Box Girder 15.

| joint | A(mm ²) | ya(mm) | yb(mm) | I(mm ⁴) | Mg(Nmm) | e(mm) | Jenis Tendon | F(N) sesuai VSL | Jumlah Tendon | F(N) kumulatif | F/A(Mpa) | F.e.y/I(Mpa) | | Mg.y/I(Mpa) | | Resultant(Mpa) | | Kondisi | |
|-------|---------------------|---------|---------|---------------------|-------------|---------|--------------|-----------------|---------------|----------------|----------|--------------|---------|-------------|----------|----------------|----------|---------|-------|
| | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| 23 | 42606800 | 3009.36 | 3490.64 | 1.82696E+14 | 1.9591E+11 | 2259.36 | 26 | 6500000 | 2 | 171500000 | -4.02518 | -3.31218 | 3.84189 | 3.22701 | -3.7431 | -4.11035 | -3.92639 | OK | OK |
| 22 | 38848800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.76569E+14 | 1.69293E+11 | 2299.7 | 26 | 6500000 | 2 | 171500000 | -4.41455 | -3.52411 | 3.98702 | 2.92403 | -3.30812 | -5.01463 | -3.73564 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.00061E+14 | 1.34816E+11 | 2868.9 | 26 | 6500000 | 2 | 144000000 | -7.35745 | -9.77046 | 6.84889 | 4.90953 | -3.44148 | -12.2184 | -3.95003 | OK | OK |
| 20 | 18118200 | 3311.7 | 2412.9 | 8.18318E+13 | 86993585000 | 2486.7 | 26 | 6500000 | 2 | 116500000 | -6.43 | -7.43429 | 5.41661 | 3.5206 | -2.5651 | -10.3437 | -3.57849 | OK | OK |
| 19 | 16733600 | 3049.7 | 2288.83 | 6.67978E+13 | 50501378750 | 2174.7 | 26 | 6500000 | 2 | 89000000 | -5.31864 | -5.46954 | 4.12984 | 2.30568 | -1.73043 | -8.4825 | -2.91924 | OK | OK |
| 18 | 15428500 | 2711.3 | 2161.1 | 5.45E+13 | 24473860000 | 1736.3 | 26 | 6500000 | 2 | 61500000 | -3.98613 | -3.53123 | 2.84069 | 1.2186 | -0.9803 | -6.29876 | -2.12574 | OK | OK |
| 17 | 14447600 | 2495.1 | 2106.3 | 4.62187E+13 | 10655500000 | 1420.1 | 26 | 6500000 | 2 | 39500000 | -2.73402 | -2.34396 | 1.97871 | 0.57523 | -0.4856 | -4.50274 | -1.24091 | OK | OK |
| 16 | 13531800 | 2293.7 | 2041.5 | 3.92624E+13 | 2619680000 | 1188.7 | 26 | 6500000 | 2 | 26000000 | -1.9214 | -1.47137 | 1.30959 | 0.15304 | -0.13621 | -3.23973 | -0.74802 | OK | OK |
| 15 | 12684000 | 2106.9 | 1986.3 | 3.34025E+13 | 0 | 831.9 | 26 | 6500000 | 2 | 13000000 | -1.02491 | -0.68215 | 0.6431 | 0 | 0 | -1.70706 | -0.38161 | OK | OK |

**Gambar 5.10** letak tendon pada pemasangan box girder nomor 15

Tabel 5.11 Perhitungan Pemasangan Tendon pada Box Girder 14.

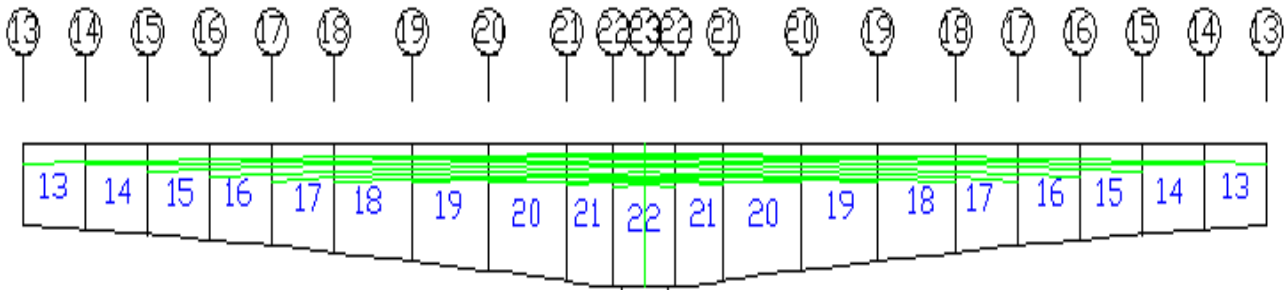
| joint | A (mm ²) | ya (mm) | yb (mm) | I (mm ⁴) | Mg (Nmm) | e (mm) | Jenis Tendon | F (N) sesuai VSL | Jumlah Tendon | F (N) kumulatif | F/A (Mpa) | F. e.y/I (Mpa) | | Mg.y/I (Mpa) | | Resultant (Mpa) | | Kondisi | |
|-------|----------------------|---------|---------|----------------------|-------------|---------|--------------|------------------|---------------|-----------------|-----------|----------------|---------|--------------|----------|-----------------|----------|---------|-------|
| | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| 23 | 42606800 | 3009.36 | 3490.64 | 1.82696E+14 | 2.37683E+11 | 2409.36 | 20 | 5000000 | 2 | 181500000 | -4.25388 | -3.70905 | 4.30223 | 3.9151 | -4.54123 | -4.05384 | -4.49888 | OK | OK |
| 22 | 38848800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.76569E+14 | 2.08609E+11 | 2449.7 | 20 | 5000000 | 2 | 181500000 | -4.67196 | -3.94722 | 4.46571 | 3.60309 | -4.07638 | -5.01609 | -4.28262 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.00061E+14 | 1.70448E+11 | 3018.9 | 20 | 5000000 | 2 | 154000000 | -7.86838 | -10.8698 | 7.61954 | 6.20705 | -4.35102 | -12.5312 | -4.59986 | OK | OK |
| 20 | 18182000 | 3311.7 | 2412.9 | 8.18318E+13 | 1.1648E+11 | 2636.7 | 20 | 5000000 | 2 | 126500000 | -6.98193 | -8.50135 | 6.19407 | 4.71392 | -3.43455 | -10.7694 | -4.22241 | OK | OK |
| 19 | 16733600 | 3049.7 | 2288.83 | 6.67378E+13 | 73845158750 | 2324.7 | 20 | 5000000 | 2 | 99000000 | -5.91624 | -6.5309 | 4.9264 | 3.37145 | -2.53031 | -9.07569 | -3.52015 | OK | OK |
| 18 | 15428500 | 2711.3 | 2181.1 | 5.45E+13 | 41674540000 | 1936.3 | 20 | 5000000 | 2 | 71500000 | -4.63428 | -4.49535 | 3.61627 | 2.07505 | -1.66827 | -7.05458 | -2.68728 | OK | OK |
| 17 | 14447600 | 2495.1 | 2106.3 | 4.62187E+13 | 22941700000 | 1670.1 | 20 | 5000000 | 2 | 49500000 | -3.42617 | -3.24555 | 2.73981 | 1.2385 | -1.04551 | -5.43323 | -1.73187 | OK | OK |
| 16 | 13531800 | 2293.7 | 2041.5 | 3.92624E+13 | 9991400000 | 1418.7 | 20 | 5000000 | 2 | 36000000 | -2.6604 | -2.30017 | 2.04726 | 0.5837 | -0.51952 | -4.37688 | -1.13265 | OK | OK |
| 15 | 12684000 | 2106.9 | 1986.3 | 3.34025E+13 | 2457240000 | 1181.9 | 20 | 5000000 | 2 | 23000000 | -1.81331 | -1.42765 | 1.34593 | 0.15499 | -0.14612 | -3.08596 | -0.6135 | OK | OK |
| 14 | 11907100 | 1934.8 | 1914.2 | 2.84862E+13 | 0 | 959.8 | 20 | 5000000 | 2 | 10000000 | -0.83984 | -0.6519 | 0.64496 | 0 | 0 | -1.49174 | -0.19487 | OK | OK |



Gambar 5.11 letak tendon pada pemasangan box girder nomor 14

Tabel 5.12 Perhitungan Pemasangan Tendon pada Box Girder 13.

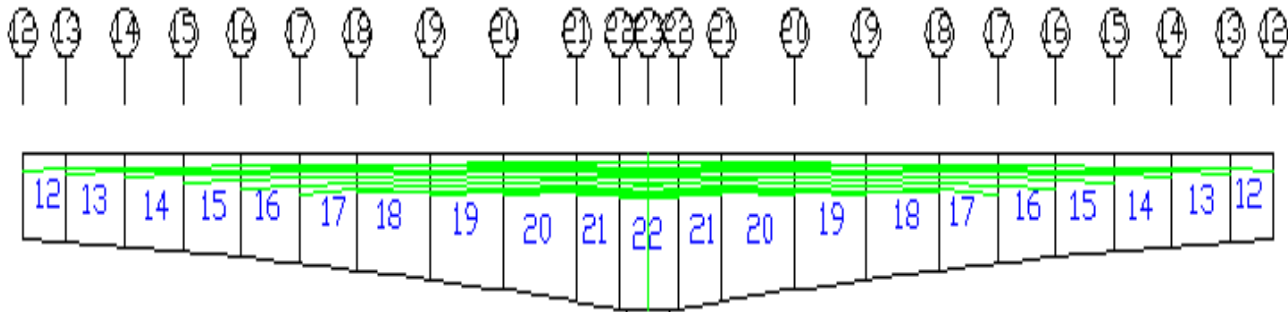
| joint | A (mm ²) | ya (mm) | yb (mm) | I (mm ⁴) | Mg (Nmm) | e (mm) | Jenis Tendon | F (N) sesuai VSL | Jumlah Tendon | F (N) kumulatif | F/A (Mpa) | F.e.y/I (Mpa) | | Mg.y/I (Mpa) | | Resultant (Mpa) | | Kondisi | |
|-------|----------------------|---------|---------|----------------------|-------------|---------|--------------|------------------|---------------|-----------------|-----------|---------------|---------|--------------|----------|-----------------|----------|---------|-------|
| | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| 23 | 42606800 | 3003.36 | 3490.64 | 1.62636E+14 | 2.81562E+11 | 2553.36 | 20 | 5000000 | 2 | 191500000 | -4.43459 | -4.13063 | 4.79123 | 4.63788 | -5.3796 | -3.98734 | -5.08296 | OK | OK |
| 22 | 38948800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.76563E+14 | 2.50179E+11 | 2539.7 | 20 | 5000000 | 2 | 191500000 | -4.32337 | -4.39624 | 4.97372 | 4.32108 | -4.86863 | -5.00452 | -4.84434 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.00061E+14 | 2.08551E+11 | 3168.9 | 20 | 5000000 | 2 | 164000000 | -8.37932 | -12.0238 | 8.42847 | 7.59474 | -5.32376 | -12.8084 | -5.2746 | OK | OK |
| 20 | 18118200 | 3311.7 | 2412.9 | 8.18318E+13 | 1.48813E+11 | 2786.7 | 20 | 5000000 | 2 | 138500000 | -7.53386 | -9.62912 | 7.01576 | 6.02239 | -4.3879 | -11.1406 | -4.906 | OK | OK |
| 19 | 16733600 | 3049.7 | 2288.83 | 6.67978E+13 | 1.00404E+11 | 2474.7 | 20 | 5000000 | 2 | 109000000 | -6.51384 | -7.66074 | 5.77436 | 4.584 | -3.44034 | -9.59058 | -4.17982 | OK | OK |
| 18 | 15428500 | 2711.3 | 2181.1 | 5.45E+13 | 62459500000 | 2061.3 | 20 | 5000000 | 2 | 81500000 | -5.28243 | -5.5217 | 4.44192 | 3.10997 | -2.50181 | -7.69417 | -3.34232 | OK | OK |
| 17 | 14447600 | 2495.1 | 2106.3 | 4.62187E+13 | 39107780000 | 1820.1 | 20 | 5000000 | 2 | 59500000 | -4.11833 | -4.22813 | 3.56928 | 2.11122 | -1.78224 | -6.23524 | -2.33129 | OK | OK |
| 16 | 13531800 | 2233.7 | 2041.5 | 3.32624E+13 | 21538600000 | 1568.7 | 20 | 5000000 | 2 | 46000000 | -3.3994 | -3.2166 | 2.86293 | 1.25828 | -1.11993 | -5.35772 | -1.6584 | OK | OK |
| 15 | 12684000 | 2106.9 | 1986.3 | 3.34025E+13 | 9385560000 | 1331.9 | 20 | 5000000 | 2 | 33000000 | -2.6017 | -2.26776 | 2.13795 | 0.592 | -0.55812 | -4.27745 | -1.02187 | OK | OK |
| 14 | 11907100 | 1934.8 | 1914.2 | 2.84862E+13 | 2309440000 | 1109.8 | 20 | 5000000 | 2 | 20000000 | -1.67967 | -1.40568 | 1.39072 | 0.15686 | -0.15519 | -2.9285 | -0.44414 | OK | OK |
| 13 | 11208000 | 1778.8 | 1902.5 | 2.44054E+13 | 0 | 903.8 | 20 | 5000000 | 2 | 10000000 | -0.89222 | -0.65874 | 0.70455 | 0 | 0 | -1.55096 | -0.18767 | OK | OK |



Gambar 5.12 letak tendon pada pemasangan box girder nomor 13

Tabel 5.13 Perhitungan Pemasangan Tendon pada Box Girder 12.

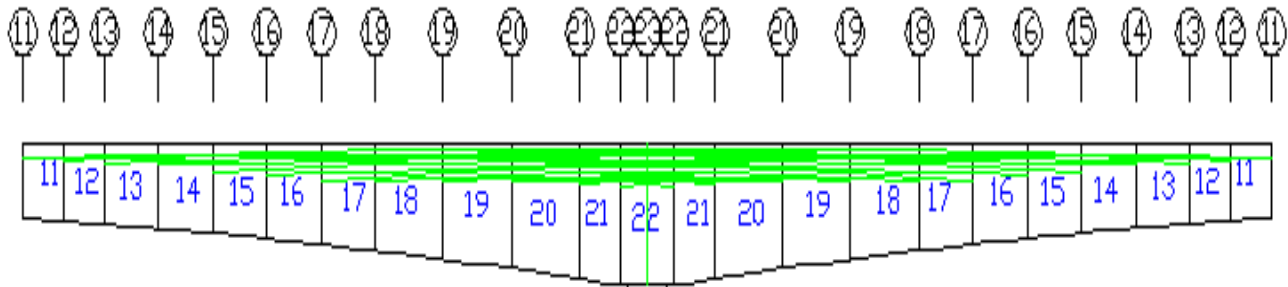
| joint | A (mm ²) | ya (mm) | yb (mm) | l (mm ²) | Mg (Nmm) | e (mm) | Jenis Tendon | F (N) sesuai VSL | Jumlah Tendon | F (N) kumulatif | F/A (Mpa) | F.e.yil (Mpa) | | Mg.yil (Mpa) | | Resultant (Mpa) | | Kondisi | |
|-------|----------------------|---------|---------|----------------------|-------------|---------|--------------|------------------|---------------|-----------------|-----------|---------------|---------|--------------|----------|-----------------|----------|---------|-------|
| | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| 23 | 42606800 | 3009.36 | 3490.64 | 1.82696E+14 | 3.15691E+11 | 2559.36 | 20 | 5000000 | 2 | 201500000 | -4.72329 | -4.55221 | 5.28023 | 5.20005 | -6.03168 | -4.08145 | -5.48075 | OK | OK |
| 22 | 38848800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.76569E+14 | 2.82663E+11 | 2599.7 | 20 | 5000000 | 2 | 201500000 | -5.18678 | -4.84526 | 5.48172 | 4.88215 | -5.52346 | -5.14988 | -5.22852 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.00061E+14 | 2.38569E+11 | 3193.9 | 20 | 5000000 | 2 | 174000000 | -8.89025 | -13.187 | 9.24379 | 8.68786 | -6.09002 | -13.3893 | -5.73648 | OK | OK |
| 20 | 1818200 | 3311.7 | 2412.9 | 8.18318E+13 | 1.74718E+11 | 2861.7 | 20 | 5000000 | 2 | 146500000 | -8.08579 | -10.7872 | 7.85956 | 7.07076 | -5.15175 | -11.8023 | -5.37798 | OK | OK |
| 19 | 16733600 | 3049.7 | 2288.83 | 6.67978E+13 | 1.22197E+11 | 2574.7 | 20 | 5000000 | 2 | 119000000 | -7.11144 | -8.83624 | 6.85658 | 5.57899 | -4.18709 | -10.3687 | -4.64195 | OK | OK |
| 18 | 15428500 | 2711.3 | 2181.1 | 5.45E+13 | 80140885000 | 2211.3 | 20 | 5000000 | 2 | 91500000 | -5.93058 | -6.62275 | 5.32766 | 3.99035 | -3.21003 | -8.56298 | -3.81296 | OK | OK |
| 17 | 14447600 | 2495.1 | 2106.3 | 4.62187E+13 | 53499605000 | 1970.1 | 20 | 5000000 | 2 | 69500000 | -4.81049 | -5.29168 | 4.4671 | 2.88816 | -2.43811 | -7.21401 | -2.78149 | OK | OK |
| 16 | 13531800 | 2293.7 | 2041.5 | 3.92624E+13 | 32640865000 | 1743.7 | 20 | 5000000 | 2 | 56000000 | -4.1384 | -4.23527 | 3.78959 | 1.90687 | -1.6972 | -6.4668 | -2.06602 | OK | OK |
| 15 | 12684000 | 2106.9 | 1966.3 | 3.34025E+13 | 17198285000 | 1506.9 | 20 | 5000000 | 2 | 43000000 | -3.3901 | -3.21825 | 3.03404 | 1.0848 | -1.02271 | -5.52355 | -1.37877 | OK | OK |
| 14 | 11907100 | 1934.8 | 1914.2 | 2.84862E+13 | 6832585000 | 1284.8 | 20 | 5000000 | 2 | 30000000 | -2.51951 | -2.27833 | 2.25407 | 0.46407 | -0.45913 | -4.33376 | -0.72457 | OK | OK |
| 13 | 11208000 | 1778.8 | 1902.5 | 2.44054E+13 | 1233585000 | 1078.8 | 20 | 5000000 | 2 | 20000000 | -1.78444 | -1.44503 | 1.54552 | 0.08991 | -0.09616 | -3.19956 | -0.33509 | OK | OK |
| 12 | 10734900 | 1672.2 | 1873.6 | 2.18179E+13 | 0 | 922.2 | 20 | 5000000 | 2 | 10000000 | -0.93154 | -0.70681 | 0.79447 | 0 | 0 | -1.63835 | -0.13707 | OK | OK |



Gambar 5.13 letak tendon pada pemasangan box girder nomor 12

Tabel 5.14 Perhitungan Pemasangan Tendon pada Box Girder 11.

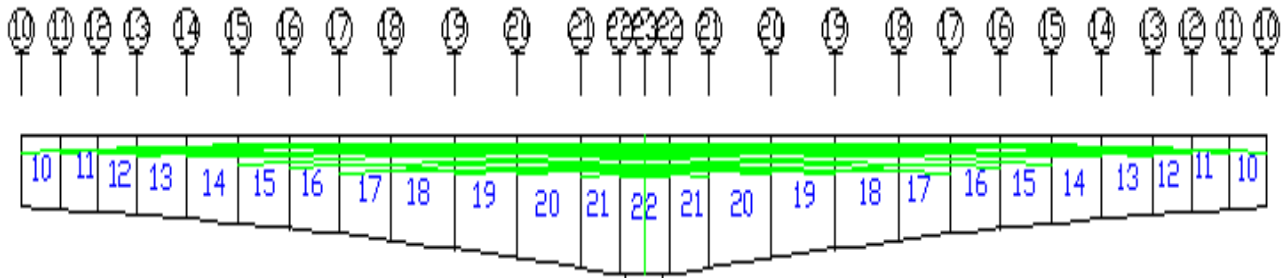
| joint | A (mm ²) | ya (mm) | yb (mm) | I (mm ⁴) | Mg (Nmm) | e (mm) | Jenis Tendon | F (N) sesuai VSL | Jumlah Tendon | F (N) kumulatif | F/A (Mpa) | F.e.yll (Mpa) | | Mg.yll (Mpa) | | Resultant (Mpa) | | Kondisi | |
|-------|----------------------|---------|---------|----------------------|-------------|---------|--------------|------------------|---------------|-----------------|-----------|---------------|---------|--------------|----------|-----------------|----------|---------|-------|
| | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| 23 | 42606800 | 3009.36 | 3490.64 | 1.82696E+14 | 3.50789E+11 | 2709.36 | 16 | 4000000 | 2 | 209500000 | -4.91706 | -4.90323 | 5.63436 | 5.77816 | -6.70227 | -4.04811 | -5.32497 | OK | OK |
| 22 | 38848800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.76569E+14 | 3.16184E+11 | 2749.7 | 16 | 4000000 | 2 | 209500000 | -5.3927 | -5.2252 | 5.91517 | 5.4612 | -6.17847 | -5.15679 | -5.65361 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.00061E+14 | 2.63723E+11 | 3343.9 | 16 | 4000000 | 2 | 162000000 | -9.299 | -14.1611 | 9.92668 | 9.8224 | -6.8853 | -13.6378 | -6.25762 | OK | OK |
| 20 | 1818200 | 3311.7 | 2412.9 | 8.18318E+13 | 2.01929E+11 | 3011.7 | 16 | 4000000 | 2 | 154500000 | -8.52734 | -11.7623 | 8.56999 | 8.17197 | -5.95408 | -12.1177 | -5.91143 | OK | OK |
| 19 | 16733600 | 3049.7 | 2288.83 | 6.67978E+13 | 1.45464E+11 | 2749.7 | 16 | 4000000 | 2 | 127000000 | -7.58952 | -9.84055 | 7.41033 | 6.64127 | -4.98434 | -10.7888 | -5.16353 | OK | OK |
| 18 | 15428500 | 2711.3 | 2181.1 | 5.45E+13 | 99464402500 | 2386.3 | 16 | 4000000 | 2 | 99500000 | -6.4491 | -7.57329 | 6.09232 | 4.95251 | -3.98403 | -9.06989 | -4.34082 | OK | OK |
| 17 | 14447600 | 2495.1 | 2106.3 | 4.62187E+13 | 69668262500 | 2120.1 | 16 | 4000000 | 2 | 77500000 | -5.36421 | -6.2073 | 5.24005 | 3.76102 | -3.17495 | -7.8105 | -3.29912 | OK | OK |
| 16 | 13531800 | 2293.7 | 2041.5 | 3.92624E+13 | 45654662500 | 1868.7 | 16 | 4000000 | 2 | 64000000 | -4.7296 | -5.10862 | 4.54691 | 2.66713 | -2.37387 | -7.17109 | -2.55656 | OK | OK |
| 15 | 12684000 | 2106.9 | 1986.3 | 3.34025E+13 | 27057202500 | 1631.9 | 16 | 4000000 | 2 | 51000000 | -4.02081 | -4.04172 | 3.81037 | 1.70666 | -1.60897 | -6.35587 | -1.81941 | OK | OK |
| 14 | 11907100 | 1934.8 | 1914.2 | 2.84862E+13 | 13536662500 | 1409.8 | 16 | 4000000 | 2 | 38000000 | -3.19137 | -3.04436 | 3.01195 | 0.91942 | -0.90363 | -5.1632 | -1.08905 | OK | OK |
| 13 | 11208000 | 1778.8 | 1902.5 | 2.44054E+13 | 4782802500 | 1203.8 | 16 | 4000000 | 2 | 28000000 | -2.49822 | -2.14694 | 2.29625 | 0.3486 | -0.37284 | -4.29656 | -0.57481 | OK | OK |
| 12 | 10734900 | 1672.2 | 1873.6 | 2.18179E+13 | 1183072500 | 1047.2 | 16 | 4000000 | 2 | 18000000 | -1.67677 | -1.34889 | 1.5162 | 0.09067 | -0.10192 | -2.93499 | -0.2625 | OK | OK |
| 11 | 10309100 | 1575.5 | 1860.6 | 1.96024E+13 | 0 | 875.5 | 16 | 4000000 | 2 | 8000000 | -0.77601 | -0.56293 | 0.6648 | 0 | 0 | -1.33894 | -0.11122 | OK | OK |



Gambar 5.14 letak tendon pada pemasangan box girder nomor 11

Tabel 5.15 Perhitungan Pemasangan Tendon pada Box Girder 10.

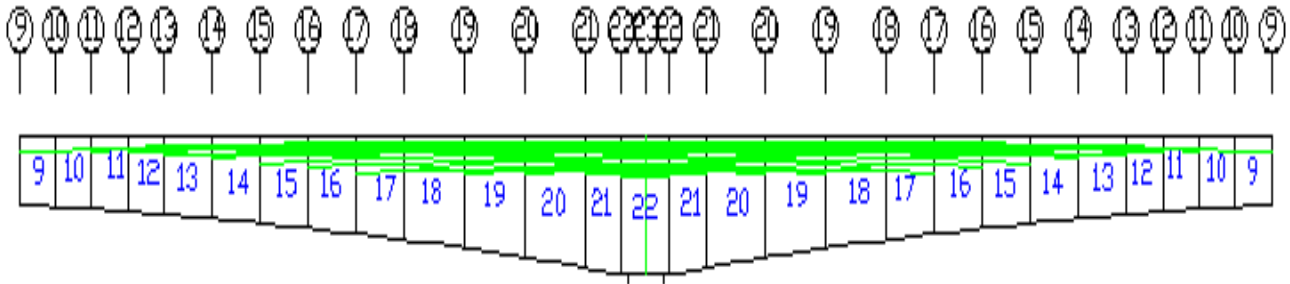
| joint | A (mm ²) | ya (mm) | yb (mm) | l (mm ²) | Mg (Nmm) | e (mm) | Jenis Tendon | F (N) sesuai VSL | Jumlah Tendon | F (N) kumulatif | F/A (Mpa) | F.e.yil (Mpa) | | Mg.yil (Mpa) | | Resultant (Mpa) | | Kondisi | |
|-------|----------------------|---------|---------|----------------------|-------------|---------|--------------|------------------|---------------|-----------------|-----------|---------------|---------|--------------|----------|-----------------|----------|---------|-------|
| | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| 23 | 42606800 | 3009.36 | 3490.64 | 1.82696E+14 | 3.86817E+11 | 2709.36 | 16 | 4000000 | 2 | 217500000 | -5.10482 | -5.26626 | 6.10848 | 6.37163 | -7.39063 | -3.99945 | -6.38696 | OK | OK |
| 22 | 38848800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.76569E+14 | 3.50694E+11 | 2749.7 | 16 | 4000000 | 2 | 217500000 | -5.59663 | -5.60514 | 6.34142 | 6.05718 | -6.85284 | -5.14659 | -6.11005 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.00061E+14 | 3.01958E+11 | 3343.9 | 16 | 4000000 | 2 | 190000000 | -9.70775 | -15.1353 | 10.6096 | 10.9363 | -7.70818 | -13.8468 | -6.80636 | OK | OK |
| 20 | 18118200 | 3311.7 | 2412.9 | 8.18318E+13 | 2.30371E+11 | 3011.7 | 16 | 4000000 | 2 | 162500000 | -8.96888 | -12.7374 | 9.28042 | 9.32304 | -6.79275 | -12.3832 | -6.48122 | OK | OK |
| 19 | 16733600 | 3049.7 | 2288.83 | 6.67978E+13 | 1.70151E+11 | 2749.7 | 16 | 4000000 | 2 | 135000000 | -8.0676 | -10.8449 | 8.16408 | 7.7667 | -5.82839 | -11.1458 | -5.73251 | OK | OK |
| 18 | 15428500 | 2711.3 | 2161.1 | 5.45E+13 | 1.20322E+11 | 2411.3 | 16 | 4000000 | 2 | 107500000 | -6.96762 | -8.53379 | 6.86499 | 5.99107 | -4.8195 | -9.51035 | -4.92213 | OK | OK |
| 17 | 14447600 | 2495.1 | 2106.3 | 4.62187E+13 | 87492425000 | 2170.1 | 16 | 4000000 | 2 | 85500000 | -5.91794 | -7.14452 | 6.03122 | 4.72325 | -3.98725 | -8.33921 | -3.87396 | OK | OK |
| 16 | 13531800 | 2293.7 | 2041.5 | 3.92624E+13 | 60444925000 | 1918.7 | 16 | 4000000 | 2 | 72000000 | -5.3208 | -6.00534 | 5.34503 | 3.53118 | -3.14291 | -7.79496 | -3.11868 | OK | OK |
| 15 | 12684000 | 2106.9 | 1986.3 | 3.34025E+13 | 38813565000 | 1681.9 | 16 | 4000000 | 2 | 59000000 | -4.65153 | -4.89042 | 4.61049 | 2.44821 | -2.30807 | -7.09374 | -2.34911 | OK | OK |
| 14 | 11907100 | 1934.8 | 1914.2 | 2.84862E+13 | 22259125000 | 1459.8 | 16 | 4000000 | 2 | 46000000 | -3.86324 | -3.83757 | 3.79671 | 1.51185 | -1.49576 | -6.18896 | -1.56229 | OK | OK |
| 13 | 11208000 | 1778.8 | 1902.5 | 2.44054E+13 | 10471365000 | 1253.8 | 16 | 4000000 | 2 | 36000000 | -3.21199 | -2.87802 | 3.07816 | 0.76321 | -0.81629 | -5.3268 | -0.95012 | OK | OK |
| 12 | 10734900 | 1672.2 | 1879.6 | 2.18179E+13 | 4596210000 | 1097.2 | 16 | 4000000 | 2 | 26000000 | -2.42201 | -2.02164 | 2.27238 | 0.35227 | -0.39596 | -4.09138 | -0.54559 | OK | OK |
| 11 | 10309100 | 1575.5 | 1860.6 | 1.96024E+13 | 1137712500 | 925.5 | 16 | 4000000 | 2 | 16000000 | -1.55203 | -1.15801 | 1.36756 | 0.09144 | -0.10799 | -2.6186 | -0.29245 | OK | OK |
| 10 | 9929800 | 1488.4 | 1845.4 | 1.7715E+13 | 0 | 763.4 | 16 | 4000000 | 2 | 8000000 | -0.80566 | -0.51312 | 0.6362 | 0 | 0 | -1.31878 | -0.16946 | OK | OK |



Gambar 5.15 letak tendon pada pemasangan box girder nomor 10

Tabel 5.16 Perhitungan Pemasangan Tendon pada Box Girder 9.

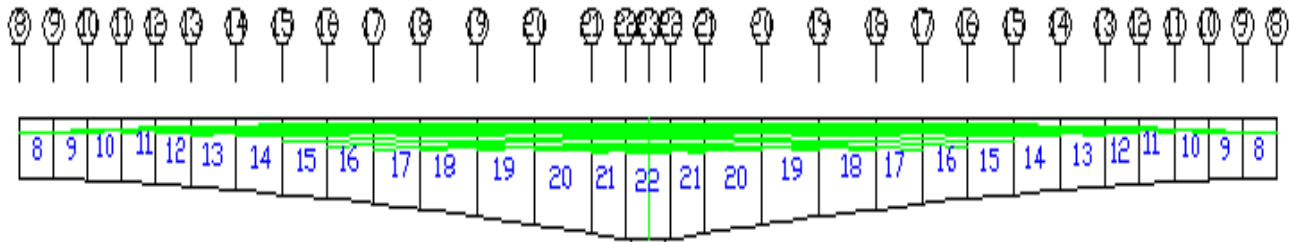
| joint | A (mm ²) | ya (mm) | yb (mm) | I (mm ⁴) | Mg (Nmm) | e (mm) | Jenis Tendon | F (N) sesuai VSL | Jumlah Tendon | F (N) kumulatif | F/A (Mpa) | F _{e,yil} (Mpa) | | M _{g,yil} (Mpa) | | Resultant (Mpa) | | Kondisi | |
|-------|----------------------|---------|---------|----------------------|-------------|---------|--------------|------------------|---------------|-----------------|-----------|--------------------------|---------|--------------------------|----------|-----------------|----------|---------|-------|
| | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| 23 | 42606800 | 3009.36 | 3490.64 | 1.82696E+14 | 4.23778E+11 | 2709.36 | 16 | 4000000 | 2 | 225500000 | -5.29258 | -5.62329 | 6.52261 | 6.98045 | -8.09681 | -3.93542 | -6.86679 | OK | OK |
| 22 | 36848800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.76569E+14 | 3.86191E+11 | 2749.7 | 16 | 4000000 | 2 | 225500000 | -5.80456 | -5.98508 | 6.77127 | 6.67029 | -7.54648 | -5.11935 | -6.57977 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.00061E+14 | 3.3526E+11 | 3343.9 | 16 | 4000000 | 2 | 198000000 | -10.1165 | -16.1095 | 11.2925 | 12.209 | -8.55828 | -14.017 | -7.38232 | OK | OK |
| 20 | 1818200 | 3311.7 | 2412.9 | 8.18318E+13 | 2.60013E+11 | 3011.7 | 16 | 4000000 | 2 | 170500000 | -9.41043 | -13.7124 | 9.93084 | 10.5226 | -7.66678 | -12.6002 | -7.08637 | OK | OK |
| 19 | 16733600 | 3049.7 | 2288.83 | 6.67978E+13 | 1.96097E+11 | 2749.7 | 16 | 4000000 | 2 | 143000000 | -8.54568 | -11.8492 | 8.91783 | 8.95295 | -6.71928 | -11.4419 | -6.34714 | OK | OK |
| 18 | 15428500 | 2711.3 | 2181.1 | 5.45E+13 | 1.42645E+11 | 2411.3 | 16 | 4000000 | 2 | 115500000 | -7.48615 | -9.4943 | 7.63767 | 7.10257 | -5.71365 | -9.87788 | -5.56212 | OK | OK |
| 17 | 14447600 | 2495.1 | 2106.3 | 4.62187E+13 | 1.06888E+11 | 2195.1 | 16 | 4000000 | 2 | 93500000 | -6.47166 | -8.09253 | 6.83151 | 5.7703 | -4.87114 | -8.79389 | -4.51129 | OK | OK |
| 16 | 13531800 | 2293.7 | 2041.5 | 3.92624E+13 | 76912731250 | 1968.7 | 16 | 4000000 | 2 | 80000000 | -5.912 | -6.32543 | 6.16395 | 4.49322 | -3.99916 | -8.34421 | -3.74722 | OK | OK |
| 15 | 12684000 | 2106.9 | 1986.3 | 3.34025E+13 | 52353761250 | 1731.9 | 16 | 4000000 | 2 | 67000000 | -5.28225 | -5.76436 | 5.4344 | 3.30227 | -3.11325 | -7.74433 | -2.96109 | OK | OK |
| 14 | 11907100 | 1934.8 | 1914.2 | 2.84862E+13 | 32871711250 | 1509.8 | 16 | 4000000 | 2 | 54000000 | -4.53511 | -4.65794 | 4.60835 | 2.23267 | -2.2089 | -6.96038 | -2.13566 | OK | OK |
| 13 | 11208000 | 1778.8 | 1902.5 | 2.44054E+13 | 18156341250 | 1303.8 | 16 | 4000000 | 2 | 44000000 | -3.92577 | -3.63824 | 3.89125 | 1.32333 | -1.41536 | -6.24067 | -1.44988 | OK | OK |
| 12 | 10734900 | 1672.2 | 1873.6 | 2.18179E+13 | 10085478750 | 1147.2 | 16 | 4000000 | 2 | 34000000 | -3.16724 | -2.72504 | 3.06303 | 0.77299 | -0.86886 | -5.1193 | -0.97307 | OK | OK |
| 11 | 10309100 | 1575.5 | 1860.6 | 1.96024E+13 | 4431273750 | 975.5 | 16 | 4000000 | 2 | 24000000 | -2.32804 | -1.78524 | 2.1083 | 0.35615 | -0.4206 | -3.75713 | -0.64035 | OK | OK |
| 10 | 9329800 | 1488.4 | 1845.4 | 1.7715E+13 | 1097853750 | 813.4 | 16 | 4000000 | 2 | 16000000 | -1.61131 | -1.05985 | 1.31406 | 0.09224 | -0.11437 | -2.57892 | -0.41161 | OK | OK |
| 9 | 9599000 | 1411.7 | 1833.5 | 1.6133E+13 | 0 | 661.7 | 16 | 4000000 | 2 | 8000000 | -0.83342 | -0.46321 | 0.60161 | 0 | 0 | -1.29663 | -0.23181 | OK | OK |



Gambar 5.16 letak tendon pada pemasangan box girder nomor 9

Tabel 5.17 Perhitungan Pemasangan Tendon pada Box Girder 8.

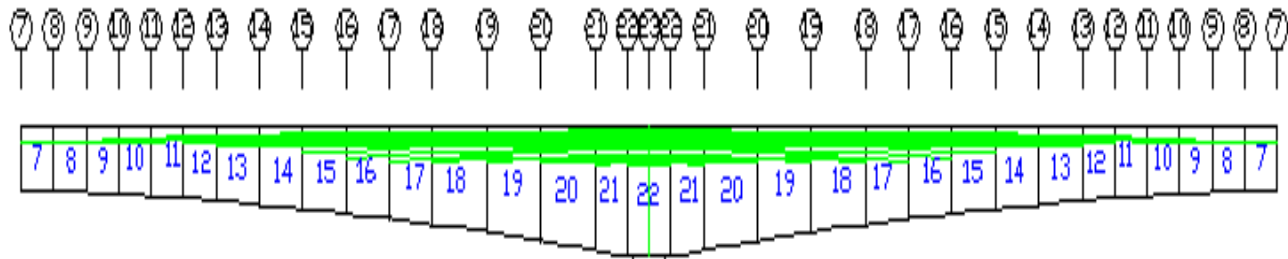
| joint | A (mm ²) | ya (mm) | yb (mm) | l (mm ²) | Mg (Nmm) | e (mm) | Jenis Tendon | F (N) sesuai VSL | Jumlah Tendon | F (N) kumulatif | F/A (Mpa) | F.e.yll (Mpa) | | Mg.yll (Mpa) | | Resultant (Mpa) | | Kondisi | |
|-------|----------------------|---------|---------|----------------------|-------------|---------|--------------|------------------|---------------|-----------------|-----------|---------------|---------|--------------|----------|-----------------|----------|---------|-------|
| | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| 23 | 42606800 | 3009.36 | 3490.64 | 1.82696E+14 | 4.61706E+11 | 2709.36 | 16 | 4000000 | 2 | 233500000 | -5.48035 | -5.38032 | 6.93673 | 7.60519 | -8.82147 | -3.85547 | -7.36508 | OK | OK |
| 22 | 38848800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.76569E+14 | 4.22701E+11 | 2749.7 | 16 | 4000000 | 2 | 233500000 | -6.01048 | -6.36503 | 7.20112 | 7.30069 | -8.25991 | -5.07462 | -7.06928 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.00061E+14 | 3.69643E+11 | 3343.9 | 16 | 4000000 | 2 | 206000000 | -10.5252 | -17.0837 | 11.9753 | 13.4611 | -9.43593 | -14.1478 | -7.98589 | OK | OK |
| 20 | 18118200 | 3311.7 | 2412.9 | 8.18318E+13 | 2.90852E+11 | 3011.7 | 16 | 4000000 | 2 | 178500000 | -9.85197 | -14.6875 | 10.7013 | 11.7707 | -8.57609 | -12.7688 | -7.72679 | OK | OK |
| 19 | 16733600 | 3049.7 | 2288.83 | 6.67978E+13 | 2.23391E+11 | 2749.7 | 16 | 4000000 | 2 | 151000000 | -9.02376 | -12.8535 | 9.67158 | 10.1991 | -7.65451 | -11.6782 | -7.00669 | OK | OK |
| 18 | 15428500 | 2711.3 | 2181.1 | 5.45E+13 | 1.66395E+11 | 2411.3 | 16 | 4000000 | 2 | 123500000 | -8.00467 | -10.4548 | 8.41034 | 8.28508 | -6.66492 | -10.1744 | -6.25924 | OK | OK |
| 17 | 14447600 | 2495.1 | 2106.3 | 4.62187E+13 | 1.27801E+11 | 2195.1 | 16 | 4000000 | 2 | 101500000 | -7.02539 | -9.04055 | 7.6318 | 6.89931 | -5.82422 | -9.16663 | -5.21781 | OK | OK |
| 16 | 13531800 | 2293.7 | 2041.5 | 3.92624E+13 | 94990446250 | 1993.7 | 16 | 4000000 | 2 | 88000000 | -6.5032 | -7.8572 | 6.99328 | 5.54932 | -4.33915 | -8.81108 | -4.44908 | OK | OK |
| 15 | 12684000 | 2106.9 | 1986.3 | 3.34025E+13 | 67595756250 | 1781.9 | 16 | 4000000 | 2 | 75000000 | -5.91296 | -6.66352 | 6.2821 | 4.26368 | -4.01962 | -8.3128 | -3.65049 | OK | OK |
| 14 | 11907100 | 1934.8 | 1914.2 | 2.84862E+13 | 45277986250 | 1559.8 | 16 | 4000000 | 2 | 62000000 | -5.20698 | -5.50548 | 5.44686 | 3.07531 | -3.04257 | -7.63715 | -2.80268 | OK | OK |
| 13 | 11208000 | 1778.8 | 1902.5 | 2.44054E+13 | 27726896250 | 1353.8 | 16 | 4000000 | 2 | 52000000 | -4.63954 | -4.42762 | 4.73552 | 2.02089 | -2.16142 | -7.04627 | -2.06545 | OK | OK |
| 12 | 10734900 | 1672.2 | 1879.6 | 2.18179E+13 | 17529243750 | 1197.2 | 16 | 4000000 | 2 | 42000000 | -3.91247 | -3.4591 | 3.88813 | 1.3435 | -1.51013 | -6.02807 | -1.53448 | OK | OK |
| 11 | 10309100 | 1575.5 | 1860.6 | 1.96024E+13 | 9748248750 | 1025.5 | 16 | 4000000 | 2 | 32000000 | -3.10405 | -2.44462 | 2.88699 | 0.78349 | -0.92527 | -4.76518 | -1.14233 | OK | OK |
| 10 | 9929800 | 1488.4 | 1845.4 | 1.7715E+13 | 4288038750 | 863.4 | 16 | 4000000 | 2 | 24000000 | -2.41697 | -1.64019 | 2.0336 | 0.36028 | -0.44669 | -3.69688 | -0.83006 | OK | OK |
| 9 | 9599000 | 1411.7 | 1833.5 | 1.6133E+13 | 1063395000 | 711.7 | 16 | 4000000 | 2 | 16000000 | -1.66684 | -0.96142 | 1.24868 | 0.09305 | -0.12085 | -2.53521 | -0.53901 | OK | OK |
| 8 | 938200 | 1345.9 | 1824.4 | 1.48351E+13 | 0 | 570.9 | 16 | 4000000 | 2 | 8000000 | -0.85853 | -0.41435 | 0.56167 | 0 | 0 | -1.27289 | -0.29687 | OK | OK |



Gambar 5.17 letak tendon pada pemasangan box girder nomor 8

Tabel 5.18 Perhitungan Pemasangan Tendon pada Box Girder 7.

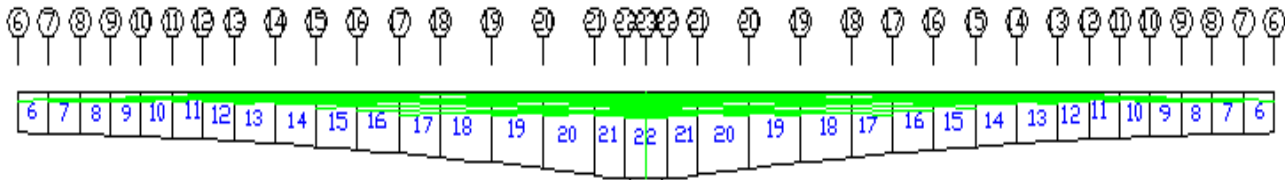
| joint | A (mm ²) | ya (mm) | yb (mm) | l (mm ²) | Mg (Nmm) | e (mm) | Jenis Tendon | F (N) sesuai VSL | Jumlah Tendon | F (N) kumulatif | F/A (Mpa) | F.e.yil (Mpa) | | Mg.yil (Mpa) | | Resultant (Mpa) | | Kondisi | |
|-------|----------------------|---------|---------|----------------------|-------------|---------|--------------|------------------|---------------|-----------------|-----------|---------------|---------|--------------|----------|-----------------|----------|---------|-------|
| | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| 23 | 42606800 | 3009.36 | 3490.64 | 1.82696E+14 | 5.00676E+11 | 2859.36 | 10 | 2500000 | 2 | 238500000 | -5.9377 | -6.21581 | 7.20989 | 8.24711 | -9.56605 | -3.5664 | -7.95385 | OK | OK |
| 22 | 38848800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.76569E+14 | 4.60232E+11 | 2899.7 | 10 | 2500000 | 2 | 238500000 | -6.13919 | -6.61544 | 7.48443 | 7.95016 | -8.99447 | -4.80447 | -7.64922 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.00061E+14 | 4.05164E+11 | 3493.9 | 10 | 2500000 | 2 | 210000000 | -10.7807 | -17.7199 | 12.4213 | 14.7547 | -10.3428 | -13.7459 | -8.70218 | OK | OK |
| 20 | 18118200 | 3311.7 | 2412.9 | 8.18138E+13 | 3.22925E+11 | 3136.7 | 10 | 2500000 | 2 | 183500000 | -10.1279 | -15.3222 | 11.1637 | 13.0686 | -9.52179 | -12.3815 | -8.48601 | OK | OK |
| 19 | 16733600 | 3049.7 | 2288.83 | 6.67978E+13 | 2.52015E+11 | 2849.7 | 10 | 2500000 | 2 | 156000000 | -9.32256 | -13.504 | 10.1598 | 11.5059 | -8.63532 | -11.3207 | -7.79807 | OK | OK |
| 18 | 15428500 | 2711.3 | 2181.1 | 5.45E+13 | 1.9157E+11 | 2486.3 | 10 | 2500000 | 2 | 128500000 | -8.32874 | -11.0738 | 8.90829 | 9.53861 | -7.67331 | -9.86392 | -7.09377 | OK | OK |
| 17 | 14447600 | 2495.1 | 2106.3 | 4.62187E+13 | 1.50218E+11 | 2245.1 | 10 | 2500000 | 2 | 106500000 | -7.37147 | -9.64655 | 8.14337 | 8.10945 | -6.94579 | -8.30857 | -6.07389 | OK | OK |
| 16 | 13531800 | 2293.7 | 2041.5 | 3.92624E+13 | 1.14648E+11 | 2018.7 | 10 | 2500000 | 2 | 93000000 | -6.8727 | -8.44686 | 7.5181 | 6.69771 | -5.96127 | -8.62185 | -5.31587 | OK | OK |
| 15 | 12684000 | 2106.9 | 1986.3 | 3.34025E+13 | 84494325000 | 1806.9 | 10 | 2500000 | 2 | 80000000 | -6.30716 | -7.23338 | 6.81934 | 5.32957 | -5.02451 | -8.21096 | -4.51233 | OK | OK |
| 14 | 11907100 | 1934.8 | 1914.2 | 2.84862E+13 | 59417605000 | 1609.8 | 10 | 2500000 | 2 | 67000000 | -5.62689 | -6.05217 | 5.98774 | 4.03568 | -3.99271 | -7.64339 | -3.63187 | OK | OK |
| 13 | 11208000 | 1778.8 | 1902.5 | 2.44054E+13 | 39107585000 | 1403.8 | 10 | 2500000 | 2 | 57000000 | -5.08565 | -4.9392 | 5.28268 | 2.85037 | -3.04859 | -7.17448 | -2.85156 | OK | OK |
| 12 | 10734900 | 1672.2 | 1879.6 | 2.18179E+13 | 26840700000 | 1247.2 | 10 | 2500000 | 2 | 47000000 | -4.37824 | -3.93705 | 4.42536 | 2.05716 | -2.31231 | -6.25813 | -2.2652 | OK | OK |
| 11 | 10309100 | 1575.5 | 1860.6 | 1.96024E+13 | 16990492500 | 1075.5 | 10 | 2500000 | 2 | 37000000 | -3.58906 | -2.87682 | 3.39741 | 1.36557 | -1.61269 | -5.10031 | -1.80434 | OK | OK |
| 10 | 9929800 | 1488.4 | 1845.4 | 1.7715E+13 | 9461070000 | 913.4 | 10 | 2500000 | 2 | 29000000 | -2.9205 | -2.0239 | 2.50935 | 0.79491 | -0.96557 | -4.1495 | -1.39673 | OK | OK |
| 9 | 9599000 | 1411.7 | 1833.5 | 1.6133E+13 | 4167213750 | 761.7 | 10 | 2500000 | 2 | 21000000 | -2.18773 | -1.29468 | 1.68152 | 0.36465 | -0.4736 | -3.1176 | -0.97981 | OK | OK |
| 8 | 9318200 | 1345.9 | 1824.4 | 1.48935E+13 | 1034606250 | 620.9 | 10 | 2500000 | 2 | 13000000 | -1.39512 | -0.69601 | 0.94346 | 0.09386 | -0.12723 | -1.99726 | -0.5789 | OK | OK |
| 7 | 9086000 | 1291.3 | 1817.7 | 1.37959E+13 | 0 | 491.3 | 10 | 2500000 | 2 | 5000000 | -0.5503 | -0.22993 | 0.32366 | 0 | 0 | -0.78023 | -0.22664 | OK | OK |



Gambar 5.18 letak tendon pada pemasangan box girder nomor 7

Tabel 5.19 Perhitungan Pemasangan Tendon pada Box Girder 6.

