

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR JEMBATAN SEMBAYAT II GRESIK MENGGUNAKAN BALOK INDUK BETON PRATEGANG "V" PADA BENTANG KE-3

Oleh :

¹⁾ Bambang Tri Atmojo, ²⁾ Miftahul Huda, ³⁾ Siswoyo

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UWKS

^{2,3} Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UWKS

ABSTRAK

Pada perencanaan jembatan beton prategang metode Beban Kerja menggunakan V girder sebagai struktur utamanya. Bentang ke- 3 Jembatan Sembayat II adalah 51,5 meter. Pada penulisan Proposal Tugas Akhir ini, penulis merencanakan struktur atas jembatan menggunakan balok beton Prategang dengan metode Beban Kerja yang menggunakan V girder sebagai struktur utamanya. Dasar-dasar perencanaan struktur PCI girder dari Jembatan ini mengacu pada perencanaan struktur beton untuk jembatan (SNI T-12-2004), pembebanan jembatan mengacu pada Bridge Management System (BMS,1992), dengan tegangan ijin dari PCI girder mengacu pada SNI 03-2847-2002. Analisa pembebanan yaitu beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, beban angin dan analisa pengaruh waktu seperti rangkai, susut dan kehilangan prategang. Kemudian hasil dari analisa tersebut dilakukan kontrol tegangan yang terjadi serta lendutan dan kontrol geser pada struktur. Untuk mempermudah perhitungan, penulis menggunakan bantuan program Microsoft Office Excel.

Kata Kunci : Jembatan, beton prategang, PCI girder.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keberadaan jembatan saat ini terus mengalami perkembangan, dari bentuk sederhana sampai yang paling kompleks, demikian juga bahan – bahan yang digunakan mulai dari bambu, kayu, beton dan baja. Penggunaan bahan baja untuk saat – saat sekarang maupun di masa mendatang, untuk struktur jembatan akan memberikan keuntungan yang berlebih terhadap perkembangan serta kelancaran sarana transportasi antar daerah maupun antar pulau yang ada di seluruh Indonesia.

Salah satu prasarana untuk memperlancar kegiatan transportasi adalah jembatan . jembatan merupakan suatu bagian dari jalan raya yang berfungsi untuk menghubungkan jalan yang terputus yang disebabkan adanya rintangan seperti sungai, danau, lembah, jurang dan lain lain (Khoirul,2010).

Pada dasarnya jembatan Sembayat ini di bangun karena sebagai bagian dari memperlancar arus lalu lintas dimana di wilayah tersebut terjadi perkembangan pembangunan infrastruktur yang pesat dan mobilitas menggunakan transportasi yang

tinggi, sehingga dibutuhkan prasarana memadai, salah satunya prasarana yang dibutuhkan adalah jembatan.

Dalam pembangunan Jembatan ini bertujuan untuk dapat memperlancar arus lalu lintas yang diakibatkan oleh kegiatan mobilitas tinggi yang terjadi pada sepanjang jalan antara kota Gresik dan kota Tuban serta dapat meningkatkan perekonomian masyarakat Jawa Timur khususnya di daerah Gresik ataupun Tuban. Pada pembangunan jembatan Sembayat ini memiliki lebar 7 m dan panjang bentang 350 m terdiri dari 6 bentang (51+93+51,5+53+53+53) m.

Jembatan Sembayat II akan direncanakan ulang dengan menggunakan menggunakan beton prategang. Dalam perencanaan ulang jembatan Sembayat II akan menggunakan bentang jembatan ke-3 dengan panjang yaitu 51,5 m, dan untuk lebar dari jembatan dirubah menjadi 12 m. Pengambilan bentang ini didasarkan atas keinginan tujuan perencanaan ulang dengan bentuk balok beton prategang yang berbeda dari balok beton konvensional serta kemampuan material beton prategang yang akan digunakan . Perencanaan bentang ulang tidak akan

mempengaruhi penambahan panjang jembatan

Bagaimana merencanakan struktur jembatan dengan menggunakan konstruksi beton prategang yang memiliki kuat tekan tinggi, mampu menahan gaya lebih besar dan bentang yang lebih panjang dari beton konvensional?