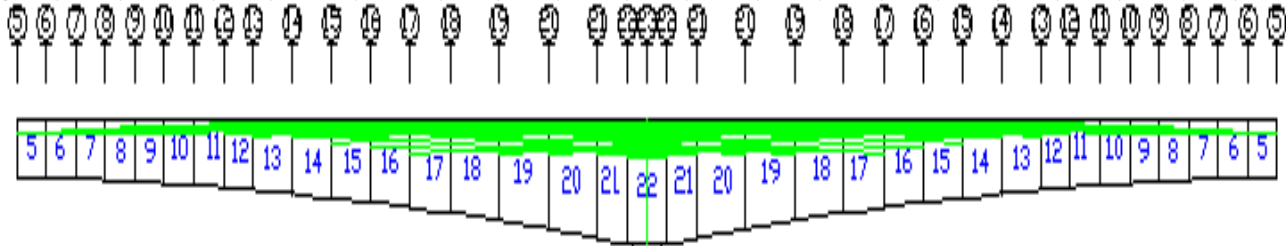
| joint | A (mm ²) | ya (mm) | yb (mm) | l (mm ²) | Mg (Nmm) | e (mm) | Jenis Tendon | F (N) sesuai VSL | Jumlah Tendon | F (N) kumulatif | F/A (Mpa) | F.e.yil (Mpa) | | Mg.yil (Mpa) | | Resultant (Mpa) | | Kondisi | |
|-------|----------------------|---------|---------|----------------------|-------------|---------|--------------|------------------|---------------|-----------------|-----------|---------------|---------|--------------|----------|-----------------|----------|---------|-------|
| | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| 23 | 42606800 | 3009.36 | 3490.64 | 1.82696E+14 | 5.40796E+11 | 2859.36 | 10 | 2500000 | 2 | 243500000 | -5.71505 | -6.45131 | 7.48305 | 8.90796 | -10.3326 | -3.2584 | -8.56459 | OK | OK |
| 22 | 38848800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.76569E+14 | 4.93064E+11 | 2899.7 | 10 | 2500000 | 2 | 243500000 | -6.26789 | -6.86586 | 7.76774 | 8.61982 | -9.75209 | -4.51934 | -8.25224 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.00016E+14 | 4.41913E+11 | 3493.9 | 10 | 2500000 | 2 | 216000000 | -11.0362 | -18.3561 | 12.8672 | 16.093 | -11.2809 | -13.2993 | -9.44979 | OK | OK |
| 20 | 18118200 | 3311.7 | 2412.9 | 8.18318E+13 | 3.56302E+11 | 3161.7 | 10 | 2500000 | 2 | 188500000 | -10.4039 | -15.9619 | 11.6298 | 14.4194 | -10.506 | -11.9464 | -3.28001 | OK | OK |
| 19 | 16733600 | 3049.7 | 2288.83 | 6.67978E+13 | 2.82021E+11 | 2899.7 | 10 | 2500000 | 2 | 161000000 | -9.62136 | -14.166 | 10.6566 | 12.8753 | -9.66347 | -10.9115 | -8.62823 | OK | OK |
| 18 | 15428500 | 2711.3 | 2181.1 | 5.45E+13 | 2.18204E+11 | 2536.3 | 10 | 2500000 | 2 | 133500000 | -8.65282 | -11.7052 | 9.41624 | 10.8648 | -8.74015 | -9.49326 | -7.97673 | OK | OK |
| 17 | 14447600 | 2495.1 | 2106.3 | 4.62187E+13 | 1.74155E+11 | 2295.1 | 10 | 2500000 | 2 | 111500000 | -7.71754 | -10.2661 | 8.66634 | 9.40169 | -7.93667 | -8.5819 | -6.98788 | OK | OK |
| 16 | 13531800 | 2293.7 | 2041.5 | 3.92624E+13 | 1.35888E+11 | 2068.7 | 10 | 2500000 | 2 | 98000000 | -7.2422 | -9.05113 | 8.05932 | 7.93855 | -7.06568 | -8.35478 | -6.25195 | OK | OK |
| 15 | 12684000 | 2106.9 | 1986.3 | 3.34025E+13 | 1.03037E+11 | 1856.9 | 10 | 2500000 | 2 | 85000000 | -6.70136 | -7.81901 | 7.37145 | 6.49919 | -6.12717 | -8.02118 | -5.45708 | OK | OK |
| 14 | 11907100 | 1934.8 | 1914.2 | 2.84862E+13 | 75263361250 | 1653.8 | 10 | 2500000 | 2 | 72000000 | -6.04681 | -6.61585 | 6.54541 | 5.11193 | -5.05751 | -7.55073 | -4.55891 | OK | OK |
| 13 | 11208000 | 1778.8 | 1902.5 | 2.44054E+13 | 52256171250 | 1478.8 | 10 | 2500000 | 2 | 62000000 | -5.53176 | -5.47812 | 5.85907 | 3.80872 | -4.07358 | -7.20116 | -3.74627 | OK | OK |
| 12 | 10734900 | 1672.2 | 1879.6 | 2.18179E+13 | 37966443750 | 1347.2 | 10 | 2500000 | 2 | 52000000 | -4.84401 | -4.45332 | 5.00566 | 2.90988 | -3.27079 | -6.38746 | -3.10914 | OK | OK |
| 11 | 10309100 | 1575.5 | 1860.6 | 1.96024E+13 | 26093373750 | 1200.5 | 10 | 2500000 | 2 | 42000000 | -4.07407 | -3.35926 | 3.96715 | 2.0972 | -2.4767 | -5.33613 | -2.58363 | OK | OK |
| 10 | 9929800 | 1488.4 | 1845.4 | 1.7715E+13 | 18541088750 | 1063.4 | 10 | 2500000 | 2 | 34000000 | -3.42404 | -2.47063 | 3.06323 | 1.38977 | -1.72311 | -4.5049 | -2.08392 | OK | OK |
| 9 | 9599000 | 1411.7 | 1833.5 | 1.6133E+13 | 9224370000 | 911.7 | 10 | 2500000 | 2 | 26000000 | -2.70862 | -1.69357 | 2.19959 | 0.80717 | -1.04834 | -3.95501 | -1.55737 | OK | OK |
| 8 | 9318200 | 1345.9 | 1824.4 | 1.48351E+13 | 4068900000 | 770.9 | 10 | 2500000 | 2 | 18000000 | -1.9317 | -1.0457 | 1.41748 | 0.36915 | -0.50039 | -2.60826 | -1.01462 | OK | OK |
| 7 | 9086000 | 1291.3 | 1817.7 | 1.37959E+13 | 1011431250 | 641.3 | 10 | 2500000 | 2 | 10000000 | -1.10059 | -0.53006 | 0.74614 | 0.09467 | -0.13326 | -1.53598 | -0.48772 | OK | OK |
| 6 | 8906800 | 1248.3 | 1814.8 | 1.30047E+13 | 0 | 523.3 | 10 | 2500000 | 2 | 5000000 | -0.56137 | -0.25115 | 0.36513 | 0 | 0 | -0.81252 | -0.19624 | OK | OK |



Gambar 5.19 letak tendon pada pemasangan box girder nomor 6

Tabel 5.20 Perhitungan Pemasangan Tendon pada Box Girder 5.

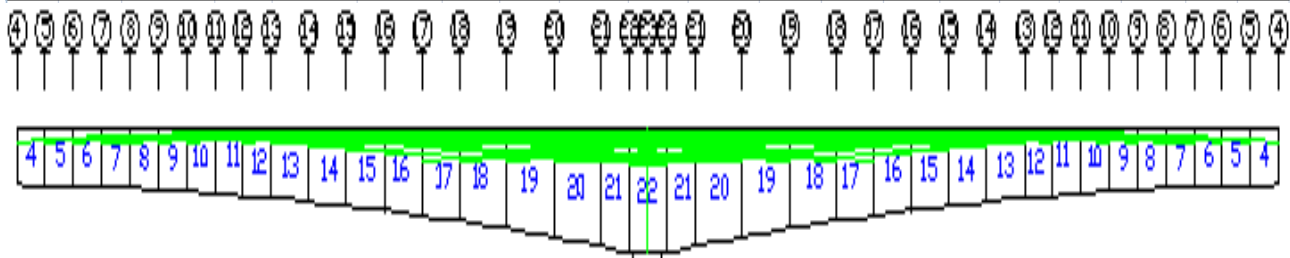
| joint | A (mm ²) | ya (mm) | yb (mm) | l (mm ²) | Mg (Nmm) | e (mm) | Jenis Tendon | F (N) sesuai VSL | Jumlah Tendon | F (N) kumulatif | F/A (Mpa) | F.e.yll (Mpa) | | Mg.yll (Mpa) | | Resultant (Mpa) | | Kondisi | |
|-------|----------------------|---------|---------|----------------------|--------------|---------|--------------|------------------|---------------|-----------------|-----------|---------------|---------|--------------|----------|-----------------|----------|---------|-------|
| | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| 23 | 42606800 | 3009.36 | 3490.64 | 1.82696E+14 | 5.82212E+11 | 2859.36 | 8 | 2000000 | 2 | 247500000 | -5.80893 | -6.63371 | 7.70158 | 9.59017 | -11.1239 | -2.85847 | -3.23126 | OK | OK |
| 22 | 38848800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.76569E+14 | 5.39155E+11 | 2899.7 | 8 | 2000000 | 2 | 247500000 | -6.37085 | -7.0662 | 7.99439 | 9.31227 | -10.5355 | -4.12478 | -8.9196 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.00061E+14 | 4.80016E+11 | 3493.9 | 8 | 2000000 | 2 | 220000000 | -11.2405 | -18.865 | 13.224 | 17.4806 | -12.2535 | -12.625 | -10.2701 | OK | OK |
| 20 | 1818200 | 3311.7 | 2412.9 | 8.18318E+13 | 3.91092E+11 | 3161.7 | 8 | 2000000 | 2 | 192500000 | -10.6247 | -16.4737 | 12.0027 | 15.8273 | -11.5318 | -11.2711 | -10.1537 | OK | OK |
| 19 | 16733600 | 3049.7 | 2288.83 | 6.67978E+13 | 3.13497E+11 | 2899.7 | 8 | 2000000 | 2 | 165000000 | -9.8604 | -14.6955 | 11.054 | 14.3129 | -10.742 | -10.243 | -9.54838 | OK | OK |
| 18 | 15428500 | 2711.3 | 2181.1 | 5.45E+13 | 2.46368E+11 | 2561.3 | 8 | 2000000 | 2 | 137500000 | -8.91208 | -12.2153 | 9.82661 | 12.2671 | -9.86822 | -8.86035 | -8.95369 | OK | OK |
| 17 | 14447600 | 2495.1 | 2106.3 | 4.62187E+13 | 1.99667E+11 | 2345.1 | 8 | 2000000 | 2 | 115500000 | -7.99441 | -10.7724 | 9.09383 | 10.779 | -9.09934 | -7.98788 | -7.99992 | OK | OK |
| 16 | 13531800 | 2293.7 | 2041.5 | 3.92624E+13 | 1.5875E+11 | 2181.7 | 8 | 2000000 | 2 | 102000000 | -7.5378 | -9.54622 | 8.49658 | 9.27413 | -8.25441 | -7.80989 | -7.29563 | OK | OK |
| 15 | 12684000 | 2106.9 | 1986.3 | 3.34025E+13 | 1.23248E+11 | 1906.9 | 8 | 2000000 | 2 | 89000000 | -7.01671 | -8.30013 | 7.82503 | 7.77403 | -7.32904 | -7.54281 | -6.52073 | OK | OK |
| 14 | 11907100 | 1934.8 | 1914.2 | 2.84862E+13 | 9.2823917500 | 1709.8 | 8 | 2000000 | 2 | 76000000 | -6.38275 | -7.08037 | 7.00498 | 6.30466 | -6.23753 | -7.15846 | -5.61529 | OK | OK |
| 13 | 11208000 | 1778.8 | 1902.5 | 2.44054E+13 | 67166077500 | 1528.8 | 8 | 2000000 | 2 | 66000000 | -5.88865 | -5.92383 | 6.33578 | 4.89543 | -5.23587 | -6.91705 | -4.78874 | OK | OK |
| 12 | 10734900 | 1672.2 | 1879.6 | 2.18179E+13 | 50888362500 | 1397.2 | 8 | 2000000 | 2 | 56000000 | -5.21663 | -4.88167 | 5.48713 | 3.90026 | -4.384 | -6.19804 | -4.1135 | OK | OK |
| 11 | 10309100 | 1575.5 | 1860.6 | 1.96024E+13 | 37027305000 | 1275.5 | 8 | 2000000 | 2 | 46000000 | -4.46208 | -3.76932 | 4.45142 | 2.97599 | -3.51452 | -5.25541 | -3.52518 | OK | OK |
| 10 | 9929800 | 1488.4 | 1845.4 | 1.7715E+13 | 25487032500 | 1138.4 | 8 | 2000000 | 2 | 38000000 | -3.82686 | -2.65322 | 3.53758 | 2.1414 | -2.65503 | -4.53869 | -2.94431 | OK | OK |
| 9 | 9599000 | 1411.7 | 1833.5 | 1.6133E+13 | 16182326250 | 986.7 | 8 | 2000000 | 2 | 30000000 | -3.12533 | -2.03893 | 2.64814 | 1.41602 | -1.83911 | -3.74824 | -2.3163 | OK | OK |
| 8 | 9318200 | 1345.9 | 1824.4 | 1.48351E+13 | 9038868750 | 845.9 | 8 | 2000000 | 2 | 22000000 | -2.36097 | -1.35268 | 1.83359 | 0.82004 | -1.11159 | -2.89361 | -1.63897 | OK | OK |
| 7 | 9086000 | 1291.3 | 1817.7 | 1.37959E+13 | 3993412500 | 716.3 | 8 | 2000000 | 2 | 14000000 | -1.54083 | -0.79824 | 1.12365 | 0.37378 | -0.52616 | -1.96529 | -0.94334 | OK | OK |
| 6 | 8906800 | 1248.3 | 1814.8 | 1.30047E+13 | 993993750 | 598.3 | 8 | 2000000 | 2 | 9000000 | -1.01046 | -0.48087 | 0.6991 | 0.09541 | -0.13871 | -1.39593 | -0.45007 | OK | OK |
| 5 | 8777400 | 1217.3 | 1785.4 | 1.24464E+13 | 0 | 492.3 | 8 | 2000000 | 2 | 4000000 | -0.45572 | -0.19259 | 0.28248 | 0 | 0 | -0.64831 | -0.17324 | OK | OK |



Gambar 5.20 letak tendon pada pemasangan box girder nomor 5

Tabel 5.21 Perhitungan Pemasangan Tendon pada Box Girder 4.

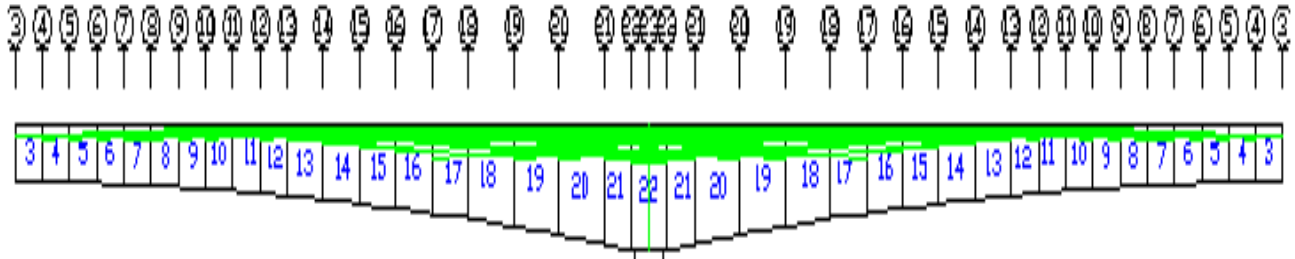
| joint | A (mm ²) | ya (mm) | yb (mm) | l (mm ²) | Mg (Nmm) | e (mm) | Jenis Tendon | F (N) sesuai VSL | Jumlah Tendon | F (N) kumulatif | F/A (Mpa) | F _e y/l (Mpa) | | M _g y/l (Mpa) | | Resultant (Mpa) | | Kondisi | |
|-------|----------------------|---------|---------|----------------------|-------------|---------|--------------|------------------|---------------|-----------------|-----------|--------------------------|---------|--------------------------|----------|-----------------|----------|---------|-------|
| | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| 23 | 42606800 | 3009.36 | 3490.64 | 1.62639E+14 | 6.25103E+11 | 2859.36 | 8 | 2000000 | 2 | 251500000 | -5.30281 | -6.8281 | 7.92011 | 10.2968 | -11.9435 | -2.43415 | -3.92621 | OK | OK |
| 22 | 39848800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.76569E+14 | 5.80742E+11 | 2899.7 | 8 | 2000000 | 2 | 251500000 | -6.47382 | -7.26653 | 8.22104 | 10.0306 | -11.9481 | -3.70979 | -9.60092 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.00061E+14 | 5.19638E+11 | 3493.9 | 8 | 2000000 | 2 | 224000000 | -11.4449 | -19.374 | 13.5808 | 18.9235 | -13.285 | -11.8954 | -11.1291 | OK | OK |
| 20 | 18118200 | 3311.7 | 2412.9 | 8.18318E+13 | 4.27439E+11 | 3161.7 | 8 | 2000000 | 2 | 196500000 | -10.8454 | -16.9856 | 12.3757 | 17.2983 | -12.6035 | -10.5327 | -11.0733 | OK | OK |
| 19 | 16733600 | 3049.7 | 2288.83 | 6.67978E+13 | 3.46571E+11 | 2899.7 | 8 | 2000000 | 2 | 169000000 | -10.0994 | -15.2251 | 11.4515 | 15.8229 | -11.8753 | -9.50159 | -10.5232 | OK | OK |
| 18 | 15428500 | 2711.3 | 2181.1 | 5.45E+13 | 2.76168E+11 | 2561.3 | 8 | 2000000 | 2 | 141500000 | -9.17134 | -12.7255 | 10.237 | 13.7508 | -11.0618 | -8.14601 | -9.99616 | OK | OK |
| 17 | 14447600 | 2495.1 | 2106.3 | 4.62187E+13 | 2.26846E+11 | 2345.1 | 8 | 2000000 | 2 | 119500000 | -8.27127 | -11.2788 | 9.52132 | 12.2462 | -10.338 | -7.30389 | -9.0879 | OK | OK |
| 16 | 13531800 | 2293.7 | 2041.5 | 3.92624E+13 | 1.83309E+11 | 2143.7 | 8 | 2000000 | 2 | 106000000 | -7.8334 | -10.0472 | 8.94244 | 10.7089 | -9.5314 | -7.17168 | -8.42236 | OK | OK |
| 15 | 12684000 | 2106.9 | 1986.3 | 3.34025E+13 | 1.45188E+11 | 1956.9 | 8 | 2000000 | 2 | 93000000 | -7.33207 | -8.79386 | 8.2905 | 9.1579 | -8.6337 | -6.96804 | -7.67527 | OK | OK |
| 14 | 11907100 | 1934.8 | 1914.2 | 2.84862E+13 | 1.12144E+11 | 1759.8 | 8 | 2000000 | 2 | 80000000 | -6.71868 | -7.55848 | 7.478 | 7.61688 | -7.53578 | -6.66027 | -6.77646 | OK | OK |
| 13 | 11208000 | 1778.8 | 1902.5 | 2.44054E+13 | 83868410000 | 1578.8 | 8 | 2000000 | 2 | 70000000 | -6.24554 | -6.38411 | 6.82807 | 6.11265 | -6.53773 | -6.51701 | -5.95519 | OK | OK |
| 12 | 10734900 | 1672.2 | 1879.6 | 2.18179E+13 | 65623950000 | 1447.2 | 8 | 2000000 | 2 | 60000000 | -5.58925 | -5.32534 | 5.96584 | 5.02965 | -5.65347 | -5.88494 | -5.25668 | OK | OK |
| 11 | 10309100 | 1575.5 | 1860.6 | 1.96024E+13 | 49798147500 | 1325.5 | 8 | 2000000 | 2 | 50000000 | -4.85008 | -4.19546 | 4.95466 | 4.00242 | -4.72669 | -5.04313 | -4.62211 | OK | OK |
| 10 | 9929800 | 1488.4 | 1845.4 | 1.7715E+13 | 36293130000 | 1188.4 | 8 | 2000000 | 2 | 42000000 | -4.22369 | -3.25262 | 4.03277 | 3.04932 | -3.78071 | -4.43299 | -3.97763 | OK | OK |
| 9 | 9599000 | 1411.7 | 1833.5 | 1.6133E+13 | 25023678750 | 1036.7 | 8 | 2000000 | 2 | 34000000 | -3.54204 | -2.40179 | 3.11942 | 2.18967 | -2.84392 | -3.75416 | -3.26654 | OK | OK |
| 8 | 9318200 | 1345.9 | 1824.4 | 1.48351E+13 | 15915476250 | 895.9 | 8 | 2000000 | 2 | 26000000 | -2.79024 | -1.6778 | 2.27429 | 1.44392 | -1.95726 | -3.02412 | -2.47321 | OK | OK |
| 7 | 9066000 | 1291.3 | 1817.7 | 1.37959E+13 | 8905275000 | 766.3 | 8 | 2000000 | 2 | 18000000 | -1.98107 | -1.08515 | 1.52751 | 0.83354 | -1.17333 | -2.23268 | -1.62689 | OK | OK |
| 6 | 8906800 | 1248.3 | 1814.8 | 1.30047E+13 | 3941111250 | 648.3 | 8 | 2000000 | 2 | 13000000 | -1.45956 | -0.72979 | 1.06098 | 0.3783 | -0.54998 | -1.81105 | -0.94856 | OK | OK |
| 5 | 8777400 | 1217.3 | 1785.4 | 1.24444E+13 | 982372500 | 542.3 | 8 | 2000000 | 2 | 8000000 | -0.91143 | -0.40475 | 0.59364 | 0.09608 | -0.14092 | -1.2201 | -0.45871 | OK | OK |
| 4 | 8693900 | 1198.6 | 1807.4 | 1.21153E+13 | 0 | 448.6 | 8 | 2000000 | 2 | 4000000 | -0.45978 | -0.17752 | 0.26763 | 0 | 0 | -0.6373 | -0.19208 | OK | OK |



Gambar 5.21 letak tendon pada pemasangan box girder nomor 4

Tabel 5.22 Perhitungan Pemasangan Tendon pada Box Girder 3.

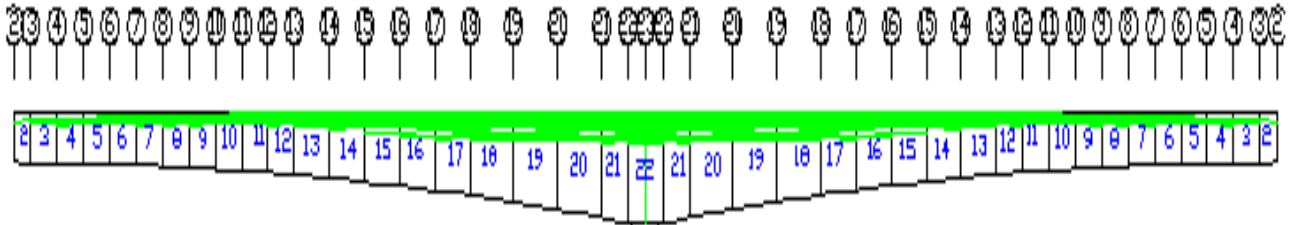
| joint | A (mm ²) | ya (mm) | yb (mm) | I (mm ⁴) | Mg (Nmm) | e (mm) | Jenis Tendon | F (N) sesuai VSL | Jumlah Tendon | F (N) kumulatif | F/A (Mpa) | F _e yll (Mpa) | | M _g yll (Mpa) | | Resultant (Mpa) | | Kondisi | |
|-------|----------------------|---------|---------|----------------------|-------------|---------|--------------|------------------|---------------|-----------------|-----------|--------------------------|---------|--------------------------|----------|-----------------|----------|---------|-------|
| | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| 23 | 42606800 | 3009.36 | 3490.64 | 1.82639E+14 | 6.70623E+11 | 2859.36 | 6 | 1500000 | 2 | 254500000 | -5.97322 | -6.9634 | 8.084 | 11.0466 | -12.8132 | -1.69605 | -10.7025 | OK | OK |
| 22 | 36949800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.76556E+14 | 6.24933E+11 | 2899.7 | 6 | 1500000 | 2 | 254500000 | -6.95104 | -7.41678 | 6.39103 | 10.7938 | -12.2117 | -3.17399 | -10.3717 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.00061E+14 | 5.61636E+11 | 3433.9 | 6 | 1500000 | 2 | 227000000 | -11.5362 | -19.7557 | 13.8463 | 20.4602 | -14.3422 | -10.6937 | -12.092 | OK | OK |
| 20 | 18186200 | 3311.7 | 2412.3 | 8.18318E+13 | 4.66314E+11 | 3161.7 | 6 | 1500000 | 2 | 199500000 | -11.011 | -17.3694 | 12.6553 | 18.8716 | -13.7498 | -9.50888 | -12.1055 | OK | OK |
| 19 | 16733600 | 3049.7 | 2288.83 | 6.67978E+13 | 3.82123E+11 | 2899.7 | 6 | 1500000 | 2 | 172000000 | -10.2787 | -15.6222 | 11.7495 | 17.4461 | -13.0935 | -8.45487 | -11.6227 | OK | OK |
| 18 | 15428500 | 2711.3 | 2161.1 | 5.45E+13 | 3.08396E+11 | 2561.3 | 6 | 1500000 | 2 | 144500000 | -9.36578 | -13.1081 | 10.5448 | 15.3556 | -12.3528 | -7.1828 | -11.1738 | OK | OK |
| 17 | 14447600 | 2495.1 | 2106.3 | 4.62187E+13 | 2.56418E+11 | 2345.1 | 6 | 1500000 | 2 | 122500000 | -8.47892 | -11.6586 | 9.84193 | 13.8426 | -11.6856 | -6.29433 | -10.3226 | OK | OK |
| 16 | 13531800 | 2293.7 | 2041.5 | 3.92624E+13 | 2.10223E+11 | 2143.7 | 6 | 1500000 | 2 | 109000000 | -8.0551 | -10.4229 | 9.27683 | 12.2812 | -10.9308 | -6.1968 | -9.70907 | OK | OK |
| 15 | 12684000 | 2106.9 | 1986.3 | 3.34025E+13 | 1.69443E+11 | 1956.9 | 6 | 1500000 | 2 | 96000000 | -7.56859 | -9.16417 | 8.6396 | 10.6878 | -10.0761 | -6.04432 | -9.00504 | OK | OK |
| 14 | 11907100 | 1934.8 | 1914.2 | 2.84862E+13 | 1.33741E+11 | 1784.8 | 6 | 1500000 | 2 | 83000000 | -6.97063 | -7.92215 | 7.8378 | 9.08378 | -8.98706 | -5.809 | -8.1989 | OK | OK |
| 13 | 11208000 | 1778.8 | 1902.5 | 2.44054E+13 | 1.02806E+11 | 1628.8 | 6 | 1500000 | 2 | 73000000 | -6.5132 | -6.74026 | 7.20899 | 7.49303 | -8.01411 | -5.76043 | -7.31832 | OK | OK |
| 12 | 10734900 | 1672.2 | 1879.6 | 2.18179E+13 | 82569465000 | 1497.2 | 6 | 1500000 | 2 | 63000000 | -5.86871 | -5.66959 | 6.37278 | 6.32841 | -7.11331 | -5.20989 | -6.60924 | OK | OK |
| 11 | 10309100 | 1575.5 | 1860.6 | 1.96024E+13 | 64750072500 | 1375.5 | 6 | 1500000 | 2 | 53000000 | -5.14109 | -4.52712 | 5.34634 | 5.20415 | -6.14588 | -4.46406 | -5.94063 | OK | OK |
| 10 | 9929800 | 1488.4 | 1845.4 | 1.7715E+13 | 49251465000 | 1263.4 | 6 | 1500000 | 2 | 45000000 | -4.53181 | -3.57107 | 4.42761 | 4.13807 | -5.1306 | -3.96481 | -5.23481 | OK | OK |
| 9 | 9539000 | 1411.7 | 1833.5 | 1.6133E+13 | 35988423750 | 1161.7 | 6 | 1500000 | 2 | 37000000 | -3.85457 | -2.70675 | 3.51549 | 3.14913 | -4.09005 | -3.41219 | -4.42912 | OK | OK |
| 8 | 9318200 | 1345.9 | 1824.4 | 1.48351E+13 | 24886631250 | 1045.9 | 6 | 1500000 | 2 | 29000000 | -3.11219 | -1.96246 | 2.66016 | 2.25782 | -3.06052 | -2.81683 | -3.51255 | OK | OK |
| 7 | 9068000 | 1291.3 | 1817.7 | 1.37939E+13 | 15882840000 | 916.3 | 6 | 1500000 | 2 | 21000000 | -2.31125 | -1.34244 | 1.88969 | 1.48664 | -2.09267 | -2.16705 | -2.51422 | OK | OK |
| 6 | 8906800 | 1248.3 | 1814.8 | 1.30047E+13 | 8925086250 | 798.3 | 6 | 1500000 | 2 | 16000000 | -1.79638 | -0.95967 | 1.39519 | 0.8567 | -1.24549 | -1.89935 | -1.64668 | OK | OK |
| 5 | 8777400 | 1217.3 | 1785.4 | 1.24464E+13 | 3972757500 | 692.3 | 6 | 1500000 | 2 | 11000000 | -1.25322 | -0.60788 | 0.89157 | 0.38855 | -0.56988 | -1.47255 | -0.93153 | OK | OK |
| 4 | 8693900 | 1198.6 | 1807.4 | 1.2153E+13 | 996795000 | 598.6 | 6 | 1500000 | 2 | 7000000 | -0.80461 | -0.35519 | 0.5356 | 0.09862 | -0.14871 | -1.0618 | -0.41771 | OK | OK |
| 3 | 8673000 | 1198.9 | 1801.1 | 1.20051E+13 | 0 | 523.9 | 6 | 1500000 | 2 | 3000000 | -0.3459 | -0.15696 | 0.2358 | 0 | 0 | -0.50286 | -0.1101 | OK | OK |



Gambar 5.22 letak tendon pada pemasangan box girder nomor 3

Tabel 5.23 Perhitungan Pemasangan Tendon pada Box Girder 2.

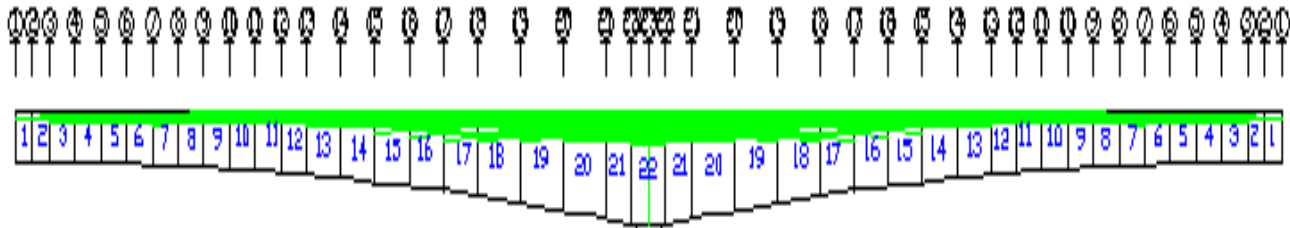
| joint | A (mm ²) | ya (mm) | yb (mm) | I (mm ⁴) | Mg (Nmm) | e (mm) | Jenis Tendon | F (N) sesuai VSL | Jumlah Tendon | F (N) kumulatif | F/A (Mpa) | F e _y /I (Mpa) | | Mg _y /I (Mpa) | | Resultant (Mpa) | | Kondisi | |
|-------|----------------------|---------|---------|----------------------|--------------|---------|--------------|------------------|---------------|-----------------|-----------|---------------------------|---------|--------------------------|----------|-----------------|----------|---------|-------|
| | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| 23 | 42606800 | 3009.36 | 3490.64 | 1.82696E+14 | 7.01432E+11 | 2859.36 | 6 | 1500000 | 2 | 257500000 | -6.04364 | -7.1107 | 8.2479 | 11.554 | -13.4018 | -1.60038 | -11.1975 | OK | OK |
| 22 | 36848600 | 3049.7 | 3450.3 | 1.78563E+14 | 6.54868E+11 | 2699.7 | 6 | 1500000 | 2 | 257500000 | -6.82826 | -7.56703 | 8.56102 | 11.3109 | -12.7966 | -2.68443 | -10.6639 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.00061E+14 | 5.30469E+11 | 3493.9 | 6 | 1500000 | 2 | 230000000 | -11.7515 | -20.1374 | 14.1159 | 21.5029 | -15.0731 | -10.366 | -12.7067 | OK | OK |
| 20 | 18116200 | 3311.7 | 2412.3 | 8.16318E+13 | 4.32779E+11 | 3161.7 | 6 | 1500000 | 2 | 202500000 | -11.1766 | -17.7533 | 12.935 | 19.9426 | -14.5301 | -8.98732 | -12.7717 | OK | OK |
| 19 | 16733600 | 3049.7 | 2268.83 | 6.67978E+13 | 4.06418E+11 | 2899.7 | 6 | 1500000 | 2 | 175000000 | -10.458 | -16.0194 | 12.0476 | 18.5553 | -13.9259 | -7.9221 | -12.3363 | OK | OK |
| 18 | 15428500 | 2711.3 | 2161.1 | 5.45E+13 | 3.30522E+11 | 2561.3 | 6 | 1500000 | 2 | 147500000 | -9.56023 | -13.4907 | 10.8525 | 16.4573 | -13.239 | -6.59364 | -11.9467 | OK | OK |
| 17 | 14447600 | 2495.1 | 2106.3 | 4.62187E+13 | 2.76808E+11 | 2345.1 | 6 | 1500000 | 2 | 125500000 | -8.68656 | -12.0384 | 10.1625 | 14.9434 | -12.6148 | -5.7816 | -11.1369 | OK | OK |
| 16 | 13531800 | 2293.7 | 2041.5 | 3.92624E+13 | 2.28878E+11 | 2143.7 | 6 | 1500000 | 2 | 112000000 | -8.2768 | -10.7966 | 9.61123 | 13.371 | -11.9006 | -5.70436 | -10.5664 | OK | OK |
| 15 | 12684000 | 2106.9 | 1986.3 | 3.34025E+13 | 1.86363E+11 | 1956.9 | 6 | 1500000 | 2 | 99000000 | -7.80511 | -9.53447 | 8.98871 | 11.7551 | -11.0822 | -5.58451 | -9.8986 | OK | OK |
| 14 | 11907100 | 1934.8 | 1914.2 | 2.84862E+13 | 1.48926E+11 | 1784.8 | 6 | 1500000 | 2 | 86000000 | -7.22258 | -8.28583 | 8.19761 | 10.1151 | -10.0074 | -5.39329 | -9.03239 | OK | OK |
| 13 | 11208000 | 1778.8 | 1902.5 | 2.44054E+13 | 1.16255E+11 | 1628.8 | 6 | 1500000 | 2 | 76000000 | -6.78087 | -7.09641 | 7.5899 | 8.47327 | -9.06251 | -5.40401 | -8.25348 | OK | OK |
| 12 | 10734900 | 1672.2 | 1873.6 | 2.18179E+13 | 9.47169E+10 | 1522.2 | 6 | 1500000 | 2 | 66000000 | -6.14817 | -6.0196 | 6.76619 | 7.25944 | -8.15982 | -4.90833 | -7.54179 | OK | OK |
| 11 | 10309100 | 1575.5 | 1860.6 | 1.96024E+13 | 7.5936072500 | 1425.5 | 6 | 1500000 | 2 | 56000000 | -5.43209 | -4.87083 | 5.75225 | 6.07587 | -7.17535 | -4.22706 | -6.85519 | OK | OK |
| 10 | 9929800 | 1488.4 | 1845.4 | 1.7715E+13 | 5.8795945000 | 1313.4 | 6 | 1500000 | 2 | 48000000 | -4.83393 | -3.90212 | 4.83806 | 4.93999 | -6.12487 | -3.79607 | -6.12074 | OK | OK |
| 9 | 9599000 | 1411.7 | 1833.5 | 1.6133E+13 | 4.4231383750 | 1211.7 | 6 | 1500000 | 2 | 40000000 | -4.1671 | -3.02483 | 3.92862 | 3.87042 | -5.02685 | -3.32152 | -5.26534 | OK | OK |
| 8 | 9318200 | 1345.9 | 1824.4 | 1.48351E+13 | 31828071250 | 1120.9 | 6 | 1500000 | 2 | 32000000 | -3.43414 | -2.26754 | 3.0737 | 2.88757 | -3.91417 | -2.81411 | -4.27461 | OK | OK |
| 7 | 9086000 | 1231.3 | 1817.7 | 1.37959E+13 | 21522760000 | 1041.3 | 6 | 1500000 | 2 | 24000000 | -2.64493 | -1.63484 | 2.30129 | 2.01454 | -2.83576 | -2.26173 | -3.1759 | OK | OK |
| 6 | 8906800 | 1248.3 | 1814.8 | 1.30047E+13 | 15263486250 | 948.3 | 6 | 1500000 | 2 | 19000000 | -2.1532 | -1.23275 | 1.93219 | 1.27314 | -1.85091 | -2.09281 | -2.19192 | OK | OK |
| 5 | 8777400 | 1217.3 | 1785.4 | 1.24464E+13 | 7009637500 | 842.3 | 6 | 1500000 | 2 | 14000000 | -1.59501 | -0.85502 | 1.25404 | 0.66557 | -1.00591 | -1.76446 | -1.34647 | OK | OK |
| 4 | 8699900 | 1198.6 | 1807.4 | 1.21153E+13 | 2732155000 | 748.6 | 6 | 1500000 | 2 | 10000000 | -1.14944 | -0.57737 | 0.87063 | 0.2703 | -0.40793 | -1.45651 | -0.6864 | OK | OK |
| 3 | 8673000 | 1198.9 | 1801.1 | 1.20051E+13 | 433840000 | 673.3 | 6 | 1500000 | 2 | 6000000 | -0.6918 | -0.35886 | 0.53911 | 0.04333 | -0.06509 | -1.00733 | -0.21778 | OK | OK |
| 2 | 8614000 | 1177.8 | 1786.2 | 1.16763E+13 | 0 | 602.8 | 6 | 1500000 | 2 | 3000000 | -0.34827 | -0.18242 | 0.27664 | 0 | 0 | -0.53069 | -0.07163 | OK | OK |



Gambar 5.23 letak tendon pada pemasangan box girder nomor 2

Tabel 5.24 Perhitungan Pemasangan Tendon pada Box Girder 1.

| joint | A (mm ²) | ya (mm) | yb (mm) | l (mm ²) | Mg (Nmm) | e (mm) | Jenis Tendon | F (N) sesuai VSL | Jumlah Tendon | F (N) kumulatif | F/A (Mpa) | F.e.yil (Mpa) | | Mg.yil (Mpa) | | Resultant (Mpa) | | Kondisi | |
|-------|----------------------|---------|---------|----------------------|-------------|---------|--------------|------------------|---------------|-----------------|-----------|---------------|---------|--------------|----------|-----------------|----------|---------|-------|
| | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| 23 | 42606800 | 3009.36 | 3490.64 | 1.82696E+14 | 7.33187E+11 | 2859.36 | 6 | 1500000 | 2 | 2605000000 | -6.11405 | -7.252 | 8.41179 | 12.077 | -14.0085 | -1.28902 | -11.7107 | OK | OK |
| 22 | 38948800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.76569E+14 | 6.85753E+11 | 2839.7 | 6 | 1500000 | 2 | 2605000000 | -6.70548 | -7.71728 | 8.731 | 11.8443 | -13.4001 | -2.57846 | -11.3746 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.00061E+14 | 6.20049E+11 | 3493.9 | 6 | 1500000 | 2 | 2300000000 | -11.9048 | -20.5191 | 14.3835 | 22.5801 | -15.8282 | -9.84374 | -13.3495 | OK | OK |
| 20 | 1818200 | 3311.7 | 2412.9 | 8.18318E+13 | 5.20184E+11 | 3161.7 | 6 | 1500000 | 2 | 2055000000 | -11.3422 | -18.1371 | 13.2147 | 21.0516 | -15.3382 | -8.42769 | -13.4657 | OK | OK |
| 19 | 16733600 | 3049.7 | 2288.83 | 6.67978E+13 | 4.31648E+11 | 2839.7 | 6 | 1500000 | 2 | 1780000000 | -10.6373 | -16.4186 | 12.3457 | 19.7072 | -14.7904 | -7.34685 | -13.082 | OK | OK |
| 18 | 15428500 | 2711.3 | 2181.1 | 5.45E+13 | 3.53577E+11 | 2561.3 | 6 | 1500000 | 2 | 1505000000 | -9.75467 | -13.8733 | 11.1603 | 17.6052 | -14.1625 | -6.02273 | -12.7568 | OK | OK |
| 17 | 14447600 | 2495.1 | 2106.3 | 4.82187E+13 | 2.98123E+11 | 2345.1 | 6 | 1500000 | 2 | 1285000000 | -8.89421 | -12.4182 | 10.4832 | 16.0941 | -13.5862 | -5.21836 | -11.9373 | OK | OK |
| 16 | 13531800 | 2293.7 | 2041.5 | 3.92624E+13 | 2.48453E+11 | 2143.7 | 6 | 1500000 | 2 | 1150000000 | -8.4985 | -11.1743 | 9.94562 | 14.5146 | -12.9186 | -5.5822 | -11.4715 | OK | OK |
| 15 | 12684000 | 2106.9 | 1966.3 | 3.34025E+13 | 2.04198E+11 | 1956.9 | 6 | 1500000 | 2 | 1020000000 | -8.04163 | -9.30477 | 9.33781 | 12.88 | -12.1428 | -5.06637 | -10.8466 | OK | OK |
| 14 | 11907100 | 1934.8 | 1914.2 | 2.84862E+13 | 1.65021E+11 | 1784.8 | 6 | 1500000 | 2 | 890000000 | -7.47453 | -8.6495 | 8.55741 | 11.2083 | -11.089 | -4.91574 | -10.0061 | OK | OK |
| 13 | 11208000 | 1778.8 | 1902.5 | 2.44054E+13 | 1.3061E+11 | 1628.8 | 6 | 1500000 | 2 | 790000000 | -7.04854 | -7.45256 | 7.97082 | 9.51854 | -10.1815 | -4.38155 | -3.25926 | OK | OK |
| 12 | 10734900 | 1672.2 | 1873.6 | 2.18179E+13 | 1.07767E+11 | 1522.2 | 6 | 1500000 | 2 | 690000000 | -6.42763 | -6.3696 | 7.1596 | 8.25964 | -3.28406 | -4.53759 | -8.55209 | OK | OK |
| 11 | 10309100 | 1575.5 | 1860.6 | 1.96024E+13 | 87341059000 | 1425.5 | 6 | 1500000 | 2 | 590000000 | -5.7231 | -5.21455 | 6.15816 | 7.01905 | -8.29015 | -3.9178 | -7.85508 | OK | OK |
| 10 | 9929800 | 1488.4 | 1845.4 | 1.7715E+13 | 69235933000 | 1338.4 | 6 | 1500000 | 2 | 510000000 | -5.13606 | -4.23947 | 5.25633 | 5.81715 | -7.21242 | -3.55836 | -7.09214 | OK | OK |
| 9 | 9599000 | 1411.7 | 1833.5 | 1.6133E+13 | 53366373250 | 1261.7 | 6 | 1500000 | 2 | 430000000 | -4.47963 | -3.35604 | 4.35879 | 4.66976 | -6.06504 | -3.16591 | -6.1858 | OK | OK |
| 8 | 9318200 | 1345.9 | 1824.4 | 1.48351E+13 | 39658062250 | 1170.9 | 6 | 1500000 | 2 | 350000000 | -3.75609 | -2.58622 | 3.50569 | 3.57994 | -4.87709 | -2.74438 | -5.12749 | OK | OK |
| 7 | 9086000 | 1291.3 | 1817.7 | 1.37959E+13 | 28047752500 | 1091.3 | 6 | 1500000 | 2 | 270000000 | -2.9716 | -1.94128 | 2.73264 | 2.62528 | -3.89547 | -2.28761 | -3.93444 | OK | OK |
| 6 | 8906800 | 1248.3 | 1814.8 | 1.30047E+13 | 18483480250 | 1023.3 | 6 | 1500000 | 2 | 220000000 | -2.47002 | -1.52742 | 2.2206 | 1.7742 | -2.57936 | -2.22325 | -2.82879 | OK | OK |
| 5 | 8777400 | 1217.3 | 1785.4 | 1.24484E+13 | 10924633000 | 967.3 | 6 | 1500000 | 2 | 170000000 | -1.93679 | -1.13883 | 1.67031 | 1.06847 | -1.56711 | -2.00716 | -1.83359 | OK | OK |
| 4 | 8699900 | 1198.6 | 1807.4 | 1.21153E+13 | 5342152000 | 898.6 | 6 | 1500000 | 2 | 130000000 | -1.49427 | -0.84407 | 1.2728 | 0.52851 | -0.79696 | -1.80983 | -1.01843 | OK | OK |
| 3 | 8673000 | 1198.3 | 1801.1 | 1.20051E+13 | 1738838500 | 823.3 | 6 | 1500000 | 2 | 90000000 | -1.0377 | -0.6057 | 0.90993 | 0.17365 | -0.26087 | -1.46978 | -0.38864 | OK | OK |
| 2 | 8614000 | 1177.8 | 1786.2 | 1.18763E+13 | 434999500 | 752.8 | 6 | 1500000 | 2 | 60000000 | -0.89654 | -0.41022 | 0.62213 | 0.04388 | -0.06654 | -1.06289 | -0.14096 | OK | OK |
| 1 | 8616000 | 1166.5 | 1763.5 | 1.14241E+13 | 0 | 691.5 | 6 | 1500000 | 2 | 30000000 | -0.34819 | -0.21182 | 0.32132 | 0 | 0 | -0.56001 | -0.02687 | OK | OK |



Gambar 5.24 letak tendon pada pemasangan box girder nomor 1

5.6.2. Perencanaan tendon bentang tengah (Tahap 2).

Pada tahap 2 ini tendon tengah dipasang dan di jacking setelah box girder pada tengah bentang telah dicor dan mengeras sehingga struktur telah menjadi statis tak tentu. Perencanaan tendon untuk bentang tengah ini diletakkan di bawah c.g.c guna untuk menahan momen positif yang diakibatkan dari beban hidup.

Berikut adalah langkah-langkah perhitungannya :

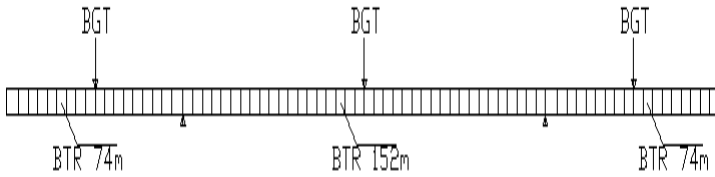
1. Hitung momen akibat beban mati tambahan yang bekerja pada jembatan :
 - Perhitungan beban mati
 - Berat lapisan aspal = 52,8 kN/m
 - Berat air hujan = 6,86 kN/m
 - Berat pembatas = 21,6 kN/m +
 - $q_1 = \frac{81,26 \text{ kN/m}}{1} = 81,26 \text{ N/mm}$
 - Berat closeure (q_2) = 184,29 N/mm

2. Hitung Beban lalu lintas :
 - BTR_{74m} = 136,605 kN/m
 - BTR_{152 m} = 116,38 kN/m
 - BGT = 588 kN
 - Beban Truk = 273,375 kN

Karena BGT lebih besar daripada beban truk maka pada pembebanannya digunakan BGT karena yang lebih menentukan.

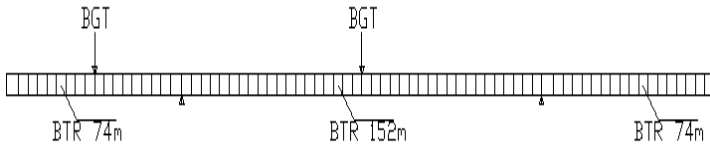
3. Merencanakan kombinasi beban yang mungkin terjadi pada jembatan dengan menggunakan beban BTR dan BGT. Berikut adalah macam kombinasi yang mungkin terjadi pada jembatan :

- Kombinasi 1 :



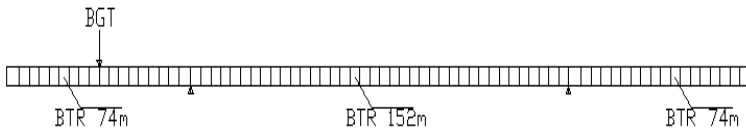
Gambar 5.25 letak letak pembebanan BTR dan BGT pada kombinasi 1.

- Kombinasi 2 :



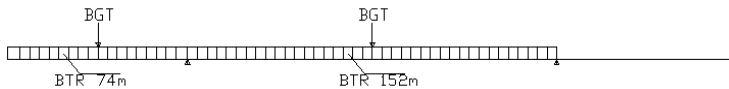
Gambar 5.26 letak letak pembebanan BTR dan BGT pada kombinasi 2.

- Kombinasi 3:



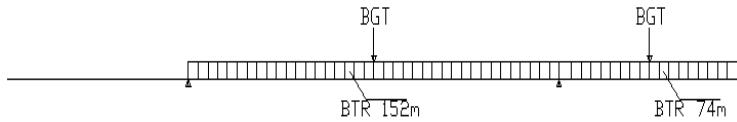
Gambar 5.27 letak letak pembebanan BTR dan BGT pada kombinasi 3.

- Kombinasi 4 :



Gambar 5.28 letak letak pembebanan BTR dan BGT pada kombinasi 4 .

- Kombinasi 4':



Gambar 5.29 letak letak pembebanan BTR dan BGT pada kombinasi 4' .

- Kombinasi 5:



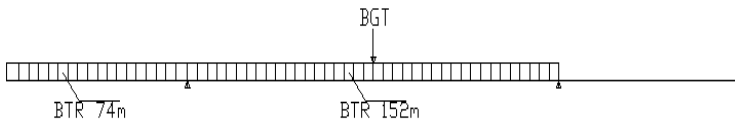
Gambar 5.30 letak letak pembebanan BTR dan BGT pada kombinasi 5 .

- Kombinasi 5' :



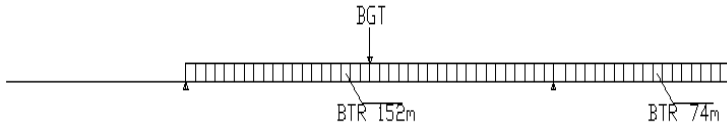
Gambar 5.31 letak letak pembebanan BTR dan BGT pada kombinasi 5' .

- Kombinasi 6 :



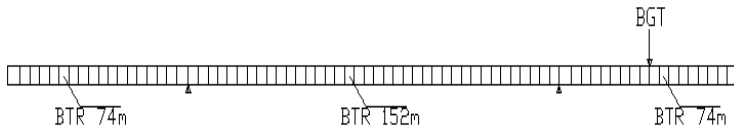
Gambar 5.32 letak letak pembebanan BTR dan BGT pada kombinasi 6.

- Kombinasi 6':



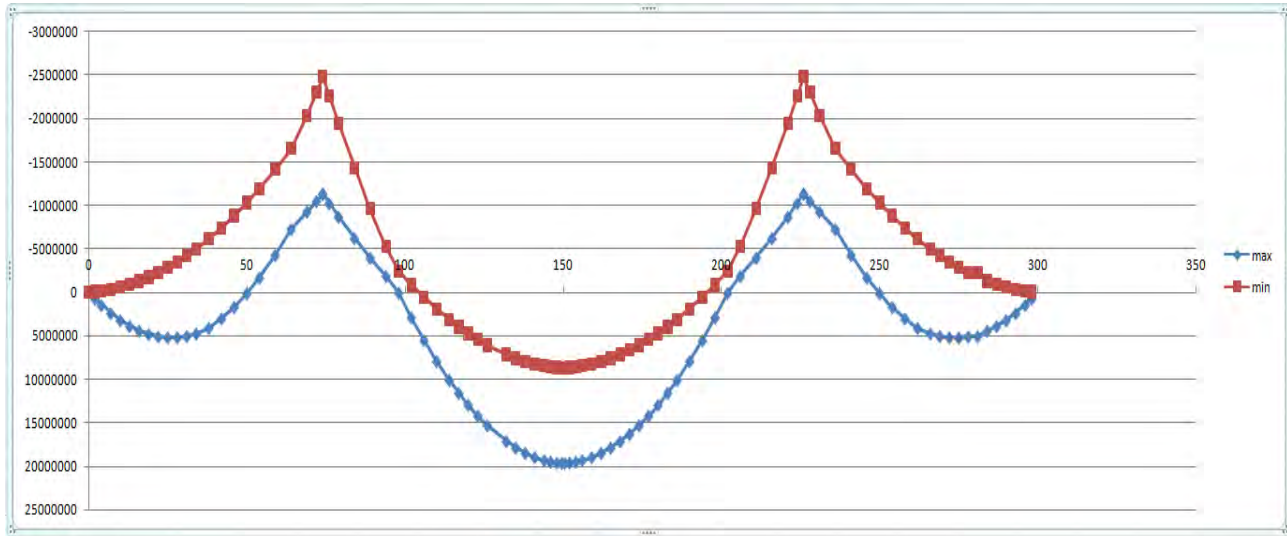
Gambar 5.33 letak letak pembebanan BTR dan BGT pada kombinasi 6'.

- Kombinasi 7 :



Gambar 5.34 letak letak pembebanan BTR dan BGT pada kombinasi 7.

Dari kombinasi diatas dengan menggunakan program SAP 2000 didapatkan momen envelope dari kombinasi-kombinasi tersebut. Berikut adalah grafik momen envelope:



Gambar 5.35 momen envelope yang terjadi akibat kombinasi beban BTR dan BGT.

4. Dari hasil momen envelope diatas, direncanakan gaya pratekan dan jenis tendon untuk memikul momen positif maksimum yang terjadi :

Tabel 5.25 Perhitungan Tendon akibat momen envelope min (atas) yang terjadi dibentang tepi.

| joint | A(mm ²) | ya (mm) | yb (mm) | I (mm ⁴) | Mg (Nmm) | e (mm) | F (N) | Jenis Tendon | F (N) sesuai VSL | Jumlah Tendon | F (N) kumulatif | F/A (Mpa) | F.e.yil (Mpa) | | Mg.yil (Mpa) | | Resultant (Mpa) | | Kondisi | |
|-------|---------------------|---------|---------|----------------------|-------------|--------|-----------|--------------|------------------|---------------|-----------------|-----------|---------------|--------|--------------|--------|-----------------|--------|---------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| 23 | 42606800 | 3009.4 | 3490.64 | 1.827E+14 | 4.38692E+11 | 2859.4 | 127996149 | 35 | 8750000 | 8 | 335500000 | -7.874 | -10.78 | 12.509 | 7.2261 | -8.382 | -0.031 | -16.97 | OK | OK |
| 22 | 38848800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.766E+14 | 4.15283E+11 | 2899.7 | 118246365 | 35 | 8750000 | 8 | 335500000 | -8.636 | -11.47 | 12.981 | 7.1728 | -8.115 | -1.779 | -16.39 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.001E+14 | 3.81311E+11 | 3493.9 | 97334323 | 35 | 8750000 | 4 | 273000000 | -13.95 | -25.61 | 17.951 | 13.886 | -9.734 | -4.429 | -20.62 | OK | OK |
| 20 | 18118200 | 3311.7 | 2412.9 | 8.183E+13 | 3.27733E+11 | 3161.7 | 90523579 | 35 | 8750000 | 4 | 245500000 | -13.55 | -23.26 | 16.944 | 13.263 | -9.664 | -3.74 | -20.77 | OK | OK |
| 19 | 16733600 | 3049.7 | 2181.1 | 6.68E+13 | 2.77958E+11 | 2899.7 | 82139327 | 35 | 8750000 | 4 | 218000000 | -13.03 | -21.71 | 16.133 | 12.69 | -9.076 | -3.518 | -19.88 | OK | OK |
| 18 | 15428500 | 2495.1 | 2106.3 | 5.445E+13 | 2.31985E+11 | 2345.1 | 79516270 | 35 | 8750000 | 4 | 190500000 | -12.35 | -18.17 | 14.789 | 10.63 | -8.973 | -3.333 | -19.95 | OK | OK |
| 17 | 14447600 | 2495.1 | 2106.3 | 4.622E+13 | 1.97946E+11 | 2345.1 | 68215146 | 35 | 8750000 | 4 | 168500000 | -11.66 | -17.48 | 14.758 | 10.686 | -9.021 | -3.327 | -18.77 | OK | OK |
| 16 | 13531800 | 2293.7 | 2041.5 | 3.926E+13 | 1.6634E+11 | 2143.7 | 60998758 | 35 | 8750000 | 2 | 137500000 | -10.16 | -13.99 | 12.454 | 9.7176 | -8.649 | -0.795 | -18.57 | OK | OK |
| 15 | 12684000 | 2106.9 | 1886.3 | 3.34E+13 | 1.37169E+11 | 1956.9 | 53467724 | 35 | 8750000 | 2 | 124500000 | -9.816 | -12.68 | 11.956 | 8.6521 | -8.157 | -1.741 | -17.43 | OK | OK |
| 14 | 11907100 | 1934.8 | 1914.2 | 2.849E+13 | 1.10431E+11 | 1784.8 | 42147640 | 35 | 8750000 | 2 | 111500000 | -9.364 | -11.38 | 11.256 | 7.5005 | -7.421 | -2.713 | -15.94 | OK | OK |
| 13 | 11208000 | 1778.8 | 1902.5 | 2.441E+13 | 87925929400 | 1628.8 | 38524279 | 0 | | 0 | 84000000 | -7.495 | -8.046 | 8.6057 | 6.4085 | -8.654 | -0.196 | -15.37 | OK | OK |
| 12 | 10734900 | 1672.2 | 1879.6 | 2.182E+13 | 73094133000 | 1522.2 | 33374842 | 0 | | 0 | 74000000 | -6.893 | -6.953 | 7.8163 | 5.6022 | -6.297 | -0.495 | -14.08 | OK | OK |
| 11 | 10309100 | 1575.5 | 1860.6 | 1.96E+13 | 59631426100 | 1425.5 | 28316129 | 0 | | 0 | 64000000 | -6.208 | -5.787 | 6.8347 | 4.7927 | -5.66 | -0.618 | -12.81 | OK | OK |
| 10 | 9929800 | 1488.4 | 1845.4 | 1.772E+13 | 47537807800 | 1338.4 | 23422083 | 0 | | 0 | 56000000 | -5.64 | -4.802 | 5.9534 | 3.9941 | -4.952 | -0.993 | -11.41 | OK | OK |
| 9 | 9599000 | 1411.7 | 1833.5 | 1.613E+13 | 36813278400 | 1261.7 | 18765071 | 0 | | 0 | 48000000 | -5.001 | -3.908 | 5.0757 | 3.2213 | -4.184 | -1.312 | -9.791 | OK | OK |
| 8 | 9318200 | 1345.9 | 1824.4 | 1.484E+13 | 27457837800 | 1195.9 | 14428447 | 0 | | 0 | 40000000 | -4.293 | -3.129 | 4.241 | 2.4911 | -3.377 | -1.562 | -7.995 | OK | OK |
| 7 | 9086000 | 1291.3 | 1817.7 | 1.38E+13 | 19471486100 | 1141.3 | 10504028 | 0 | | 0 | 32000000 | -3.522 | -2.475 | 3.4845 | 1.8225 | -2.565 | -1.719 | -6.06 | OK | OK |
| 6 | 8906800 | 1248.3 | 1814.8 | 1.3E+13 | 12854223200 | 1098.3 | 7084883.3 | 0 | | 0 | 27000000 | -3.031 | -2.055 | 2.9869 | 1.2339 | -1.794 | -2.194 | -4.248 | OK | OK |
| 5 | 8777400 | 1217.3 | 1785.4 | 1.245E+13 | 7606049300 | 1067.3 | 42593216 | 0 | | 0 | 22000000 | -2.506 | -1.661 | 2.4358 | 0.7439 | -1.091 | -2.426 | -2.625 | OK | OK |
| 4 | 8699900 | 1198.6 | 1807.4 | 1.212E+13 | 3726964100 | 1048.6 | 2107593.5 | 0 | | 0 | 18000000 | -2.069 | -1.363 | 2.055 | 0.3687 | -0.556 | -2.57 | -1.314 | OK | OK |
| 3 | 8673000 | 1198.9 | 1801.1 | 1.201E+13 | 1216967900 | 1048.9 | 688100.43 | 0 | | 0 | 14000000 | -1.614 | -1.104 | 1.6592 | 0.1215 | -0.183 | -2.435 | -0.381 | OK | OK |
| 2 | 8614000 | 1177.8 | 1786.2 | 1.168E+13 | 304242000 | 1027.8 | 174556.64 | 0 | | 0 | 11000000 | -1.277 | -0.878 | 1.3318 | 0.0307 | -0.047 | -2.083 | -0.054 | OK | OK |
| 1 | 8616000 | 1166.5 | 1789.5 | 1.142E+13 | 0.00003657 | 1016.5 | 5.606E-08 | 0 | | 0 | 8000000 | -0.929 | -0.654 | 0.9324 | 1E-14 | -1E-14 | -1.583 | -0.064 | OK | OK |

(asumsi : (-) pada kolom momen menandakan momen positif, (+) momen negatif)

Tabel 5.26 Perhitungan Tendon akibat momen envelope min (atas) yang terjadi dibentang tengah.

| joint | A (mm ²) | ya (mm) | yb (mm) | I (mm ⁴) | Mg (Nmm) | e (mm) | F (N) | Jenis Tendor | F (N) sesuai VSJ | Jumlah Tendor | F (N) kumulatif | F/A (Mpa) | F. e. yll (Mpa) | | Mg yll (Mpa) | | Resultan (Mpa) | | Kondisi penampang | |
|-------|----------------------|---------|----------|----------------------|--------------|--------|-----------|--------------|------------------|---------------|-----------------|-----------|-----------------|--------|--------------|--------|----------------|--------|-------------------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| 23 | 42606800 | 3009.4 | 3490.64 | 1.827E+14 | 4.386932E+11 | 2859.4 | 607247354 | 35 | 8750000 | 8 | 335500000 | -7.874 | -10.78 | 12.509 | 7.2261 | -8.382 | -0.031 | -16.97 | OK | OK |
| 22 | 38949800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.766E+14 | 4.24402E+11 | 2899.7 | 54158084 | 35 | 8750000 | 8 | 335500000 | -8.636 | -11.47 | 12.981 | 7.3303 | -8.293 | -1.635 | -16.56 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.001E+14 | 4.03528E+11 | 3493.9 | 517899412 | 35 | 8750000 | 6 | 290500000 | -14.84 | -27.84 | 19.512 | 14.695 | -10.3 | -6.814 | -20.47 | OK | OK |
| 20 | 18182000 | 3311.7 | 2412.9 | 8.183E+13 | 3.70231E+11 | 3161.7 | 444707791 | 35 | 8750000 | 6 | 263000000 | -14.52 | -25.49 | 18.575 | 14.983 | -10.92 | -5.391 | -21.16 | OK | OK |
| 19 | 16733600 | 3049.7 | 2288.832 | 6.68E+13 | 3.38803E+11 | 2899.7 | 375769097 | 35 | 8750000 | 6 | 235500000 | -14.07 | -24.03 | 18.035 | 15.468 | -11.61 | -4.376 | -21.35 | OK | OK |
| 18 | 15428500 | 2711.3 | 2161.1 | 5.445E+13 | 3.09244E+11 | 2561.3 | 311413922 | 35 | 8750000 | 6 | 208000000 | -13.48 | -21.11 | 17 | 15.398 | -12.39 | -3.042 | -21.66 | OK | OK |
| 17 | 14447800 | 2495.1 | 2106.3 | 4.622E+13 | 2.86941E+11 | 2345.1 | 263720094 | 35 | 8750000 | 6 | 186000000 | -12.87 | -19.7 | 16.628 | 15.49 | -13.08 | -2.479 | -21.65 | OK | OK |
| 16 | 13531800 | 2293.7 | 2041.5 | 3.926E+13 | 2.65835E+11 | 2143.7 | 219469368 | 35 | 8750000 | 6 | 172500000 | -12.75 | -18.38 | 16.355 | 15.53 | -13.62 | -2.618 | -21.76 | OK | OK |
| 15 | 12684000 | 2106.9 | 1986.3 | 3.34E+13 | 2.45924E+11 | 1956.9 | 178912851 | 35 | 8750000 | 6 | 159500000 | -12.57 | -17 | 16.029 | 15.512 | -14.62 | -2.781 | -21.81 | OK | OK |
| 14 | 11907100 | 1934.8 | 1914.2 | 2.849E+13 | 2.27209E+11 | 1784.8 | 117593757 | 35 | 8750000 | 5 | 137750000 | -11.57 | -14.56 | 14.404 | 15.432 | -15.27 | -1.16 | -21.87 | OK | OK |
| 13 | 11208000 | 1778.8 | 1902.5 | 2.44E+13 | 2.09689E+11 | 1628.8 | 108647804 | 35 | 8750000 | 5 | 127750000 | -11.4 | -13.24 | 14.161 | 15.283 | -16.35 | -1.6 | -21.88 | OK | OK |
| 12 | 10734900 | 1672.2 | 1879.6 | 2.182E+13 | 1.97335E+11 | 1522.2 | 86071001 | 35 | 8750000 | 5 | 117750000 | -10.97 | -12.06 | 13.553 | 15.124 | -17 | -1.487 | -21.63 | OK | OK |
| 11 | 10309100 | 1575.5 | 1860.6 | 1.96E+13 | 1.85652E+11 | 1425.5 | 65529637 | 35 | 8750000 | 5 | 107750000 | -10.45 | -10.8 | 12.754 | 14.921 | -17.62 | -1.245 | -21.32 | OK | OK |
| 10 | 9923800 | 1488.4 | 1845.4 | 1.772E+13 | 1.74643E+11 | 1338.4 | 46960311 | 35 | 8750000 | 5 | 99750000 | -10.05 | -9.721 | 12.053 | 14.673 | -18.19 | -1.31 | -20.88 | OK | OK |
| 9 | 9599000 | 1411.7 | 1833.5 | 1.619E+13 | 1.64306E+11 | 1261.7 | 30343182 | 35 | 8750000 | 5 | 91750000 | -9.558 | -8.738 | 11.349 | 14.377 | -18.67 | -1.39 | -20.17 | OK | OK |
| 8 | 9318200 | 1345.9 | 1824.4 | 1.484E+13 | 1.54641E+11 | 1195.9 | 15850183 | 35 | 8750000 | 5 | 83750000 | -8.988 | -7.875 | 10.675 | 14.03 | -19.02 | -1.49 | -19.15 | OK | OK |
| 7 | 9086000 | 1291.3 | 1817.7 | 1.38E+13 | 1.4585E+11 | 1141.3 | 2869706.3 | 35 | 8750000 | 5 | 75750000 | -8.337 | -7.149 | 10.063 | 13.633 | -19.19 | -1.601 | -17.82 | OK | OK |
| 6 | 8906800 | 1248.3 | 1814.8 | 1.3E+13 | 1.37331E+11 | 1098.3 | -7997073 | 35 | 8750000 | 5 | 70750000 | -7.943 | -6.667 | 9.6924 | 13.182 | -19.16 | -2.146 | -16.37 | OK | OK |
| 5 | 8777400 | 1217.3 | 1785.4 | 1.245E+13 | 1.29684E+11 | 1067.3 | -16922381 | 35 | 8750000 | 4 | 57000000 | -6.494 | -5.314 | 7.7944 | 12.684 | -18.6 | -0.667 | -15.04 | OK | OK |
| 4 | 8699900 | 1198.6 | 1807.4 | 1.212E+13 | 1.2271E+11 | 1048.6 | -23884566 | 35 | 8750000 | 4 | 53000000 | -6.092 | -4.994 | 7.5301 | 12.14 | -18.31 | -1.142 | -13.56 | OK | OK |
| 3 | 8673000 | 1198.9 | 1801.1 | 1.201E+13 | 1.16409E+11 | 1048.9 | -28812102 | 35 | 8750000 | 4 | 49000000 | -5.65 | -4.771 | 7.167 | 11.625 | -17.46 | -1.47 | -11.93 | OK | OK |
| 2 | 8614000 | 1177.8 | 1786.2 | 1.168E+13 | 1.12582E+11 | 1027.8 | -31291360 | 35 | 8750000 | 4 | 46000000 | -5.34 | -4.507 | 6.8348 | 11.356 | -17.22 | -1.397 | -11.32 | OK | OK |
| 1 | 8616000 | 1166.5 | 1769.5 | 1.142E+13 | 1.09053E+11 | 1016.5 | -33024312 | 35 | 8750000 | 4 | 43000000 | -4.991 | -4.287 | 6.5031 | 11.135 | -16.69 | -1.209 | -10.73 | OK | OK |
| 24 | 8601700 | 1160.1 | 1760.1 | 1.128E+13 | 1.06603E+11 | 1010.1 | -27093276 | 35 | 8750000 | 4 | 40000000 | -4.65 | -4.051 | 6.1467 | 10.961 | -16.63 | -0.868 | -10.39 | OK | OK |

(asumsi : (-) pada kolom momen menandakan momen positif, (+) momen negatif)

Tabel 5.27 Perhitungan Tendon akibat momen envelope max (bawah) yang terjadi dibentang tengah.

| joint | A (mm ²) | ya (mm) | yb (mm) | l (mm ²) | Mg (Nmm) | e (mm) | F (N) | Jenis Tendor | F (N) sesuai VSL | Jumlah Tendor | F (N) kumulatif | F/A (Mpa) | | F.e.yll (Mpa) | | Mg.yll (Mpa) | | Resultant (Mpa) | | Kondisi penampang | |
|-------|----------------------|---------|----------|----------------------|-------------|--------|-----------|--------------|------------------|---------------|-----------------|-----------|--------|---------------|--------|--------------|--------|-----------------|-------|-------------------|--|
| | | | | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | | |
| 23 | 42606800 | 3009.4 | 3490.64 | 1.827E+14 | 2.04624E+11 | 2859.4 | 607247354 | | | | 335500000 | -7.874 | -10.78 | 12.509 | 3.3706 | -3.31 | -3.686 | -12.5 | OK | OK | |
| 22 | 38848800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.766E+14 | 1.85713E+11 | 2899.7 | 541158084 | | | | 335500000 | -8.636 | -11.47 | 12.981 | 3.2076 | -3.629 | -5.758 | -11.89 | OK | OK | |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.001E+14 | 1.58402E+11 | 3493.9 | 517899412 | | | | 290500000 | -14.84 | -27.84 | 19.512 | 5.7685 | -4.044 | -15.74 | -14.21 | OK | OK | |
| 20 | 18118200 | 3311.7 | 2412.9 | 8.183E+13 | 1.15697E+11 | 3161.7 | 444707791 | | | | 263000000 | -14.52 | -25.49 | 18.575 | 4.6822 | -3.411 | -15.69 | -13.66 | OK | OK | |
| 19 | 16733600 | 3049.7 | 2288.832 | 6.68E+13 | 76508780200 | 2899.7 | 375769097 | | | | 235500000 | -14.07 | -24.03 | 18.035 | 3.4931 | -2.622 | -16.35 | -12.36 | OK | OK | |
| 18 | 15428500 | 2711.3 | 2161.1 | 5.445E+13 | 40836785000 | 2561.3 | 311413922 | | | | 208000000 | -13.48 | -21.11 | 17 | 2.0333 | -1.636 | -16.41 | -11.11 | OK | OK | |
| 17 | 14447600 | 2495.1 | 2106.3 | 4.622E+13 | 14831057500 | 2345.1 | 263720094 | | | | 186000000 | -12.87 | -19.7 | 16.628 | 0.8006 | -0.676 | -17.17 | -9.249 | OK | OK | |
| 16 | 13531800 | 2293.7 | 2041.5 | 3.926E+13 | -8924119900 | 2143.7 | 219469368 | | | | 172500000 | -12.75 | -18.38 | 16.355 | -0.521 | 0.464 | -18.67 | -7.477 | OK | OK | |
| 15 | 12684000 | 2106.9 | 1986.3 | 3.34E+13 | -3.0429E+10 | -693.1 | 178912651 | | | | 159500000 | -12.57 | -17 | 16.029 | -1.919 | 1.8095 | -20.21 | -5.375 | OK | OK | |
| 14 | 11907100 | 1934.8 | 1914.2 | 2.849E+13 | -4.9683E+10 | -1665 | 117759757 | | | | 137750000 | -11.57 | -14.56 | 14.404 | -3.374 | 3.3386 | -19.97 | -3.261 | OK | OK | |
| 13 | 11208000 | 1778.8 | 1902.5 | 2.441E+13 | -6.8686E+10 | -1721 | 108647804 | | | | 127750000 | -11.4 | -13.24 | 14.161 | -4.86 | 5.1985 | -21.74 | -0.333 | OK | OK | |
| 12 | 10734900 | 1672.2 | 1879.6 | 2.162E+13 | -7.7962E+10 | -1728 | 86071001 | 32 | 8000000 | 6 | 165750000 | -15.44 | -5.701 | 6.4078 | -5.975 | 6.7164 | -20.7 | -9.526 | OK | OK | |
| 11 | 10309100 | 1575.5 | 1860.6 | 1.96E+13 | -8.7972E+10 | -1725 | 65529637 | 32 | 8000000 | 6 | 155750000 | -15.11 | -4.147 | 4.8974 | -7.071 | 8.35 | -21.24 | -7.866 | OK | OK | |
| 10 | 9923800 | 1488.4 | 1845.4 | 1.772E+13 | -9.6716E+10 | -1712 | 46360311 | 32 | 8000000 | 8 | 163750000 | -16.49 | -0.518 | 0.642 | -8.126 | 10.075 | -21.35 | -10.46 | OK | OK | |
| 9 | 9599000 | 1411.7 | 1833.5 | 1.613E+13 | -1.0419E+11 | -1688 | 30343182 | 32 | 8000000 | 8 | 155750000 | -16.23 | 0.7167 | -0.931 | -9.117 | 11.842 | -22.1 | -8.599 | OK | OK | |
| 8 | 9318200 | 1345.9 | 1824.4 | 1.494E+13 | -1.1041E+11 | -1754 | 15650183 | 32 | 8000000 | 8 | 147750000 | -15.86 | 2.3095 | -3.131 | -10.02 | 13.578 | -22.22 | -7.23 | OK | OK | |
| 7 | 9086000 | 1291.3 | 1817.7 | 1.38E+13 | -1.1535E+11 | -1709 | 2869706.3 | 32 | 8000000 | 10 | 155750000 | -17.14 | 5.6457 | -7.947 | -10.8 | 15.198 | -22.04 | -10.25 | OK | OK | |
| 6 | 8906800 | 1248.3 | 1814.8 | 1.3E+13 | -1.1903E+11 | -1752 | -7997073 | 32 | 8000000 | 10 | 150750000 | -16.93 | 6.7846 | -9.864 | -11.43 | 16.611 | -22.28 | -9.134 | OK | OK | |
| 5 | 8777400 | 1217.3 | 1785.4 | 1.245E+13 | -1.2145E+11 | -1583 | -16922381 | 32 | 8000000 | 10 | 137000000 | -15.61 | 7.0692 | -10.37 | -11.88 | 17.421 | -21.96 | -6.293 | OK | OK | |
| 4 | 8639900 | 1198.6 | 1807.4 | 1.212E+13 | -1.2259E+11 | -1601 | -23884586 | 32 | 8000000 | 10 | 133000000 | -15.29 | 7.6808 | -11.58 | -12.13 | 18.289 | -21.93 | -5.269 | OK | OK | |
| 3 | 8673000 | 1198.9 | 1801.1 | 1.201E+13 | -1.2248E+11 | -1601 | -28812102 | 32 | 8000000 | 10 | 129000000 | -14.87 | 8.0209 | -12.05 | -12.23 | 18.375 | -21.76 | -4.531 | OK | OK | |
| 2 | 8614000 | 1177.8 | 1786.2 | 1.168E+13 | -1.2169E+11 | -1622 | -31291360 | 32 | 8000000 | 10 | 126000000 | -14.63 | 8.5838 | -13.02 | -12.28 | 18.616 | -21.23 | -4.622 | OK | OK | |
| 1 | 8616000 | 1166.5 | 1769.5 | 1.142E+13 | -1.2035E+11 | -1634 | -33024312 | 32 | 8000000 | 10 | 123000000 | -14.28 | 9.0566 | -13.74 | -12.29 | 18.641 | -20.57 | -4.721 | OK | OK | |
| 24 | 8601700 | 1160.1 | 1760.1 | 1.128E+13 | -1.1897E+11 | -1640 | -27033276 | 32 | 8000000 | 10 | 120000000 | -13.95 | 9.4373 | -14.32 | -12.23 | 18.559 | -19.87 | -4.986 | OK | OK | |

(asumsi : (-) pada kolom momen menandakan momen positif, (+) momen negatif)

5. Kontrol gaya tendon setelah semua tendon terpasang dengan keadaan jembatan sudah menjadi statis tak tentu dan tanpa beban kombinasi :

Tabel 5.28 Kontrol Tendon akibat berat sendiri (bentang tepi).

| joint | A (mm ²) | ya (mm) | yb (mm) | l (mm ⁴) | Mg (Nmm) | e (mm) | F (N) | F (N) kumulatif | tegangan setelah tendon hidup terpasang | | | | Resultant (Mpa) | | Kondisi penampang | | | | | |
|-------|----------------------|---------|----------|----------------------|-------------|--------|-----------|-----------------|---|--------|---------------|--------|-----------------|--------|-------------------|-------|------|-------|------|-------|
| | | | | | | | | | F/A (Mpa) | | F.e.y/l (Mpa) | | Mg.y/l (Mpa) | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah |
| | | | | | | | | | atas | bawah | atas | bawah | atas | bawah | | | | | | |
| 23 | 42606800 | 3009.4 | 3490.64 | 1.827E+14 | 6.922E+11 | 2859.4 | 213920185 | 214000000 | -7.874 | -10.78 | 12.509 | 11.402 | -13.23 | -7.257 | -8.591 | OK | OK | | | |
| 22 | 36848800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.766E+14 | 6.46E+11 | 2839.7 | 195258943 | 214000000 | -8.636 | -11.47 | 12.981 | 11.158 | -12.62 | -8.952 | -8.273 | OK | OK | | | |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.001E+14 | 5.833E+11 | 3493.9 | 158275213 | 186500000 | -13.95 | -25.61 | 17.951 | 21.242 | -14.89 | -18.32 | -10.89 | OK | OK | | | |
| 20 | 18182000 | 3311.7 | 2412.9 | 8.183E+13 | 4.893E+11 | 3161.7 | 143680741 | 159000000 | -13.55 | -23.26 | 16.944 | 19.802 | -14.43 | -17 | -11.03 | OK | OK | | | |
| 19 | 16733600 | 3049.7 | 2288.832 | 6.68E+13 | 4.059E+11 | 2839.7 | 127556370 | 131500000 | -13.03 | -22.91 | 16.992 | 18.532 | -13.31 | -17.41 | -9.944 | OK | OK | | | |
| 18 | 15428500 | 2711.3 | 2181.1 | 5.445E+13 | 3.325E+11 | 2561.3 | 114410602 | 104000000 | -12.35 | -18.94 | 15.435 | 16.556 | -13.32 | -14.73 | -10.23 | OK | OK | | | |
| 17 | 14447600 | 2495.1 | 2106.3 | 4.622E+13 | 2.803E+11 | 2345.1 | 102737828 | 98000000 | -11.66 | -17.48 | 14.758 | 15.132 | -12.77 | -14.01 | -9.679 | OK | OK | | | |
| 16 | 13531800 | 2293.7 | 2041.5 | 3.926E+13 | 2.335E+11 | 2143.7 | 91110247 | 90000000 | -10.16 | -13.99 | 12.454 | 13.641 | -12.14 | -10.51 | -9.849 | OK | OK | | | |
| 15 | 12684000 | 2106.3 | 1986.3 | 3.34E+13 | 1.919E+11 | 1956.9 | 79595517 | 77000000 | -9.816 | -12.68 | 11.956 | 12.104 | -11.41 | -10.39 | -9.271 | OK | OK | | | |
| 14 | 11907100 | 1934.8 | 1914.2 | 2.849E+13 | 1.55E+11 | 1784.8 | 62982577 | 69000000 | -9.364 | -11.38 | 11.256 | 10.528 | -10.42 | -10.21 | -8.524 | OK | OK | | | |
| 13 | 11208000 | 1778.8 | 1902.5 | 2.441E+13 | 1.226E+11 | 1628.8 | 57225875 | 61000000 | -7.495 | -8.046 | 8.6057 | 8.9358 | -9.557 | -6.605 | -8.446 | OK | OK | | | |
| 12 | 10734900 | 1672.2 | 1879.6 | 2.182E+13 | 1.011E+11 | 1522.2 | 49206488 | 53500000 | -6.893 | -6.953 | 7.8153 | 7.7487 | -8.71 | -6.098 | -7.788 | OK | OK | | | |
| 11 | 10309100 | 1575.5 | 1860.6 | 1.96E+13 | 81930000000 | 1425.5 | 41474116 | 46000000 | -6.208 | -5.787 | 6.8347 | 6.5849 | -7.777 | -5.411 | -7.15 | OK | OK | | | |
| 10 | 9929800 | 1488.4 | 1845.4 | 1.772E+13 | 64920000000 | 1338.4 | 34112843 | 38500000 | -5.64 | -4.802 | 5.9534 | 5.4545 | -6.763 | -4.987 | -6.449 | OK | OK | | | |
| 9 | 9599000 | 1411.7 | 1833.5 | 1.613E+13 | 50000000000 | 1261.7 | 27202787 | 31000000 | -5.001 | -3.908 | 5.0757 | 4.3752 | -5.682 | -4.533 | -5.607 | OK | OK | | | |
| 8 | 9318200 | 1345.9 | 1824.4 | 1.484E+13 | 37130000000 | 1170.9 | 21060716 | 23500000 | -4.293 | -3.129 | 4.241 | 3.3686 | -4.566 | -4.053 | -4.618 | OK | OK | | | |
| 7 | 9086000 | 1291.3 | 1817.7 | 1.38E+13 | 26240000000 | 1091.3 | 15464246 | 16000000 | -3.522 | -2.475 | 3.4845 | 2.4561 | -3.457 | -3.541 | -3.495 | OK | OK | | | |
| 6 | 8906800 | 1248.3 | 1814.8 | 1.3E+13 | 17270000000 | 1023.3 | 10535691 | 11000000 | -3.031 | -2.055 | 2.9869 | 1.6577 | -2.41 | -3.428 | -2.454 | OK | OK | | | |
| 5 | 8777400 | 1217.3 | 1785.4 | 1.245E+13 | 10200000000 | 967.3 | 6404622.3 | 6500000 | -2.506 | -1.661 | 2.4358 | 0.9976 | -1.463 | -3.17 | -1.534 | OK | OK | | | |
| 4 | 8639900 | 1198.6 | 1807.4 | 1.212E+13 | 4987730074 | 898.6 | 3240907.7 | 4000000 | -2.069 | -1.363 | 2.055 | 0.4934 | -0.744 | -2.938 | -0.758 | OK | OK | | | |
| 3 | 8673000 | 1198.9 | 1801.1 | 1.201E+13 | 1625618774 | 823.9 | 1094579.4 | 3000000 | -1.614 | -1.104 | 1.6592 | 0.1623 | -0.244 | -2.556 | -0.199 | OK | OK | | | |
| 2 | 8614000 | 1177.8 | 1786.2 | 1.168E+13 | 406196732 | 752.8 | 285631.14 | 1000000 | -1.277 | -0.878 | 1.3318 | 0.041 | -0.062 | -2.114 | -0.007 | OK | OK | | | |
| 1 | 8616000 | 1166.5 | 1789.5 | 1.142E+13 | 0.49 | 691.5 | 0 | 1000000 | -0.929 | -0.654 | 0.9924 | 5E-11 | -8E-11 | -1.583 | -0.064 | OK | OK | | | |

(asumsi : (-) pada kolom momen menandakan momen positif, (+) momen negatif)

Tabel 5.29 Kontrol Tendon akibat berat sendiri (bentang tengah).

| joint | A(mm ²) | ya(mm) | yb(mm) | l(mm ⁴) | Mg(Nmm) | e(mm) | F(N) | F(N) kumulatif | tegangan setelah tendon hidup terpasang | | | | Resultant(Mpa) | | Kondisi penampang | | |
|-------|---------------------|----------|----------|---------------------|-------------|-------|-----------|----------------|---|--------------|-------------|--------|----------------|--------|-------------------|----|----|
| | | | | | | | | | F/A(Mpa) | F.e.y/l(Mpa) | Mg.y/l(Mpa) | | atas | bawah | | | |
| 23 | 42606800 | 3009.4 | 3490.64 | 1.827E+14 | 6.922E+11 | | 607247354 | 265500000 | -7.874 | -10.78 | 12.509 | 11.402 | -13.23 | -7.257 | -8.591 | OK | OK |
| 22 | 38848800 | 3049.7 | 3450.3 | 1.766E+14 | 6.452E+11 | | 541158084 | 265500000 | -8.186 | -10.6 | 11.989 | 11.144 | -12.61 | -7.639 | -8.804 | OK | OK |
| 21 | 19572000 | 3643.9 | 2554.3 | 1.001E+14 | 5.813E+11 | | 517899412 | 238000000 | -14.84 | -27.84 | 19.512 | 21.169 | -14.84 | -21.51 | -10.17 | OK | OK |
| 20 | 18118200 | 3311.7 | 2412.9 | 8.183E+13 | 4.852E+11 | | 444707791 | 210500000 | -14.52 | -25.49 | 18.575 | 19.636 | -14.31 | -20.37 | -10.25 | OK | OK |
| 19 | 16733600 | 3049.7 | 2288.832 | 6.68E+13 | 3.999E+11 | | 375769097 | 183000000 | -14.07 | -24.18 | 18.143 | 18.258 | -13.7 | -19.99 | -9.633 | OK | OK |
| 18 | 15428500 | 2711.3 | 2181.1 | 5.445E+13 | 3.243E+11 | | 311413922 | 155500000 | -13.48 | -21.2 | 17.081 | 16.147 | -12.99 | -18.54 | -9.931 | OK | OK |
| 17 | 14447600 | 2495.1 | 2106.3 | 4.622E+13 | 2.705E+11 | | 263720094 | 133500000 | -12.87 | -19.7 | 16.628 | 14.603 | -12.33 | -17.97 | -8.573 | OK | OK |
| 16 | 13531800 | 2293.7 | 2041.5 | 3.926E+13 | 2.221E+11 | | 219469368 | 120000000 | -12.75 | -18.38 | 16.355 | 12.975 | -11.55 | -18.15 | -7.941 | OK | OK |
| 15 | 12684000 | 2106.3 | 1986.3 | 3.34E+13 | 1.789E+11 | | 178912851 | 107000000 | -12.57 | -17 | 16.029 | 11.284 | -10.64 | -18.29 | -7.184 | OK | OK |
| 14 | 11907100 | 1934.8 | 1914.2 | 2.849E+13 | 1.404E+11 | | 117759757 | 94000000 | -11.57 | -14.56 | 14.404 | 9.5361 | -9.435 | -16.59 | -6.599 | OK | OK |
| 13 | 11208000 | 1778.8 | 1902.5 | 2.441E+13 | 1.064E+11 | | 108647804 | 84000000 | -11.4 | -13.24 | 14.161 | 7.755 | -8.294 | -16.88 | -5.532 | OK | OK |
| 12 | 10734900 | 1672.2 | 1879.6 | 2.182E+13 | 83690000000 | | 86071001 | 74000000 | -15.44 | -5.701 | 6.4078 | 6.4143 | -7.21 | -14.73 | -16.24 | OK | OK |
| 11 | 10309100 | 1575.5 | 1860.6 | 1.96E+13 | 63270000000 | | 65529637 | 64000000 | -15.11 | -4.147 | 4.8974 | 5.0852 | -6.005 | -14.17 | -16.22 | OK | OK |
| 10 | 9929800 | 1488.4 | 1845.4 | 1.772E+13 | 45030000000 | | 46960311 | 56000000 | -16.49 | -0.518 | 0.642 | 3.7834 | -4.691 | -13.23 | -20.54 | OK | OK |
| 9 | 9599000 | 1411.7 | 1833.5 | 1.613E+13 | 28900000000 | | 30343182 | 48000000 | -16.23 | 0.7167 | -0.931 | 2.5289 | -3.284 | -12.98 | -20.44 | OK | OK |
| 8 | 9318200 | 1345.9 | 1824.4 | 1.484E+13 | 14810000000 | | 15650183 | 40000000 | -15.86 | 2.3095 | -3.131 | 1.3436 | -1.821 | -12.2 | -20.81 | OK | OK |
| 7 | 9086000 | 1291.3 | 1817.7 | 1.38E+13 | 2699464293 | | 2869706.3 | 32000000 | -17.14 | 5.6457 | -7.947 | 0.2527 | -0.356 | -11.24 | -25.44 | OK | OK |
| 6 | 8906800 | 1248.3 | 1814.8 | 1.3E+13 | -7483085204 | | -7997073 | 27000000 | -16.93 | 6.7846 | -9.864 | -0.718 | 1.0443 | -10.86 | -25.74 | OK | OK |
| 5 | 8777400 | 1217.3 | 1785.4 | 1.245E+13 | -1.577E+10 | | -16922381 | 22000000 | -15.61 | 7.0692 | -10.37 | -1.542 | 2.2622 | -10.08 | -23.71 | OK | OK |
| 4 | 8699900 | 1198.6 | 1807.4 | 1.212E+13 | -2.22E+10 | | -23884566 | 18000000 | -15.29 | 7.6808 | -11.58 | -2.196 | 3.3119 | -9.803 | -23.56 | OK | OK |
| 3 | 8673000 | 1198.9 | 1801.1 | 1.201E+13 | -2.678E+10 | | -28812102 | 14000000 | -14.87 | 8.0209 | -12.05 | -2.674 | 4.0177 | -9.527 | -22.91 | OK | OK |
| 2 | 8614000 | 1177.8 | 1786.2 | 1.168E+13 | -2.881E+10 | | -31291360 | 11000000 | -14.63 | 8.5838 | -13.02 | -2.906 | 4.4073 | -8.95 | -23.24 | OK | OK |
| 1 | 8616000 | 1166.5 | 1769.5 | 1.142E+13 | -3.003E+10 | | -33024312 | 8000000 | -14.28 | 9.0566 | -13.74 | -3.066 | 4.6514 | -8.286 | -23.36 | OK | OK |
| 24 | 8.60E+06 | 1.16E+03 | 1.76E+03 | 1.13E+13 | -3.04E+10 | | -27093276 | 5000000 | -13.95 | 9.4373 | -14.32 | -3.127 | 4.7437 | -7.64 | -23.53 | OK | OK |

(asumsi : (-) pada kolom momen menandakan momen positif, (+) momen negatif)

5.7 Perhitungan Kehilangan Gaya prategang

5.7.1. Kehilangan gaya prategang langsung.

- a. Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis (ES).

$$ES = K_{es} \times E_s \times \frac{f_{cir}}{E_{ci}}$$

$$f_{cir} = -\frac{F_o}{A} - \frac{F_o \cdot e^2}{I} + \frac{M_G \cdot e}{I}$$

Dimana :

ES = kehilangan prategang akibat perpendekan elastik beton (MPa).

K_{es} = koefisien elastis 0,5 (pascatarik).

E_s = modulus elastisitas baja (MPa).

E_{ci} = modulus elastisitas beton saat transfer gaya prategang (MPa).

f_{cir} = tegangan beton pada c.g.s akibat gaya prategang efektif segera setelah gaya prategang telah dikerjakan pada beton (MPa).

Contoh perhitungan kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis (ES) pada tahap pemasangan tendon katilever:

Tabel 5.30 Perhitungan Persentase kehilangan Gaya Prategang akibat (ES) pada Pemasangan tendon nomor 22.

| Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis pada tahap kantilefer | | | | | | | | pemasangan segment 22 | | | | | | | |
|--|----------|----------|---|---------------------|---------------------|------------|--------|-----------------------|----------------------|----------|------------------|-----------------|----------------|----------|----------|
| Joint | Fo (N) | F tendon | n | A(mm ²) | I(mm ⁴) | Mg(Nmm) | e | Fo/A | Fo.e ² /I | M.e/I | f _{ctf} | E _{ci} | E _s | ES | Loss% |
| 23 | 27500000 | 13750000 | 2 | 42606800 | 1.82696E+14 | 2130340000 | 509.36 | -0.64544 | -0.03905 | 0.005939 | -0.67855 | 36050.26 | 200000 | 1.882234 | 0.154092 |
| 22 | 27500000 | 13750000 | 2 | 38848800 | 1.76569E+14 | 0 | 524.7 | -0.70787 | -0.04288 | 0 | -0.75075 | 36050.26 | 200000 | 2.082513 | 0.170488 |

Tabel 5.31 Perhitungan Persentase kehilangan Gaya Prategang akibat (ES) pada Pemasangan tendon nomor 21.

| Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis pada tahap kantilefer | | | | | | | | pemasangan segment 21 | | | | | | | |
|--|----------|----------|---|---------------------|---------------------|------------|--------|-----------------------|----------------------|----------|------------------|-----------------|----------------|----------|----------|
| Joint | Fo (N) | F tendon | n | A(mm ²) | I(mm ⁴) | Mg(Nmm) | e | Fo/A | Fo.e ² /I | M.e/I | f _{ctf} | E _{ci} | E _s | ES | Loss% |
| 23 | 54957625 | 13750000 | 2 | 42606800 | 1.82696E+14 | 5254803750 | 709.36 | -0.64544 | -0.07574 | 0.020403 | -0.70078 | 36050.26 | 200000 | 1.943886 | 0.159139 |
| 22 | 54953116 | 13750000 | 2 | 38848800 | 1.76569E+14 | 2252058750 | 724.7 | -0.70787 | -0.0818 | 0.009243 | -0.78043 | 36050.26 | 200000 | 2.164827 | 0.177227 |
| 21 | 27500000 | 13750000 | 2 | 19572000 | 1.00061E+14 | 0 | 1268.9 | -1.40507 | -0.44251 | 0 | -1.84758 | 36050.26 | 200000 | 5.125002 | 0.419566 |

Tabel 5.33 Persentase total kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis setelah semua tendon terpasang.

| No tendon | Total Loss % |
|-----------|--------------|
| 22 | 0.903453 |
| 21 | 2.91316 |
| 20 | 4.255398 |
| 19 | 4.969394 |
| 18 | 5.393956 |
| 17 | 5.858282 |
| 16 | 6.032053 |
| 15 | 5.748777 |
| 14 | 5.685063 |
| 13 | 5.242838 |
| 12 | 4.096705 |
| 11 | 3.230613 |
| 10 | 3.825265 |
| 9 | 2.752228 |
| 8 | 1.501239 |
| 7 | 1.390204 |
| 6 | 1.237105 |
| 5 | 1.314829 |
| 4 | 1.364897 |
| 3 | 1.540134 |
| 2 | 1.488802 |
| 1 | 1.291146 |
| 23 | 0 |

Contoh perhitungan kehilangan gaya prategang akibat perpindahan elastis (ES) pada tahap pemasangan tendon menerus :

Tabel 5.34 Perhitungan Persentase kehilangan Gaya Prategang akibat (ES) pada Pemasangan tendon menerus dari joint 24 tengah ke 14 tepi (bentang tengah) :

| Kehilangan gaya prategang akibat perpindahan elastis pada tahap pemasangan tendon service | | | | | | | | pen jackingan tendon 24 tengah 14 tepi (atas) | | | | | | | |
|---|--------|----------|---|---------------------|---------------------|---------------|---------|---|----------------------|----------|------------------|-----------------|----------------|----------|----------|
| Joint | Fo (N) | F tendon | n | A(mm ²) | I(mm ⁴) | Mg(Nmm) | e | Fo/A | Fo.e ² /I | M.e/I | f _{clt} | E _{cl} | E _s | ES | Loss% |
| bentang tengah | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | | 8750000 | 2 | 42606800 | 1.82696E+14 | 6.922E+11 | 2859.36 | -0.41073 | -0.39158 | 10.83357 | 10.03126 | 36050.26 | 200000 | -27.8258 | -2.278 |
| 22 | | 8750000 | 2 | 38848800 | 1.76569E+14 | 6.452E+11 | 2899.7 | -0.45046 | -0.41668 | 10.59577 | 9.728628 | 36050.26 | 200000 | -26.9863 | -2.20927 |
| 21 | | 8750000 | 2 | 19572000 | 1.00061E+14 | 5.813E+11 | 3493.9 | -0.89413 | -1.06749 | 20.29758 | 18.33596 | 36050.26 | 200000 | -50.8622 | -4.16391 |
| 20 | | 8750000 | 2 | 18118200 | 8.18318E+13 | 4.852E+11 | 3161.7 | -0.96588 | -1.06888 | 18.74646 | 16.71171 | 36050.26 | 200000 | -46.3567 | -3.79506 |
| 19 | | 8750000 | 2 | 16733600 | 6.67978E+13 | 3.999E+11 | 2899.7 | -1.0458 | -1.10142 | 17.3597 | 15.21249 | 36050.26 | 200000 | -42.198 | -3.4546 |
| 18 | | 8750000 | 2 | 15428500 | 5.44528E+13 | 3.243E+11 | 2561.3 | -1.13426 | -1.05417 | 15.25412 | 13.06569 | 36050.26 | 200000 | -36.243 | -2.96709 |
| 17 | | 8750000 | 2 | 14447600 | 4.62187E+13 | 2.705E+11 | 2345.1 | -1.21127 | -1.04115 | 13.72495 | 11.47253 | 36050.26 | 200000 | -31.8237 | -2.6053 |
| 16 | | 8750000 | 2 | 13531800 | 3.92624E+13 | 2.221E+11 | 2143.7 | -1.29325 | -1.02414 | 12.12651 | 9.809117 | 36050.26 | 200000 | -27.2096 | -2.22755 |
| 15 | | 8750000 | 2 | 12684000 | 3.34025E+13 | 1.789E+11 | 1956.9 | -1.37969 | -1.00315 | 10.48093 | 8.098092 | 36050.26 | 200000 | -22.4633 | -1.839 |
| 14 | | 8750000 | 2 | 11907100 | 2.84862E+13 | 1.404E+11 | 1784.8 | -1.46971 | -0.97848 | 8.796748 | 6.348555 | 36050.26 | 200000 | -17.6103 | -1.44169 |
| 13 | | 8750000 | 2 | 11208000 | 2.44054E+13 | 1.064E+11 | 1628.8 | -1.56138 | -0.95117 | 7.101065 | 4.588511 | 36050.26 | 200000 | -12.7281 | -1.04201 |
| 12 | | 8750000 | 2 | 10734900 | 2.18179E+13 | 836900000000 | 1522.2 | -1.6302 | -0.92926 | 5.838917 | 3.279458 | 36050.26 | 200000 | -9.09691 | -0.74473 |
| 11 | | 8750000 | 2 | 10309100 | 1.96024E+13 | 632700000000 | 1425.5 | -1.69753 | -0.90705 | 4.601038 | 1.996454 | 36050.26 | 200000 | -5.53798 | -0.45337 |
| 10 | | 8750000 | 2 | 9929800 | 1.7715E+13 | 450300000000 | 1338.4 | -1.76237 | -0.88479 | 3.402097 | 0.754938 | 36050.26 | 200000 | -2.09413 | -0.17144 |
| 9 | | 8750000 | 2 | 9599000 | 1.6133E+13 | 289000000000 | 1261.7 | -1.82311 | -0.86339 | 2.260158 | -0.42633 | 36050.26 | 200000 | 1.182612 | 0.096816 |
| 8 | | 8750000 | 2 | 9318200 | 1.48351E+13 | 148100000000 | 1195.9 | -1.87805 | -0.84354 | 1.193877 | -1.52771 | 36050.26 | 200000 | 4.237728 | 0.346928 |
| 7 | | 8750000 | 2 | 9086000 | 1.37959E+13 | 2699464293 | 1141.3 | -1.92604 | -0.82615 | 0.22332 | -2.52887 | 36050.26 | 200000 | 7.01484 | 0.574281 |
| 6 | | 8750000 | 2 | 8906800 | 1.30047E+13 | -7483085204 | 1098.3 | -1.96479 | -0.81161 | -0.63198 | -3.40838 | 36050.26 | 200000 | 9.45453 | 0.77401 |
| 5 | | 8750000 | 2 | 8777400 | 1.24464E+13 | -157700000000 | 1067.3 | -1.99376 | -0.80082 | -1.3523 | -4.14689 | 36050.26 | 200000 | 11.50307 | 0.941717 |
| 4 | | 8750000 | 2 | 8699900 | 1.21153E+13 | -222000000000 | 1048.6 | -2.01152 | -0.79413 | -1.92145 | -4.7271 | 36050.26 | 200000 | 13.11253 | 1.073477 |
| 3 | | 8750000 | 2 | 8673000 | 1.20051E+13 | -267800000000 | 1048.9 | -2.01776 | -0.80188 | -2.3398 | -5.15944 | 36050.26 | 200000 | 14.3118 | 1.171657 |
| 2 | | 8750000 | 2 | 8614000 | 1.16763E+13 | -288100000000 | 1027.8 | -2.03158 | -0.79163 | -2.53598 | -5.35919 | 36050.26 | 200000 | 14.86588 | 1.217018 |
| 1 | | 8750000 | 2 | 8616000 | 1.14241E+13 | -300300000000 | 1016.5 | -2.0311 | -0.79141 | -2.67203 | -5.49454 | 36050.26 | 200000 | 15.24133 | 1.247756 |
| 24 | | 8750000 | 2 | 8601700 | 1.12832E+13 | -304100000000 | 1010.1 | -2.03448 | -0.79123 | -2.72238 | -5.54809 | 36050.26 | 200000 | 15.38989 | 1.259917 |

(asumsi : (-) pada kolom Loss menandakan tidak terjadi kehilangan prategang pada joint yang ditinjau)

Tabel 5.35 Perhitungan Persentase kehilangan Gaya Prategang akibat (ES) pada Pemasangan tendon menerus dari joint 24 tengah ke 14 tepi (bentang tepi) :

| Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis pada tahap pemasangan tendon service | | | | | | | | pen jackingan tendon 24 tengah 14 tepi (atas) | | | | | | | |
|---|--------|----------|---|---------------------|---------------------|-----------|---------|---|----------------------|----------|------------------|-----------------|----------------|----------|----------|
| Joint | Fo (N) | F tendon | n | A(mm ²) | I(mm ⁴) | Mg(Nmm) | e | Fo/A | Fo.e ² /I | M.e/I | f _{cir} | E _{ci} | E _s | ES | Loss% |
| bentang tepi | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | | 8750000 | 2 | 42606800 | 1.82696E+14 | 6.922E+11 | 2859.36 | -0.41073 | -0.39158 | 10.83357 | 10.03126 | 36050.26 | 200000 | -27.8258 | -2.278 |
| 22 | | 8750000 | 2 | 38848800 | 1.76569E+14 | 6.46E+11 | 2899.7 | -0.45046 | -0.41668 | 10.60891 | 9.741766 | 36050.26 | 200000 | -27.0227 | -2.21226 |
| 21 | | 8750000 | 2 | 19572000 | 1.00061E+14 | 5.833E+11 | 3493.9 | -0.89413 | -1.06749 | 20.36741 | 18.40579 | 36050.26 | 200000 | -51.0559 | -4.17977 |
| 20 | | 8750000 | 2 | 18118200 | 8.18318E+13 | 4.893E+11 | 3161.7 | -0.96588 | -1.06888 | 18.90487 | 16.87012 | 36050.26 | 200000 | -46.7961 | -3.83104 |
| 19 | | 8750000 | 2 | 16733600 | 6.67978E+13 | 4.059E+11 | 2899.7 | -1.0458 | -1.10142 | 17.62016 | 15.47295 | 36050.26 | 200000 | -42.9205 | -3.51375 |
| 18 | | 8750000 | 2 | 15428500 | 5.44528E+13 | 3.325E+11 | 2345.1 | -1.13426 | -0.88371 | 14.31966 | 12.30169 | 36050.26 | 200000 | -34.1237 | -2.79359 |
| 17 | | 8750000 | 2 | 14447600 | 4.62187E+13 | 2.803E+11 | 2345.1 | -1.21127 | -1.04115 | 14.2222 | 11.96978 | 36050.26 | 200000 | -33.203 | -2.71822 |
| 16 | | 8750000 | 2 | 13531800 | 3.92624E+13 | 2.335E+11 | 2143.7 | -1.29325 | -1.02414 | 12.74894 | 10.43155 | 36050.26 | 200000 | -28.9361 | -2.3689 |
| 15 | | 8750000 | 2 | 12684000 | 3.34025E+13 | 1.919E+11 | 1956.9 | -1.37969 | -1.00315 | 11.24255 | 8.859703 | 36050.26 | 200000 | -24.576 | -2.01195 |
| 14 | | 8750000 | 2 | 11907100 | 2.84862E+13 | 1.55E+11 | 1784.8 | -1.46971 | -0.97848 | 9.711509 | 7.263317 | 36050.26 | 200000 | -20.1478 | -1.64943 |

(asumsi : (-) pada kolom Loss menandakan tidak terjadi kehilangan prategang pada joint yang ditinjau)

Tabel 5.36 Persentase total kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis pada tendon menerus.

| No tendon | Total Loss % |
|-----------|--------------|
| 22 | 0.903453 |
| 21 | 2.91316 |
| 20 | 4.255398 |
| 19 | 4.969394 |
| 18 | 5.393956 |
| 17 | 5.858282 |
| 16 | 6.032053 |
| 15 | 5.748777 |
| 14 | 5.685063 |
| 13 | 5.242838 |
| 12 | 4.096705 |
| 11 | 3.230613 |
| 10 | 3.825265 |
| 9 | 2.752228 |
| 8 | 1.598055 |
| 7 | 1.900791 |
| 6 | 2.499768 |
| 5 | 3.62696 |
| 4 | 5.692222 |
| 3 | 7.039117 |
| 2 | 8.204802 |
| 1 | 9.254903 |
| 23 | 7.963756 |
| 24 to 14 | 4.241926 |
| 24 to 17 | 0 |
| 6 to 22 | 0 |
| 15 to 22 | 0 |
| 22 to 22 | 0 |
| 12 to 12 | 1.149993 |
| 10 to 10 | 0 |
| 7 to 7 | 0 |

b. Kehilangan gaya prategang akibat gesekan dan wooble effect.