Manfaat yang diharapkan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

- 1) Hasil perencanaan ini diharapkan menjadi acuan bagi perencana bangunan jembatan di Indonesia untuk lebih mengembangkan desain dan bangunan struktur balok beton prategang mengingat bangunan konstruksi jembatan yang makin berkembang di Indonesia.
- 2) Dari perencanaan ulang Struktur Jembatan dengan balok induk pratekan ini diharapkan dapat mengenalkan dan memberikan referensi kepada akademis yang lain mengenai bangunan struktur jembatan prategang.

Batasan dan lingkup perencanaan ulang jembatan dengan menggunakan struktur beton prategang meliputi :

- 1) Perencanaan hanya membahas tentang perencanaan struktur atas dan bawah Jembatan Sembayat II Gresik dengan menggunakan balok beton Prategang.
- 2) Perencanaan tidak membahas tentang perhitungan rancangan anggaran biaya (RAB), metode pelaksanaan secara detail.
- 3) Perencanaan tidak membahas tentang ME dan pekerjaan utilitas.
- 4) Perencanaan tidak memperhitungkan aspek hidrologi, aspek lalu lintas dan aspek geometri jembatan.

- 1) Lokasi pelaksanaan perencanaan jembatan Sembayat II Gresik ini terletak pada Desa Sembayat di Jalan Raya Manyar, Kecamatan Manyar, sekitar 10 kilometer dari pusat kota Gresik dan menghubungkan wilayah kabupaten Tuban dengan kabupaten Gresik

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kontruksi Jembatan

Dalam merencanakan suatu jembatan baik ditinjau terhadap volume lalu lintas maupun berat lalu lintas yang akan melewati jembatan tersebut, maka dalam hal ini Bina Marga menggolongkan jembatan atas tiga kelas, yaitu :

- 1) Jembatan kelas A, lebar lantai jembatan (1,0 + 7,0 + 1,0) meter, dengan beban 100 % dari loading Bina Marga
- 2) Jembatan kelas B, lebar lantai jembatan (0,50 + 6,0 + 0,50) meter, dengan beban 70 % dari loading Bina Marga
- 3) Jembatan kelas C, lebar lantai jembatan (0,25 + 5,5 + 0,25) meter, dengan beban 50 % dari loading Bina Marga

2.2. Kontruksi Beton Prategang

Beton pratekan terbuat dari beton mutu tinggi. Kekuatan beton mutu tinggi sangat diperlukan karena untuk mengantisipasi keruntuhan pada saat diberi prategang, adanya tarikan didepan angker serta adanya rekatan antara beton dengan baja pada bantalan (bearing). Disamping itu beton mutu tinggi juga memberikan ketahanan yang tinggi terhadap tarikan dan geser serta mempunyai modulus elastisitas yang tinggi dan tidak mudah mengalami keretakan akibat susut dan gaya pratekan yang lebih kecil (supriyadi dan muntohar,2000).

2.3. Kehilangan Gaya Prategang

Yang dimaksud kehilangan prategang adalah pratekan efektif pada beton yang mengalami pengurangan secara berangsur – angsur sejak dari tahap penarikan, pemindahan dan pengangkutan oleh berbagai sebab (Nawy, 2001).

Berbagai sebab kehilangan prategang antara lain :

- **Kehilangan Prategang Karena Pemendekan Elastisitas Beton (*Elastic Shortening = ES*)**

Kehilangan prategang karena pemendekan elastisitas beton pada saat gaya prategang dialihkan ke beton, komponen struktur akan memendek dan baja prategang turut memendek bersamaannya

$$ES = \frac{E_s - F_i}{A_c E_c + A_s E_s} \text{ atau } ES = \frac{E_s}{E_c} \cdot f_{cl}$$

.....

$$f_{cl} = \frac{F_o}{A} \pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I} \pm \frac{M \cdot y}{I}$$

.....

.....