Besarnya nilai kehilangan tegangan akibat gesekan adalah sebagai berikut :

$$Fx = F_0 e^{-\mu\alpha + KL}$$

Dimana :

Fx = Gaya prategang setelah terjadi kehilangan prategang akibat gesekan (N).

F_0 = Tegangan awal (N).

μ = koefisien friksi.

K = koefisien wooble.

α = perubahan sudut = $8 f/L$.

L = panjang kabel (m).

Contoh perhitungan kehilangan gaya prategang akibat gesekan dan wooble effect :

Contoh perhitungan kehilangan gaya prategang akibat gesekan dan wooble effect :

Tabel 5.37 Persentase kehilangan gaya prategang tendon cantilever akibat gesekan dan wooble effect pada saat transfer.

| Kehilangan gaya prategang akibat wooble effect pada tahap kantilever | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|-------|--------|--------|-------|----------|-------|---------------------|------------------|----------|-------------------------|------------|----------|
| tendon pemasangan segment | Fo | L (m) | K | K x L | f | α | μ | $\mu \times \alpha$ | KL + $\mu\alpha$ | e | $e^{-(KL + \mu\alpha)}$ | F akhir | loss (%) |
| 22 | 27500000 | 4 | 0.0007 | 0.0028 | 0.025 | 0.025 | 0.15 | 0.00375 | 0.00655 | 2.718282 | 0.993471 | 27320463.6 | 0.65286 |
| 21 | 27500000 | 10 | 0.0007 | 0.007 | 0.075 | 0.03 | 0.15 | 0.0045 | 0.0115 | 2.718282 | 0.988566 | 27185561.5 | 1.143413 |
| 20 | 27500000 | 20 | 0.0007 | 0.014 | 0.175 | 0.035 | 0.15 | 0.00525 | 0.01925 | 2.718282 | 0.980934 | 26975687.7 | 1.90659 |
| 19 | 27500000 | 30 | 0.0007 | 0.021 | 0.275 | 0.036667 | 0.15 | 0.0055 | 0.0265 | 2.718282 | 0.973848 | 26780821.2 | 2.615196 |
| 18 | 22000000 | 40 | 0.0007 | 0.028 | 0.375 | 0.0375 | 0.15 | 0.005625 | 0.033625 | 2.718282 | 0.966934 | 21272548.8 | 3.306596 |
| 17 | 13500000 | 48 | 0.0007 | 0.0336 | 0.675 | 0.05625 | 0.15 | 0.008438 | 0.042038 | 2.718282 | 0.958834 | 12944256.6 | 4.116618 |
| 16 | 13000000 | 56 | 0.0007 | 0.0392 | 0.575 | 0.041071 | 0.15 | 0.006161 | 0.045361 | 2.718282 | 0.955653 | 12423485.1 | 4.43473 |
| 15 | 13000000 | 64 | 0.0007 | 0.0448 | 0.525 | 0.032813 | 0.15 | 0.004922 | 0.049722 | 2.718282 | 0.951494 | 12369422.3 | 4.850598 |
| 14 | 10000000 | 72 | 0.0007 | 0.0504 | 0.375 | 0.020833 | 0.15 | 0.003125 | 0.053525 | 2.718282 | 0.947882 | 9478822.44 | 5.211776 |
| 13 | 10000000 | 80 | 0.0007 | 0.056 | 0.425 | 0.02125 | 0.15 | 0.003188 | 0.059188 | 2.718282 | 0.94253 | 9425300.28 | 5.746997 |
| 12 | 10000000 | 86 | 0.0007 | 0.0602 | 0.3 | 0.013953 | 0.15 | 0.002093 | 0.062293 | 2.718282 | 0.939608 | 9396075.2 | 6.039248 |
| 11 | 8000000 | 92 | 0.0007 | 0.0644 | 0.4 | 0.017391 | 0.15 | 0.002609 | 0.067009 | 2.718282 | 0.935187 | 7481496.55 | 6.481293 |
| 10 | 8000000 | 98 | 0.0007 | 0.0686 | 0.425 | 0.017347 | 0.15 | 0.002602 | 0.071202 | 2.718282 | 0.931274 | 7450189.74 | 6.872628 |
| 9 | 8000000 | 104 | 0.0007 | 0.0728 | 0.45 | 0.017308 | 0.15 | 0.002596 | 0.075396 | 2.718282 | 0.927376 | 7419008.24 | 7.262397 |
| 8 | 8000000 | 110 | 0.0007 | 0.077 | 0.475 | 0.017273 | 0.15 | 0.002591 | 0.079591 | 2.718282 | 0.923494 | 7387952.5 | 7.650594 |
| 7 | 5000000 | 116 | 0.0007 | 0.0812 | 0.65 | 0.022414 | 0.15 | 0.003362 | 0.084562 | 2.718282 | 0.918915 | 4594573.09 | 8.108538 |
| 6 | 5000000 | 122 | 0.0007 | 0.0854 | 0.575 | 0.018852 | 0.15 | 0.002828 | 0.088228 | 2.718282 | 0.915552 | 4577761.14 | 8.444777 |
| 5 | 4000000 | 128 | 0.0007 | 0.0896 | 0.575 | 0.017969 | 0.15 | 0.002695 | 0.092295 | 2.718282 | 0.911836 | 3647343.33 | 8.816417 |
| 4 | 4000000 | 134 | 0.0007 | 0.0938 | 0.6 | 0.01791 | 0.15 | 0.002687 | 0.096487 | 2.718282 | 0.908022 | 3632088.38 | 9.197791 |
| 3 | 3000000 | 140 | 0.0007 | 0.098 | 0.525 | 0.015 | 0.15 | 0.00225 | 0.10025 | 2.718282 | 0.904611 | 2713833.71 | 9.538876 |
| 2 | 3000000 | 144 | 0.0007 | 0.1008 | 0.425 | 0.011806 | 0.15 | 0.001771 | 0.102571 | 2.718282 | 0.902514 | 2707542.66 | 9.748578 |
| 1 | 3000000 | 148 | 0.0007 | 0.1036 | 0.325 | 0.008784 | 0.15 | 0.001318 | 0.104918 | 2.718282 | 0.900399 | 2701196.22 | 9.960126 |
| 23 | 5000000 | 152 | 0.0007 | 0.1064 | 0.2 | 0.005263 | 0.15 | 0.000789 | 0.107189 | 2.718282 | 0.898355 | 4491777.21 | 10.16446 |

Tabel 5.38 Persentase kehilangan gaya prategang tendon service akibat gesekan dan wooble effect pada saat transfer.

| Kehilangan gaya prategang akibat wooble effect pada tahap service | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|-------|--------|--------|-----|----------|-------|---------------------|------------------|----------|----------------------------|--------------------|----------|
| tendon service | F ₀ | L (m) | K | K x L | f | α | μ | $\mu \times \alpha$ | KL + $\mu\alpha$ | e | $e^{-\mu(KL + \mu\alpha)}$ | F _{akhir} | loss (%) |
| 24 tengah 14 tepi (atas) | 17500000 | 112 | 0.0007 | 0.0784 | 0 | 0 | 0.15 | 0 | 0.0784 | 2.718282 | 0.924595 | 16180404 | 7.540549 |
| 24 tengah 17 tepi (atas) | 17500000 | 100 | 0.0007 | 0.07 | 0 | 0 | 0.15 | 0 | 0.07 | 2.718282 | 0.932394 | 16316891.8 | 6.760618 |
| 6 tengah 22 tepi (atas) | 8750000 | 63 | 0.0016 | 0.1008 | 0 | 0 | 0.15 | 0 | 0.1008 | 2.718282 | 0.904114 | 7910996.08 | 9.588616 |
| 15 tengah 22 tepi (atas) | 8750000 | 34 | 0.0016 | 0.0544 | 0 | 0 | 0.15 | 0 | 0.0544 | 2.718282 | 0.947053 | 8286715.58 | 5.294679 |
| 22 tengah 22 tepi (atas) | 17500000 | 4 | 0.0016 | 0.0064 | 0 | 0 | 0.15 | 0 | 0.0064 | 2.718282 | 0.99362 | 17388357.6 | 0.637956 |
| 12 tengah ke 12 tengah (bawah) | 48000000 | 66 | 0.0016 | 0.1056 | 0.6 | 0.036364 | 0.15 | 0.005455 | 0.111055 | 2.718282 | 0.89489 | 42954716.9 | 10.51101 |
| 10 tengah ke 10 tengah (bawah) | 16000000 | 54 | 0.0016 | 0.0864 | 0.4 | 0.02963 | 0.15 | 0.004444 | 0.090844 | 2.718282 | 0.91316 | 14610556 | 8.684025 |
| 7 tengah ke 7 tengah (bawah) | 16000000 | 36 | 0.0016 | 0.0576 | 0.2 | 0.022222 | 0.15 | 0.003333 | 0.060933 | 2.718282 | 0.940886 | 15054175.4 | 5.911404 |

c. Kehilangan gaya prategang akibat slip anker.

Pada saat tendon ditarik sampai nilai penuh kemudian dongkrak dilepas dan gaya prategang dialihkan ke anker. Perlengkapan di dalam anker mengalami tegangan pada saat peralihan cenderung untuk berdeformasi. Jadi tendon dapat tergelincir sedikit. Rumus umum untuk menghitung kehilangan gaya prategangan akibat slip anker :

$$\Delta\sigma = 2\sigma_0 \frac{\mu \cdot \alpha}{K + L} X$$

$$X = \sqrt{\frac{E_s \times d}{\sigma_0 \times \left(\frac{\mu \cdot \alpha}{K + L}\right)}}$$

Dimana :

$\Delta\sigma$ =kehilangan prategang akibat pengangkutan (MPa).

σ_0 = gaya prategang awal (MPa).

μ = koefisien friksi.

K = koefisien woble.

α = perubahan sudut = 8 f/L.

X = jarak pengaruh slip anker (mm).

E_s = 2×10^5 MPa

d = defleksi = 1 mm.

L = panjang total kabel.

Tabel 5.39 Persentase kehilangan gaya prategang tendon cantilever akibat slip ankur pada saat transfer.

| tendon | α | L | Es | d | f0 | μ | K | Es x d | $\alpha \times \mu$ | K | X | Δ | Loss (%) |
|--------|----------|----|--------|-------|--------|-------|--------|--------|---------------------|--------|----------|----------|----------|
| 22 | 0.025 | 2 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 0.0025 | 0.0007 | 7.153083 | 55.91994 | 4.577973 |
| 21 | 0.03 | 5 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 0.0012 | 0.0007 | 9.283067 | 43.08921 | 3.527565 |
| 20 | 0.035 | 10 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 0.0007 | 0.0007 | 10.81445 | 36.98757 | 3.028045 |
| 19 | 0.036667 | 15 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 0.000489 | 0.0007 | 11.73539 | 34.08493 | 2.790416 |
| 18 | 0.0375 | 20 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 0.000375 | 0.0007 | 12.34139 | 32.41126 | 2.653399 |
| 17 | 0.05625 | 24 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 0.000469 | 0.0007 | 11.83607 | 33.79501 | 2.766681 |
| 16 | 0.041071 | 28 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 0.000293 | 0.0007 | 12.83847 | 31.15636 | 2.550664 |
| 15 | 0.032813 | 32 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 0.000205 | 0.0007 | 13.45009 | 29.73958 | 2.434677 |
| 14 | 0.020833 | 36 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 0.000116 | 0.0007 | 14.16747 | 28.2337 | 2.311396 |
| 13 | 0.02125 | 40 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 0.000106 | 0.0007 | 14.25061 | 28.06898 | 2.297911 |
| 12 | 0.013953 | 43 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 6.49E-05 | 0.0007 | 14.63073 | 27.33972 | 2.238209 |
| 11 | 0.017391 | 46 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 7.56E-05 | 0.0007 | 14.52932 | 27.53054 | 2.25383 |
| 10 | 0.017347 | 49 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 7.08E-05 | 0.0007 | 14.57459 | 27.44503 | 2.24683 |
| 9 | 0.017308 | 52 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 6.66E-05 | 0.0007 | 14.6148 | 27.36951 | 2.240648 |
| 8 | 0.017273 | 55 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 6.28E-05 | 0.0007 | 14.65076 | 27.30234 | 2.235149 |
| 7 | 0.022414 | 58 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 7.73E-05 | 0.0007 | 14.51366 | 27.56024 | 2.256262 |
| 6 | 0.018852 | 61 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 6.18E-05 | 0.0007 | 14.66036 | 27.28447 | 2.233685 |
| 5 | 0.017969 | 64 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 5.62E-05 | 0.0007 | 14.71511 | 27.18294 | 2.225373 |
| 4 | 0.01791 | 67 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 5.35E-05 | 0.0007 | 14.74134 | 27.13457 | 2.221414 |
| 3 | 0.015 | 70 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 4.29E-05 | 0.0007 | 14.84621 | 26.9429 | 2.205723 |
| 2 | 0.011806 | 72 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 3.28E-05 | 0.0007 | 14.94781 | 26.75977 | 2.190731 |
| 1 | 0.008784 | 74 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 2.37E-05 | 0.0007 | 15.04101 | 26.59396 | 2.177156 |
| 23 | 0.005263 | 76 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 1.39E-05 | 0.0007 | 15.14484 | 26.41164 | 2.16223 |

Tabel 5.40 Persentase kehilangan gaya prategang tendon service akibat slip ankur pada saat transfer.

| tendon service | α | L | Es | d | f ₀ | μ | K | Es x d | $\alpha \times \mu$ | K+L | X | Δ | Loss (%) |
|--------------------------------|----------|-----|--------|-------|----------------|-------|--------|--------|---------------------|--------|----------|----------|----------|
| 24 tengah 14 tepi (atas) | 0 | 112 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 0 | 0.0007 | 15.29394 | 26.15416 | 2.141151 |
| 24 tengah 17 tepi (atas) | 0 | 100 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 0 | 0.0007 | 15.29394 | 26.15416 | 2.141151 |
| 6 tengah 22 tepi (atas) | 0 | 63 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 0 | 0.0007 | 15.29394 | 26.15416 | 2.141151 |
| 15 tengah 22 tepi (atas) | 0 | 34 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 0 | 0.0007 | 15.29394 | 26.15416 | 2.141151 |
| 22 tengah 22 tepi (atas) | 0 | 4 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 0 | 0.0007 | 15.29394 | 26.15416 | 2.141151 |
| 12 tengah ke 12 tengah (bawah) | 0.036364 | 66 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 0.00011 | 0.0007 | 14.21589 | 28.13753 | 2.303522 |
| 10 tengah ke 10 tengah (bawah) | 0.02963 | 54 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 0.00011 | 0.0007 | 14.21987 | 28.12965 | 2.302878 |
| 7 tengah ke 7 tengah (bawah) | 0.022222 | 36 | 200000 | 0.001 | 1221.5 | 0.2 | 0.0007 | 200 | 0.000123 | 0.0007 | 14.10093 | 28.36692 | 2.322302 |

5.7.2. Kehilangan gaya prategang akibat fungsi waktu.

a. Kehilangan gaya prategang akibat rangkat beton (CR).

$$CR = \frac{E_s}{E_c} (f_{cir} - f_{cds})$$

Dimana :

CR = kehilangan prategang akibat rangkai (MPa).

K_{cr} = koefisien elastis 1,6 (pascatarik).

E_s = modulus elastisitas baja (MPa).

E_c = modulus elastisitas beton saat transfer gaya prategang (MPa).

f_{cir} = tegangan beton pada c.g.s akibat gaya prategang efektif segera setelah gaya prategang telah dikerjakan pada beton (MPa).

f_{cds} = tegangan beton pada c.g.s akibat seluruh beban mati yang bekerja pada komponen struktur setelah diberi gaya prategang (MPa).

Tabel 5.41 Persentase kehilangan gaya prategang akibat rangkai beton (CR) (bentang tengah).

| Joint | Mg | fcir | I | fcds | Kcir | Es | Ec | fcir-fcgs | Es/Ec | CR (MPa) | Loss % |
|-------|-----------|----------|-------------|----------|------|--------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| 23 | 6.922E+11 | -6.57922 | 1.82696E+14 | 7.393712 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 0.814491 | 5.549367 | 7.231855 | 0.414433 |
| 22 | 6.452E+11 | -7.87836 | 1.76569E+14 | 7.235067 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 0.643294 | 5.549367 | 5.711799 | 0.327324 |
| 21 | 5.813E+11 | -17.5392 | 1.00061E+14 | 15.28557 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 2.253651 | 5.549367 | 20.01014 | 1.146713 |
| 20 | 4.852E+11 | -16.6801 | 8.18318E+13 | 14.20231 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 2.477782 | 5.549367 | 22.0002 | 1.260756 |
| 19 | 3.999E+11 | -16.2772 | 6.67978E+13 | 13.45944 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 2.817744 | 5.549367 | 25.01871 | 1.433737 |
| 18 | 3.243E+11 | -15.3161 | 5.44528E+13 | 12.20187 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 3.114282 | 5.549367 | 27.65168 | 1.584623 |
| 17 | 2.705E+11 | -14.9971 | 4.62187E+13 | 11.48106 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 3.516069 | 5.549367 | 31.21914 | 1.789062 |
| 16 | 2.221E+11 | -15.2138 | 3.92624E+13 | 10.31469 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 4.899099 | 5.549367 | 43.49904 | 2.492782 |
| 15 | 1.789E+11 | -15.4016 | 3.34025E+13 | 9.051299 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 6.350288 | 5.549367 | 56.38413 | 3.231182 |
| 14 | 1.404E+11 | -13.9867 | 2.84862E+13 | 7.669676 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 6.317067 | 5.549367 | 56.08916 | 3.214279 |
| 13 | 1.064E+11 | -14.2374 | 2.44054E+13 | 6.199265 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 8.038152 | 5.549367 | 71.37065 | 4.090009 |
| 12 | 8.369E+10 | -13.7864 | 2.18179E+13 | 1.721318 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 12.0651 | 5.549367 | 107.1259 | 6.13902 |
| 11 | 6.327E+10 | -13.5037 | 1.96024E+13 | 1.069256 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 12.43444 | 5.549367 | 110.4053 | 6.32695 |
| 10 | 4.503E+10 | -14.8752 | 1.7715E+13 | 0.095669 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 14.77955 | 5.549367 | 131.2274 | 7.520196 |
| 9 | 2.89E+10 | -14.8258 | 1.6133E+13 | -0.0942 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 14.92003 | 5.549367 | 132.4747 | 7.591676 |
| 8 | 1.481E+10 | -15.1621 | 1.48351E+13 | -0.31654 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 15.47868 | 5.549367 | 137.435 | 7.875932 |
| 7 | 2.699E+09 | -17.2091 | 1.37959E+13 | -0.07578 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 17.28489 | 5.549367 | 153.4723 | 8.794973 |
| 6 | -7.48E+09 | -17.3619 | 1.30047E+13 | 0.257577 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 17.10428 | 5.549367 | 151.8687 | 8.703077 |
| 5 | -1.58E+10 | -17.2552 | 1.24464E+13 | 0.668475 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 16.58677 | 5.549367 | 147.2737 | 8.439754 |
| 4 | -2.22E+10 | -17.2036 | 1.21153E+13 | 1.069625 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 16.13397 | 5.549367 | 143.2533 | 8.20936 |
| 3 | -2.68E+10 | -16.9169 | 1.20051E+13 | 1.388871 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 15.52807 | 5.549367 | 137.8736 | 7.901064 |
| 2 | -2.88E+10 | -17.1398 | 1.16763E+13 | 1.666413 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 15.47343 | 5.549367 | 137.3884 | 7.873262 |
| 1 | -3E+10 | -17.2364 | 1.14241E+13 | 1.895526 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 15.34092 | 5.549367 | 136.2118 | 7.805836 |
| 24 | -3.04E+10 | -17.6502 | 1.12832E+13 | 2.061526 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 15.58863 | 5.549367 | 138.4113 | 7.931879 |

Tabel 5.42 Persentase kehilangan gaya prategang akibat rangkai beton (CR) (bentang tepi).

| Joint | Mg | fcir | I | fcds | Kcir | Es | Ec | fcir-fcgs | Es/Ec | CR (MPa) | Loss % |
|-------|-----------|----------|-------------|----------|------|--------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| 23 | 6.922E+11 | -4.46304 | 1.82696E+14 | 7.215788 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 2.752747 | 5.549367 | 24.44161 | 1.400665 |
| 22 | 6.46E+11 | -5.75215 | 1.76569E+14 | 7.069993 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 1.317838 | 5.549367 | 11.70107 | 0.670548 |
| 21 | 5.833E+11 | -9.11781 | 1.00061E+14 | 15.01577 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 5.897965 | 5.549367 | 52.36796 | 3.001029 |
| 20 | 4.893E+11 | -8.23443 | 8.18318E+13 | 13.99567 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 5.761235 | 5.549367 | 51.15393 | 2.931457 |
| 19 | 4.059E+11 | -7.60231 | 6.67978E+13 | 13.34359 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 5.741273 | 5.549367 | 50.97669 | 2.921301 |
| 18 | 3.325E+11 | -6.84235 | 5.44528E+13 | 12.22291 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 5.38056 | 5.549367 | 47.77393 | 2.737761 |
| 17 | 2.803E+11 | -6.98409 | 4.62187E+13 | 11.65552 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 4.671435 | 5.549367 | 41.47761 | 2.376941 |
| 16 | 2.335E+11 | -4.48228 | 3.92624E+13 | 10.35926 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 5.876976 | 5.549367 | 52.1816 | 2.990349 |
| 15 | 1.919E+11 | -4.65122 | 3.34025E+13 | 9.277913 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 4.626688 | 5.549367 | 41.08031 | 2.354172 |
| 14 | 1.55E+11 | -5.01303 | 2.84862E+13 | 8.174301 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 3.161271 | 5.549367 | 28.06888 | 1.608532 |
| 13 | 1.226E+11 | -3.39163 | 2.44054E+13 | 6.601939 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 3.210308 | 5.549367 | 28.50428 | 1.633483 |
| 12 | 1.011E+11 | -3.27776 | 2.18179E+13 | 5.680663 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 2.402906 | 5.549367 | 21.33537 | 1.222657 |
| 11 | 8.193E+10 | -3.05806 | 1.96024E+13 | 4.702496 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 1.644435 | 5.549367 | 14.60091 | 0.836729 |
| 10 | 6.492E+10 | -3.0454 | 1.7715E+13 | 3.739974 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 0.694571 | 5.549367 | 6.167087 | 0.353415 |
| 9 | 5E+10 | -2.95151 | 1.6133E+13 | 2.883686 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 0.067822 | 5.549367 | 0.602189 | 0.034509 |
| 8 | 3.713E+10 | -2.75392 | 1.48351E+13 | 2.15783 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 0.596089 | 5.549367 | 5.292668 | 0.303305 |
| 7 | 2.624E+10 | -2.4487 | 1.37959E+13 | 1.571932 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 0.876769 | 5.549367 | 7.784821 | 0.446122 |
| 6 | 1.727E+10 | -2.44641 | 1.30047E+13 | 1.05275 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 1.393663 | 5.549367 | 12.37432 | 0.70913 |
| 5 | 1.02E+10 | -2.30929 | 1.24464E+13 | 0.632538 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 1.676751 | 5.549367 | 14.88785 | 0.853172 |
| 4 | 4.988E+09 | -2.18124 | 1.21153E+13 | 0.315052 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 1.866185 | 5.549367 | 16.56984 | 0.949561 |
| 3 | 1.626E+09 | -1.93417 | 1.20051E+13 | 0.106971 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 1.8272 | 5.549367 | 16.22369 | 0.929724 |
| 2 | 406196792 | -1.62239 | 1.16763E+13 | 0.027533 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 1.594852 | 5.549367 | 14.16067 | 0.8115 |
| 1 | 0.49 | -1.23069 | 1.14241E+13 | 3.44E-11 | 1.6 | 200000 | 36040.14 | 1.230687 | 5.549367 | 10.92725 | 0.626204 |

b. Kehilangan gaya prategang akibat susut beton (SH).

Kehilangan gaya prategang akibat susut beton harus diperhitungkan yang besarnya tergantung dari waktu.

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} K_{SH} E_s \left(1 - 0,0236 \frac{V}{S}\right) (100 - RH)$$

Dimana :

SH = kehilangan prategang akibat susut beton (MPa).

K_{SH} = koefisien susut 0,8.

E_s = modulus elastisitas baja (MPa).

V = luas penampang box (cm²).

S = keliling penampang box (cm)

RH = kelembaban relatif.

Tabel 5.43 Persentase kehilangan gaya prategang akibat susut beton (SH).

| joint | Ksh | Es | V (m2) | S (m) | V/S | RH (%) | 1-(0.06xV/S) | 100-RH (%) | SH | loss |
|-------|------|--------|----------|----------|----------|--------|--------------|------------|----------|----------|
| 23 | 0.77 | 200000 | 85.2136 | 110.9953 | 0.767723 | 75 | 0.95393663 | 25 | 30.11578 | 2.465475 |
| 22 | 0.77 | 200000 | 116.5464 | 166.4929 | 0.700008 | 75 | 0.9579995 | 25 | 30.24404 | 2.475976 |
| 21 | 0.77 | 200000 | 97.86 | 315.183 | 0.310486 | 75 | 0.98137082 | 25 | 30.98188 | 2.53638 |
| 20 | 0.77 | 200000 | 90.591 | 308.9464 | 0.293226 | 75 | 0.98240646 | 25 | 31.01457 | 2.539056 |
| 19 | 0.77 | 200000 | 83.668 | 303.2178 | 0.275934 | 75 | 0.98344398 | 25 | 31.04733 | 2.541738 |
| 18 | 0.77 | 200000 | 61.714 | 238.3891 | 0.258879 | 75 | 0.98446724 | 25 | 31.07963 | 2.544382 |
| 17 | 0.77 | 200000 | 57.7904 | 235.324 | 0.245578 | 75 | 0.98526532 | 25 | 31.10483 | 2.546445 |
| 16 | 0.77 | 200000 | 54.1272 | 232.5198 | 0.232785 | 75 | 0.98603288 | 25 | 31.12906 | 2.548429 |
| 15 | 0.77 | 200000 | 50.736 | 229.97 | 0.22062 | 75 | 0.98676279 | 25 | 31.1521 | 2.550315 |
| 14 | 0.77 | 200000 | 47.6284 | 227.6705 | 0.209199 | 75 | 0.98744807 | 25 | 31.17374 | 2.552086 |
| 13 | 0.77 | 200000 | 33.624 | 169.2232 | 0.198696 | 75 | 0.98807823 | 25 | 31.19363 | 2.553715 |
| 12 | 0.77 | 200000 | 32.2047 | 168.1996 | 0.191467 | 75 | 0.98851197 | 25 | 31.20732 | 2.554836 |
| 11 | 0.77 | 200000 | 30.9273 | 167.2852 | 0.184878 | 75 | 0.98890734 | 25 | 31.2198 | 2.555858 |
| 10 | 0.77 | 200000 | 29.7894 | 166.4768 | 0.17894 | 75 | 0.98926359 | 25 | 31.23105 | 2.556779 |
| 9 | 0.77 | 200000 | 28.797 | 165.777 | 0.173709 | 75 | 0.98957744 | 25 | 31.24096 | 2.55759 |
| 8 | 0.77 | 200000 | 27.9546 | 165.1851 | 0.169232 | 75 | 0.98984608 | 25 | 31.24944 | 2.558284 |
| 7 | 0.77 | 200000 | 27.258 | 164.6843 | 0.165517 | 75 | 0.990069 | 25 | 31.25648 | 2.55886 |
| 6 | 0.77 | 200000 | 26.7204 | 164.324 | 0.162608 | 75 | 0.99024352 | 25 | 31.26199 | 2.559311 |
| 5 | 0.77 | 200000 | 26.3322 | 164.0547 | 0.160509 | 75 | 0.99036948 | 25 | 31.26596 | 2.559637 |
| 4 | 0.77 | 200000 | 26.0997 | 163.8935 | 0.159248 | 75 | 0.99044513 | 25 | 31.26835 | 2.559832 |
| 3 | 0.77 | 200000 | 17.346 | 109.2263 | 0.158808 | 75 | 0.99047153 | 25 | 31.26919 | 2.559901 |
| 2 | 0.77 | 200000 | 17.228 | 108.9883 | 0.158072 | 75 | 0.99051568 | 25 | 31.27058 | 2.560015 |
| 1 | 0.77 | 200000 | 12.924 | 81.60203 | 0.158378 | 75 | 0.9904973 | 25 | 31.27 | 2.559967 |
| 24 | 0.77 | 200000 | 8.6017 | 54.40135 | 0.158116 | 75 | 0.99051307 | 25 | 31.2705 | 2.560008 |

c. Kehilangan gaya prategang akibat Relaksasi baja (RE).

Kehilangan tegangan akibat relaksasi baja dihitung dengan menggunakan rumus :

$$RE = (K_{RE} - J(SH + CR + SE)) \times C$$

Dimana :

RE =kehilangan prategang akibat relaksasi baja (MPa).

K_{RE} =koefisien relaksasi 128 MPa

J =0,14.

SH =kehilangan prategang akibat susut beton (MPa).

CR =kehilangan prategang akibat rangkai (MPa).

ES =kehilangan prategang akibat pempendekan elastik beton (MPa).

C =1,00 (ambil nilai $f_{pi}/f_{pu} = 0,7$).

Tabel 5.44 Persentase kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja (RE) (bentang tengah).

| no tendon | Kre | J | C | SH | CR | ES | RE | Loss |
|-----------|-----|------|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| 22 | 128 | 0.14 | 1 | 30.244 | 5.7118 | 11.0357 | 121.421 | 9.94033 |
| 21 | 128 | 0.14 | 1 | 30.9819 | 20.0101 | 26.7134 | 117.121 | 9.58831 |
| 20 | 128 | 0.14 | 1 | 31.0146 | 22.0002 | 23.843 | 117.24 | 9.59803 |
| 19 | 128 | 0.14 | 1 | 31.0473 | 25.0187 | 21.5009 | 117.141 | 9.5899 |
| 18 | 128 | 0.14 | 1 | 31.0796 | 27.6517 | 19.2308 | 117.085 | 9.58537 |
| 17 | 128 | 0.14 | 1 | 31.1048 | 31.2191 | 18.1053 | 116.74 | 9.57509 |
| 16 | 128 | 0.14 | 1 | 31.1291 | 43.499 | 16.8198 | 115.197 | 9.43081 |
| 15 | 128 | 0.14 | 1 | 31.1521 | 56.3841 | 15.0503 | 113.638 | 9.30314 |
| 14 | 128 | 0.14 | 1 | 31.1737 | 56.0892 | 13.4404 | 113.902 | 9.32473 |
| 13 | 128 | 0.14 | 1 | 31.1936 | 71.3707 | 12.0436 | 111.955 | 9.16536 |
| 12 | 128 | 0.14 | 1 | 31.2073 | 107.126 | 9.69872 | 107.276 | 8.78228 |
| 11 | 128 | 0.14 | 1 | 31.2198 | 110.405 | 7.76131 | 107.086 | 8.76675 |
| 10 | 128 | 0.14 | 1 | 31.2311 | 131.227 | 8.86462 | 104.015 | 8.51533 |
| 9 | 128 | 0.14 | 1 | 31.241 | 132.475 | 7.41409 | 104.042 | 8.51755 |
| 8 | 128 | 0.14 | 1 | 31.2494 | 137.435 | 5.95952 | 103.55 | 8.47727 |
| 7 | 128 | 0.14 | 1 | 31.2565 | 153.472 | 5.83722 | 101.321 | 8.29478 |
| 6 | 128 | 0.14 | 1 | 31.262 | 151.869 | 5.64502 | 101.571 | 8.3153 |
| 5 | 128 | 0.14 | 1 | 31.266 | 147.274 | 5.52106 | 102.231 | 8.36934 |
| 4 | 128 | 0.14 | 1 | 31.2684 | 143.253 | 5.11119 | 102.851 | 8.42009 |
| 3 | 128 | 0.14 | 1 | 31.2692 | 137.874 | 4.64395 | 103.67 | 8.48709 |
| 2 | 128 | 0.14 | 1 | 31.2706 | 137.388 | 3.6404 | 103.878 | 8.50414 |
| 1 | 128 | 0.14 | 1 | 31.27 | 136.212 | 2.4308 | 104.212 | 8.5315 |
| 23 | 128 | 0.14 | 1 | 31.2705 | 138.411 | 0 | 104.245 | 8.53414 |

Tabel 5.45 Persentase kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja (RE) (bentang tepi).

| no tendon | Kre | J | C | SH | CR | ES | RE | |
|-----------|-----|------|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| 22 | 128 | 0.14 | 1 | 30.244 | 11.7011 | 11.0357 | 120.583 | 9.87169 |
| 21 | 128 | 0.14 | 1 | 30.9819 | 52.368 | 26.7134 | 112.591 | 9.21745 |
| 20 | 128 | 0.14 | 1 | 31.0146 | 51.1539 | 23.843 | 113.158 | 9.26389 |
| 19 | 128 | 0.14 | 1 | 31.0473 | 50.9767 | 21.5009 | 113.507 | 9.29239 |
| 18 | 128 | 0.14 | 1 | 31.0796 | 47.7739 | 19.2308 | 114.268 | 9.35474 |
| 17 | 128 | 0.14 | 1 | 31.1048 | 41.4776 | 18.1053 | 115.304 | 9.43952 |
| 16 | 128 | 0.14 | 1 | 31.1291 | 52.1816 | 16.8198 | 113.982 | 9.33129 |
| 15 | 128 | 0.14 | 1 | 31.1521 | 41.0803 | 15.0503 | 115.78 | 9.47854 |
| 14 | 128 | 0.14 | 1 | 31.1737 | 28.0689 | 13.4404 | 117.824 | 9.64588 |
| 13 | 128 | 0.14 | 1 | 31.1936 | 28.5043 | 12.0436 | 117.956 | 9.65667 |
| 12 | 128 | 0.14 | 1 | 31.2073 | 21.3354 | 9.69872 | 119.286 | 9.76555 |
| 11 | 128 | 0.14 | 1 | 31.2198 | 14.6009 | 7.76131 | 120.499 | 9.8648 |
| 10 | 128 | 0.14 | 1 | 31.2311 | 6.16709 | 8.86462 | 121.523 | 9.94869 |
| 9 | 128 | 0.14 | 1 | 31.241 | 0.60219 | 7.41409 | 122.504 | 10.029 |
| 8 | 128 | 0.14 | 1 | 31.2494 | 5.29267 | 5.95952 | 122.05 | 9.99179 |
| 7 | 128 | 0.14 | 1 | 31.2565 | 7.78482 | 5.83722 | 121.717 | 9.96455 |
| 6 | 128 | 0.14 | 1 | 31.262 | 12.3743 | 5.64502 | 121.101 | 9.91409 |
| 5 | 128 | 0.14 | 1 | 31.266 | 14.8878 | 5.52106 | 120.766 | 9.88666 |
| 4 | 128 | 0.14 | 1 | 31.2684 | 16.5698 | 5.11119 | 120.587 | 9.87205 |
| 3 | 128 | 0.14 | 1 | 31.2692 | 16.2237 | 4.64395 | 120.701 | 9.88136 |
| 2 | 128 | 0.14 | 1 | 31.2706 | 14.1607 | 3.6404 | 121.13 | 9.91649 |
| 1 | 128 | 0.14 | 1 | 31.27 | 10.9273 | 2.4308 | 121.752 | 9.96742 |

5.7.3. Total kehilangan gaya prategang pada saat transfer dan service.

Tabel 5.46 Total persentase kehilangan gaya prategang pada saat transfer.

| tendon | ES | WE | SLIP | total loss |
|----------|--------|--------|--------|------------|
| 22 | 0.9035 | 0.6529 | 4.578 | 6.1343 |
| 21 | 2.9132 | 1.1434 | 3.5276 | 7.5841 |
| 20 | 4.2554 | 1.9066 | 3.028 | 9.19 |
| 19 | 4.9694 | 2.6152 | 2.7904 | 10.375 |
| 18 | 5.394 | 3.3066 | 2.6534 | 11.354 |
| 17 | 5.8583 | 4.1166 | 2.7667 | 12.742 |
| 16 | 6.0321 | 4.4347 | 2.5507 | 13.017 |
| 15 | 5.7488 | 4.8506 | 2.4347 | 13.034 |
| 14 | 5.6851 | 5.2118 | 2.3114 | 13.208 |
| 13 | 5.2428 | 5.747 | 2.2979 | 13.288 |
| 12 | 4.0967 | 6.0392 | 2.2382 | 12.374 |
| 11 | 3.2306 | 6.4813 | 2.2538 | 11.966 |
| 10 | 3.8253 | 6.8726 | 2.2468 | 12.945 |
| 9 | 2.7522 | 7.2624 | 2.2406 | 12.255 |
| 8 | 1.5981 | 7.6506 | 2.2351 | 11.484 |
| 7 | 1.9008 | 8.1085 | 2.2563 | 12.266 |
| 6 | 2.4998 | 8.4448 | 2.2337 | 13.178 |
| 5 | 3.627 | 8.8164 | 2.2254 | 14.669 |
| 4 | 5.6922 | 9.1978 | 2.2214 | 17.111 |
| 3 | 7.0391 | 9.5389 | 2.2057 | 18.784 |
| 2 | 8.2048 | 9.7486 | 2.1907 | 20.144 |
| 1 | 9.2549 | 9.9601 | 2.1772 | 21.392 |
| 23 | 7.9638 | 10.164 | 2.1622 | 20.29 |
| 24 to 14 | 4.2419 | 7.5405 | 2.1412 | 13.924 |
| 24 to 17 | 0 | 6.7606 | 2.1412 | 8.9018 |
| 6 to 12 | 0 | 9.5886 | 2.1412 | 11.73 |
| 15 to 22 | 0 | 5.2947 | 2.1412 | 7.4358 |
| 22 to 22 | 0 | 0.638 | 2.1412 | 2.7791 |
| 12 to 12 | 1.15 | 10.511 | 2.3035 | 13.965 |
| 10 to 10 | 0 | 8.684 | 2.3029 | 10.987 |
| 7 to 7 | 0 | 5.9114 | 2.3223 | 8.2337 |

Tabel 5.47 Total persentase kehilangan gaya prategang pada saat service.

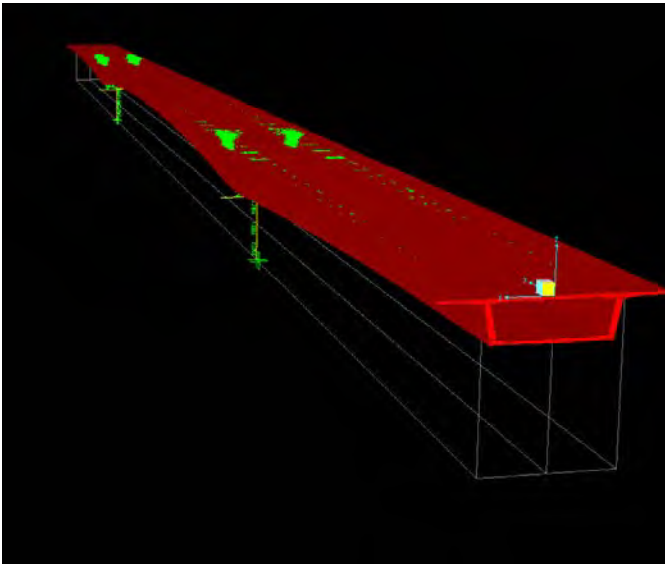
| bentang tengah | | | | | bentang tepi | | | | |
|----------------|----------|----------|----------|------------|--------------|----------|----------|----------|------------|
| joint | CR | SH | RE | Total loss | joint | CR | SH | RE | Total loss |
| 23 | 0.414433 | 2.465475 | 9.940335 | 12.82024 | 23 | 1.400665 | 2.465475 | 9.87169 | 13.73783 |
| 22 | 0.327324 | 2.475976 | 9.940335 | 12.74363 | 22 | 0.670548 | 2.475976 | 9.87169 | 13.01821 |
| 21 | 1.146713 | 2.53638 | 9.588313 | 13.27141 | 21 | 3.001029 | 2.53638 | 9.21745 | 14.75486 |
| 20 | 1.260756 | 2.539056 | 9.598028 | 13.39784 | 20 | 2.931457 | 2.539056 | 9.263888 | 14.7344 |
| 19 | 1.433737 | 2.541738 | 9.5899 | 13.56538 | 19 | 2.921301 | 2.541738 | 9.292388 | 14.75543 |
| 18 | 1.584623 | 2.544382 | 9.585371 | 13.71438 | 18 | 2.737761 | 2.544382 | 9.354744 | 14.63689 |
| 17 | 1.789062 | 2.546445 | 9.557094 | 13.8926 | 17 | 2.376941 | 2.546445 | 9.439518 | 14.3629 |
| 16 | 2.492782 | 2.548429 | 9.430806 | 14.47202 | 16 | 2.990349 | 2.548429 | 9.331292 | 14.87007 |
| 15 | 3.231182 | 2.550315 | 9.303142 | 15.08464 | 15 | 2.354172 | 2.550315 | 9.478544 | 14.38303 |
| 14 | 3.214279 | 2.552086 | 9.324727 | 15.09109 | 14 | 1.608532 | 2.552086 | 9.645876 | 13.80649 |
| 13 | 4.090009 | 2.553715 | 9.165362 | 15.80909 | 13 | 1.633483 | 2.553715 | 9.656668 | 13.84387 |
| 12 | 6.13902 | 2.554836 | 8.782278 | 17.47613 | 12 | 1.222657 | 2.554836 | 9.765551 | 13.54304 |
| 11 | 6.32695 | 2.555858 | 8.766754 | 17.64956 | 11 | 0.836729 | 2.555858 | 9.864799 | 13.25739 |
| 10 | 7.520196 | 2.556779 | 8.515331 | 18.59231 | 10 | 0.353415 | 2.556779 | 9.948687 | 12.85888 |
| 9 | 7.591676 | 2.55759 | 8.517546 | 18.66681 | 9 | 0.034509 | 2.55759 | 10.02898 | 12.62108 |
| 8 | 7.875932 | 2.558284 | 8.477269 | 18.91149 | 8 | 0.303305 | 2.558284 | 9.991795 | 12.85338 |
| 7 | 8.794973 | 2.55886 | 8.294782 | 19.64862 | 7 | 0.446122 | 2.55886 | 9.964552 | 12.96953 |
| 6 | 8.703077 | 2.559311 | 8.315301 | 19.57769 | 6 | 0.70913 | 2.559311 | 9.91409 | 13.18253 |
| 5 | 8.439754 | 2.559637 | 8.369341 | 19.36873 | 5 | 0.853172 | 2.559637 | 9.886657 | 13.29947 |
| 4 | 8.20936 | 2.559832 | 8.42009 | 19.18928 | 4 | 0.949561 | 2.559832 | 9.87205 | 13.38144 |
| 3 | 7.901064 | 2.559901 | 8.487095 | 18.94806 | 3 | 0.929724 | 2.559901 | 9.881363 | 13.37099 |
| 2 | 7.873262 | 2.560015 | 8.504141 | 18.93742 | 2 | 0.8115 | 2.560015 | 9.916494 | 13.28801 |
| 1 | 7.805836 | 2.559967 | 8.531497 | 18.8973 | 1 | 0.626204 | 2.559967 | 9.967423 | 13.15359 |
| 24 | 7.931879 | 2.560008 | 8.534142 | 19.02603 | | | | | |

5.8 Perhitungan Penulangan Box Girder

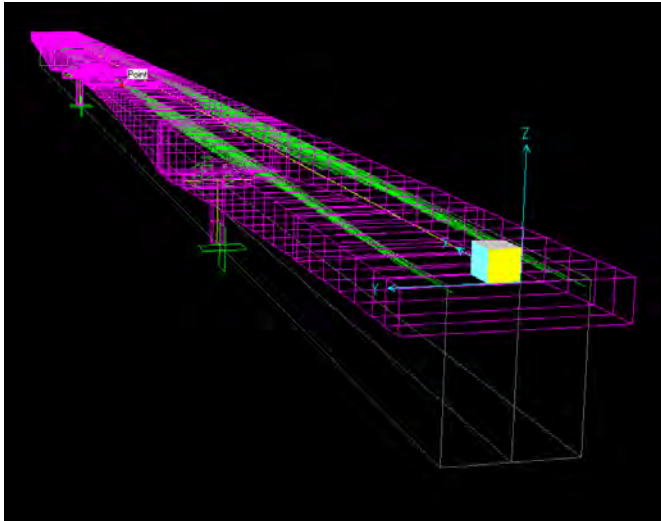
Sebelum melakukan perencanaan penulangan, terlebih dahulu dilakukan analisa struktur dengan menggunakan program bantu SAP 2000. Dalam proses analisa yaitu dengan memperhitungkan beban-beban yang bekerja pada struktur box girder sehingga akan dapat diketahui gaya-gaya dalam yang terjadi. Beban-beban yang diperhitungkan dalam analisa tersebut yaitu antara lain :

- Beban trotoar
 Berat trotoar + kerb $= 21.600 \text{ N/m}$
 Berat tiang sandaran $= \underline{793,7 \text{ N/m}}$
 $q_{\text{tepi}} = 22.393,7 \text{ N/m}$
 $= 22,3937 \text{ N/mm}$
- Beban mati tambahan
 Berat lapisan aspal $= 52.800 \text{ N/m}$
 Berat air hujan $= \underline{6.860 \text{ N/m}}$
 $q_{\text{tengah}} = 59.660 \text{ N/m}$
 $= 59,66 \text{ N/mm}$
- UDL $_{74\text{meter}} = 136,065 \text{ KN/m} = 136,065 \text{ N/mm}$
- UDL $_{152\text{meter}} = 116,384 \text{ KN/m} = 116,384 \text{ N/mm}$
- KEL = 588 KN = 588.000 N

Dalam analisa struktur dengan menggunakan *bridge modeler* yaitu merupakan permodelan jembatan dalam bentuk 3D sehingga dapat mendekati model jembatan yang sebenarnya.



Gambar 5.36 Permodelan jembatan 3D dengan *bridge modeler*



Gambar 5.37 Layout tendon pratekan pada penampang box girder

Momen maximum yang terjadi pada box girder adalah :

$$\begin{aligned} M. \text{ pelat atas} &= 1.271.046.672 \text{ N.mm} \\ M. \text{ pelat badan} &= 600.454.046 \text{ N.mm} \\ M. \text{ pelat bawah} &= 457.737.454 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

5.8.1. Perhitungan penulangan pelat atas

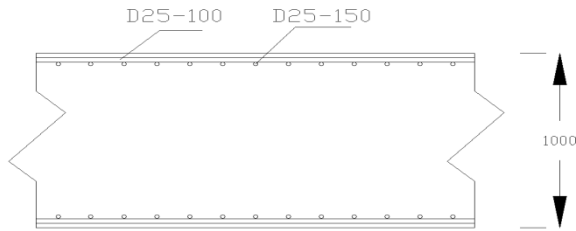
$$\begin{aligned} M_u &= 1.271.046.672 \text{ Nmm} \\ D &= 25 \text{ mm} \\ b &= 1000 \text{ mm} \\ \text{decking} &= 25 \text{ mm (Tabel 4.6-7 SNI T-12-2004)} \\ t_{\text{pelat atas}} &= 1000 \text{ mm} \\ dx &= 1000 - 25 - 25/2 = 962,5 \text{ mm} \\ f_c' &= 58,8 \text{ MPa} \\ f_y &= 420 \text{ MPa} \\ \phi &= 0,8 \end{aligned}$$

- $M_n = \frac{M_u}{0,8} = \frac{1.271.046.672}{0,8} = 1.588.808.340 \text{ Nmm}$
- $R_n = \frac{M_n}{b \times dx^2} = \frac{1.588.808.340}{1000 \times 962,5^2} = 1,715$
- $m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{420}{0,85 \times 58,8} = 8,403$
- $\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033$
- $\beta_1 = 0,65 \rightarrow (f_c' = 58,8 \text{ MPa})$
- $\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$
 $= \frac{0,85 \times 58,8 \times 0,65}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$
 $= 0,0455$
- $\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}}$
 $= 0,75 \times 0,0455$
 $= 0,034125$
- $\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$
 $= \frac{1}{8,403} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8,403 \times 1,715}{420}} \right)$
 $= 0,004155$

Karena $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$ maka yang dipakai adalah ρ_{perlu} .

- $A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times dx$
 $= 0,004155 \times 1000 \times 962,5$
 $= 3999,1875 \text{ mm}^2$
- Dari tabel tulangan, untuk tulangan D25 dengan $A_s \text{ perlu}$ sebesar $3999,1875 \text{ mm}^2$ dipasang tulangan utama sejarak 100 mm

(D25-100 dengan $A_s = 4908,738 \text{ mm}^2$) dan tulangan pembagi sejarak 150 (D25-150).



Gambar 5.38 Penulangan Pelat Atas box girder

5.8.2. Perhitungan penulangan pada badan

$$\begin{aligned}
 M_u &= 600.454.046 \text{ Nmm} \\
 D &= 25 \text{ mm} \\
 b &= 1000 \text{ mm} \\
 \text{decking} &= 25 \text{ mm (Tabel 4.6-7 SNI T-12-2004)} \\
 t_{\text{pelat atas}} &= 2000 \text{ mm} \\
 dx &= 2000 - 25 - 25/2 = 1962,5 \text{ mm} \\
 f_c' &= 58,8 \text{ MPa} \\
 f_y &= 420 \text{ MPa} \\
 \phi &= 0,8
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad M_n &= \frac{M_u}{0,8} = \frac{600.454.046}{0,8} = 750.567.557,5 \text{ Nmm} \\
 \bullet \quad R_n &= \frac{M_n}{b \times dx^2} = \frac{750.567.557,5}{1000 \times 1962,5^2} = 0,194 \\
 \bullet \quad m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{420}{0,85 \times 58,8} = 8.403 \\
 \bullet \quad \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033 \\
 \bullet \quad \beta_1 &= 0,65 \quad (f_c' = 58,8 \text{ MPa})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \rho_{balance} &= \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 58,8 \times 0,65}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,0455 \end{aligned}$$

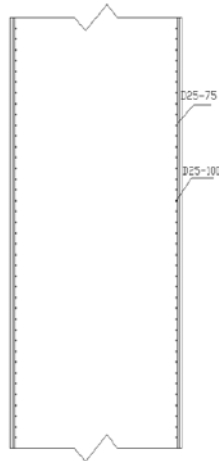
$$\begin{aligned} \bullet \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_{balance} \\ &= 0,75 \times 0,0455 \\ &= 0,034125 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{8,403} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8,403 \times 0,194}{420}} \right) \\ &= 0,000462 \end{aligned}$$

Karena $\rho_{perlu} < \rho_{min}$ maka yang dipakai adalah ρ_{min} .

$$\begin{aligned} \bullet A_s \text{ perlu} &= \rho_{min} \times b \times dx \\ &= 0,0033 \times 1000 \times 1962,5 \\ &= 6476,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Dari tabel tulangan, untuk tulangan D25 dengan $A_s \text{ perlu}$ sebesar 6476,25 mm² dipasang tulangan utama sejarak 75 mm (**D25-75** dengan $A_s = 6544,98 \text{ mm}^2$) dan tulangan pembagi sejarak 100 (**D25-100**).



Gambar 5.39 Penulangan Pelat pada Badan box girder

5.8.3. Perhitungan penulangan pelat bawah

$$M_u = 457.737.454 \text{ Nmm}$$

$$D = 25 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

decking = 25 mm (Tabel 4.6-7 SNI T-12-2004)

$$t_{\text{pelat atas}} = 1680 \text{ mm}$$

$$dx = 1680 - 25 - 25/2 = 1642,5 \text{ mm}$$

$$f_c' = 58,8 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$\phi = 0,8$$

$$\bullet \quad M_n = \frac{M_u}{0,8} = \frac{457.737.454}{0,8} = 572.171.818 \text{ Nmm}$$

$$\bullet \quad R_n = \frac{M_n}{b \times dx^2} = \frac{572.171.818}{1000 \times 1642,5^2} = 0,212$$

$$\bullet m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{420}{0,85 \times 58,8} = 8,403$$

$$\bullet \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0033$$

$$\bullet \beta_1 = 0,65 \quad (f_c' = 58,8 \text{ MPa})$$

$$\begin{aligned} \bullet \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 58,8 \times 0,65}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,0455 \end{aligned}$$

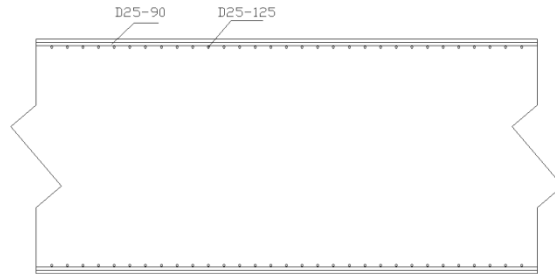
$$\begin{aligned} \bullet \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \times 0,0455 \\ &= 0,034125 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{8,403} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8,403 \times 0,212}{420}} \right) \\ &= 0,0005 \end{aligned}$$

Karena $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$ maka yang dipakai adalah ρ_{\min} .

$$\begin{aligned} \bullet A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{\min} \times b \times dx \\ &= 0,0033 \times 1000 \times 1642,5 \\ &= 5420,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Dari tabel tulangan, untuk tulangan D24 dengan $A_{s \text{ perlu}}$ sebesar $5420,25 \text{ mm}^2$ dipasang tulangan utama se jarak 90 mm (**D25-90** dengan $A_s = 5454,153 \text{ mm}^2$) dan tulangan pembagi sejarak 125 (**D25-125**).



Gambar 5.40 Penulangan Pelat Bawah box girder

5.9 Perencanaan perhitungan geser.

Retak akibat geser pada balok beton prategang secara umum dibedakan menjadi 2, yaitu:

- Retak geser pada bagian badan di dekat tumpuan (*web cracking*) yang disimbolkan dengan V_{cw}
- Retak geser miring di dekat tengah bentang (*inclined flexure shear cracking*) yang disimbolkan dengan V_{ci}

Kekuatan penampang untuk menahan retak akibat geser ditentukan oleh kekuatan dari beton dan tulangan geser yang dipasang. Adapun prosedur perhitungan dari perencanaan tulangan geser berdasarkan peraturan SNI T-12-2004 Pasal 6.8.10 adalah sebagai berikut:

- Dari dimensi penampang box girder yang telah direncanakan, hitung kemampuan penampang untuk menahan gaya geser, yaitu:

- Retak geser pada badan di dekat tumpuan (V_{cw}):
 $V_{cw} = V_t + V_p \dots$ (persamaan 6.8-14 SNI T-12-2004)

Dimana:

$$V_t = 0,3 (\sqrt{f'_c} + f_{pc}) \times b_w \times d \dots$$
 (persamaan 6.8-14 SNI T-12-2004)

$$f_{pc} = \frac{f_{eff}}{A_c}$$

Sehingga:

$$V_{cw} = \{0,3(\sqrt{f'_c} + f_{pc}) x b_w x d\} + V_p$$

Keterangan:

V_{cw} = Kuat geser pada bagian badan

f'_c = Mutu beton prategang = 60 Mpa

f_{pc} = Tegangan tekan rata-rata pada beton akibat gaya prategang efektif (sesudah memperhitungkan semua kehilangan gaya prategang) pada titik berat penampang yang menahan beban luar

b_w = Lebar badan

V_p = Tekanan tendon keatas

d = Jarak dari serat tekan terluar terhadap titik berat tulangan tarik longitudinal

- Retak geser tertentur di dekat tengah bentang (V_{ci}):

$$V_{ci} = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{20} x b_w x d \right) + V_d + \left(\frac{V_i x M_{cr}}{M_{max}} \right) \geq \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{7} x b_w x d \right)$$

Keterangan:

V_{ci} = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat kombinasi momen dan geser

f'_c = Mutu beton prategang = 60 Mpa

b_w = Lebar badan

d = Jarak dari serat tekan terluar terhadap titik berat tulangan tarik longitudinal

V_d = Gaya geser pada penampang akibat beban mati tidak terfaktor

V_i = Gaya geser pada penampang akibat beban luar tidak terfaktor

M_{cr} = Momen yang menyebabkan terjadinya retak lentur pada penampang akibat beban luar

2. Dari kekuatan penampang yang ada dan geseran eksternal yang terjadi, maka dapat ditentukan apakah penampang perlu tulangan geser atau cukup dipasang tulangan geser minimum. Besarnya gaya geser yang harus ditahan oleh tulangan adalah:

$$V_s = V_n - V_c \dots \dots \dots (\text{persamaan 6.8-10 SNI T-12-2004})$$

Keterangan:

V_n = Kekuatan geser batas nominal

V_c = Kekuatan geser batas beton, didapat dari nilai terkecil antara V_{ci} dan V_{cw}

3. Dengan mengetahui besarnya gaya geser yang harus ditahan oleh tulangan maka dapat direncanakan tulangan geser untuk menahan gaya geser tersebut.

- Tulangan geser (senggang) tegak lurus :

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \dots \dots \dots (\text{persamaan 6.8-15 SNI T-12-2004})$$

4. Beberapa ketentuan untuk tulangan geser:

- Jarak tulangan :

$$V_s \leq \frac{\sqrt{f'_c}}{3} \times b_w \times d \quad \text{maka} \quad S \leq \frac{1}{2} d \text{ atau } 600 \text{ mm}$$

(ambil yang terkecil)

$$V_s \geq \frac{\sqrt{f'_c}}{3} \times b_w \times d \quad \text{maka} \quad S \leq \frac{1}{4} d \text{ atau } 300 \text{ mm}$$

(ambil yang terkecil)

- Tulangan geser dipasang minimum apabila:

$$1/2 V_c < \frac{V_u}{\phi} < V_c$$

$$A_v \text{ min} = \frac{b_w \times S}{3 \times f_y}$$

- Kemampuan tulangan geser maksimum:

$$V_s \text{ max} = 2/3 \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

Kontrol tulangan geser dilakukan pada bentang yang terbesar yaitu pada bentang tengah dengan asumsi bentang ini mengalami gaya geser terbesar karena memiliki bentang terbesar.

5.9.1. Perhitungan Gaya Geser

Kontrol tulangan geser dilakukan pada bentang yang terbesar yaitu pada bentang tengah (152 m) karena bentang ini mengalami gaya geser terbesar akibat bentang lebih besar bila dibandingkan bentang 74 m.

5.9.2. Perhitungan Gaya Geser Akibat Tendon Kantilever

Perhitungan gaya geser akibat tendon kantilever pada segment 1 tahap 1 (saat kantilever).

$$F_{(23)} = 4568465 \text{ N}$$

$$F_{(1)} = 2717937 \text{ N}$$

$$L_{(23)} = 149500 \text{ mm}$$

$$L_{(1)} = 148000 \text{ mm}$$

$$L_{\text{segmen}} = 2000 \text{ mm}$$

$$h_{(23)} = 200 \text{ mm}$$

$$h_{(1)} = 325 \text{ mm}$$

$$W_p(23) = \frac{8 \times F \times h}{L^2} = \frac{8 \times 4568465 \times 200}{149500^2} = 0,327 \text{ N/mm}$$

$$W_p(1) = \frac{8 \times F \times h}{L^2} = \frac{8 \times 2717937 \times 325}{148000^2} = 0,327 \text{ N/mm}$$

$$V_p(1) = (W_p(23) + W_p(1)) \times L = 0,327 \times 1500 = 1299,327 \text{ N}$$

$$V_u' = 0 \text{ N (didapat dari kombinasi pembebanan di SAP 2000)}$$

$$V_u = |V_u' + V_{p(1)}| = |0 + 1299,327| = 1299,327 \text{ N}$$

5.9.3. Perhitungan Gaya Geser Akibat Tendon Menerus

Perhitungan gaya geser akibat tendon menerus pada joint 1 tahap 2 (saat service)

$$F_{(23)} = 4568465 \text{ N}$$

$$F_{(1)} = 2717937 \text{ N}$$

$$L_{(23)} = 149500 \text{ mm}$$

$$L_{(1)} = 148000 \text{ mm}$$

$$L_{\text{segmen}} = 2000 \text{ mm}$$

$$h_{(23)} = 200 \text{ mm}$$

$$h_{(1)} = 325 \text{ mm}$$

$$W_{p(23)} = \frac{8 \times F \times h}{L^2} = \frac{8 \times 4568465 \times 200}{149500^2} = 0,327 \text{ N/mm}$$

$$W_{p(1)} = \frac{8 \times F \times h}{L^2} = \frac{8 \times 2717937 \times 325}{148000^2} = 0,327 \text{ N/mm}$$

$$V_{p(1)} = (W_{p(23)} + W_{p(1)}) \times L = 0,327 \times 1500 = 1299,327 \text{ N}$$

$$V_u' = 0 \text{ N (didapat dari kombinasi pembebanan di SAP 2000)}$$

$$V_u = |V_u' + V_{p(15)}| = |0 + 1259,327| = 1259,615 \text{ N}$$

Tabel 5.48 Gaya geser akibat tendon kantilever saat pelaksanaan kantilever.

| gaya geser akibat kantilever | | | | | | | | |
|------------------------------|----------|---------------|----------------|--------|-------------|-------------|-----------|-----------------|
| segment | F (N) | L tendon (mm) | L segment (mm) | h (mm) | Wp (N/mm) | Vp (N) | Vu' | Vu' superposisi |
| 1 | 2717937 | 148000 | 2000 | 325 | 0.322618529 | 1299.327645 | 5.311E-10 | 1299.327645 |
| 2 | 2717944 | 144000 | 2000 | 425 | 0.44565049 | 1536.538038 | 436605.3 | 438141.838 |
| 3 | 2720955 | 140000 | 3000 | 525 | 0.583061854 | 4053.99262 | 874552.14 | 878606.1326 |
| 4 | 3641961 | 134000 | 3000 | 600 | 0.973569541 | 6974.701242 | 1534505 | 1541479.731 |
| 5 | 3653934 | 128000 | 3000 | 575 | 1.025884708 | 10052.35337 | 2198143.7 | 2208196.005 |
| 6 | 4582858 | 122000 | 3000 | 575 | 1.41636285 | 14301.44392 | 2869086.6 | 2883388.084 |
| 7 | 4588479 | 116000 | 3000 | 650 | 1.773193268 | 19621.02372 | 3550924.4 | 3570545.464 |
| 8 | 7362180 | 110000 | 3000 | 475 | 2.312089538 | 26557.29234 | 4247286.3 | 4273843.562 |
| 9 | 7313544 | 104000 | 3000 | 450 | 2.434241752 | 33860.01759 | 4961759 | 4995619.048 |
| 10 | 7274926 | 98000 | 3000 | 425 | 2.575463132 | 41586.40699 | 5697823.7 | 5739410.077 |
| 11 | 7329762 | 92000 | 3000 | 400 | 2.771176543 | 49899.93662 | 6458957.7 | 6508857.587 |
| 12 | 9133606 | 86000 | 3000 | 300 | 2.963852663 | 58791.49461 | 7248514.8 | 7307306.315 |
| 13 | 9069640 | 80000 | 4000 | 425 | 4.818246329 | 97661.64479 | 8069806.7 | 8167468.365 |
| 14 | 9075207 | 72000 | 4000 | 375 | 5.251856051 | 118669.069 | 9279999.6 | 9398668.659 |
| 15 | 11813624 | 64000 | 4000 | 525 | 12.11357904 | 167123.3851 | 10499711 | 10666834.69 |
| 16 | 11815135 | 56000 | 4000 | 575 | 17.33087435 | 236446.8825 | 11795901 | 12032347.64 |
| 17 | 12295639 | 48000 | 4000 | 675 | 28.81790353 | 351718.4967 | 13175106 | 13526824.78 |
| 18 | 20251082 | 40000 | 5000 | 375 | 37.97077948 | 629502.0183 | 14643593 | 15273095.11 |
| 19 | 25502344 | 30000 | 5000 | 275 | 62.33906346 | 941197.3356 | 16613170 | 17554906.96 |
| 20 | 25730505 | 20000 | 5000 | 175 | 90.05676676 | 1391481.169 | 18742088 | 20133569.02 |
| 21 | 26039712 | 10000 | 3000 | 75 | 156.2382707 | 1303603.514 | 21037477 | 22341080.75 |
| 22 | 26318874 | 4000 | 2000 | 25 | 328.9859207 | 1527040.851 | 23279255 | 24806295.51 |

Tabel 5.49 Gaya geser akibat tendon kantilever dan menerus saat service.

| gaya geser akibat tendon menerus | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------|---------------|----------------|--------|-------------|-------------|-----------|-----------------|
| tendon | F (N) | L tendon (mm) | L segment (mm) | h (mm) | Wp (N/mm) | Vp (N) | Vu' | Vu' superposisi |
| 24 tengah 14 ter | 15793957 | 112000 | | 150 | 1.519091477 | | | |
| 24 tengah 17 ter | 16409278 | 100000 | | 150 | 1.969113377 | | | |
| 6 tengah 22 tepi | 8013184 | 63000 | | 150 | 2.42823906 | | | |
| 15 tengah 22 ter | 8294449 | 34000 | | 150 | 8.610154506 | | | |
| 22 tengah 22 ter | 17159480 | 4000 | | 150 | 1286.960977 | | | |
| segment | | | | | | | | |
| 1 | 2550659 | 148000 | 2000 | 325 | 0.302762665 | 1259.615918 | 5.311E-10 | 1259.615918 |
| 2 | 2576875 | 144000 | 2000 | 425 | 0.422519961 | 2104.65584 | 436605.3 | 438709.9558 |
| 3 | 2605450 | 140000 | 3000 | 525 | 0.558310644 | 4831.915691 | 874552.14 | 879384.0557 |
| 4 | 3520768 | 134000 | 3000 | 600 | 0.941172094 | 7655.431972 | 1534505 | 1542160.462 |
| 5 | 3589179 | 128000 | 3000 | 575 | 1.007704035 | 10678.54408 | 2198143.7 | 2208822.194 |
| 6 | 4518654 | 122000 | 3000 | 575 | 1.402701455 | 14866.64484 | 2869086.6 | 28833973.288 |
| 7 | 4570604 | 116000 | 3000 | 650 | 1.766280367 | 20185.30545 | 3550924.4 | 3571109.945 |
| 8 | 7356757 | 110000 | 3000 | 475 | 2.310386451 | 27116.66481 | 4247286.3 | 4274402.935 |
| 9 | 7313544 | 104000 | 3000 | 450 | 2.434241752 | 34419.39006 | 4961759 | 4996178.42 |
| 10 | 7274926 | 98000 | 3000 | 425 | 2.575463132 | 42145.77946 | 5697823.7 | 5739669.449 |
| 11 | 7329762 | 92000 | 3000 | 400 | 2.771176543 | 50459.30909 | 6458957.7 | 6509416.959 |
| 12 | 9133606 | 86000 | 3000 | 300 | 2.963852663 | 59350.86708 | 7248514.8 | 7307865.687 |
| 13 | 9069640 | 80000 | 4000 | 425 | 4.818246329 | 98407.47475 | 8069806.7 | 8168214.195 |
| 14 | 9075207 | 72000 | 4000 | 375 | 5.251856051 | 124150.3237 | 9279999.6 | 9404149.914 |
| 15 | 11813624 | 64000 | 4000 | 525 | 12.11357904 | 172604.6398 | 10499711 | 10672315.94 |
| 16 | 11815135 | 56000 | 4000 | 575 | 17.33087435 | 241928.1372 | 11795901 | 12037828.9 |
| 17 | 12295639 | 48000 | 4000 | 675 | 28.81790353 | 365076.2049 | 13175106 | 13540182.48 |
| 18 | 20251082 | 40000 | 5000 | 375 | 37.97077948 | 646199.1535 | 14643593 | 15289792.21 |
| 19 | 25502344 | 30000 | 5000 | 275 | 62.33906346 | 957894.4708 | 16613710 | 17571604.09 |
| 20 | 25730505 | 20000 | 5000 | 175 | 90.05676676 | 1408178.305 | 18742088 | 20150266.15 |
| 21 | 26039712 | 10000 | 3000 | 75 | 156.2382707 | 1313621.795 | 21037477 | 22351099.03 |
| 22 | 26318874 | 4000 | 2000 | 25 | 328.9859207 | 1429718.436 | 23279255 | 27408973.1 |

Perhitungan gaya geser akibat superposisi tendon kantilever dan tendon menerus :

Contoh perhitungan pada joint 15 :

$$\begin{aligned} Vu'_{(1) \text{ superposisi}} &= Vu'_{(1)\text{kantilever}} + Vu'_{(1)\text{menerus}} \\ &= 0 + 0 \\ &= 0 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vp_{(1) \text{ superposisi}} &= Vp_{(1)\text{kantilever}} + Vp_{(1)\text{menerus}} \\ &= 1299,327 + 1259,615 \\ &= 2558,943 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vn_{(1) \text{ superposisi}} &= (Vu'_{(1)\text{superposisi}} + Vp_{(1)\text{superposisi}})/0.85 \\ &= 0 + 2558,943 \\ &= 2558,943 \text{ N} \end{aligned}$$

Tabel 5.50 Perhitungan Vn superposisi.

| segment | Vu' | | | Vp | | | Vn |
|---------|------------|-----------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| | kantilever | menerus | superposisi | kantilever | menerus | superposisi | superposisi |
| 1 | 5.311E-10 | 5.311E-10 | 1.062E-09 | 1299.3276 | 1259.615918 | 2558.943562 | 3010.52184 |
| 2 | 436605.3 | 436605.3 | 873210.6 | 1536.538 | 2104.65584 | 3641.193878 | 1031590.35 |
| 3 | 874552.14 | 874552.14 | 1749104.3 | 4053.9926 | 4831.915691 | 8885.908311 | 2068223.75 |
| 4 | 1534505 | 1534505 | 3069010.1 | 6974.7012 | 7655.431972 | 14630.13321 | 3627811.99 |
| 5 | 2198143.7 | 2198143.7 | 4396287.3 | 10052.355 | 10678.54408 | 20730.89944 | 5196492 |
| 6 | 2869086.6 | 2869086.6 | 5738173.3 | 14301.444 | 14886.64844 | 29188.09236 | 6785131.03 |
| 7 | 3550924.4 | 3550924.4 | 7101848.9 | 19621.024 | 20185.50545 | 39806.52917 | 8401947.54 |
| 8 | 4247286.3 | 4247286.3 | 8494572.5 | 26557.292 | 27116.66481 | 53673.95714 | 10056760.6 |
| 9 | 4961759 | 4961759 | 9923518.1 | 33860.018 | 34419.39006 | 68279.40765 | 11755055.8 |
| 10 | 5697823.7 | 5697823.7 | 11395647 | 41586.407 | 42145.77946 | 83732.18644 | 13505152.4 |
| 11 | 6458957.7 | 6458957.7 | 12917915 | 49899.937 | 50459.30909 | 100359.2457 | 15315617.1 |
| 12 | 7248514.8 | 7248514.8 | 14497030 | 58791.495 | 59350.86708 | 118142.3617 | 17194320 |
| 13 | 8069806.7 | 8069806.7 | 16139613 | 67661.645 | 68407.47475 | 136609.1195 | 19218450.1 |
| 14 | 9279999.6 | 9279999.6 | 18559999 | 77669.07 | 79150.3237 | 157819.3927 | 22120963 |
| 15 | 10499711 | 10499711 | 20999423 | 88123.39 | 90260.6398 | 179728.025 | 25104883.1 |
| 16 | 11795901 | 11795901 | 23591802 | 100446.88 | 103128.1372 | 206875.0198 | 28317854.8 |
| 17 | 13175106 | 13175106 | 26350213 | 115178.5 | 118076.2049 | 23794.7015 | 31843538 |
| 18 | 14643593 | 14643593 | 29287186 | 132502.02 | 136199.1535 | 275701.172 | 35956338.1 |
| 19 | 16613710 | 16613710 | 33227419 | 151197.34 | 155894.4708 | 319091.806 | 41325307.1 |
| 20 | 18742088 | 18742088 | 37484176 | 171481.2 | 176178.305 | 369659.474 | 47392747.3 |
| 21 | 21037477 | 21037477 | 42074954 | 193603.5 | 198621.795 | 427225.309 | 52579035 |
| 22 | 23279255 | 23279255 | 46558509 | 220740.9 | 226918.436 | 486759.287 | 61429727.8 |

Dari hasil perhitungan Vn superposisi diatas, dilanjutkan perencanaan dan perhitungan tulangan geser yang diperlukan. Berikut adalah contoh perhitungan gaya geser :

5.9.4. Perhitungan retak geser pada badan didekat tumpuan (Vcw) pada segment 22.

$$\begin{aligned}
 V_p &= 5658027,551 \text{ N} \\
 d &= 6350 \text{ mm} \\
 F_{eff} &= 310250760 \text{ N} \\
 bw &= 6667 \text{ mm} \\
 A_c &= 42606800 \text{ mm}^2 \\
 F_{pc} &= \frac{F_{eff}}{A_c} = \frac{310250760}{42606800} = 7,28 \text{ Mpa} \\
 V_{cw} &= \{0,3(\sqrt{f_c'} + f_{pc}) \cdot A_{eff}\} + V_p \\
 &= \{0,3(\sqrt{58,8} + 7,28) \cdot (42606800 - \\
 &\quad 150 \cdot 6667 + 5658027,551 \text{ N} \\
 &= 192262243,8 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.51 Tabel perhitungan retak geser pada badan (V_{cw}).

| segment | F efektif | A | H | d | fpe | bw | Vp | Vcw |
|---------|-----------|----------|------|------|------------|--------|----------|-----------|
| 22 | 310250760 | 42606800 | 6500 | 6350 | 7.28171935 | 6667 | 5656759 | 192260975 |
| 21 | 310250760 | 19572000 | 6200 | 6050 | 15.8517658 | 6700.2 | 2617225 | 2.174E+09 |
| 20 | 224406863 | 18118200 | 5728 | 5578 | 12.3857151 | 6960.8 | 2799659 | 1.338E+09 |
| 19 | 198676358 | 16733600 | 5294 | 5144 | 11.8728999 | 7126 | 1899092 | 1.152E+09 |
| 18 | 173174014 | 15428500 | 4898 | 4748 | 11.2242936 | 7277 | 1275701 | 968089823 |
| 17 | 152922931 | 14447600 | 4608 | 4458 | 10.5846598 | 7387.4 | 716794.7 | 823815606 |
| 16 | 140627292 | 13531800 | 4342 | 4192 | 10.3923567 | 7488.6 | 478375 | 748203622 |
| 15 | 112402879 | 12684000 | 4100 | 3950 | 8.86178485 | 7580.8 | 339728 | 544664856 |
| 14 | 100589255 | 11907100 | 3882 | 3732 | 8.44783829 | 7663.6 | 242819.4 | 473760406 |
| 13 | 91514048 | 11208000 | 3689 | 3539 | 8.16506496 | 7737.8 | 196069.1 | 422245548 |
| 12 | 75720091 | 10734900 | 3559 | 3409 | 7.05363732 | 7787 | 118142.4 | 322754378 |
| 11 | 66650451 | 10309100 | 3443 | 3293 | 6.46520561 | 7831.2 | 100359.2 | 271357400 |
| 10 | 57516845 | 9929800 | 3340 | 3190 | 5.79234679 | 7870.4 | 83732.19 | 221520262 |
| 9 | 50187083 | 9599000 | 3251 | 3101 | 5.22836579 | 7904.4 | 68279.41 | 183848649 |
| 8 | 42912157 | 9318200 | 3175 | 3025 | 4.60519815 | 7933.1 | 53673.96 | 148151552 |
| 7 | 35598613 | 9086000 | 3113 | 2963 | 3.91796316 | 7956.8 | 39806.53 | 114412109 |
| 6 | 28241856 | 8906800 | 3065 | 2915 | 3.17081964 | 7975.4 | 29188.09 | 83095147 |
| 5 | 23671253 | 8777400 | 3030 | 2880 | 2.69684104 | 7988.8 | 20730.9 | 65235793 |
| 4 | 19132599 | 8699900 | 3008 | 2858 | 2.19917454 | 7997 | 14630.13 | 48659529 |
| 3 | 15543420 | 8673000 | 3000 | 2850 | 1.79216184 | 8000 | 8885.908 | 36459581 |
| 2 | 12022652 | 8614000 | 2964 | 2814 | 1.39571067 | 8015.2 | 3641.194 | 25347111 |
| 1 | 9417202 | 8616000 | 2936 | 2786 | 1.09299002 | 8030.4 | 2558.944 | 17645609 |

5.9.5. Perhitungan retak geser lentur (V_{ci}) pada joint 1.

$$\begin{aligned}
 F_{eff} &= 310250760 \text{ N} \\
 A_c &= 42606800 \text{ mm} \\
 b_w &= 6667 \text{ mm} \\
 d &= 6350 \text{ mm} \\
 h &= 6500 \text{ mm} \\
 M_{max} &= 1,06128 \times 10^{12} \text{ Nmm} \\
 Vd &= 23127144,3 \text{ N} \\
 Vl &= 1170442,5 \text{ N} \\
 I &= 1,82696 \times 10^{14} \text{ mm}^4 \\
 y_t &= 3009,36 \text{ mm} \\
 W_t &= \frac{I}{y_t} = \frac{1,82696 \times 10^{14}}{3009,36} = 6,071 \times 10^{10} \text{ mm}^3 \\
 f_{pe} &= \frac{F_{eff}}{A_c} + \frac{F_{eff} \cdot e}{W_t} = 18,964 \text{ Mpa} \\
 f_d &= \frac{M_{max}}{W_t} = 14,503 \text{ Mpa} \\
 M_{cr} &= \frac{I}{y_t} \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{2} + f_{pe} - f_d \right) = 5,035 \times 10^{11} \text{ Mpa} \\
 V_{ci} &= \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{20} \times (A_c - (b_w - d)) \right) + Vd + \left(\frac{Vl \times M_{cr}}{M_{max}} \right) \\
 &= 39634788,55 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.52 Tabel perhitungan retak geser lentur (Vci).

| segment | Ar | Ibw | d | Mmax | Vd | Vl | t | yt | Wt | F _{pe} | F _{ld} | Mtr | Vci |
|---------|-----------|--------|------|-------------|-------------|-----------|-------------|---------|-----------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|
| 22 | 42806800 | 6666,6 | 6250 | 1.06128E+12 | 2312,71M,3 | 11,00M2,5 | 1.82698E+14 | 3009,38 | 6,071E+10 | -18,96703 | 14,30497 | 5,03258E+11 | 3964788,55 |
| 21 | 20018300 | 6667 | 6050 | 9,64611E+11 | 21025953,7 | 1132412,3 | 1,00061E+14 | 3040,7 | 3,281E+10 | -35,86465 | 27,720565 | 3,93012E+11 | 28203931,89 |
| 20 | 18838500 | 6700,2 | 5578 | 8,17033E+11 | 18818218,65 | 1071563,9 | 8,18318E+13 | 3643,9 | 2,246E+10 | -33,09734 | 25,989318 | 2,4538E+11 | 25402651,68 |
| 19 | 17416700 | 6960,8 | 5144 | 6,83858E+11 | 16682395,35 | 995503,37 | 6,67978E+13 | 3311,7 | 2,017E+10 | 30,99071 | 24,470347 | 2,08851E+11 | 22688656,99 |
| 18 | 16070300 | 7120 | 4748 | 5,64485E+11 | 14709208,5 | 919442,88 | 5,44528E+13 | 3049,7 | 1,786E+10 | -27,19649 | 21,546296 | 1,69301E+11 | 20161484,39 |
| 17 | 148930400 | 7277 | 4458 | 4,78246E+11 | 13058361,25 | 850988,44 | 4,62187E+13 | 2495,1 | 1,852E+10 | -26,33907 | 20,175054 | 1,85202E+11 | 18118695,61 |
| 16 | 13982300 | 7387,4 | 4192 | 3,9984E+11 | 11695363,45 | 790140,04 | 3,92624E+13 | 2495,1 | 1,574E+10 | 21,531 | 18,280226 | 1,118E+11 | 16277226,46 |
| 15 | 13098400 | 7488,0 | 3950 | 3,29039E+11 | 10418514,38 | 729291,65 | 3,34025E+13 | 2293,7 | 1,456E+10 | -19,3143 | 16,262034 | 1,09021E+11 | 14676348,17 |
| 14 | 12286200 | 7580,8 | 3732 | 2,65431E+11 | 9221412,19 | 668443,26 | 2,84862E+13 | 2106,9 | 1,352E+10 | -18,43616 | 14,192586 | 1,09213E+11 | 13195960,09 |
| 13 | 11547200 | 7663,6 | 3539 | 2,10526E+11 | 8097287,95 | 577615,21 | 2,44054E+13 | 1934,8 | 1,261E+10 | 14,28652 | 12,084175 | 76142648465 | 11717613,17 |
| 12 | 10965200 | 7737,8 | 3409 | 1,74194E+11 | 7164767,57 | 494393,2 | 2,18179E+13 | 1778,8 | 1,227E+10 | -12,71168 | 10,500977 | 74142690152 | 10559207,79 |
| 11 | 10516200 | 7787 | 3294 | 1,41561E+11 | 6101979,33 | 418756,91 | 1,96024E+13 | 1672,2 | 1,172E+10 | -10,98836 | 8,999573 | 68962123187 | 9642618,913 |
| 10 | 10113000 | 7831,2 | 3190 | 1,12458E+11 | 5675270,05 | 401120,61 | 1,7715E+13 | 1575,5 | 1,124E+10 | -9,541257 | 7,4167607 | 66978282128 | 8767329,641 |
| 9 | 9756700 | 7870,4 | 3101 | 8681378400 | 4972307,035 | 357484,32 | 1,6133E+13 | 1488,4 | 1,084E+10 | -8,173631 | 5,9577715 | 65034036654 | 7953907,494 |
| 8 | 9452400 | 7904,4 | 3028 | 6587837800 | 4292674,63 | 311848,02 | 1,48351E+13 | 1411,7 | 1,051E+10 | -6,71974 | 4,9941255 | 62942917734 | 7190987,981 |
| 7 | 9196500 | 7933,1 | 2963 | 4571486100 | 3632893,63 | 266211,73 | 1,37959E+13 | 1345,9 | 1,025E+10 | -5,429172 | 3,3545555 | 60597549134 | 6400441,082 |
| 6 | 8940500 | 7956,8 | 2915 | 3012473300 | 2989430,11 | 220575,43 | 1,30047E+13 | 1291,3 | 1,007E+10 | -4,588917 | 2,7638939 | 6028139357 | 5857910,873 |
| 5 | 8835500 | 7975,4 | 2880 | 17806049300 | 2338676,01 | 174939,14 | 1,24464E+13 | 1248,3 | 9,971E+09 | 3,74705 | 1,3630299 | 61998719638 | 5321395,972 |
| 4 | 8732200 | 7988,8 | 2858 | 8714694174 | 1737021,5 | 129302,84 | 1,21153E+13 | 1217,3 | 9,953E+09 | -3,079285 | 0,6745958 | 62091751234 | 4971722,166 |
| 3 | 8860400 | 7997 | 2850 | 2842586674 | 1120862,045 | 83666,54 | 1,20051E+13 | 1198,6 | 1,002E+10 | -2,438671 | 0,2220515 | 60615211735 | 5267069,772 |
| 2 | 8676800 | 8000 | 2814 | 710438792 | 609942,425 | 45636,295 | 1,16763E+13 | 1198,9 | 9,793E+09 | 1,936752 | 0,0566506 | 53657054843 | 6476711,718 |
| 1 | 8699990 | 8015,2 | 2786 | 0,49009657 | 203090,5501 | 15212,1 | 1,14241E+13 | 1177,8 | 9,7E+09 | -1,430089 | 5,003E-11 | 51059723996 | 1,58484E+15 |

5.9.6. Perhitungan tulangan geser.

Gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser.

Contoh perhitungan pada segment 22 :

$$V_n = 61429728 \text{ N}$$

$$V_c = \text{diambil nilai terkecil antara } V_{ci} \text{ dan } V_{cw} \\ = 39634788,55 \text{ N}$$

$V_s = V_n - V_c$ (karena $V_c < V_n$, maka perlu dilakukan perhitungan tulangan geser pada segment 22).

$$V_s = 21794939,22 < \left(\frac{2}{3} \times \sqrt{f'_c} \times c \times A_{eff} \right)$$

$$V_s = 21794939,22 < 212696918 \text{ (memenuhi)}$$

Tabel 5.53 Tabel gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser .

| segment | Vn | Vci | Vcw | Vc | Vs |
|---------|-----------|----------|------------|-------------|--------------------------|
| 22 | 61429728 | 39634789 | 192260975 | 39634788.55 | 21794939.22 |
| 21 | 52579035 | 28203932 | 2174060167 | 28203931.89 | 24375103.15 |
| 20 | 47392747 | 25402652 | 1337559034 | 25402651.68 | 21990095.58 |
| 19 | 41325307 | 22688657 | 1151540766 | 22688656.99 | 18636650.12 |
| 18 | 35956338 | 20161484 | 968089823 | 20161484.39 | 15794853.67 |
| 17 | 31843538 | 18118696 | 823815606 | 18118695.61 | 13724842.34 |
| 16 | 28317855 | 16277226 | 748203622 | 16277226.46 | 12040628.29 |
| 15 | 25104883 | 14676348 | 544664856 | 14676348.17 | 10428534.92 |
| 14 | 22120963 | 13195960 | 473760406 | 13195960.09 | 8925002.94 |
| 13 | 19218450 | 11717613 | 422245548 | 11717613.17 | 7500836.903 |
| 12 | 17194320 | 10559202 | 322754378 | 10559202.29 | 6635117.715 |
| 11 | 15315617 | 9632619 | 271357400 | 9632618.913 | 5682998.199 |
| 10 | 13505152 | 8767330 | 221520262 | 8767329.643 | 4737822.741 |
| 9 | 11755056 | 7953907 | 183848649 | 7953907.495 | 3801148.349 |
| 8 | 10056761 | 7190988 | 148151552 | 7190987.961 | 2865772.624 |
| 7 | 8401947.5 | 6480441 | 114412109 | 6480441.082 | 1921506.459 |
| 6 | 6785131 | 5857911 | 83095146.6 | 5857910.823 | 927220.2034 |
| 5 | 5196492 | 5321596 | 65235793.2 | 5321595.972 | dipakai tulangan minimum |
| 4 | 3627812 | 4971722 | 48659528.5 | 4971722.166 | dipakai tulangan minimum |
| 3 | 2068223.8 | 5267070 | 36459580.7 | 5267069.772 | dipakai tulangan minimum |
| 2 | 1031590.3 | 6476712 | 25347110.8 | 6476711.718 | dipakai tulangan minimum |
| 1 | 3010.5218 | 1.58E+15 | 17645609.2 | 17645609.15 | dipakai tulangan minimum |

Dari tabel 5.53 dihitung luasan tulangan yang di pakai.
Contoh perhitungan luasan tulangan pada segmen 22 :

$$\begin{aligned}
 V_s &= 21794939,22 \text{ N} \\
 f_y &= 420 \text{ Mpa} \\
 b_w &= 6667 \text{ mm} \\
 d &= 6350 \text{ mm} \\
 A_s &= \frac{V_s \times s}{f_y \times d} = 8172,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$As_{\min} = \frac{bw \times s}{3 \times f_y} = 5290,592 \text{ mm}^2$$

Karena $As > As_{\min}$,
maka As yang dipakai : $As = 8172,08 \text{ mm}^2$

Jarak tulangan maksimum :

$$V_s \leq \frac{\sqrt{f'_c}}{3} \times b_w \times d \quad \text{maka } S \leq \frac{1}{2} d \text{ atau } 600 \text{ mm (ambil yang terkecil)}$$

$$21794939,22 \leq 106348459,1$$

maka, dipakai jarak tulangan $S_{\max} = 600 \text{ mm}$

Tabel 5.54 Tabel perhitungan luas tulangan pakai.

| perhitungan jarak tulangan geser | | | | | | | | |
|----------------------------------|--------|------|-------------|-----|-------------|-------------|------------|------------|
| segment | bw | d | Vs | Fy | As min | Av | kontrol | kontrol Vs |
| 22 | 6666.6 | 6350 | 21794939 | 420 | 5290.952381 | 8172.080698 | Smax = 600 | oke |
| 21 | 6667 | 6050 | 24375103 | 420 | 5291.269841 | 9592.720643 | Smax = 600 | oke |
| 20 | 6700.2 | 5578 | 21990096 | 420 | 5317.619048 | 9386.405599 | Smax = 600 | oke |
| 19 | 6960.8 | 5144 | 18636650 | 420 | 5524.444444 | 8626.161834 | Smax = 600 | oke |
| 18 | 7126 | 4748 | 15794854 | 420 | 5655.555556 | 7920.554856 | Smax = 600 | oke |
| 17 | 7277 | 4458 | 13724842 | 420 | 5775.396825 | 7330.236891 | Smax = 600 | oke |
| 16 | 7387.4 | 4192 | 12040628 | 420 | 5863.015873 | 6838.779248 | Smax = 600 | oke |
| 15 | 7488.6 | 3950 | 10428535 | 420 | 5943.333333 | 6286.03672 | Smax = 600 | oke |
| 14 | 7580.8 | 3732 | 8925002.9 | 420 | 6016.507937 | 6016.507937 | Smax = 600 | oke |
| 13 | 7663.6 | 3539 | 7500836.9 | 420 | 6082.222222 | 6082.222222 | Smax = 600 | oke |
| 12 | 7737.8 | 3409 | 6635117.7 | 420 | 6141.111111 | 6141.111111 | Smax = 600 | oke |
| 11 | 7787 | 3293 | 5682998.2 | 420 | 6180.15873 | 6180.15873 | Smax = 600 | oke |
| 10 | 7831.2 | 3190 | 4737822.7 | 420 | 6215.238095 | 6215.238095 | Smax = 600 | oke |
| 9 | 7870.4 | 3101 | 3801148.3 | 420 | 6246.349206 | 6246.349206 | Smax = 600 | oke |
| 8 | 7904.4 | 3025 | 2865772.6 | 420 | 6273.333333 | 6273.333333 | Smax = 600 | oke |
| 7 | 7933.1 | 2963 | 1921506.5 | 420 | 6296.111111 | 6296.111111 | Smax = 600 | oke |
| 6 | 7956.8 | 2915 | 927220.2 | 420 | 6314.920635 | 6314.920635 | Smax = 600 | oke |
| 5 | 7975.4 | 2880 | dipakai tul | 420 | 6329.68254 | 6329.68254 | Smax = 300 | oke |
| 4 | 7988.8 | 2858 | dipakai tul | 420 | 6340.31746 | 6340.31746 | Smax = 300 | oke |
| 3 | 7997 | 2850 | dipakai tul | 420 | 6346.825397 | 6346.825397 | Smax = 300 | oke |
| 2 | 8000 | 2814 | dipakai tul | 420 | 6349.206349 | 6349.206349 | Smax = 300 | oke |
| 1 | 8015.2 | 2786 | dipakai tul | 420 | 6361.269841 | 6361.269841 | Smax = 300 | oke |

Setelah didapatkan Av pakai pada tabel 5.41, kemudian dihitung kebutuhan tulangan yang akan dipakai dan S pakai.

Berikut adalah contoh perhitungan pada segmen 22:

$$V_s = 21794939,22 \text{ N}$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} \varnothing &= 28 \text{ mm} \\ Av &= 8172,081 \text{ mm}^2. \\ At &= \frac{\pi \varnothing^2}{4} \times 2 = 1231,504 \text{ mm}^2 \\ \text{Jumlah tulangan} &= \frac{Av}{At} = 6,635 \text{ buah} \approx 7 \text{ buah.} \\ S \text{ pakai} &= \frac{1000}{7} = 142,85 \text{ mm} \approx 125 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tabel 5.55 Tabel perhitungan luas tulangan pakai.

| perhitungan tulangan geser yang dipakai | | | | | | | | | | | |
|---|------|--------------------------|------|----------|--------------|----------|------------|-----------|----------|---------|--|
| segment | d | Vs | Fy | Av | dia.Tulangan | At | jumlah Tul | Tul.pakai | S | S pakai | |
| 22 | 6350 | 21794939.22 | 1571 | 8172.081 | 28 | 1231.504 | 6.6358522 | 7 | 142.8571 | 125 | |
| 21 | 6050 | 24375103.15 | 1571 | 9592.721 | 28 | 1231.504 | 7.7894332 | 8 | 125 | 100 | |
| 20 | 5578 | 21990095.58 | 1571 | 9386.406 | 28 | 1231.504 | 7.6219023 | 8 | 125 | 100 | |
| 19 | 5144 | 18636650.12 | 1571 | 8626.162 | 28 | 1231.504 | 7.0045729 | 8 | 125 | 100 | |
| 18 | 4748 | 15794853.67 | 1571 | 7920.555 | 28 | 1231.504 | 6.4316095 | 7 | 142.8571 | 125 | |
| 17 | 4458 | 13724842.34 | 1571 | 7330.237 | 28 | 1231.504 | 5.9522624 | 6 | 166.6667 | 150 | |
| 16 | 4192 | 12040628.29 | 1571 | 6838.779 | 28 | 1231.504 | 5.5531914 | 6 | 166.6667 | 150 | |
| 15 | 3950 | 10428534.92 | 1571 | 6286.037 | 28 | 1231.504 | 5.1043562 | 6 | 166.6667 | 150 | |
| 14 | 3732 | 8925002.94 | 1571 | 6016.508 | 28 | 1231.504 | 4.8854948 | 5 | 200 | 150 | |
| 13 | 3539 | 7500836.903 | 1571 | 6082.222 | 28 | 1231.504 | 4.9388558 | 5 | 200 | 150 | |
| 12 | 3409 | 6635117.715 | 1571 | 6141.111 | 28 | 1231.504 | 4.9866744 | 5 | 200 | 150 | |
| 11 | 3293 | 5682998.199 | 1571 | 6180.159 | 28 | 1231.504 | 5.0183817 | 6 | 166.6667 | 150 | |
| 10 | 3190 | 4737822.741 | 1571 | 6215.238 | 28 | 1231.504 | 5.0468667 | 6 | 166.6667 | 150 | |
| 9 | 3101 | 3801148.349 | 1571 | 6246.349 | 28 | 1231.504 | 5.0721293 | 6 | 166.6667 | 150 | |
| 8 | 3025 | 2865772.624 | 1571 | 6273.333 | 28 | 1231.504 | 5.0940409 | 6 | 166.6667 | 150 | |
| 7 | 2963 | 1921506.459 | 1571 | 6296.111 | 28 | 1231.504 | 5.1125368 | 6 | 166.6667 | 150 | |
| 6 | 2915 | 927220.2034 | 1571 | 6314.921 | 28 | 1231.504 | 5.1278104 | 6 | 166.6667 | 150 | |
| 5 | 2880 | dipakai tulangan minimum | 1571 | 6329.683 | 28 | 1231.504 | 5.1397973 | 6 | 166.6667 | 150 | |
| 4 | 2858 | dipakai tulangan minimum | 1571 | 6340.317 | 28 | 1231.504 | 5.148433 | 6 | 166.6667 | 150 | |
| 3 | 2850 | dipakai tulangan minimum | 1571 | 6346.825 | 28 | 1231.504 | 5.1537175 | 6 | 166.6667 | 150 | |
| 2 | 2814 | dipakai tulangan minimum | 1571 | 6349.206 | 28 | 1231.504 | 5.1556509 | 6 | 166.6667 | 150 | |
| 1 | 2786 | dipakai tulangan minimum | 1571 | 6361.27 | 28 | 1231.504 | 5.1654466 | 6 | 166.6667 | 150 | |

5.10 Kontrol kekuatan dan stabilitas struktur.

5.10.1. Kontrol momen retak.

Momen yang menghasilkan retak-retak rambut pertama pada balok beton prategang dihitung dengan teori elastik, dengan menganggap bahwa retak mulai terjadi saat tegangan tarik pada serat terluar beton mencapai modulus kerutuhannya.

Harus diperhatikan bahwa modulus keruntuhan hanyalah merupakan ukuran permulaan retak-retak rambut yang seringkali tidak terlihat oleh mata telanjang. Tegangan tarik yang lebih besar dari modulus diperlukan untuk menghasilkan retak-retak yang terlihat. Pada kondisi beton telah mengalami retak akibat beban berlebihan, susut atau sebab-sebab lainnya, maka retak-retak dapat terlihat pada tegangan tarik yang terkecil.

Dengan menggunakan analisa elastik beton prategang, perumusan tegangan pada saat jacking tahap 2 (service) untuk daerah tarik serat bawah adalah:

$$f_r = \frac{f_{eff}}{A} - \frac{f_{eff} \ x \ e \ x \ y_b}{I} + \frac{M \ x \ y_b}{I}$$

Dengan mentransposkan suku-suku pada persamaan di atas, maka diperoleh momen retak:

$$\begin{aligned} M_{cr} &= (f_{eff} \ x \ e) + \left(\frac{f_{eff} \ x \ I}{A \ x \ y_b} \right) + \left(\frac{f_r \ x \ I}{y_b} \right) \\ &= \left[f_{eff} \left(e + \frac{I}{A \ x \ y_b} \right) \right] + \left[\frac{f_r \ x \ I}{y_b} \right] \\ &= [f_{eff} (e + K_t)] + [f_r \ x \ W_b] \\ &= M_1 + M_2 \end{aligned}$$

Dimana $\frac{f_r \ x \ I}{y_b}$ memberikan momen perlawanan akibat modulus keruntuhan beton, $f_{eff} \ x \ e$ momen perlawanan akibat eksentrisitas gaya prategang, dan $\frac{f_{eff} \ x \ I}{A \ x \ y_b}$ akibat tekanan langsung gaya prategang.

Sedangkan pada saat pemasangan segmen kantilever (tahap 1), perumusan momen retak untuk daerah tarik serat atas adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 f_r &= -\frac{f_{eff}}{A} - \frac{f_{eff} \times e \times y_t}{I} + \frac{M \times y_t}{I} \\
 M_{cr} &= (f_{eff} \times e) + \left(\frac{f_{eff} \times I}{A \times y_t} \right) + \left(\frac{f_r \times I}{y_t} \right) \\
 &= \left[f_{eff} \left(e + \frac{I}{A \times y_t} \right) \right] + \left[\frac{f_r \times I}{y_t} \right] \\
 &= [f_{eff} (e + K_b)] + [f_r \times W_t] \\
 &= M_1 + M_2
 \end{aligned}$$

Keterangan:

M_1 = momen akibat eksentrisitas gaya prategang

M_2 = momen tahanan dari beton sendiri

F_o = gaya prategang awal (pada saat jacking)

e = eksentrisitas

W_b = tahanan serat bawah

W_t = tahanan serat atas

f_r = modulus retak = $0,7\sqrt{f_c'}$

Suatu balok dapat dikatakan memenuhi syarat retak jika momen yang bekerja padanya tidak melampaui momen retak tahanan balok. Perhitungan kontrol momen retak tahanan balok dilakukan pada saat pelaksanaan dan pada saat bentang jembatan sudah tersusun keseluruhan yang dikontrol pada daerah tumpuan dan lapangan.

1. Kontrol momen retak akibat tendon kantilever dan tendon service pada saat service

Untuk kontrol dilakukan pada joint yang mengalami momen terbesar, dalam hal ini adalah joint 23. Berikut adalah contoh perhitungan M_{cr} akibat tendon 22:

$$\begin{aligned}
 f_{eff} &= 26318874 \text{ N} \\
 M_u &= 1,13089 \times 10^{12} \text{ Nmm} \\
 e &= 509,36 \text{ mm} \\
 W_a &= 60709253795 \text{ mm}^3 \\
 K_b &= 1424,872 \text{ mm} \\
 f_r &= 0,7\sqrt{58,8} = 4,754 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= [f_{eff} (e + K_b)] + [f_r \times W_t] \\
 M_{cr} &= [26318874(509,36 + 1424,872)] + [4,754 \times 60709253795] \\
 &= 3,39 \times 10^{11} \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Karena dalam perhitungan momen retak didapatkan eksentrisitas yang berbeda maka kontrol momen retak ditinjau per tendon. Berikut adalah tabel perhitungan kontrol momen retak :

Tabel 5.56 Tabel kontrol momen retak pada tumpuan joint 23.

| Mcr Tumpuan | | | | | | | | |
|-------------|----------|---------|-------------------|-------------|-------------|-------------|---------|-------------|
| tendon | F | e | r ² /c | M1 | fr | l | c | M2 |
| 22 | 26318874 | 509.36 | 1424.87241 | 50906818422 | 4.754231799 | 1.82696E+14 | 3009.36 | 2.88626E+11 |
| 21 | 26039712 | 709.36 | 1424.87241 | 55574796837 | | | | |
| 20 | 25730505 | 909.36 | 1424.87241 | 60060978200 | | | | |
| 19 | 25502344 | 1109.36 | 1424.87241 | 64628867054 | | | | |
| 18 | 20251082 | 1309.36 | 1424.87241 | 55371165809 | | | | |
| 17 | 12295639 | 1959.36 | 1424.87241 | 41611299466 | | | | |
| 16 | 11815135 | 2109.36 | 1424.87241 | 41757433778 | | | | |
| 15 | 11813624 | 2259.36 | 1424.87241 | 43524135492 | | | | |
| 14 | 9075207 | 2409.36 | 1424.87241 | 34796453786 | | | | |
| 13 | 9069640 | 2559.36 | 1424.87241 | 36135554225 | | | | |
| 12 | 9133606 | 2559.36 | 1424.87241 | 36390408876 | | | | |
| 11 | 7329762 | 2709.36 | 1424.87241 | 30302939434 | | | | |
| 10 | 7274926 | 2709.36 | 1424.87241 | 30076234267 | | | | |
| 9 | 7313544 | 2709.36 | 1424.87241 | 30235891078 | | | | |
| 8 | 7356757 | 2709.36 | 1424.87241 | 30414542635 | | | | |
| 7 | 4570604 | 2859.36 | 1424.87241 | 19581529114 | | | | |
| 6 | 4538654 | 2859.36 | 1424.87241 | 19444648615 | | | | |
| 5 | 3589179 | 2859.36 | 1424.87241 | 15376876540 | | | | |
| 4 | 3520768 | 2859.36 | 1424.87241 | 15083788119 | | | | |
| 3 | 2605450 | 2859.36 | 1424.87241 | 11162351918 | | | | |
| 2 | 2576875 | 2859.36 | 1424.87241 | 11039930025 | | | | |
| 1 | 2550659 | 2859.36 | 1424.87241 | 10927615987 | | | | |
| 23 | 4289668 | 2859.36 | 1424.87241 | 18377936211 | | | | |
| 24 to 14 | 15793957 | 2859.36 | 1424.87241 | 67664981481 | | | | |
| 24 to 17 | 16409278 | 2859.36 | 1424.87241 | 70301161223 | | | | |
| 6 to 12 | 8031384 | 2859.36 | 1424.87241 | 34408314109 | | | | |
| 15 to 22 | 8294449 | 2859.36 | 1424.87241 | 35535346545 | | | | |
| 22 to 22 | 17159480 | 2859.36 | 1424.87241 | 73515199051 | | | | |
| | | | | 1.04421E+12 | | | | |
| Mcr | | | | = | 1.93261E+12 | | | |

Dari tabel diatas didapatkan total $M_{cr} = 1,33283 \times 10^{12}$ Nmm
Syarat:

$$M_{cr} > M_u$$

$$1,9326 \times 10^{12} \text{ Nmm} > 1,87 \times 10^{12} \text{ Nmm (Ok)}$$

2. Kontrol momen retak akibat tendon menerus pada saat jembatan sudah menjadi struktur statis tak tentu

- Pada bentang jembatan (closur)

$$f_{eff} = 43306823 \text{ N}$$

$$M_u = 1,49383 \times 10^{11} \text{ Nmm}$$

$$e = 1010,1 \text{ mm}$$

$$W_b = 9726058098 \text{ mm}^3$$

$$Ka = 745,264 \text{ mm}$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{58,8} = 4,754 \text{ Mpa}$$

Sehingga didapat kan tabel berikut :

Tabel 5.57 Tabel kontrol momen retak pada bentang closur.

| Mcr tengah bentang | | | | | | | | |
|--------------------|----------|--------|-------------------|-------------|-------------|-------------|--------|-------------|
| tendon | F | e | r ² /c | M1 | fr | l | c | M2 |
| 12 to 12 | 43306823 | 1010.1 | 745.264873 | 76019275282 | 4.754231799 | 1.12832E+13 | 1760.1 | 30477216201 |
| 10 to 10 | 14769179 | 1010.1 | 745.264873 | 25925297861 | | | | |
| 7 to 7 | 15077609 | 1010.1 | 745.264873 | 26466705547 | | | | |
| | | | | 1.28411E+11 | | | | |
| Mcr | | | | = | 1.82722E+11 | | | |

Syarat:

$$M_{cr} > M_u$$

$$1,8277 \times 10^{11} \text{ Nmm} > 1,66 \times 10^{11} \text{ Nmm (Ok)}$$

5.10.2. Kontrol Momen Batas

Dengan menggunakan kesetimbangan statis aksial dan momen pada box yang akan dianalisa, maka dapat dicari momen tahanan batas balok berdasarkan perumusan di bawah ini. berikut adalah perhitungan momen batas pada joint 2 tepi:

▪ Data bahan:

- Direncanakan tendon menggunakan 6 duct dengan masing-masing duct berisi 4 x 12 strand dan 2 x 20 strand.
- $f_{pu} = \frac{\text{minimum breaking load}}{A_s} = \frac{250.000 \text{ strand}}{143,3}$

$$= 1745 \text{ Mpa}$$
- $f_{py} = 0,9 \times f_{pu}$

$$= 0,9 \times 1745 \text{ Mpa}$$

$$= 1570,5 \text{ Mpa}$$

▪ Kesetimbangan aksial

$$T_p = C$$

▪ Kesetimbangan statik momen

$$M_n = T_p \left(d_p - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_u = \phi M_n = \phi T_p \left(d_p - \frac{a}{2} \right)$$

$$= \phi \times A_p \times f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right)$$

- Indeks penulangan

$$\omega_p = \frac{\rho_p \times f_{ps}}{f_c} \leq 0,3$$

Dimana:

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b \times d_p}$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - 0,5 \left[\rho_p \times \frac{f_{pu}}{f_c} \right] \right)$$

Keterangan:

- f_{ps} = tegangan tulangan prategang disaat penampang mencapai kuat nominalnya
- f_{pu} = kuat tarik tendon prategang yang diisyaratkan
- ω_p = indeks penulangan prategang
- ρ_p = rasio tulangan prategang
- A_{ps} = luas tulangan prategang dalam daerah tarik
- b = lebar muka tekan komponen struktur, diambil sebesar lebar badan
- d_p = jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan prategang
- d = jarak dari serat terluar ke titik berat tulangan tarik non prategang

Dari perumusan di atas, maka perhitungan momen tahanan batas balok adalah sebagai berikut:

1. Momen tahanan batas untuk bentang tengah (joint 2 tepi) pada saat service load

$$\begin{aligned}
 A_{ps} &= \text{jumlah strand box girder} \times A_{\text{strand}} \\
 &= (4 \times 12 + 2 \times 20) \times 143,3 \\
 &= 6305,2 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_p &= y_t + e \\
 &= 2577,63 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b \times d_p} = \frac{6305,2}{4500 \times 2577,63} = 0,00088$$

$$\begin{aligned}
 f_{ps} &= f_{pu} \left(1 - 0,5 \left[\rho_p \times \frac{f_{pu}}{f'_c} \right] \right) \\
 &= 1.745 \left(1 - 0,5 \left[0,00088 \times \frac{1.745}{658,80} \right] \right) \\
 &= 1722,051 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$T_p = A_{ps} \times f_{ps} = 6305,2 \times 1722,051 = 10857874 \text{ N}$$

2. Kestimbangan statik aksial

$$\begin{aligned}
 C &= T_p \\
 0,85 \times f'_c \times b \times a &= T_p
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{T_p}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{10857874}{0,85 \times 58,5 \times 4500} \\
 &= 27,15 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$M_n = T_p \left(d_p - \frac{a}{2} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= 10857874 \times \left(2577,63 - \frac{27,15}{2} \right) \\
 &= 27840226049 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &= \varphi M_n \\
 &= 0,9 \times M_n
 \end{aligned}$$

$$= 0,9 \times 27840226049$$

$$= 25056203444 \text{ Nmm}$$

Dari program SAP 2000 didapat M_{\max} pada joint 2 :
 $M_{\max} = 406196792 \text{ Nmm}$

Syarat:

$$M_u > M_{\max}$$

$$25056203444 > 406196792 \text{ Nmm} \dots \text{OK}$$

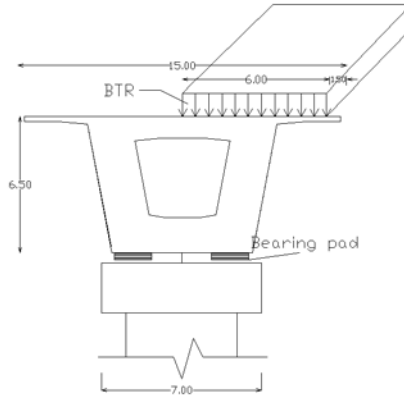
5.10.3. Kontrol Torsi

Karena kekuatan geser beton yang tinggi digabungkan dengan kekuatan tarik yang rendah, kehancuran balok beton akibat puntir jarang disebabkan oleh tegangan geser, melainkan lebih disebabkan oleh tegangan tarik utama yang diakibatkan oleh tegangan geser. Pada waktu tegangan tarik utama mencapai kekuatan tarik batas beton, retak mulai terjadi dan penampang dapat runtuh seketika tanpa banyak peringatan. Penambahan senngkang tertutup dan tulangan longitudinal dapat menambah kekuatan dan daktilitas, tetapi bentuk retak akibat puntir secara drastis mempengaruhi respons balok terhadap setiap penambahan momen puntir.

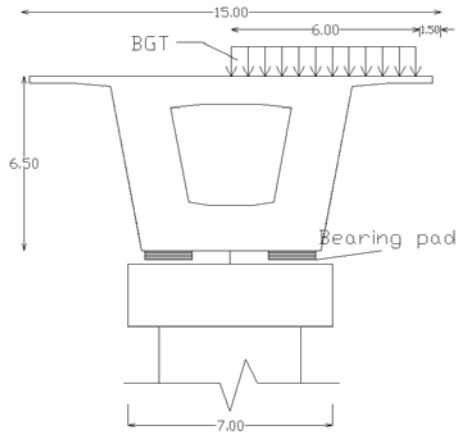
Bertentangan dengan ragam kehancuran akibat puntir, balok beton prategang di bawah pengaruh lentur umumnya runtuh secara perlahan-lahan dan memiliki kekuatan cadangan serta daktilitas setelah retak-retak pertama terlihat. Hal ini menjadi jelas bila disadari bahwa kehancuran akibat lentur tergantung pada tegangan tarik dan regangan baja, bersamaan dengan tegangan tekan dan regangan beton. Sedangkan kekuatan puntir sebuah balok tanpa tulangan badan untuk puntir akan lenyap bila batas tarik beton dicapai dan tidak ada daktilitas beton akibat tegangan tarik.

Kontrol torsi digunakan untuk menganalisa kemampuan box girder saat menerima beban eksentrisitas. Berikut ini langkah-langkah perhitungannya :

1. Perhitungan momen penyebab torsi



Gambar 5.41 Skema UDL yang menyebabkan torsi



Gambar 5.42 Skema UDL yang menyebabkan torsi

Dari gambar diatas maka dapat diketahui momen total yang dapat menyebabkan torsi, diantaranya adalah sebagai berikut :

a. Momen akibat UDL

- $UDL_{74m} = 0,9 \cdot \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{KPa} = 0,9 \cdot \left(0,5 + \frac{15}{74} \right) \text{KPa}$
 $= 6,32 \text{ KN/m}^2$
- $UDL_{152m} = 5,38 \text{ KN/m}^2$ (maka dipakai UDL terbesar)
- $M_{UDL} = \frac{1}{2} \times UDL \times 6^2 \times \frac{152}{2}$
 $= \frac{1}{2} \times 6,32 \times 6^2 \times \frac{152}{2}$
 $= 17291,52 \text{ KN.m}$

b. Momen akibat KEL

- $KEL = 49 \times (1 + \text{FBD}) = 49 \times (1 + 0,3) = 63,7 \text{ KN/m}$
- $M_{KEL} = \frac{1}{2} \times KEL \times 6^2 = \frac{1}{2} \times 63,7 \times 6^2 = 1146,6 \text{ KN.m}$

c. Momen akibat beban angin

Ada dua beban pengaruh akibat beban angin yang bekerja pada struktur jembatan yaitu :

- Beban angin yang bekerja pada truk setinggi 2m dan panjang 9m diatas jembatan sebesar T_{ew-2} . Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$T_{ew-2} = 0,0012 \times C_w \times V_w^2$$

$$\text{dimana, } C_w = 1,3956$$

$$V_w = 35 \text{ m/s}$$

$$T_{ew-2} = 0,0012 \times 1,3956 \times (35^2)$$

$$= 2,0515 \text{ KN/m}$$

$$P \cdot T_{ew-2} = T_{ew-2} \times \text{panjang truck}$$

$$= 2,0515 \times 9 = 18,464 \text{ KN}$$

$$M \cdot T_{ew-2} = P \cdot T_{ew-2} \times (2 + y_a)$$

$$= 18,464 \times (2 + 1,0581)$$

$$= 56,465 \text{ KN.m}$$

- Beban angin yang bekerja pada sisi samping box girder sebesar T_{ew} . Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\text{a.b} = \text{luas bagian samping yang terkena angin}$$

$$= 3 \times 9 = 27 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
 T_{ew} &= 0,0006 \times C_w \times V_w^2 \times a.b \\
 &= 0,0006 \times 1,3956 \times 35^2 \times 27 \\
 &= 27,7 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M. T_{ew} &= T_{ew} \times \left| y_b - \frac{1}{2} H_{box} \right| \\
 &= 27,7 \times \left| 1,942 - \frac{1}{2} \cdot 3 \right| \\
 &= 12,23767 \text{ KN.m}
 \end{aligned}$$

Jadi, M.total yang dapat menimbulkan torsi :

$$\begin{aligned}
 T_u &= (1,8(M_{BTR} + M_{BGT})) + 1,3(M.T_{ew} + M.T_{ew-2}) \\
 &= (1,8(17291,52 + 1146,6)) + 1,3(12,23767 + 56,465) \\
 &= 26.622,343 \text{ KN.m} = 26.622.343.000 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan torsi ijin

a. Perhitungan konstanta torsi

- Pelat atas

$$\eta_1 = \frac{0,35}{\left[0,75 + \left(\frac{x_1}{y_1} \right) \right]}$$

dimana, x_1 = tebal pelat atas = 250 mm

y_1 = lebar pelat atas = 15.000 mm

maka, $\eta_1 = 0,456$

- Pelat badan

dimana, x_1 = tebal badan = 500 mm

y_1 = lebar badan = 3.000 mm

maka, $\eta_1 = 0,381$

- Pelat bawah

dimana, x_1 = tebal pelat bawah = 250 mm

y_1 = lebar pelat bawah = 8.690 mm

maka, $\eta_1 = 0,449$

Konstanta torsi :

$$\begin{aligned}
\Sigma \eta_1 \cdot x_1^2 \cdot y_1 &= (0,456 \times 250^2 \times 15.000) &= 427.500.000 \\
&= (0,381 \times 500^2 \times 3.000) &= 285.750.000 \\
&= (0,449 \times 250^2 \times 8.690) &= \underline{249.863.125}_+ \\
& &= 957.113.125
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T_{cr} &= 6\sqrt{f_c'} \cdot \sqrt{1 + \frac{10 \times \left(\frac{F}{A}\right)}{f_c'}} \times \Sigma \eta_1 \cdot x_1 \cdot y_1 \\
&= 6\sqrt{58,8} \cdot \sqrt{1 + \frac{10 \times \left(\frac{102200000}{15.620.000}\right)}{58,8}} \times 957.113.125 \\
&= 180.571.541.174 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

b. Torsi ijin

Tulangan puntir tidak diperlukan apabila :

$$\frac{T_u}{\phi T_{cr}} < 0,25 \quad (\text{SNI T-12-2002 persamaan.5.4-2})$$

$$\begin{aligned}
T_u \text{ ijin} &= \phi \times T_{cr} \times 0,25 \\
&= 0,7 \times 180.571.541.174 \times 0,25 \\
&= 31.600.019.706 \text{ N.mm}
\end{aligned}$$

Syarat :

$$T_u \text{ ijin} < T_u$$

$$31.600.019.706 \text{ N.mm} < 26.622.343.000 \text{ N.mm} \dots \text{OK}$$

Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa tidak diperlukan adanya tulangan torsi.

5.10.4 Kontrol gaya membelah

Dalam kebanyakan pasca tarik kawat pratekan dipasang dalam selongsong kemudian dijack dan diangkur pada permukaan ujung.

Sebagai akibatnya maka gaya-gaya yang besar terpusat di daerah sempit tersebut sehingga menimbulkan tegangan yang besar. Apabila tegangan tersebut melebihi tegangan tarik ijin

maka balok ujung akan terbelah secara longitudinal, kecuali apabila penulangan vertikal digunakan.

Syarat : $0,5'_{ijin} c f$

Apabila $\sigma_{y \max} < \sigma_{ijin}$ maka tidak perlu tulangan membelah
Tambahan

$\sigma_{y \max} > \sigma_{ijin}$ maka perlu tulangan membelah
tambahan

Contoh perhitungan untuk joint 18 :

Pada joint ini (salah satu pengangkuran) digunakan tendon
VSL 44Sc.

$$F_{o(1\text{tendon})} = 11.000.000 \text{ N}$$

- b = lebar cast in anchor = 465 mm
- a = tinggi nominal angker = 320 mm
- d = 4892,4 mm

Dari tabel Iyengar (M.Krishna Raju hal.198) diperoleh :

$\sigma_{y \max}$ = koefisien yang tergantung $(a/d) \times \sigma_0$

- $\frac{a}{d} = \frac{320}{4892,4} = 0,10666$ dengan interpolasi dari tabel Iyengar diperoleh nilai $(a/d) = 0,429$
- $\sigma_{01} = \frac{F_0}{b \times d} = \frac{11.000.000}{465 \times 4892,4} = 7,24 \text{ MPa}$
- $\sigma_{ijin} = 0,5\sqrt{f'c'} = 4,031 \text{ MPa}$

Maka:

$$\text{➤ } \sigma_{y \max} = 7,24 \times 0,429 = 3,106 \text{ MPa} \leq \sigma_{ijin} = 4,031 \text{ MPa}$$

Maka dipakai tulangan membelah minimum sehingga :

$$T_{\text{pencar}} = 0,25 \times F_0 \times \left(1 - \frac{a}{d}\right) \text{ (SNI 2847 Ps.20.13.3.2)}$$

$$= 0,25 \times 11.000.000 \times \left(1 - \frac{320}{4892,4}\right) = 2.255.666,67 \text{ N}$$

Penyebaran gaya dimulai pada jarak :

$$d_{\text{pencar}} = 0,5 \times (h - 2e) \quad (\text{SNI 2847 Ps.20.13.3.2})$$

$$= 0,5 \times (4892,4 - 2(636,3)) = 591,9 \text{ mm}$$

Kebutuhan tulangan untuk tiap web :

Digunakan tulangan D24 dengan tegangan leleh 300 N/mm^2

$$A_s = \frac{2.255.666,67}{2 \times 0,5 \times 300} = 7518,89 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{7518,89}{0,25 \times 3,14 \times 24^2} = 16,63 \approx 17 \text{ buah}$$

Dipasang dengan jarak 100 mm.

5.10.5. Kontrol Lendutan

Lendutan yang terjadi pada kombinasi jembatan tidak boleh lebih dari $y = \frac{L}{800}$ dimana L adalah panjang bentang jembatan yang ditinjau. Kontrol lendutan dilakukan pada saat transfer dimana beban luar belum bekerja, dan juga pada saat service setelah beban luar bekerja. Lendutan yang terjadi pada struktur jembatan diakibatkan oleh antara lain :

- Beban mati (berat sendiri, beban mati tambahan)
- Beban hidup (UDL, KEL, Truk)
- Gaya prategang

Dari hasil analisa dengan program SAP didapat lendutan maximum pada saat service yaitu sebesar 7 mm.

$$\Delta_{\text{service}} < \Delta_{\text{ijin}}$$

$$\Delta_{service} < \frac{L}{800}$$

$$7 \text{ mm} < \frac{74000\text{mm}}{800}$$

$$7 \text{ mm} < 92,5 \text{ mm} \dots \text{OK}$$

5.10.6 Perencanaan *shear key* pada joint antar segmen

Perencanaan joint pada balok segmental diambil sebagai contoh adalah pada joint 7 yang menghubungkan segmen 6 dan 7. Data-data penampang dan perhitungan kontrol tegangan geser adalah sebagai berikut :

$$H = 3,175 \text{ m} = 3175 \text{ mm}$$

$$y_a = 1345,9 \text{ mm}$$

$$y_b = 1824,4 \text{ mm}$$

$$A = 9318200 \text{ mm}^2$$

$$I = 1,48351 \times 10^{13} \text{ mm}^4$$

Dimensi masing-masing bidang geser adalah sebagai berikut :

$$\text{Pada sayap} = 240 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$$

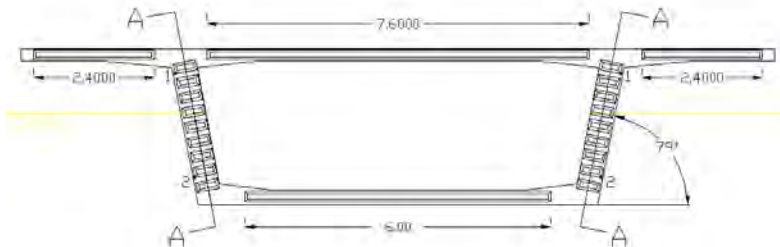
$$\text{Pada badan atas} = 760 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$$

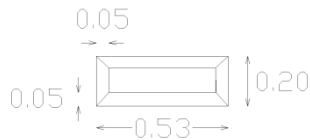
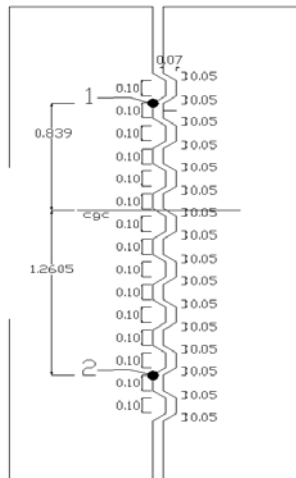
$$\text{Pada badan bawah} = 600 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$$

Luasan beton yang memikul geser (A_c) pada sambungan :

$$A_c = (53\text{cm} \times 20\text{cm} \times 16) + (240 \times 20 \times 2) + (760 \times 20) + (600 \times 20)$$

$$= 53760 \text{ cm}^2 = 5.376.000 \text{ mm}^2$$



Gambar 5.43 Letak pengunci joint antar segmen**Gambar 5.44** Detail A**Gambar 5.45** Potongan A-A

- Gaya geser (V_u) yang bekerja pada joint 7 pada saat service adalah :

$$V_u = V_{DL} + V_{LL}$$

$$V_u = 3.969.037,032 \text{ N} + 3.894.297 \text{ N}$$

$$V_n = 7.863.334,032 / 0,7 = 11.233.334,33 \text{ N}$$

- Momen (M_u) yang terjadi pada joint 7 pada saat service adalah :

$$M_u = M_{DL} + M_{LL}$$

$$M_u = 31.488.000.000 + 31.154.377.760 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 62.642.377.760 / 0,8 = 78.302.972.200 \text{ Nmm}$$

- Gaya Prategang (F) yang bekerja pada joint 7 adalah :

$$F = F_{\text{cantilefer}} + F_{\text{menerus}}$$

$$F = 28241856.41 \text{ N}$$

Dengan mengikuti pendekatan kesetimbangan beban (*Balance Load*), akibat gaya prategang tersebut mengakibatkan terjadinya tambahan gaya geser sebesar :

$$\begin{aligned} v_p &= \frac{e_1 \times 8F_{\text{cantilefer}}}{L^2} + \frac{e_2 \times 8F_{\text{menerus}}}{L^2} \\ &= 14.048 \text{ N/m} \end{aligned}$$

- Tegangan geser

$$V_c = V_n + v_p = 11.233.334,33 + 14.048 = 11.247.382,33 \text{ N}$$

$$\tau = \frac{V_c}{A_c} = \frac{11.247.382,33}{5.376.000} = 2,092 \text{ MPa}$$

- Perhitungan tegangan geser ijin :

$$\sigma_{\text{ijin tarik}} = 0,5\sqrt{f'_c} = 0,5\sqrt{58,8} = 3,834 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{ijin tekan}} = 0,45 \times f'_c = 0,45 \times 58,8 = 26,46 \text{ MPa}$$

- Letak titik 1 dan 2 terhadap c.g.c :

$$y_1 = 839 \text{ mm}$$

$$y_2 = 1260,5 \text{ mm}$$

- Perhitungan tegangan di titik 1 :

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= -\frac{F}{A} - \frac{M_n \times y_1}{I} = -\frac{28241856,41}{9318200} - \frac{78302972200 \times 839}{1,48351 \times 10^{13}} \\ &= -3,03 - 4,428 \\ &= -7,458 \text{ MPa (tekan)} \end{aligned}$$

Tegangan di titik 2 :

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= -\frac{F}{A} - \frac{M_n \times y_2}{I} = -\frac{28241856,41}{9318200} - \frac{78302972200 \times 1260,5}{1,48351 \times 10^{13}} \\ &= -3,03 - 6,6532 \\ &= -9,6832 \text{ MPa (tekan)}\end{aligned}$$

Kontrol tegangan geser :

Titik 1 :

$$\begin{aligned}\sigma_{t1} &= 0,5 \cdot \sigma_1 \pm \sqrt{(0,5 \cdot \sigma_1)^2 + \tau^2} \\ &= 0,5 \times (-7,458) \pm \sqrt{(0,5 \times -7,458)^2 + 2,092^2} \\ &= -3,729 \pm 4,275 \\ \sigma_{t1,1} &= -3,729 + 4,275 = 0,546 \text{ MPa} < 3,873 \text{ MPa} \dots \text{OK} \\ \sigma_{t1,2} &= -3,729 - 4,275 = -8,004 \text{ MPa} < -27 \text{ MPa} \dots \text{OK}\end{aligned}$$

Titik 2 :

$$\begin{aligned}\sigma_{t2} &= 0,5 \cdot \sigma_2 \pm \sqrt{(0,5 \cdot \sigma_2)^2 + \tau^2} \\ &= 0,5 \times (-9,6832) \pm \sqrt{(0,5 \times -9,6832)^2 + 2,092^2} \\ &= -4,8416 \pm 5,2742 \\ \sigma_{t2,1} &= -4,8416 + 5,2742 = 0,4326 \text{ MPa} < 3,834 \text{ MPa} \dots \text{OK} \\ \sigma_{t2,2} &= -4,8416 - 5,2742 = -10,1158 \text{ MPa} < -26,46 \text{ MPa} \dots \text{OK}\end{aligned}$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VI

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN BAWAH

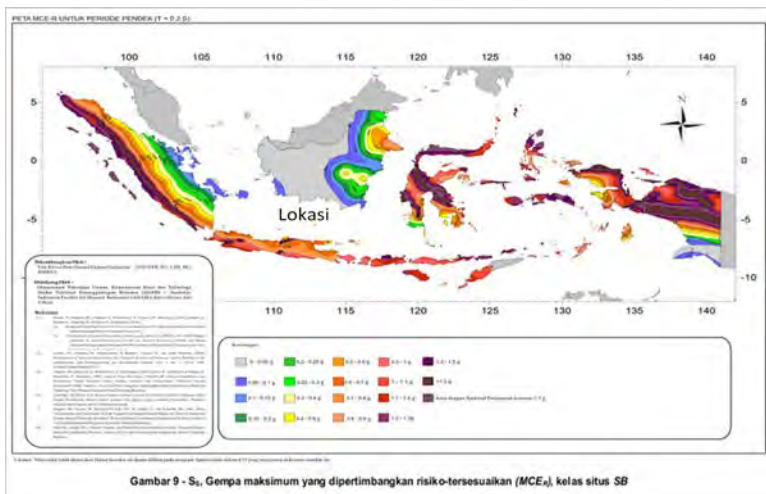
Perencanaan struktur bawah meliputi perencanaan elastomer, perencanaan pier head, kolom dan perencanaan pondasi. Untuk menganalisa bangunan bawah terlebih dahulu dilakukan analisa beban gempa dengan bantuan program SAP 2000.

6.1 Analisa Beban Gempa

Analisa beban gempa dilakukan dengan cara analisa respon spectrum. Berikut adalah data perencanaan gempa :

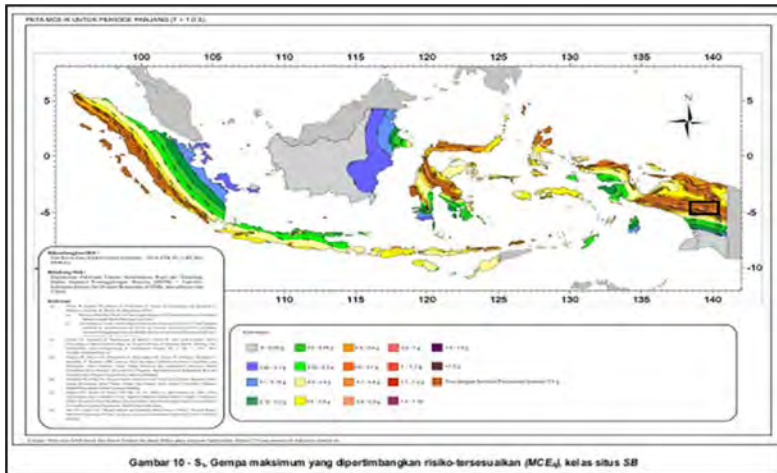
Jenis : Bangunan jembatan

Katagori resiko : V



Gambar 6.1 Peta Gempa Maksimum Untuk Mencari S_s

Sesuai peta diatas wilayah Mojokerto didapatkan nilai amplifikasi seismik pada periode $S_s = 0,7$ g.



Gambar 6.2 Peta Gempa Maksimum Untuk Mencari S_1

Sedangkan pada peta diatas Mojokerto didapatkan nilai $S_1 = 0,3g$.

Untuk penentuan nilai F_a , F_v dapat dilihat dari tabel berikut :

Tabel 6.1 Tabel koefisien F_a

| Kelas situs | Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s | | | | |
|-------------|--|-------------|-----------------|-----------|-----------------|
| | $S_s \leq 0,25$ | $S_s = 0,5$ | $S_s = 0,75$ | $S_s = 1$ | $S_s \geq 1,25$ |
| SA | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SB | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| SC | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| SD | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |
| SE | 2,5 | 1,7 | 1,2 | 0,9 | 0,9 |
| SF | | | SS ^b | | |

Tabel 6.2 Tabel koefisien Fv

| Kelas situs | Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_E terpetakan pada periode 1 detik, S_T | | | | |
|-------------|--|-------------|-----------------|-------------|----------------|
| | $S_T \leq 0,1$ | $S_T = 0,2$ | $S_T = 0,3$ | $S_T = 0,4$ | $S_T \geq 0,5$ |
| SA | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SB | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| SC | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 |
| SD | 2,4 | 2 | 1,8 | 1,6 | 1,5 |
| SE | 3,5 | 3,2 | 2,8 | 2,4 | 2,4 |
| SF | | | SS ^b | | |

Dari tabel diatas maka didapatkan nilai $F_a = 1$ sedangkan nilai $F_v = 1$.

Maka nilai dari :

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,0 \times 0,7 = 0,7 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 1,0 \times 0,3 = 0,3 \text{ g}$$

Parameter percepatan desain spectra adalah :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{ms} = \frac{2}{3} \times 0,7 = 0,467$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{m1} = \frac{2}{3} \times 0,3 = 0,2$$

Tabel 6.3 Tabel Nilai S_{DS}

| Nilai S_{DS} | Kategori risiko | |
|----------------------------|--------------------|----|
| | I atau II atau III | IV |
| $S_{DS} < 0,167$ | A | A |
| $0,167 \leq S_{DS} < 0,33$ | B | C |
| $0,33 \leq S_{DS} < 0,50$ | C | D |
| $0,50 \leq S_{DS}$ | D | D |

Tabel 6.4 Tabel Nilai S_{D1}

| Nilai S_{D1} | Kategori risiko | |
|-----------------------------|--------------------|----|
| | I atau II atau III | IV |
| $S_{D1} < 0,067$ | A | A |
| $0,067 \leq S_{D1} < 0,133$ | B | C |
| $0,133 \leq S_{D1} < 0,20$ | C | D |
| $0,20 \leq S_{D1}$ | D | D |

Respon spectrum desain didapatkan nilai

$$T_o = 0,2 \frac{SD1}{SDS} = 0,2 \frac{0,2}{0,467} = 0,0857$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS} = 0,428$$

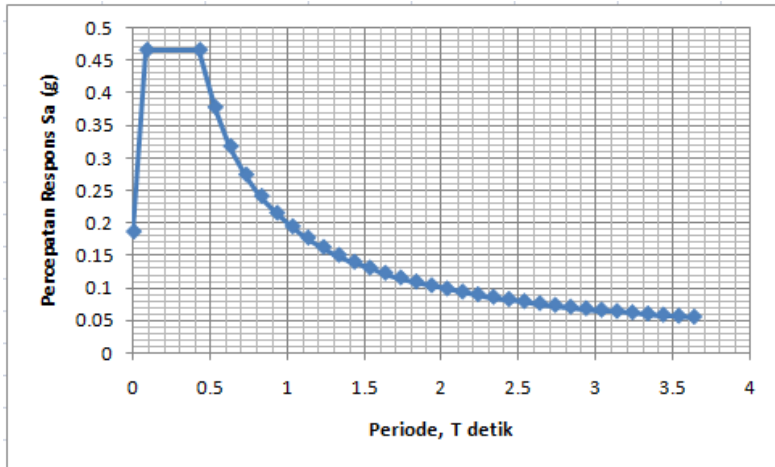
Untuk nilai $T < T_o$, maka percepatan respon spectrum, $S_a = T = 0$

$$S_a = S_{ds} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_o} \right) = 0,467 \left(0,4 + 0,6 \frac{0}{0,0857} \right) = 0,186$$

Untuk nilai $T \geq T_o$ dan $\leq T_s$ maka percepatan desain respon spectrum adalah $S_a = S_{DS}$. Untuk $T \geq T_s$, maka percepatan desain nilai respon spectrum adalah $S_a = \frac{S_{d1}}{T}$

Tabel 6.5 Respons Spektrum Hubungan T dan S_a

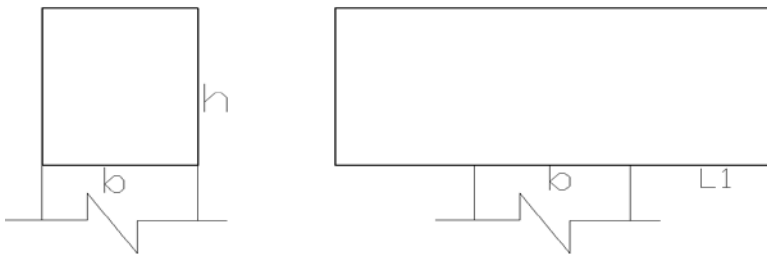
| T | S_a | T | S_a | T | S_a |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.000 | 0.187 | 0.929 | 0.215 | 1.629 | 0.123 |
| 0.086 | 0.467 | 1.029 | 0.194 | 1.729 | 0.116 |
| 0.429 | 0.467 | 1.129 | 0.177 | 1.829 | 0.109 |
| 0.529 | 0.378 | 1.229 | 0.163 | 1.929 | 0.104 |
| 0.629 | 0.318 | 1.329 | 0.151 | 2.029 | 0.099 |
| 0.729 | 0.275 | 1.429 | 0.140 | 2.129 | 0.094 |
| 0.829 | 0.241 | 1.529 | 0.131 | 2.229 | 0.090 |



6.3 Grafik Respons Spektrum

6.2 Perencanaan Pier Head

Untuk perencanaan desain pier head dapat dilihat dari detail gambar 5.3 dibawah ini :



Gambar 6.4 Detail Pier Head

Data perencanaan :

$$B = 2,5 \text{ m}$$

$$L1 = 2,1 \text{ m}$$

$$H = 3 \text{ m}$$

Tabel 6.6 Pembebanan bangunan bawah

| No | Jenis Beban | P (kN) |
|----|---------------------|----------|
| 1 | Berat sendiri | 12606.15 |
| 2 | Berat mati tambahan | 3492 |
| 3 | Beban lajur | 9781.11 |
| 4 | Beban angin | 425.25 |

Dari beban bangunan atas tersebut akan dijadikan beban terpusat yang diterima pier head kemudian dikombinasikan menjadi 5 kombinasi pembebanan untuk mendapatkan nilai momen maupun geser yang maksimal dengan bantuan program SAP 2000 sehingga didapatkan desain tulangan pada pier head.

Tabel 6.7 Kombinasi Pembebanan pada Pier Head

| combination | | P kN | V2 kN | V3 kN | M2 kN-m | M3 kN-m |
|-------------------|-----|---------|-----------|----------|------------|------------|
| 1.4 D | max | 0 | -23116.62 | 0 | 0 | -36614.6 |
| | min | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.2 D + 1.6 L | max | 0 | -35464.02 | 0 | 0 | -56356.2 |
| | min | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.2 D + 1 E + 1 L | max | 47.65 | -29589.75 | 0 | 0 | -46913.9 |
| | min | -47.65 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.9 D + 1 W | max | 0 | -15285.93 | 0 | 0 | -24216.5 |
| | min | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.9 D + 1 E (x) | max | 47.65 | -14855.08 | 0 | 0 | -23525.3 |
| | min | -47.65 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.2 D + 1 E + 1 L | max | 0 | -29589.75 | 0 | 0 | -46991.6 |
| | min | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.9 D + 1 E (y) | max | 0 | -14855.08 | 0 | 0 | -23525.3 |
| | min | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

a. Perencanaan penulangan pier head :

| | | | |
|--|---|-------------|-----|
| Momen rencana ultimate | = | 56356.25 | kNm |
| Mutu beton | = | 35 | Mpa |
| Mutu Baja | = | 420 | Mpa |
| Tinggi balok pier | = | 3 | m |
| decking | = | 200 | mm |
| Modulus elastis baja | = | 200000 | |
| faktor tegangan beton | = | 0.85 | |
| ρ_b | = | 0.035 | |
| R max | = | 9.064 | |
| faktor reduksi lentur | = | 0.8 | |
| $d = h - d'$ | = | 2800 | mm |
| lebar balok pier (b) | = | 2500 | m |
| momen nominal rencana $M_n = M_u / \phi$ | = | 70445.31063 | kNm |
| faktor tahanan moment (R_n) | = | 3.594 | |

$$\rho b = \beta_1 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{(600 + f_y)} = 0,035$$

$$R_{max} = 0,75 \times \rho b \times f_y \times (1 - 0,5 \times 0,75 \times \rho b \times \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}) = 9,064$$

Jika $R_n < R_{max}$ maka (OKE)

| | | | |
|---|---|-------------|-----------------|
| ρ | = | 0.009148253 | |
| tulangan minimum $\rho_{min} = 1.4/f_y$ | = | 0.003333333 | |
| luas tulangan perlu | = | 64037.77208 | mm ² |
| digunakan tulangan D | = | 40 | mm |
| jumlah tulangan | = | 50.98548733 | |

$$\rho = 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \left(1 - 2 \frac{R_n}{(0,85 \times f_c')}\right) = 0,00914$$

$$A_s = \rho \times b \times d = 64037,772 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan 52 D 40

Untuk menjamin daktilitas struktur, maka diambil tulangan beton pada pier head adalah :

| | | | |
|----------------------|---|-------------|-----------------|
| ρ' | = | 0.004574127 | |
| luas tulangan perlu | = | 32018.88604 | mm ² |
| digunakan tulangan D | = | 40 | mm |
| jumlah tulangan | = | 25.49274366 | |

$$\rho' = 0,5 \times \rho = 0,00457$$

Maka digunakan tulangan tekan 26 D 40

b. Perencanaan tulangan geser pier head

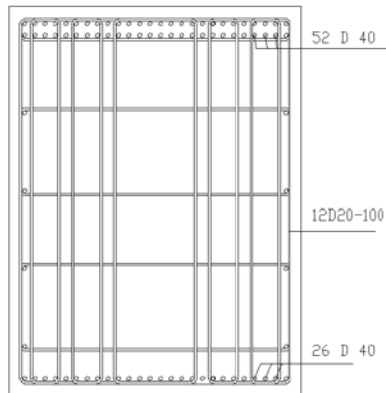
| | | | |
|--|---|-------------|-----------------|
| gaya geser ultimate (V_u) | = | 35464.02 | kN |
| faktor reduksi geser ϕ | = | 0.8 | |
| V_c | = | 6902.09308 | kN |
| gaya geser ditahan oleh beton ϕV_c | = | 5521.674464 | |
| $V_u > \phi V_c$ perlu tulangan geser | = | 29942.34354 | kN |
| $\phi V_s = V_u - \phi V_c$ | | | |
| V_s | = | 37427.92942 | kN |
| kontrol V_s | = | 38651.72125 | kN |
| digunakan tulangan D | = | 20 | |
| luas kebutuhan tulangan geser (A_v) | = | 31826.47059 | mm ² |
| jarak tulangan geser (s) | = | 118.4520656 | mm |

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} x b x d = 6902,093 \text{ kN}$$

$$V_s \leq \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} x b_w x d$$

$$37427,9294 \leq 38651,721 \text{ kN} \dots \text{memenuhi}$$

Karena $V_u > \phi V_c$ maka digunakan tulangan geser pada pier head 12 D 20 – 100 .



Gambar 6.5 Detail penulangan Pier Head

6.3 Perencanaan Kolom Jembatan

Jembatan Brantas merupakan jembatan dengan kolom yang berkategori kolom pendek dengan ketinggian 5 m. Kolom direncanakan menggunakan tipe solid. Dalam perencanaan kolom perlu dipenuhi syarat *Balance Stiffness* untuk mengetahui kekakuan antara kolom yang bersebelahan yaitu minimal 0,5

$$\frac{K_i}{K_j} \geq 0,5$$

Kolom yang akan ditinjau dalam perencanaan tugas akhir ini adalah salah satu pier yaitu P1 = 5 m serta akan dicek rasio kekakuan terhadap kolom P2 = 5 m.

Tabel 6.8 *Balance Stiffness* arah longitudinal

| Kolom | L (m) | Dimensi | | I _B | I _L | K _i /K _j | ket |
|-------|-------|---------|-----|----------------|----------------|--------------------------------|-----|
| | | b | h | | | | |
| p1 | 5 | 2.5 | 2.5 | 3.255 | 0.651 | 1.000 | OK |
| p2 | 5 | 2.5 | 2.5 | 3.255 | 0.651 | 1.000 | OK |

Tabel 6.9 *Balance Stiffness* arah Transversal

| Kolom | L (m) | Dimensi | | I _B | I _L | K _i /K _j | ket |
|-------|-------|---------|-----|----------------|----------------|--------------------------------|-----|
| | | b | h | | | | |
| p1 | 5 | 2.5 | 2.5 | 3.255 | 0.651 | 1.000 | OK |
| p2 | 5 | 2.5 | 2.5 | 3.255 | 0.651 | 1.000 | OK |

Beban pada kolom jembatan dianalisa dengan bantuan program SAP 2000. Maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 6.10 Kombinasi Pembebanan pada kolom

| combination | | P | V2 | V3 | M2 | M3 |
|-----------------------|-----|------------|----------|---------|-----------|-----------|
| | | kN | kN | kN | kN-m | kN-m |
| 1.4 D | max | -47305.833 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | min | -46233.231 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.2 D + 1.6 L | max | -71847.409 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | min | -70928.035 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.2 D + 1 E + 1 L (x) | max | -60110.077 | 278.233 | 0 | 0 | 1516.1602 |
| | min | -59190.703 | -278.233 | 0 | 0 | -155.3771 |
| 0.9 D + 1 W | max | -31261.393 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | min | -30571.862 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.9 D + 1 E | max | -30410.893 | 278.233 | 0 | 0 | 1516.1602 |
| | min | -29721.362 | -278.233 | 0 | 0 | -155.3771 |
| 1.2 D + 1 E + 1 L (y) | max | -60110.077 | 0 | 305.02 | 1225.1007 | 0 |
| | min | -59190.703 | 0 | -305.02 | 0 | 0 |
| 0.9 D + 1 E (y) | max | -30410.893 | 0 | 305.02 | 1225.1007 | 0 |
| | min | -29721.362 | 0 | -305.02 | 0 | 0 |

Perencanaan kolom



Gambar 6.6 bentuk penampang Pier

Dimensi yang kolom yang digunakan adalah $b \times h = 2,5 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$. Struktur kolom merupakan struktur kolom bergoyang maka

$$k = 1,2$$

$$A = 6,25 \text{ m}^2$$

$$r = i_3 = 0,7216 \text{ m} \quad i_2 = 0,7216 \text{ m}$$

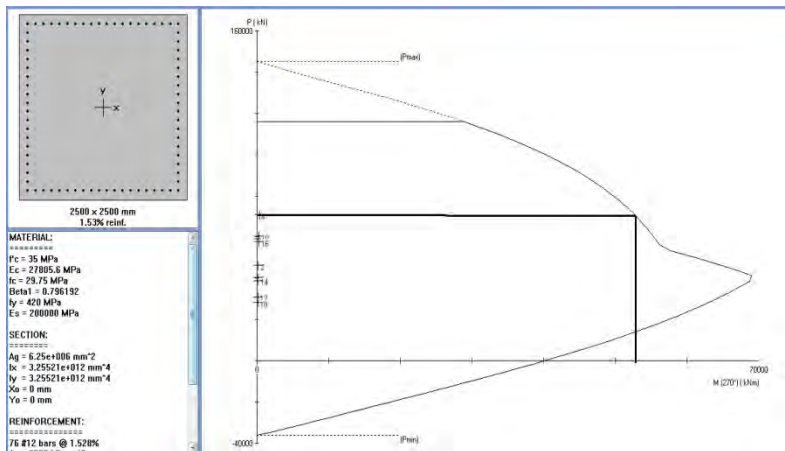
a. Cek kelangsingan struktur :

$$\frac{k l u}{r} < 22$$

$$\frac{k l u}{r} = \frac{1,2 \times 5}{0,7216} = 8.313$$

maka termasuk kolom merupakan kolom pendek.

1. Sesuai RSNI T-12-2004 luas dari tulangan kolom tidak kurang dari 0,01 A_g dan tidak lebih dari 0,08 A_g .



Gambar 6.7 Hasil program SP column

Pada program SPColumn direncanakan tulangan dengan ratio 1,5 % sehingga didapatkan tulangan 75 D 40 dengan $A_s = 94285,714 \text{ mm}^2$

2. Tulangan Geser Kolom

| | | |
|--------------------------------|-------------|-----|
| Pu= | 71847.409 | kN |
| Mu= | 1516.2 | kNm |
| Vu= | 305.020 | kN |
| fc' = | 35 | Mpa |
| fy = | 420 | Mpa |
| lebar kolom= | 2.5 | m |
| tinggi kolom= | 5 | m |
| luas tulangan kolom As= | 94285.71429 | mm |
| jarak tulangan ke luar beton = | 100 | mm |
| faktor reduksi geser = | 0.6 | |

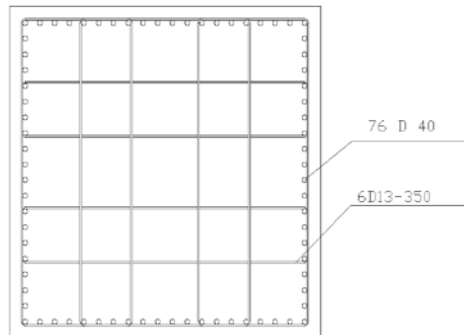
Kontrol kapasitas geser

$$V_c \max = \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g}\right) \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6}\right) b_w \times d$$

$$V_c \max = 10976,2584$$

$$\phi V_c = 6585,755 \text{ kN} > V_u = 305,020 \text{ kN}$$

Karena $\phi V_c \max > V_u$ maka digunakan tulangan geser minimum sebesar 4 D13 – 120 ($A_v = 2275,41 \text{ mm}^2$).



Gambar 6.8 Detail penulangan Pier (kolom)

6.4 Perencanaan Pondasi

Pondasi merupakan komponen struktur bangunan yang paling bawah dan berfungsi sebagai elemen yang meneruskan beban ke tanah. Struktur pondasi sangat penting mengingat struktur ini sebagai struktur terbawah dan menahan beban struktur di atasnya. Dalam struktur prategang diharapkan tidak terjadi penurunan pada pondasi karena apabila terjadi penurunan maka akan sangat berpengaruh terhadap perencanaan hitungan balok prategang. Pondasi yang digunakan pada jembatan Tinalun direncanakan memakai pondasi bore pile.

Data perencanaan sebagai berikut :

| | |
|---------------|--------------------------------|
| Data tanah | : station 17+672 |
| Project | : jalan Tol Surabaya Mojokerto |
| Jenis Pondasi | : Bor Pile |
| Diameter bor | : 1,2 m |
| Mutu beton | : |
| • Bore Pile | : 30 MPa |
| • Poer | : 30 Mpa |

Mutu tulangan :

- Bore Pile : 390 Mpa
- Poer : 390 MPa

$$\text{Luas Penampang} : \frac{1}{4} \pi d^2 = 11309,733 \text{ cm}^2 = 1,13 \text{ m}^2$$

$$\text{Keliling selimut} = \pi d = 376,99 \text{ cm} = 3,77 \text{ m}$$

$$\alpha = 0,85$$

$$\beta = 0,5$$

6.4.1 Pembebanan Pada Pondasi

Perencanaan pembebanan pondasi digunakan bantuan software SAP 2000. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan dimensi optimum pada pondasi. Berikut adalah beban maksimum yang bekerja pada pondasi :

Tabel 6.11 Tabel hasil pembebanan pada tiang pancang.

| Beban | Simbol | H _x | H _y | V tarik | V tekan | Momen X | Momen Y |
|-------------|----------------|----------------|----------------|---------|----------|---------|---------|
| Mati | D | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 33789.88 | 0.00 | 0.00 |
| Lalu Lintas | L | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 19562.22 | 0.00 | 0.00 |
| Rem | R | 0.00 | 250.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1250.00 |
| Gempa X | G _x | 278.23 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1516.16 | 0.00 |
| Gempa Y | G _y | 0.00 | 305.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1525.10 |

Setelah didapatkan nilai gaya dan momen dari masing-masing beban, ditentukan kombinasi pembebanan sebagai berikut:

- Kombinasi 1 : D
- Kombinasi 2 : D + L
- Kombinasi 3 : D + L + R
- Kombinasi 4 : D + L + G_x
- Kombinasi 5 : D + L + G_y

Berikut merupakan table pembebanan pada pangkal kolom dari masing-masing kombinasi.

Beban Kombinasi 1 :

Tabel 6.12 Tabel kombinasi 1

| Beban | Simbol | H _x | H _y | V _{tarik} | V _{tekan} | Momen X | Momen Y |
|--------|--------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|---------|---------|
| Mati | D | 0 | 0 | | 33789.88 | 0 | 0 |
| Jumlah | | 0 | 0 | | 33789.88 | 0 | 0 |

Beban Kombinasi 2 :

Tabel 6.13 Tabel kombinasi 2

| Beban | Simbol | H _x | H _y | V _{tarik} | V _{tekan} | Momen X | Momen Y |
|-------------|--------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|---------|---------|
| Mati | D | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 33789.88 | 0.00 | 0.00 |
| Lalu Lintas | L | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 19562.22 | 0.00 | 0.00 |
| Jumlah | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 53352.10 | 0.00 | 0.00 |

Beban Kombinasi 3 :

Tabel 6.14 Tabel kombinasi 3

| Beban | Simbol | H _x | H _y | V _{tarik} | V _{tekan} | Momen X | Momen Y |
|-------------|--------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|---------|---------|
| Mati | D | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 33789.88 | 0.00 | 0.00 |
| Lalu Lintas | L | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 19562.22 | 0.00 | 0.00 |
| Rem | R | 0.00 | 250.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1250.00 |
| Jumlah | | 0.00 | 250.00 | 0.00 | 53352.10 | 0.00 | 1250.00 |

Beban Kombinasi 4 :

Tabel 6.15 Tabel kombinasi 4

| Beban | Simbol | H _x | H _y | V _{tarik} | V _{tekan} | Momen X | Momen Y |
|-------------|--------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|---------|---------|
| Mati | D | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 33789.88 | 0.00 | 0.00 |
| Lalu Lintas | L | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 19562.22 | 0.00 | 0.00 |
| Rem | R | 0.00 | 250.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1250.00 |
| Jumlah | | 0.00 | 250.00 | 0.00 | 53352.10 | 0.00 | 1250.00 |

Beban Kombinasi 5 :

Tabel 6.16 Tabel kombinasi 5

| Beban | Simbol | H _x | H _y | V _{tarik} | V _{tekan} | Momen X | Momen Y |
|-------------|--------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|---------|---------|
| Mati | D | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 33789.88 | 0.00 | 0.00 |
| Lalu Lintas | L | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 19562.22 | 0.00 | 0.00 |
| Gempay | Gy | 0.00 | 305.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1525.10 |
| Jumlah | | 0.00 | 305.02 | 0.00 | 53352.10 | 0.00 | 1525.10 |

Maka didapatkan hasil maksimal dari beban kombinasi yaitu :

$$\begin{aligned}
 V_u \text{ max} &= 53352,1 \text{ kN} \\
 M_x \text{ max} &= 1516,16 \text{ kNm} \\
 M_y \text{ max} &= 1525,10 \text{ kNm} \\
 H_x \text{ max} &= 278,23 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$H_y \text{ max} = 305,02 \text{ kN}$$

6.4.2 Analisa Daya Dukung Pondasi

Daya dukung ijin pondasi dalam dihitung berdasarkan nilai data tanah berdasarkan hasil Standard Penetration Test (SPT). Pada perencanaan pondasi tiang bore direncanakan dengan diameter 120 cm.

- Perhitungan beban (Q_w) yang mampu dipikul tiang bor menurut mutu beton (f_c')

$$D_s = 2,257 \sqrt{\frac{Q_w}{f_c'}}$$

$$Q_w = 848,04 \text{ ton}$$

Jadi 1 tiang mampu menahan beban sebesar 848 ton.

- Jumlah tiang bor yang dibutuhkan menurut kemampuan beton

$$n = \frac{V_u \text{ max}}{Q_w} = \frac{5335,21}{848,04} = 6,29$$

Maka jumlah tiang bor yang dibutuhkan 7 buah.

- Perhitungan daya dukung pondasi bor
Perhitungan daya dukung tanah memakai metode Luciano Decourt :

$$Q_L = \alpha Q_P + \beta Q_S$$

dimana :

Q_L = daya dukung tanah maksimum pada pondasi

Q_P = resistance ultimate di dasar tiang

Q_S = resistance ultimate akibat lekatan lateral

$Q_P = q_p \times A_p = (N_p \times K) \times A_p$

$Q_S = q_s \times A_s = (N_s/3 + 1) \times A_s$

dengan :

N_p = harga rata-rata SPT pada 4D pondasi di bawah dan di atasnya.

K = koefisien karakteristik tanah

- $= 12 \text{ t/m}^2$, untuk tanah lempung
 $= 20 \text{ t/m}^2$, untuk tanah lanau berlempung
 $= 25 \text{ t/m}^2$, untuk tanah lanau berpasir
 $= 40 \text{ t/m}^2$, untuk tanah pasir
 A_p = luas penampang dasar tiang
 N_s = rata-rata SPT sepanjang tiang tertanam, dengan batasan $3 \leq N \leq 50$
 A_s = keliling x panjang tiang yang terbenam

Maka :

$$Q_p = N_p \times K \times A_p = 47,5 \times 40 \times 1,13 \times 0,85 = 1826,522 \text{ ton}$$

$$Q_s = (N_s/3 + 1) \times A_s = (28,67/3 + 1) \times 33,93 \times 0,5 = 179,07 \text{ ton}$$

$$Q_L = \alpha Q_p + \beta Q_s = 1826,522 + 179,0938 \text{ ton} = 2005,59 \text{ ton}$$

Sehingga $P_{ijin \text{ 1 tiang}}$ berdasarkan daya dukung tanah adalah:

$$P_{ijin \text{ 1 tiang}} = Q_L / SF = 2005,59 / 2 = 668,53 \text{ ton}$$

- Jumlah tiang bor yang ditentukan berdasarkan daya dukung tanah :

$$n = \frac{Vu \text{ max}}{Q_{ijin}} = \left(\frac{5335,21}{668,53 \times 0.7} \right) + 0.3 = 11,7$$

Maka digunakan tiang bor sebanyak 12 buah.

Sehingga dapat digunakan jumlah tiang sebanyak 12 buah *boredpile*.

Tabel 6.17 Tabel perhitungan data analisa tanah.

| Kedalaman (m) | N-SPT | N' | Jenis Tanah | N _p | K | N _s | N _s /3 | Q _p ton | Q _s ton | Q _I ton |
|---------------|-------|----|----------------------------------|----------------|------------------|----------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | | | t/m ² | | | | | |
| 1 | 5 | 5 | lempung lanau berpasir | 11.60 | 25 | 5.00 | 1.67 | 278.785 | 5.0265482 | 283.811 |
| 2 | 5 | 5 | lempung lanau berpasir | 18.00 | 25 | 5.00 | 1.67 | 432.537 | 10.053096 | 442.650 |
| 3 | 8 | 8 | lempung lanau berpasir berkerkil | 22.57 | 25 | 6.00 | 2.00 | 542.463 | 16.9646 | 559.428 |
| 4 | 10 | 10 | lempung lanau berpasir | 26.00 | 25 | 7.00 | 2.33 | 624.863 | 25.132741 | 649.996 |
| 5 | 30 | 30 | lempung lanau berpasir | 28.67 | 25 | 11.60 | 3.87 | 688.951 | 45.867253 | 734.819 |
| 6 | 50 | 50 | lempung berkerkil padat | 33.67 | 40 | 18.00 | 6.00 | 1294.588 | 79.168135 | 1373.756 |
| 7 | 50 | 50 | lempung berkerkil padat | 38.67 | 40 | 22.57 | 7.52 | 1486.853 | 112.46902 | 1599.322 |
| 8 | 50 | 50 | lempung berkerkil padat | 43.33 | 40 | 26.00 | 8.67 | 1666.301 | 145.7699 | 1812.071 |
| 9 | 50 | 50 | lempung berkerkil padat | 47.50 | 40 | 28.67 | 9.56 | 1826.522 | 179.07078 | 2005.593 |
| 10 | 50 | 50 | lempung berkerkil padat | 50.00 | 40 | 50.00 | 16.67 | 1922.655 | 333.00882 | 2255.664 |
| 11 | 50 | 50 | lempung berkerkil padat | 50.00 | 40 | 50.00 | 16.67 | 1922.655 | 366.3097 | 2288.964 |
| 12 | 50 | 50 | lempung berkerkil padat | 50.00 | 40 | 50.00 | 16.67 | 1922.655 | 399.61059 | 2322.265 |

6.4.3 Konfigurasi Bored Pile

Jarak minimal antara bored pile adalah sebagai berikut
: Syarat jarak antar tiang bore (s) :

$$2,5D \leq s \leq 4D$$

$$3 \text{ m} \leq s \leq 4.8 \text{ m}$$

Setelah menentukan konfigurasi tiang kelompok, langkah selanjutnya adalah menghitung beban yang bekerja pada satu tiang dari beban pada masing-masing kombinasi.

$$P_i = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_y \cdot x}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot y}{\sum y^2}$$

Dimana :

$\sum P$ = Beban vertikal

n = Jumlah tiang

M_x = Momen yang diterima arah x

M_y = Momen yang diterima arah y

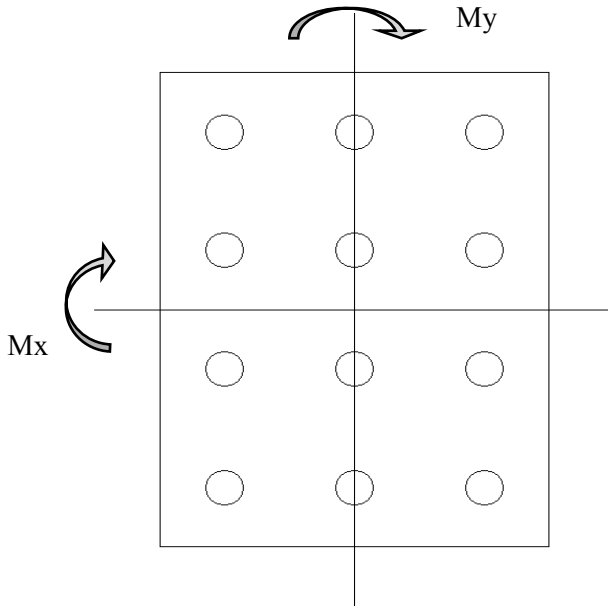
x = Jarak pondasi ke sumbu pusat arah x

y = Jarak pondasi ke sumbu pusat arah y

Jarak tiang ke pusat sumbu :

$x_i = 4 \text{ m}$ $\sum x_i = 160 \text{ m}^2$

$y_i = 8 \text{ m}$ $\sum y_i = 384 \text{ m}^2$



Sehingga didapatkan beban yang diterima 1 tiang adalah :

- Kombinasi 1

$$P_{\max} = \frac{\Sigma P}{n} + \frac{M_y \cdot x}{\Sigma x^2} + \frac{M_x \cdot y}{\Sigma y^2} = 2815,8 \text{ kN}$$

$$P_{\min} = \frac{\Sigma P}{n} - \frac{M_y \cdot x}{\Sigma x^2} - \frac{M_x \cdot y}{\Sigma y^2} = 2815,8 \text{ kN}$$

- Kombinasi 2

$$P_{\max} = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_y \cdot x}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_x \cdot y}{\Sigma y^2} = 4446 \text{ kN}$$

$$P_{\min} = \frac{\Sigma P}{n} - \frac{M_y \cdot x}{\Sigma x^2} - \frac{M_x \cdot y}{\Sigma y^2} = 4446 \text{ kN}$$

- Kombinasi 3

$$P \max = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_y \cdot x}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_x \cdot y}{\Sigma y^2} = 4446,3 \text{ kN}$$

$$P \min = \frac{\Sigma P}{n} - \frac{M_y \cdot x}{\Sigma x^2} - \frac{M_x \cdot y}{\Sigma y^2} = 4445,7 \text{ kN}$$

- Kombinasi 4

$$P \max = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_y \cdot x}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_x \cdot y}{\Sigma y^2} = 4446,2 \text{ kN}$$

$$P \min = \frac{\Sigma P}{n} - \frac{M_y \cdot x}{\Sigma x^2} - \frac{M_x \cdot y}{\Sigma y^2} = 4445,8 \text{ kN}$$

- Kombinasi 5

$$P \max = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_y \cdot x}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_x \cdot y}{\Sigma y^2} = 4446,4 \text{ kN}$$

$$P \min = \frac{\Sigma P}{n} - \frac{M_y \cdot x}{\Sigma x^2} - \frac{M_x \cdot y}{\Sigma y^2} = 4445,5 \text{ kN}$$

Maka beban pada satu tiang yang menentukan adalah :

$$P \max = 4446,4 \text{ kN}$$

$$P \min = 2815,8 \text{ kN}$$

6.4.4 Efisiensi Grup Pile

Ketika sebuah tiang merupakan bagian dari sebuah kelompok (*group*), daya dukungnya mengalami modifikasi, karena pengaruh dari tiang kelompok tersebut. Untuk kasus daya dukung *group* pondasi, harus dikoreksi terlebih dahulu dengan koefisien efisiensi C_e .

Perhitungan efisiensi dengan cara *Converse Labarre* :

$$C_e = 1 - \frac{\arctan(D/S)}{90^\circ} \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right)$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 D &= \text{diameter tiang bor} && = 120 \text{ cm} \\
 S &= \text{jarak antar tiang bor} && = 400 \text{ cm} \\
 m &= \text{jumlah tiang bor 1 baris} && = 3 \\
 n &= \text{jumlah baris tiang bor} && = 4
 \end{aligned}$$

Sehingga :

Maka :

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{group}} &= P_{\text{ijin 1 tiang}} \times n \times Ce \\
 &= 668,53 \times 12 \times 1,153 \\
 &= 9249,781 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

6.4.5 Kedalaman Bored Pile

Kedalaman tiang bor ditentukan dengan merencanakan kebutuhan setiap daya dukung tiang.

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan daya dukung setiap pile} &= P_{\text{max}} / E_f \\
 &= 4446,4 \text{ kN} / 0.7 \\
 &= 6352 \text{ kN} = 635,2 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Dari hasil diatas maka didapatkan kedalaman tiang yang dibutuhkan adalah $h = 9$ meter dengan $Q_u = 6685,3 \text{ kN} = 668,53$ ton sehingga kedalam 9 meter dapat digunakan.

6.4.6 Pengaruh Beban Lateral

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bored pile} &= 9 \text{ m} \\
 E &= 4700\sqrt{f_c'} = 25743 \text{ MPa} \\
 &= 257430 \text{ t/m}^2 \\
 I &= 0.1018 \text{ m}^4 = 1,018 \times 10^{11} \text{ mm}^4 \\
 H_x \text{ max} &= 278,23 \text{ kN} = 278230 \text{ N} \\
 H_y \text{ max} &= 305,02 \text{ kN} = 305020 \text{ N} \\
 Z &= 5 \text{ (karena bored pile panjang)}
 \end{aligned}$$

- Faktor kekakuan

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}} = 1771.9 \text{ mm}$$

$$N_h = 150 \text{ kN/m}^3 \text{ (untuk soft silt)}$$

- Menghitung lateral deformasi

$$y = C_v \times \frac{H \max \times T^3}{EI} = 1,576 \text{ mm}$$

Dimana :

$$C_y = (A_y - \lambda B_y)$$

$$A_y = 2,435$$

$$B_y = 1,623$$

$$\lambda = 0 \text{ (karena ujung tiang atas dianggap bebas)}$$

- Momen yang terjadi akibat pengaruh beban lateral

$$M = C_m \times H \max \times T$$

$$M = (A_m - 0.93 B_m) H \max \times T = -502632392,3 \text{ Nmm}$$

$$A_m = 0$$

$$B_m = 1$$

6.4.7 Penulangan Pada Bored Pile

a. Penulangan Lentur

Bored pile berperilaku sebagai kolom yang menerima kombinasi beban aksial dan beban momen. Momen terbesar yang terjadi adalah di titik jepit pondasi akibat adanya gaya horizontal di perletakan pilar.

$$M_{\max} = -502632392,3 \text{ Nmm} = -502,63 \text{ kNm}$$

Bored Pile direncanakan dengan 1,5% penulangan.

$$A_c = 1131000 \text{ mm}^2$$

$$A_s(1,5\%) = 16965 \text{ mm}^2$$

Dengan analisa menggunakan PCA Col, seperti pada gambar didapatkan kekuatan momen bored pile sebesar 2755,135 kNm. Maka dapat digunakan tulangan lentur 55 D 22 ($A_s = 20896.7 \text{ mm}^2$)

b. Penulangan Geser

Semua bored pile dipasang dalam kondisi lurus. Oleh karena itu gaya horizontal harus dipikul oleh kuat geser beton.

$$M_{\max} = 502,63 \text{ kNm}$$

$$\phi V_c = 0.7 \left(1 + \frac{Nu}{14Ag} \right) \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) A_c$$

$$\phi V_c = 0.7 \left(1 + \frac{4446,4}{14 \times 1131000} \right) \left(\frac{\sqrt{30}}{6} \right) 723840 = 462670,633 \text{ kN}$$

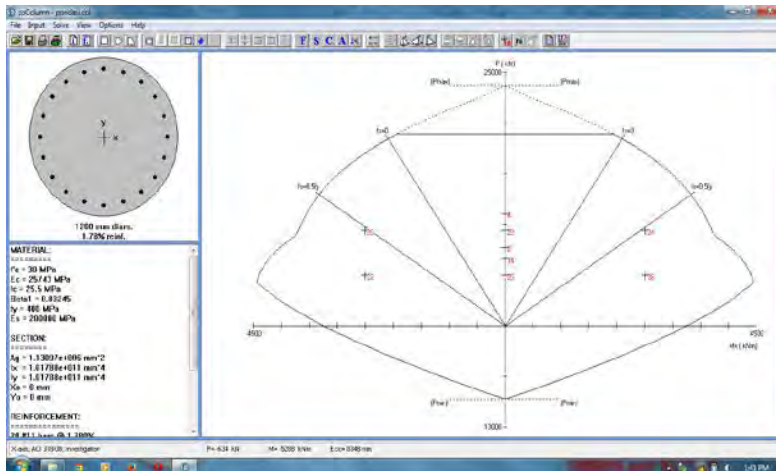
$$\phi V_c > V_u ,$$

$$462670,63 \text{ kN} > 53352,1 \text{ kN (OKE)},$$

digunakan tulangan geser minimal

$$A_v \min = \frac{75 \sqrt{f_c'} \times b_w \times s}{1200 f_y} = 1009,424 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan geser 2D10 – 140 ($A_s = 1.121,99 \text{ mm}^2$)



Gambar 6.9 Output Spcolumn pondasi bor pile (kolom)

6.5 Perencanaan Poer

Perencanaan Poer dirancang untuk meneruskan gaya dari struktur atas ke pondasi tiang pancang. Berdasarkan hal tersebut poer direncanakan harus memiliki kekuatan yang cukup terhadap geser pondasi dan lentur.

Data rencana :

| | |
|--|---|
| P_{\max} (1 tiang) | = 4446,4 kN |
| \sum tiang pancang tiap group | = 12 Tiang pancang |
| Dimensi kolom | = $2500 \times 2500 \text{ mm}$ |
| Dimensi poer | = $12 \times 16 \times 3,5 \text{ m}^3$ |
| Mutu beton (f'_c) | = 30 MPa |
| Mutu baja (f_y) | = 420 MPa |
| Diameter tulangan | = 25 mm |
| Selimit beton | = 50 mm |
| Tinggi efektif (d) : | |
| $d_x = 3500 - 50 - \frac{1}{2} \times 25$ | = 3437.5 mm |
| $d_y = 3500 - 50 - 25 - \frac{1}{2} \times 25$ | = 3412.55 mm |

1. Kontrol Geser Pons Pada Pile Cap

Perencanaan pile cap harus memenuhi persyaratan kekuatan gaya geser nominal beton yang harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Hal ini sesuai yang disyaratkan pada SNI03-2847-2013 pasal 11.11.2.1 Kuat geser yang disumbangkan beton dirumuskan dengan perumusan sebagai berikut :

$$\phi V_c = \phi \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) \times b_o \times d$$

tetapi tidak boleh kurang dari :

$$\phi V_c = \phi \frac{1}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

Dimana :

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek beton dari daerah beban terpusat atau reaksi = 1

b_o = keliling dari penampang kritis pada pile cap

$b_o = 2 (b_k + d) + 2 (h_k + d)$

Dimana :

b_k = lebar penampang kolom

h_k = tinggi penampang kolom

d = tebal efektif pile cap

Kontrol geser pons pada tiang pancang tengah (akibat Kolom)

$$\begin{aligned} b_o &= 2 (2500 + 3437,5) + 2 (2500 + 3412,5) \\ &= 19700 \text{ mm} \end{aligned}$$

Batas geser pons

$$P < \phi V_c$$

Batas geser pons

$$\phi V_c = \phi \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) \times b_o \times d$$

$$\phi V_c = 0,6 \times \left(1 + \frac{2}{1}\right) \left(\frac{\sqrt{30}}{6}\right) \times 19700 \times 3437,5 = 11127,32 t$$

$$\phi V_c = \phi \frac{1}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

$$\phi V_c = 0,6 \times \frac{1}{3} \cdot \sqrt{30} \times 15700 \times 1437,5 = 7418,213 t$$

P yang bekerja pada poer, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P = (V_u - (n \times P_{ijin \text{ tiang}})) + ((N - n) \times P_{ijin \text{ tiang}})$$

Dimana :

V_u = gaya aksial kolom (ton)

n = jumlah bor pile yang berada dalam keliling kritis pada penampang poer

N = jumlah bor pile pada 1 poer

Sehingga didapatkan P yang bekerja pada poer sebesar:

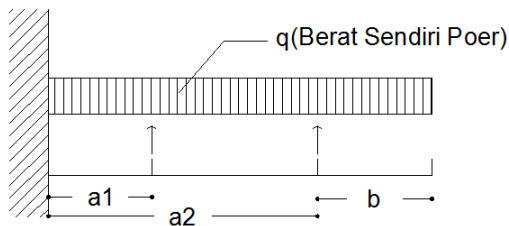
$$P = (7184,74 - (6 \times 668,53)) + ((12 - 6) \times 668,53) \\ = 7184,74 \text{ ton}$$

$$P = 7184,74 \text{ ton} < \phi V_c = 7418,213 \text{ ton}$$

Sehingga ketebalan dan ukuran pile cap memenuhi syarat terhadap geser ponds.

Penulangan Pile Cap

Untuk penulangan lentur, pile cap dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Sedangkan beban yang bekerja adalah beban terpusat di tiang kolom yang menyebabkan reaksi pada tanah dan berat sendiri pile cap. Perhitungan gaya dalam pada pile cap didapat dengan teori mekanika statis tertentu.



Gambar 6.10 Output Spcolumn pondasi bor pile (kolom)

a = jarak tiang ke tepi kolom + selimut kolom + db sengkang + $1/2 db$ kolom

$$a1 = 75 + 10 + 1,3 + \frac{1}{2} \cdot 4 = 88,3 \text{ cm}$$

$$a2 = 475 + 10 + 1,3 + \frac{1}{2} \cdot 4 = 488,3 \text{ cm}$$

b = jarak tepi tiang pancang = 200 cm

Penulangan lentur Arah X

Gaya Momen yang Terjadi :

$$P_{max} = 668,53 \text{ ton}$$

$$q = 12 \times 2,40 \times 3,5 = 100,8 \text{ ton/m}$$

Momen momen yang bekerja :

$$M = 3 \times (668,53 \times 0,883 + 668,53 \times 4,883) - \left(\frac{1}{2} \times 100,8 \times 6,75^2 \right)$$

$$= 9267,881 \text{ tonm} = 9,26788 \times 10^{10} \text{ Nmm}$$

$$d_x = 3500 - 50 - \frac{1}{2} \times 25 = 3437,5 \text{ mm}$$

$$d_y = 3500 - 50 - 25 - \frac{1}{2} \times 25 = 3412,5 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 8 \left(\frac{f'_c - 30}{1000} \right) \text{ (SNI 03-2847-2013 ps 10.2.7.3)}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \text{ (SNI 03-2847-2013 ps 8.4.3)}$$

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,0304$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0304 = 0,0228 \text{ (SNI 03-2847-2002 pasal 10.3.3)} \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = 1,4/420 = 0,0033$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} = \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} = 0,00326$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{420}{0,85 \times 30} = 16,47$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{9,267881 \times 10^{10}}{0,8 \times 12000 \times 3412,5^2} = 0,829 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 0,829}{420}} \right) \text{ Sehingga} \\ &= 0,002 < \rho_{min} = 0,0033 \end{aligned}$$

$$\rho_{perlu} = 0,0033$$

Berdasarkan perhitungan ρ_{perlu} Maka luasan tulangan yang diperlukan untuk menahan beban adalah sebagai berikut :

$$A_{sperlu} = \rho_{perlu} \times b \times d = 0,0033 \times 1000 \times 3412,5 = 11261,25 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan lentur **2D25 – 80** dengan $A_s = 12271,846 \text{ mm}^2$

Tulangan Tekan yang diperlukan :

$$0,5 \times A_s \text{ lentur} = 0,5 \times 12271,846 = 6135,923 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan tekan **D25– 80** dengan $A_s = 6135,923 \text{ mm}^2$

Penulangan lentur Arah Y

Gaya Momen yang Terjadi :

$$P_{max} = 668,53 \text{ ton}$$

$$q = 16 \times 2,40 \times 3,5 = 134,4 \text{ ton/m}$$

Momen momen yang bekerja :

$$M = 4 \times (668,53 \times 2,835) - (1/2 \times 134,4 \times 4,75^2) \\ = 6064,9302 \text{ tonm} = 6,0649 \times 10^{10} \text{ Nmm}$$

$$d_x = 3500 - 50 - \frac{1}{2} \times 25 = 3437,5 \text{ mm}$$

$$d_y = 3500 - 50 - 25 - \frac{1}{2} \times 25 = 3412,5 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 8 \left(\frac{f'_c - 30}{1000} \right) \text{ (SNI 03-2847-2013 ps 10.2.7.3)}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 8 \left(\frac{30 - 30}{1000} \right) = 0,85$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \text{ (SNI 03-2847-2013 ps 8.4.3)}$$

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,0304$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b \\ = 0,75 \times 0,0304 = 0,0228 \text{ (SNI 03-2847-2002 pasal 10.3.3)}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = 1,4/420 = 0,0033$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} = \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} = 0,00326$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{420}{0,85 \times 30} = 16,47$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{6,0649 \times 10^{10}}{0,8 \times 16000 \times 3437,5^2} = 0,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 0,4}{420}} \right) \text{ Sehingga} \\ &= 0,00096 < \rho_{\text{min}} = 0,0033 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0033$$

Berdasarkan perhitungan ρ_{perlu} Maka luasan tulangan yang diperlukan untuk menahan beban adalah sebagai berikut :

$$A_{\text{sperlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d = 0,0033 \times 1000 \times 3437,5 = 11343,75 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan lentur **2D25 – 80** dengan $A_s = 12271,846 \text{ mm}^2$

Tulangan Tekan yang diperlukan :

$$0,5 \times A_s \text{ lentur} = 0,5 \times 11343,75 = 5671,875 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan tekan **D25– 80** dengan $A_s = 6135,923 \text{ mm}^2$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VII

PENUTUP

7.1. Kesimpulan

Perencanaan jembatan Brantas pada zona gempa tinggi, memiliki dimensi- dimensi struktur baik struktur atas maupun struktur bawah ialah sebagai berikut :

Struktur Atas :

| joint | tinggi (H) | L box (m) | Luas | Ya | Yb | I (m ⁴) | Wa | Wb | Ka | Kb |
|-------|------------|-----------|---------|----------|----------|---------------------|----------|----------|----------|----------|
| 23 | 6.5 | 0 | 42.6068 | 3.00936 | 3.49064 | 182.696 | 60.70925 | 52.33883 | 1.424872 | 1.228415 |
| 22 | 6.5 | 2 | 38.8488 | 3.0497 | 3.4503 | 176.5692 | 57.89724 | 51.17503 | 1.490322 | 1.317287 |
| 21 | 6.2 | 3 | 19.572 | 3.6439 | 2.5543 | 100.0614 | 27.45997 | 39.17371 | 1.403023 | 2.001518 |
| 20 | 5.728 | 5 | 18.1182 | 3.3117 | 2.4129 | 81.8318 | 24.70991 | 33.91429 | 1.363817 | 1.871836 |
| 19 | 5.294 | 5 | 16.7336 | 3.000768 | 2.288832 | 66.7978 | 22.26023 | 29.18423 | 1.330272 | 1.74405 |
| 18 | 4.898 | 5 | 15.4285 | 2.7113 | 2.1811 | 54.4528 | 20.08365 | 24.96575 | 1.301724 | 1.618158 |
| 17 | 4.608 | 4 | 14.4476 | 2.4951 | 2.1063 | 46.2187 | 18.52379 | 21.94308 | 1.282136 | 1.518804 |
| 16 | 4.342 | 4 | 13.5318 | 2.2937 | 2.0415 | 39.2624 | 17.1175 | 19.23213 | 1.264983 | 1.421255 |
| 15 | 4.1 | 4 | 12.684 | 2.1069 | 1.9863 | 33.4025 | 15.85386 | 16.81644 | 1.24991 | 1.3258 |
| 14 | 3.882 | 4 | 11.9071 | 1.9348 | 1.9142 | 28.4862 | 14.72307 | 14.88152 | 1.236495 | 1.249802 |
| 13 | 3.689 | 4 | 11.208 | 1.7788 | 1.9025 | 24.4054 | 13.72015 | 12.82807 | 1.224139 | 1.144546 |
| 12 | 3.559 | 3 | 10.7349 | 1.6722 | 1.8796 | 21.8179 | 13.04742 | 11.60774 | 1.215421 | 1.081308 |
| 11 | 3.443 | 3 | 10.3091 | 1.5755 | 1.8606 | 19.6024 | 12.44202 | 10.53553 | 1.206897 | 1.021964 |
| 10 | 3.34 | 3 | 9.9298 | 1.4884 | 1.8454 | 17.715 | 11.90204 | 9.599545 | 1.198619 | 0.966741 |
| 9 | 3.251 | 3 | 9.599 | 1.4117 | 1.8335 | 16.133 | 11.42807 | 8.799018 | 1.190548 | 0.91666 |
| 8 | 3.175 | 3 | 9.3182 | 1.3459 | 1.8244 | 14.8351 | 11.02244 | 8.131495 | 1.182894 | 0.872647 |
| 7 | 3.113 | 3 | 9.086 | 1.2913 | 1.8177 | 13.7959 | 10.68373 | 7.589756 | 1.175845 | 0.835324 |
| 6 | 3.065 | 3 | 8.9068 | 1.2483 | 1.8148 | 13.0047 | 10.41793 | 7.165914 | 1.16966 | 0.804544 |
| 5 | 3.03 | 3 | 8.7774 | 1.2173 | 1.7854 | 12.4464 | 10.2246 | 6.971211 | 1.164877 | 0.794223 |
| 4 | 3.008 | 3 | 8.6999 | 1.1986 | 1.8074 | 12.1153 | 10.10788 | 6.703165 | 1.161838 | 0.770488 |
| 3 | 3 | 3 | 8.673 | 1.1989 | 1.8011 | 12.0051 | 10.01343 | 6.665427 | 1.154552 | 0.768526 |
| 2 | 2.964 | 2 | 8.614 | 1.1778 | 1.7862 | 11.6763 | 9.913653 | 6.53695 | 1.150877 | 0.758875 |
| 1 | 2.936 | 2 | 8.616 | 1.1665 | 1.7695 | 11.4241 | 9.793485 | 6.456118 | 1.136663 | 0.749317 |
| 24 | 2.9202 | 1.5 | 8.6017 | 1.1601 | 1.7601 | 11.2832 | 9.726058 | 6.410545 | 1.130713 | 0.745265 |

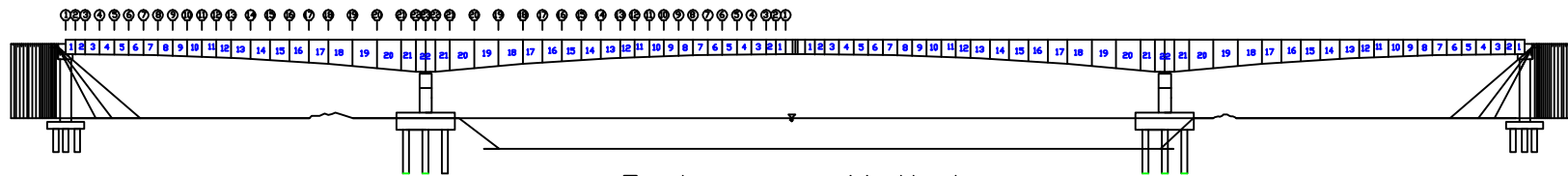
Struktur Bawah :

- Kolom pier : 250/250 cm²
- Pier head : 180/350 cm²
- Pile cap : 16 x 12 x 3,5 m
- Tiang pancang : D120, H = 9 m

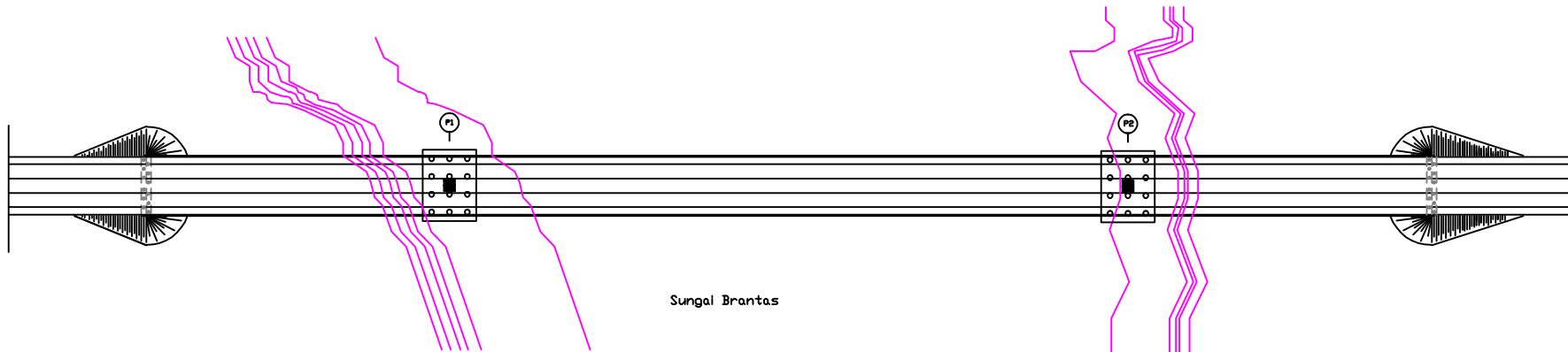
7.2. Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil analisa dalam Tugas Akhir ini meliputi :

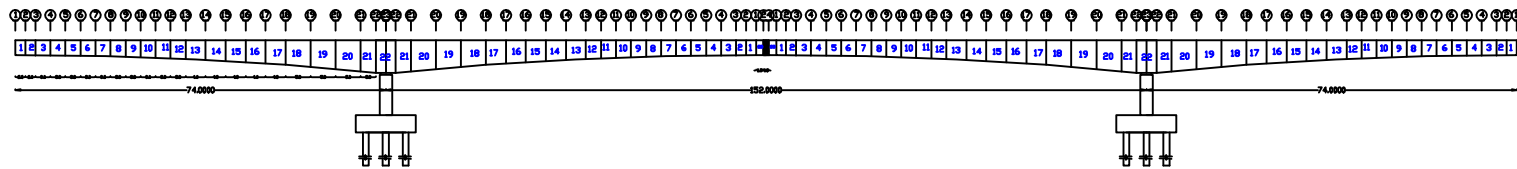
1. Dalam perencanaan jembatan bentang panjang dengan menggunakan metode balanced cantilever sebaiknya pada tengah bentang diberi closure tambahan sehingga dapat mengimbangi kombinasi akibat beban hidup yang terjadi.
2. Luasan penampang pada tumpuan harus diperbesar sedemikian hingga untuk mengantisipasi tegangan yang terjadi.
3. Dalam menggunakan aplikasi bantu dibutuhkan kehati-hatian dan wawasan tentang perencanaan yang cukup, karena jika terjadi kesalahan dalam memasukkan atau mengasumsi perilaku struktur tersebut, aplikasi akan menghasilkan perhitungan yang keliru.



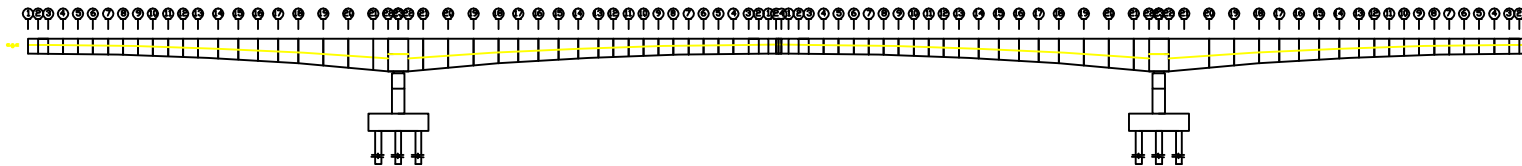
Potongan Melintang
Skala 1:1000



Sungai Brantas



Gambar 2. Pembagian segment box girder



Gambar 2. Letak c.g.c pada setiap segment



JURUSAN TEKNIK SIPIL
 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya 2011

Judul Tugas Akhir

**PERENCANAAN JEMBATAN BRANTAS
 DI MOJOKERTO DENGAN
 MENGGUNAKAN METODE BETON
 PRATEKAN STATIS TAK TENTU**

Dosen Pembimbing

Prof.Dr.Ir I Putu Gusti Raka, DEA

Mahasiswa

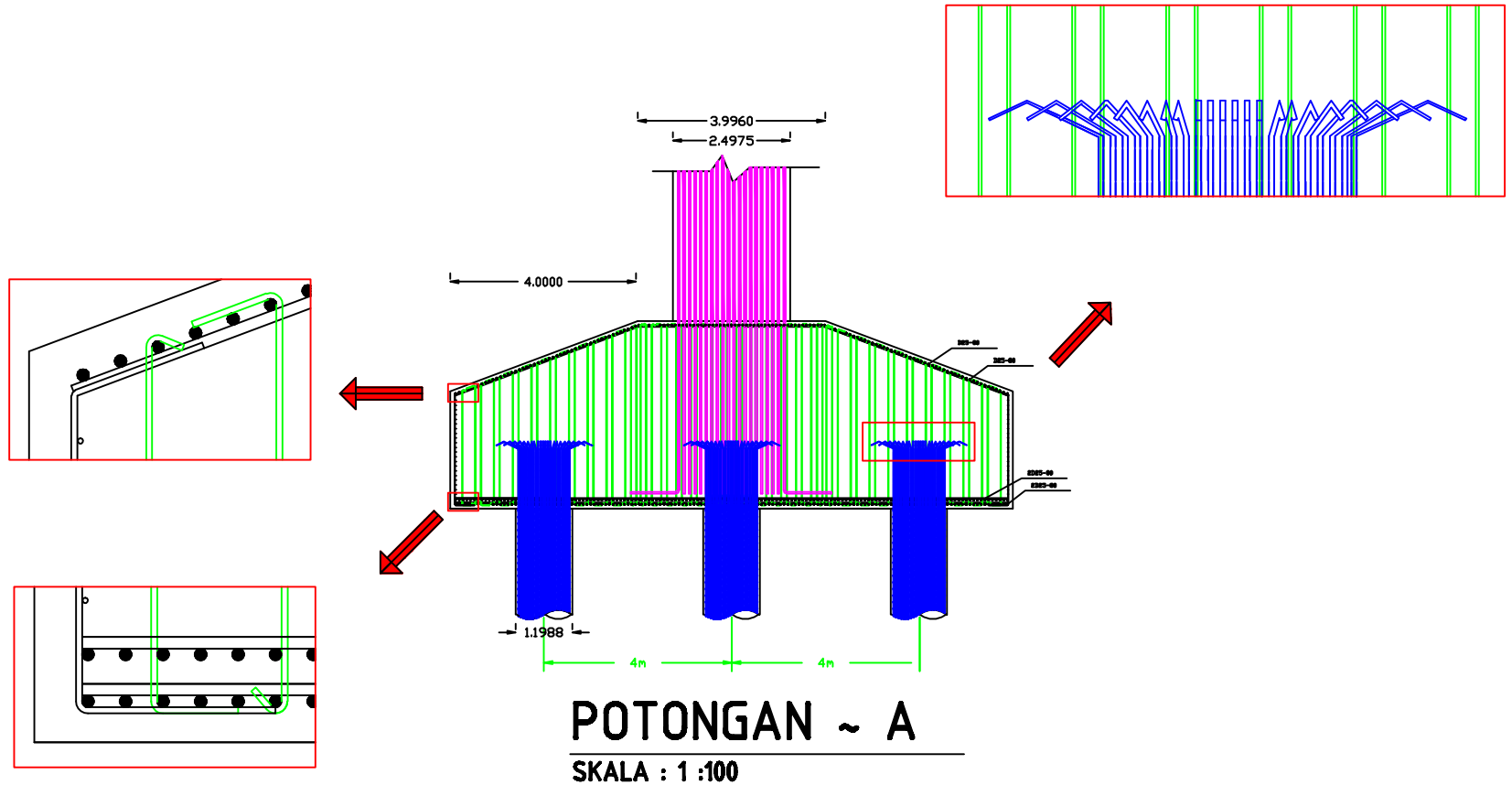
R. Zulqa Nur Rahmat Arif
 3110 100 118

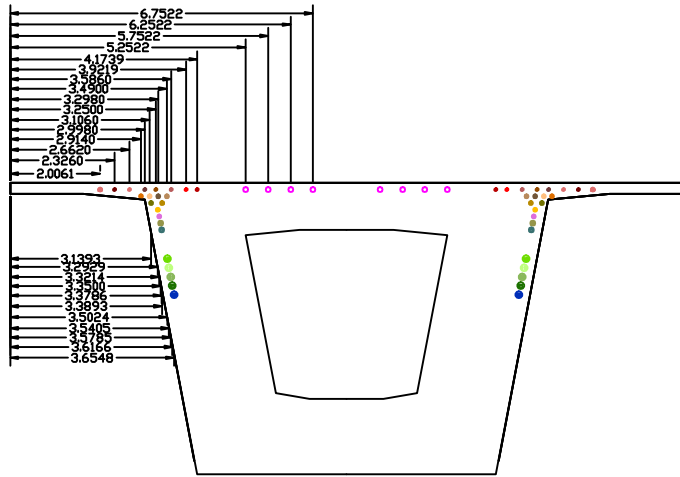
Nama Gambar

Pembagian Segment dan Letak
 c.g.c Jembatan

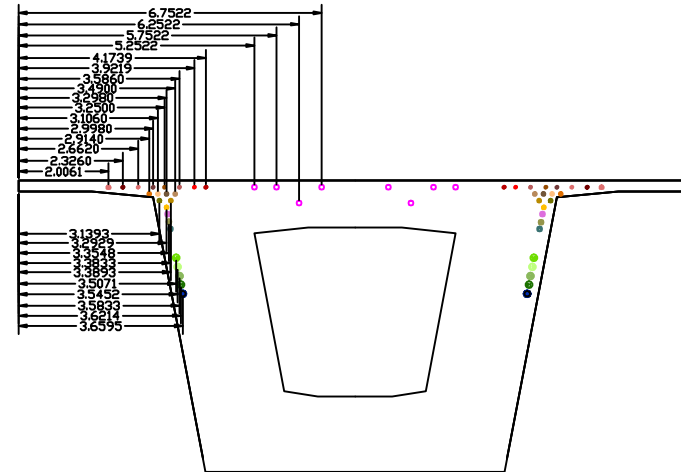
Skala

1: 1500





penampang joint 23

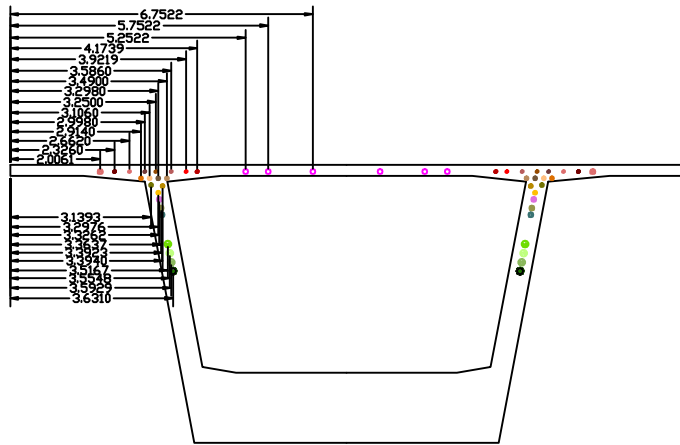


penampang joint 22

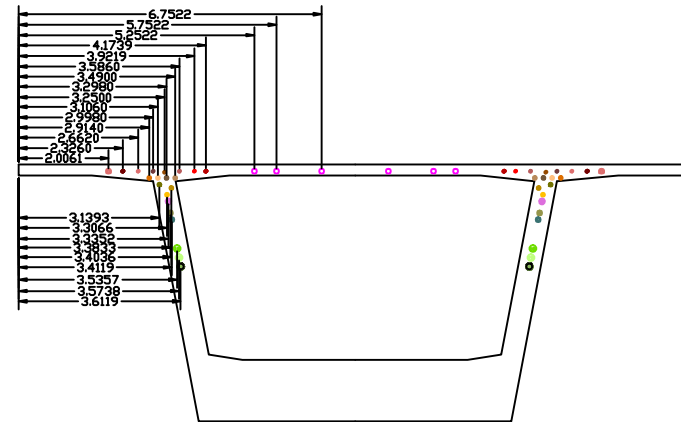


JURUSAN TEKNIK SIPIL
 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya 2011

| Judul Tugas Akhir | Dosen Pembimbing | Mahasiswa | Nama Gambar | Skala |
|--|-----------------------------------|---|--|--------|
| PERENCANAAN JEMBRAN BRANTAS DI MOJOKERTO DENGAN MENGGUNAKAN METODE BETON PRATEKAN STATIS TAK TENTU | Prof.Dr.Ir I Putu Gusti Raka, DEA | <u>R. Zulqa Nur Rahmat Arif</u> 3110 100 118 | Tata letak tendon Pada penampang box girder | 1: 200 |

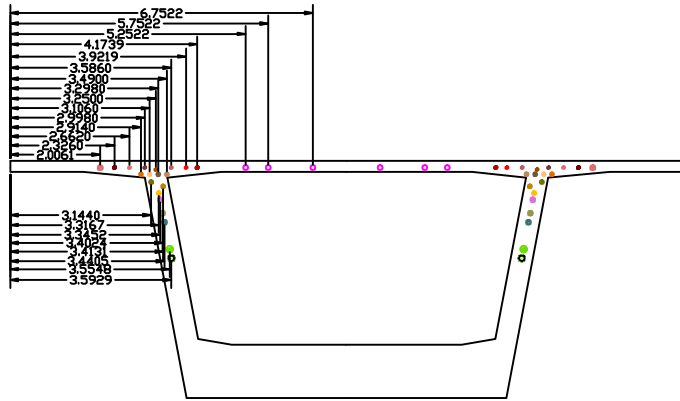


penampang joint 21

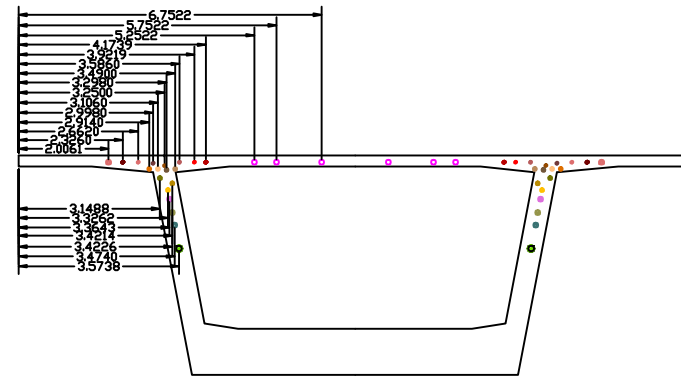


penampang joint 20

| Judul Tugas Akhir | Dosen Pembimbing | Mahasiswa | Nama Gambar | Skala |
|--|-----------------------------------|--|---|--------|
| PERENCANAAN JEMBRAN BRANTAS DI MOJOKERTO DENGAN MENGGUNAKAN METODE BETON PRATEKAN STATIS TAK TENTU | Prof.Dr.Ir I Putu Gusti Raka, DEA | R. Zulqa Nur Rahmat Arif 3110 100 118 | Tata letak tendon Pada penampang box girder | 1: 200 |



penampang joint 19

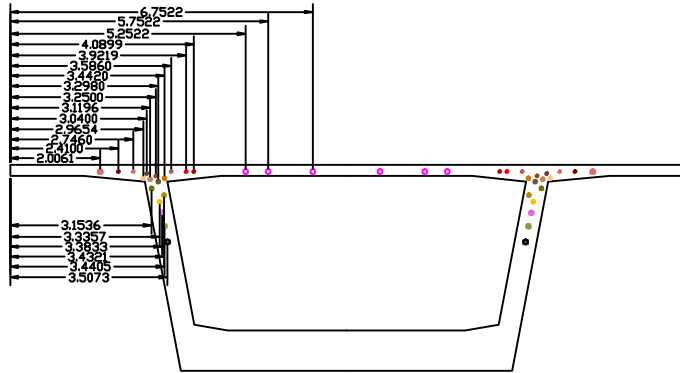


penampang joint 18

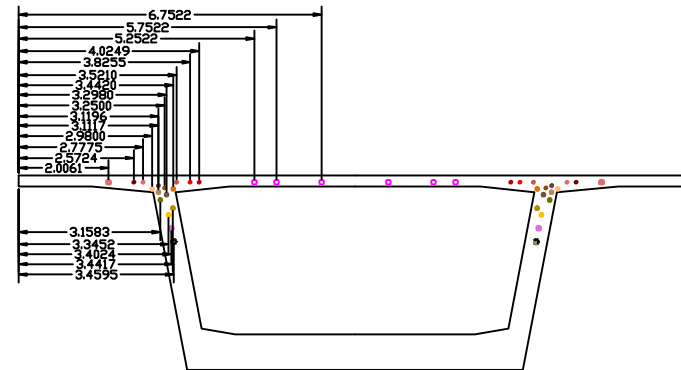


JURUSAN TEKNIK SIPIL
 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya 2011

| Judul Tugas Akhir | Dosen Pembimbing | Mahasiswa | Nama Gambar | Skala |
|--|-----------------------------------|---|--|--------|
| PERENCANAAN JEMBRAN BRANTAS DI MOJOKERTO DENGAN MENGGUNAKAN METODE BETON PRATEKAN STATIS TAK TENTU | Prof.Dr.Ir I Putu Gusti Raka, DEA | <u>R. Zulqa Nur Rahmat Arif</u> 3110 100 118 | Tata letak tendon Pada penampang box girder | 1: 200 |

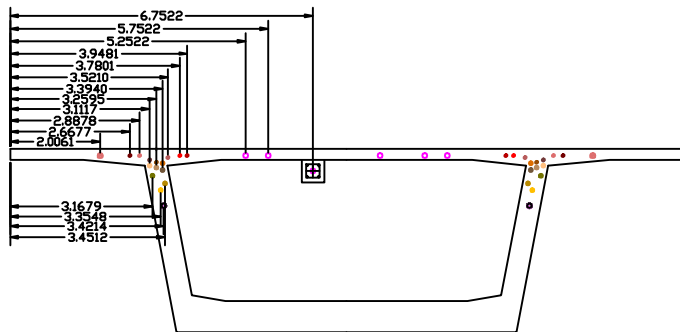


penampang joint 17

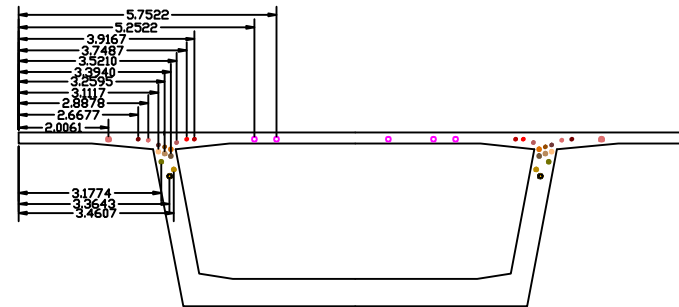


penampang joint 16

| Judul Tugas Akhir | Dosen Pembimbing | Mahasiswa | Nama Gambar | Skala |
|--|-----------------------------------|---|--|--------|
| PERENCANAAN JEMBRAN BRANTAS DI MOJOKERTO DENGAN MENGGUNAKAN METODE BETON PRATEKAN STATIS TAK TENTU | Prof.Dr.Ir I Putu Gusti Raka, DEA | <u>R. Zulqa Nur Rahmat Arif</u> 3110 100 118 | Tata letak tendon Pada penampang box girder | 1: 200 |

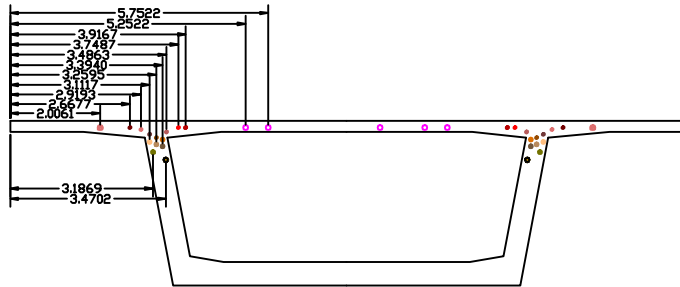


penampang joint 15

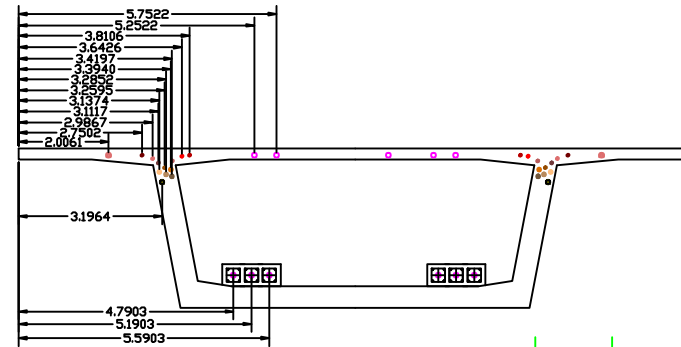


penampang joint 14

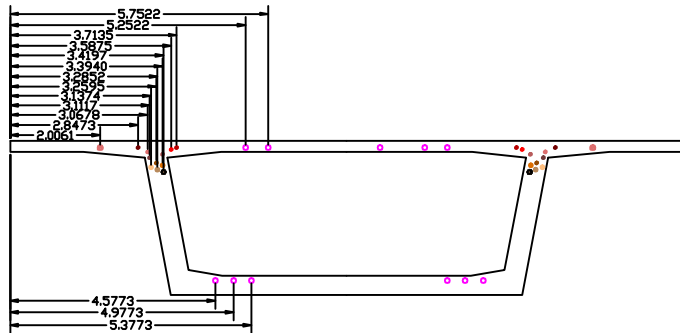
| Judul Tugas Akhir | Dosen Pembimbing | Mahasiswa | Nama Gambar | Skala |
|--|-----------------------------------|---|--|--------|
| PERENCANAAN JEMBRAN BRANTAS DI MOJOKERTO DENGAN MENGGUNAKAN METODE BETON PRATEKAN STATIS TAK TENTU | Prof.Dr.Ir I Putu Gusti Raka, DEA | <u>R. Zulqa Nur Rahmat Arif</u> 3110 100 118 | Tata letak tendon Pada penampang box girder | 1: 200 |



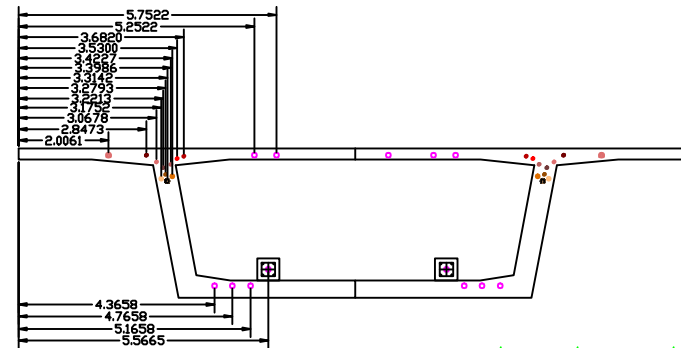
penampang joint 13



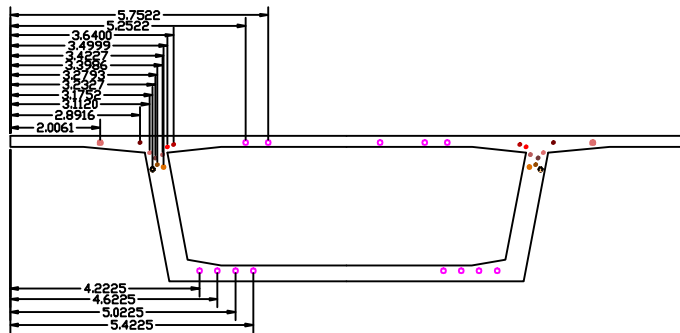
penampang joint 12



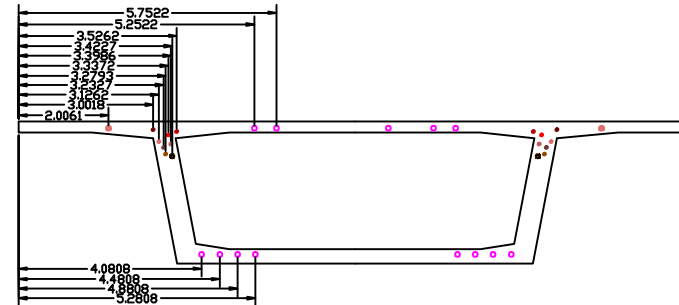
penampang joint 11



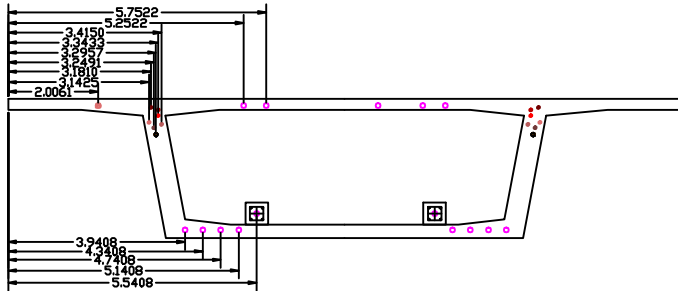
penampang joint 10



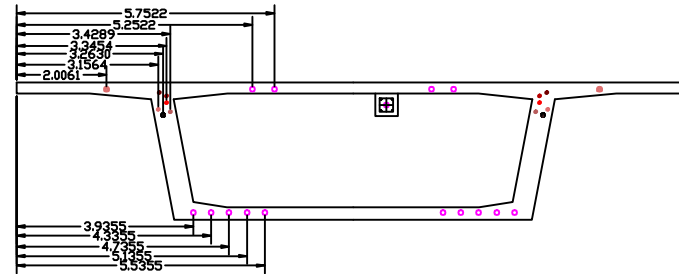
penampang joint 9



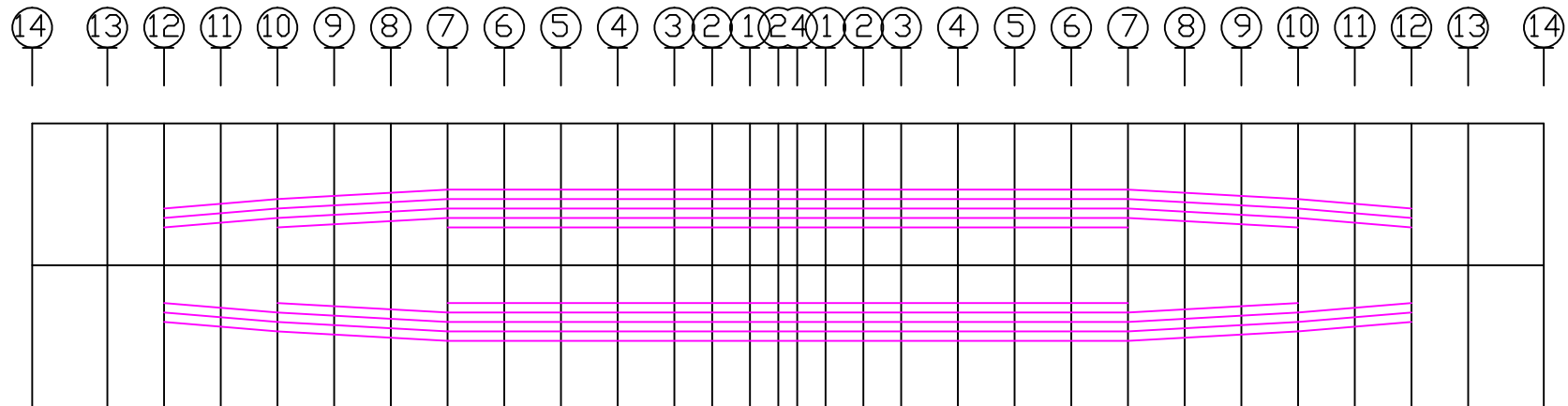
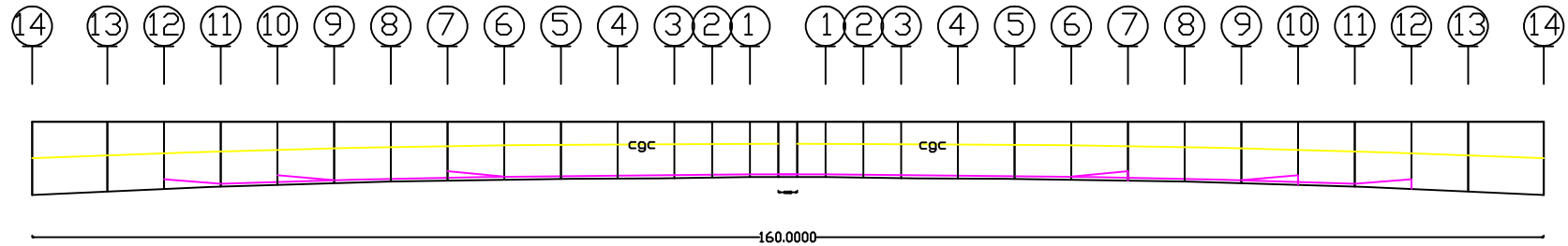
penampang joint 8



penampang joint 7

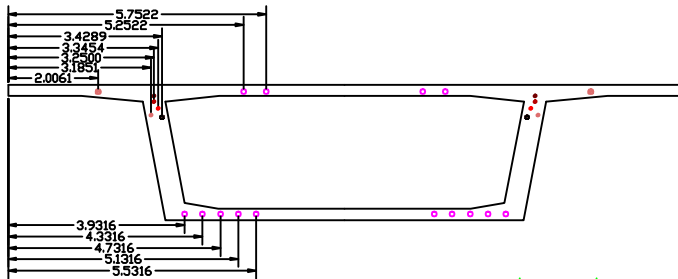


penampang joint 6

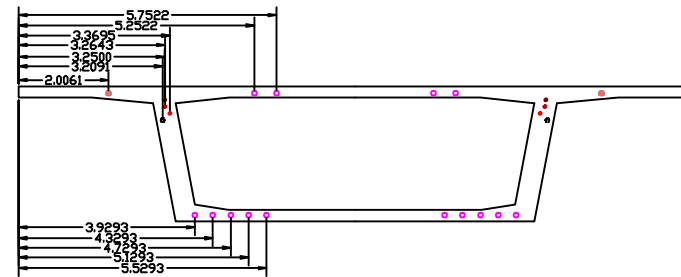


Gambar 2. Tata letak tendon service bawah box girder

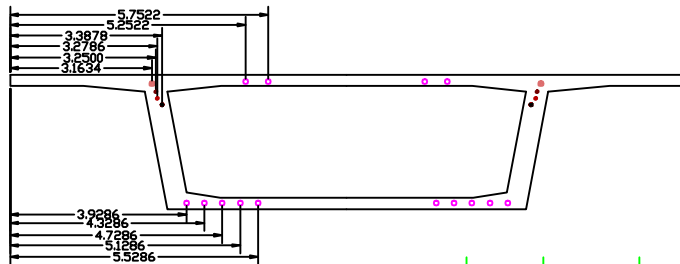
| | | | | | |
|--|---|--|---|---|---------------|
|  <p>JURUBAN TEKNIK SIPIL Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2011</p> | Judul Tugas Akhir | Dosen Pembimbing | Mahasiswa | Nama Gambar | Skala |
| | <p>PERENCANAAN JEMBATAN BRANTAS DI MOJOKERTO DENGAN MENGGUNAKAN METODE BETON PRATEKAN STATIS TAK TENTU</p> | <p>Prof.Dr.Ir I Putu Gusti Raka, DEA</p> | <p><u>R. Zulga Nur Rahmat Arif</u> 3110 100 118</p> | <p>Tata letak tendon service bawah box girder</p> | <p>1: 750</p> |



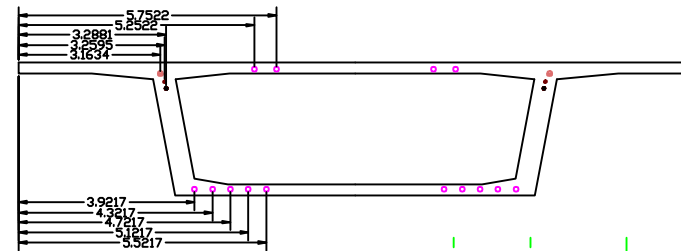
penampang joint 5



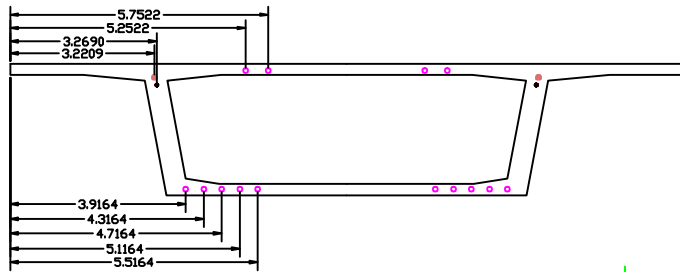
penampang joint 4



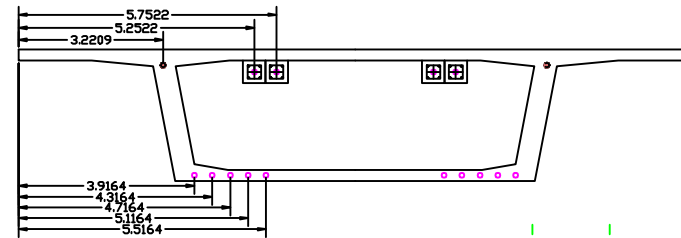
penampang joint 3



penampang joint 2



penampang joint 1



penampang joint 24



JURUSAN TEKNIK SIPIL
 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya 2011

Judul Tugas Akhir

**PERENCANAAN JEMBATAN BRANTAS
 DI MOJOKERTO DENGAN
 MENGGUNAKAN METODE BETON
 PRATEKAN STATIS TAK TENTU**

Dosen Pembimbing

Prof.Dr.Ir I Putu Gusti Raka, DEA

Mahasiswa

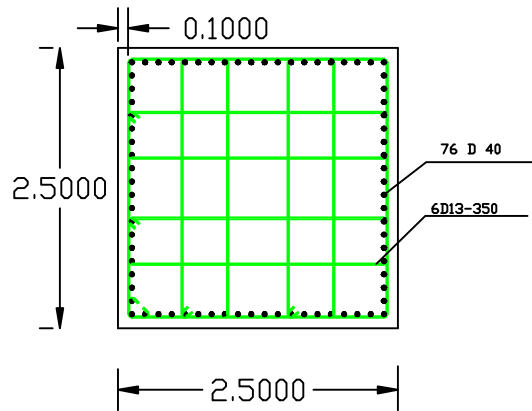
R. Zulqa Nur Rahmat Arif
 3110 100 118

Nama Gambar

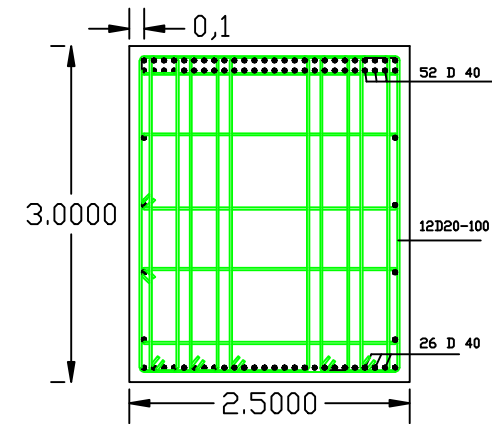
Tata letak tendon Pada
 penampang box girder

Skala

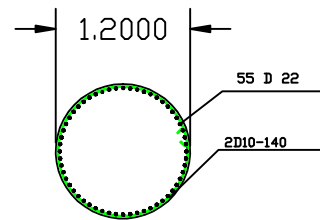
1: 200



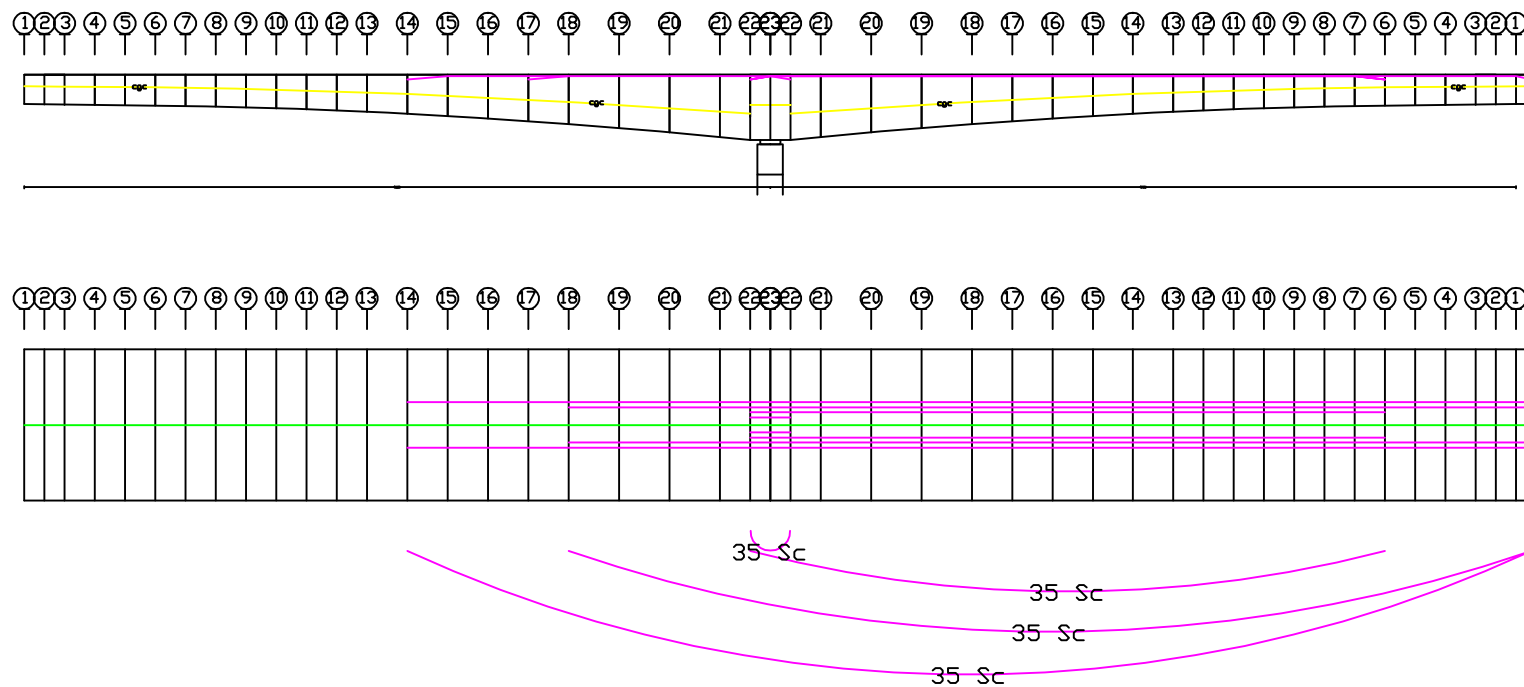
Detail Penulangan Kolom Pier



Detail Penulangan Pier Head

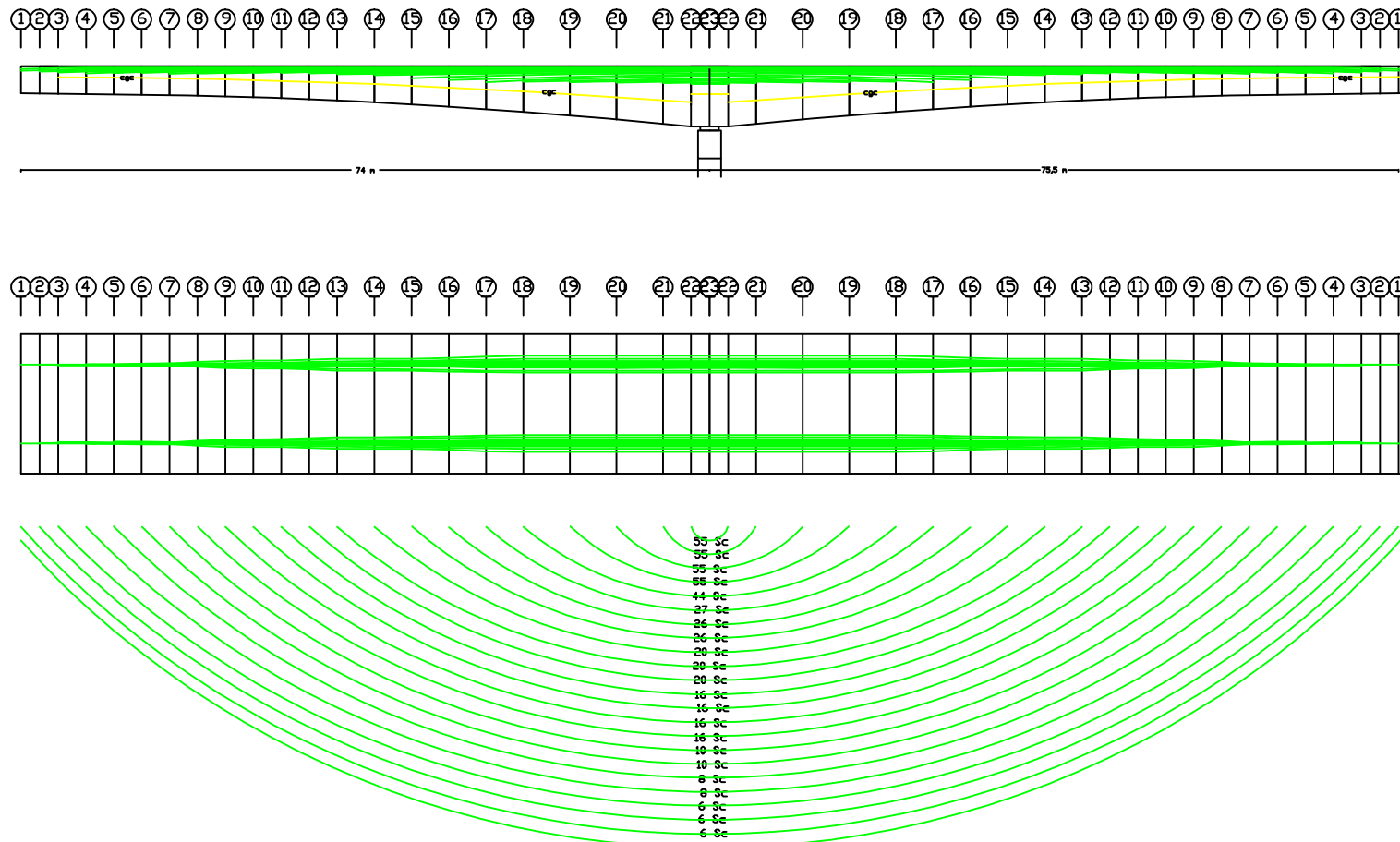


Detail Penulangan Bored pile



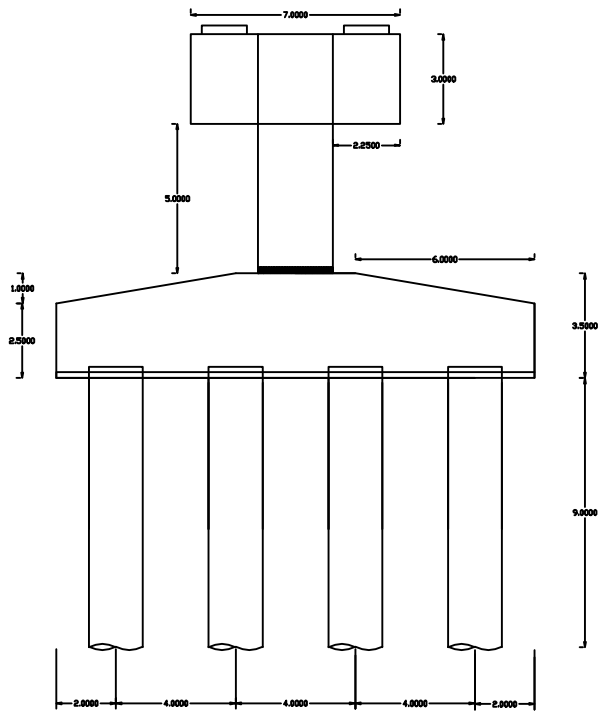
Gambar 2. Tata letak tendon service atas box girder

| | | | | | |
|---|---|--|--|---|---------------|
|  <p>JURUBAN TEKNIK SIPIL Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2011</p> | Judul Tugas Akhir | Dosen Pembimbing | Mahasiswa | Nama Gambar | Skala |
| | <p>PERENCANAAN JEMBRAN BRANTAS DI MOJOKERTO DENGAN MENGGUNAKAN METODE BETON PRATEKAN STATIS TAK TENTU</p> | <p>Prof.Dr.Ir I Putu Gusti Raka, DEA</p> | <p><u>R. Zulga Nur Rahmat Arif</u> 3110 100 118</p> | <p>Tata letak tendon service atas box girder</p> | <p>1: 750</p> |



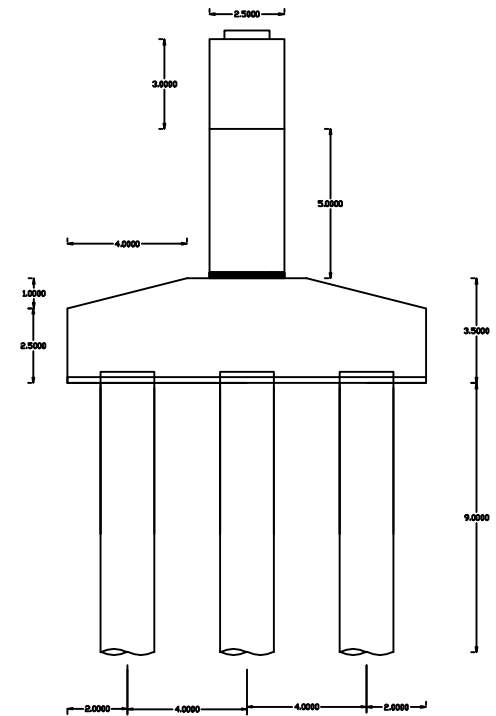
Gambar 2. Tata letak tendon kantilever box girder

| | | | | | |
|---|--|--|--|-------------------------------------|---------------|
|  <p>JURUBAN TEKNIK SIPIL Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2011</p> | Judul Tugas Akhir | Dosen Pembimbing | Mahasiswa | Nama Gambar | Skala |
| | <p>PERENCANAAN JEMBATAN BRANTAS DI MOJOKERTO DENGAN MENGGUNAKAN METODE BETON PRATEKAN STATIS TAK TENTU</p> | <p>Prof.Dr.Ir I Putu Gusti Raka, DEA</p> | <p><u>R. Zulqa Nur Rahmat Arif</u> 3110 100 118</p> | <p>Tata letak tendon kantilever</p> | <p>1: 750</p> |



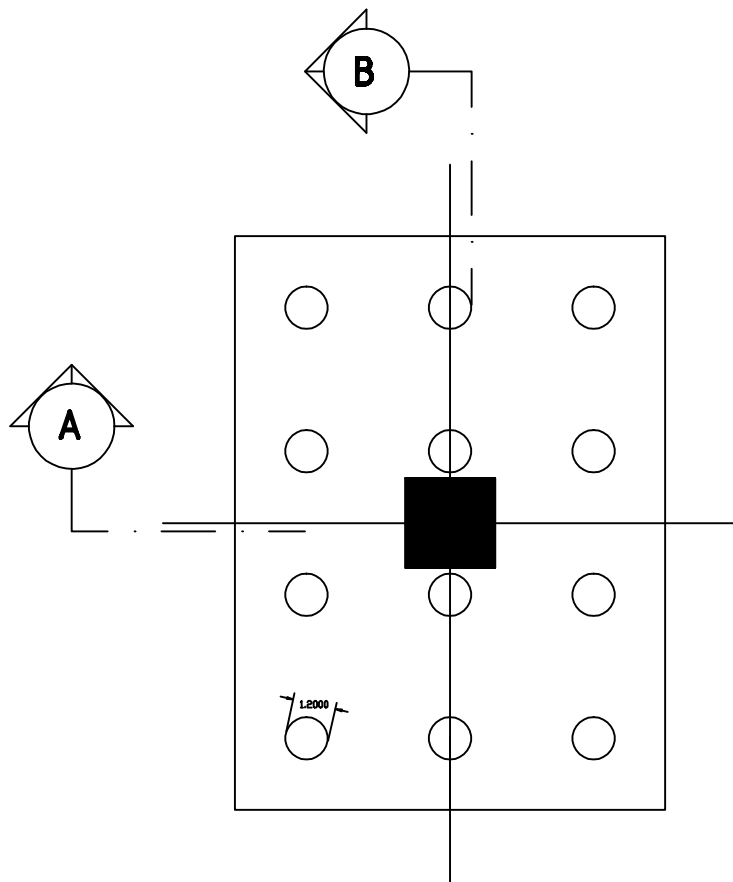
DETAIL DIMENSI PIER P1

SKALA : 1 : 200

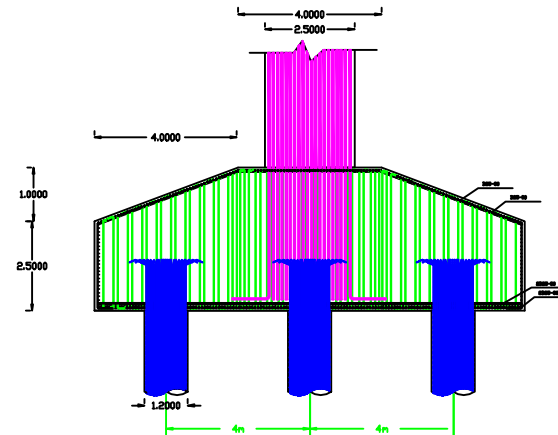


POTONGAN PIER 2 (P2)

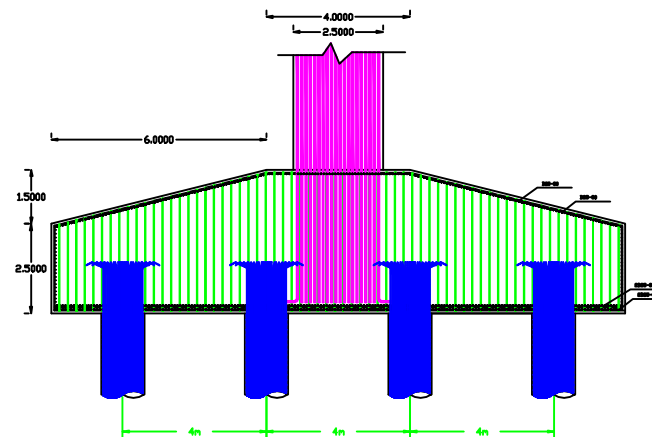
SKALA : 1 : 200



RENCANA DENAH PILECAP PIER P1
SKALA : 1 : 100

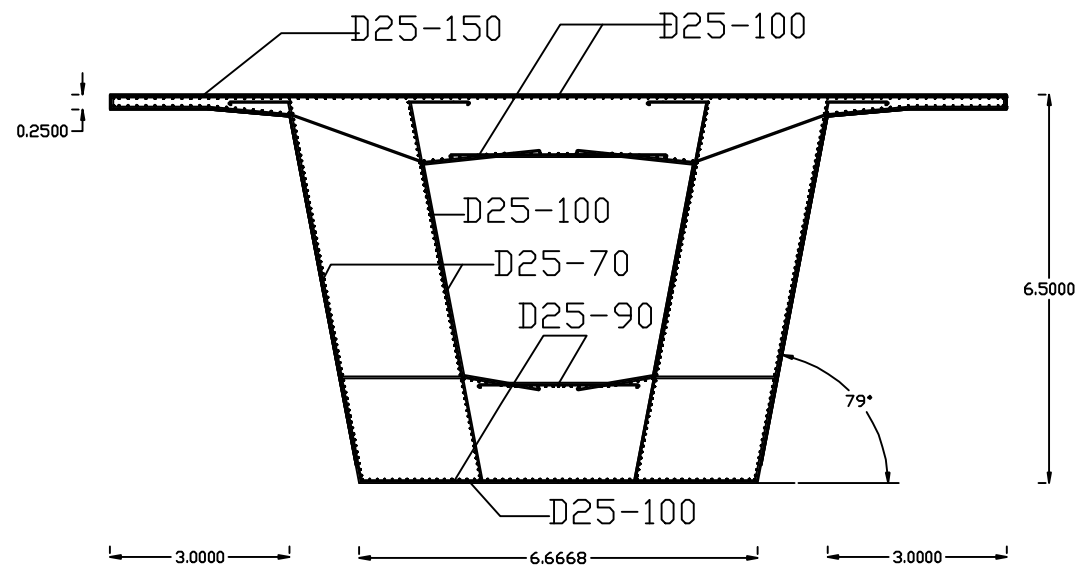


POTONGAN ~ A
SKALA : 1 : 100

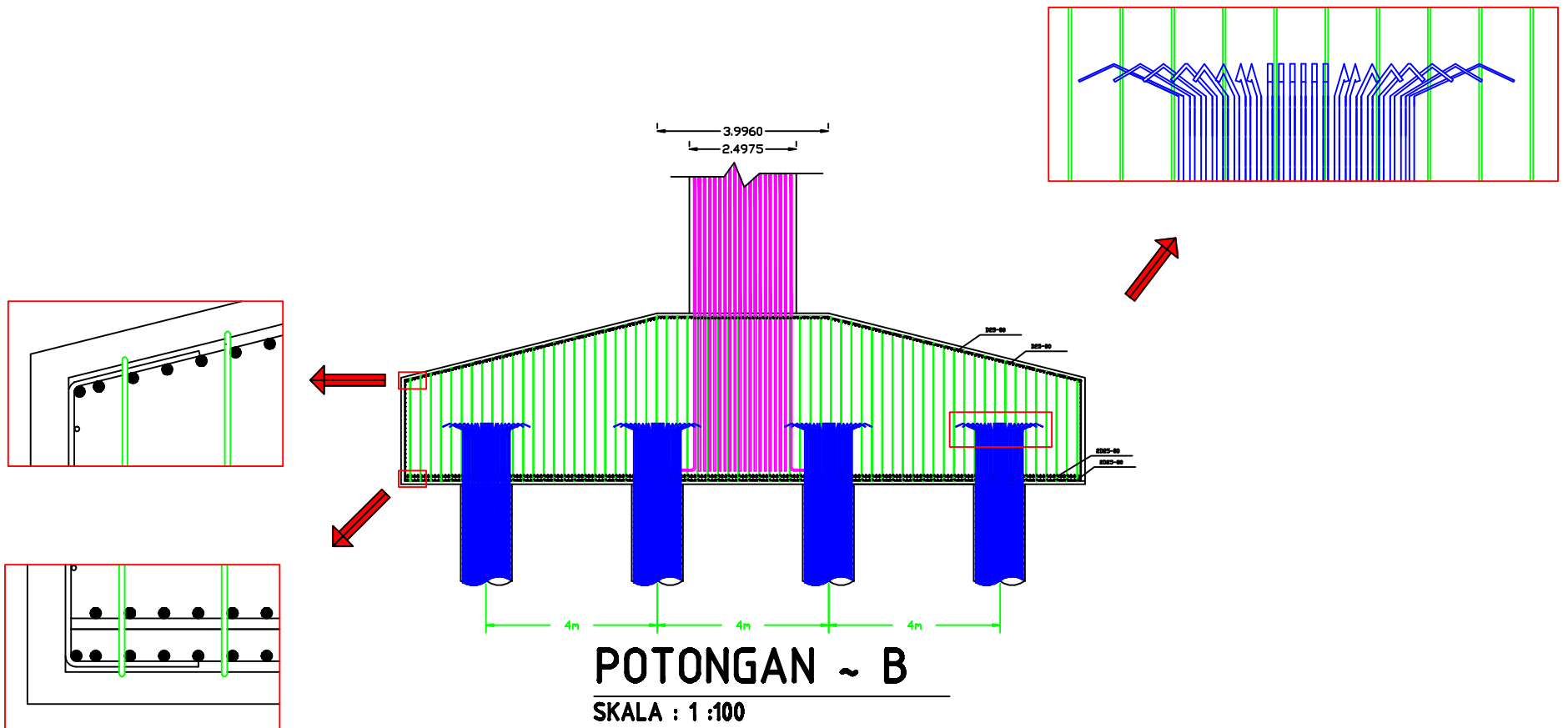


POTONGAN ~ B
SKALA : 1 : 100

penampang joint 23



Penulangan Box Girder
Pada segment 22



| | | | | | |
|---|---|-----------------------------------|---|--------------------|--------|
|  JURUSAN TEKNIK SIPIL Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2011 | Judul Tugas Akhir | Dosen Pembimbing | Mahasiswa | Nama Gambar | Skala |
| | PERENCANAAN JEMBATAN BRANTAS DI MOJOKERTO DENGAN MENGGUNAKAN METODE BETON PRATEKAN STATIS TAK TENTU | Prof.Dr.Ir I Putu Gusti Raka, DEA | <u>R. Zulqa Nur Rahmat Arif</u> 3110 100 118 | Detail Potongan ~B | 1: 150 |