- **Kehilangan Prategang Karena Rangkak Pada Beton (*creep = CR*)**

Kehilangan prategang karena perubahan susut beton / perpendekan akibat beban yang bekerja terus menerus.

$$CR = K_{cr} \cdot \frac{E_s}{E_c} \cdot (f_{clr} - f_{cls}) \quad (3)$$

- **Kehilangan Prategang Karena Penyusutan Beton (*shrinkage = SH*)**

Kehilangan gaya prategang karena perubahan yang terjadi akibat pengeringan dan perubahan kimiawi yang tergantung pada faktor waktu dan kelembaban udara yang ada.

$$H = 8,2 \cdot 10^{-6} \cdot K_{sh} \cdot E_s \cdot \left(1 - 0,06 \frac{V}{S}\right) \cdot (100 - RH) \quad (4)$$

- **Kehilangan Prategang Karena Kelelahan Baja (*relaxation = RE*)**

Kehilangan gaya prategang karena penambahan panjangnya pada baja prategang akibat penarikan gaya prategang yang nantinya akan mempengaruhi besarnya tegangan yang dihasilkan akibat penarikan tersebut.

$$RE = [K_{re} - J] \cdot (SH + CR + ES) \cdot C \quad (5)$$

- **Kehilangan Prategang Karena Dudukan Angker (*slip angker = SA*)**

Kehilangan tegangan karena pergelinciran kawat sebelum menempatkannya antara pask – pasak.

$$SA = \frac{\Delta\alpha \cdot E_s}{L} \quad (6)$$

- **Kehilangan tegangan karena gesekan, lendutan dan lengkungan (*friction and wobbling effect = FR*)**

Gesekan terhadap dinding saluran atau kisi – kisi penyekat, dan karena lenturan serta bentuk lengkungan baja dapat mengakibatkan kehilangan prategang

$$FR = F_i \cdot (1 - e^{(-\mu \cdot \alpha - K \cdot L)}) \quad (7)$$

2.4. Tegangan Ijin

Tegangan ijin ditetapkan dalam bermacam – macam peraturan dan kemungkinan berbeda satu sama lain. Untuk tegangan ijin yang dipakai berdasarkan SNI 03-2847-2002.

2.5. Penulangan

Untuk desain penulangan, berikut ini ditinjau asumsi yang digunakan dalam perencanaan yaitu kondisi regangan berimbang, penampang persegi empat dengan

penulangan ganda, kriteria tulangan tekan mencapai leleh.

- 1) Penulangan Lentur
- 2) Kondisi Regangan Berimbang dan Batas Rasio Penulangan
- 3) Penulangan Geser dan Torsi
- 4) Penulangan akibat momen Puntir
- 5) Panjang Penyaluran.

2.6. Perencanaan Pilar (*pier*)

Pilar jembatan sederhana adalah suatu konstruksi beton bertulang yang menumpu di atas pondasi tiang-tiang pancang dan terletak di tengah sungai atau yang lain yang berfungsi sebagai pemikul antara bentang tepi dan bentang tengah bangunan atas jembatan (BMS 1992). Pilar-pilar dapat berupa susunan rangka pendukung (*trestle*), yaitu kepala beton bertulang yang bertindak sebagai balok melintang (*cross beam*) dengan kepala tiang tertanam pada topi, atau susunan kolom, yang menggunakan sistem beton kopel (*pile cap*) yang terpisah, sistem kolom dan balok melintang terpisah.

Pada umumnya, ada beberapa tipe pilar yaitu:

- 1) Tipe Dinding Penuh
- 2) Tipe Dua Kolom
- 3) Tipe balok cap / tiang-tiang pancang.

Pada perencanaan ulang ini untuk perencanaan pilar digunakan pilar dengan tipe dinding penuh.

2.7. Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

Daya dukung satu tiang dapat ditinjau berdasarkan kekuatan bahan dan kekuatan tanah tempat tiang tersebut ditanam. Kekuatan bahan (beton bertulang) dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2002 dengan memperhatikan faktor reduksi bahan dan faktor tekuk. Sedangkan kekuatan daya dukung tanah harus dihitung dengan memberikan angka keamanan dan efisiensi dari group tiang

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Proses Perencanaan

3.1.1. Umum

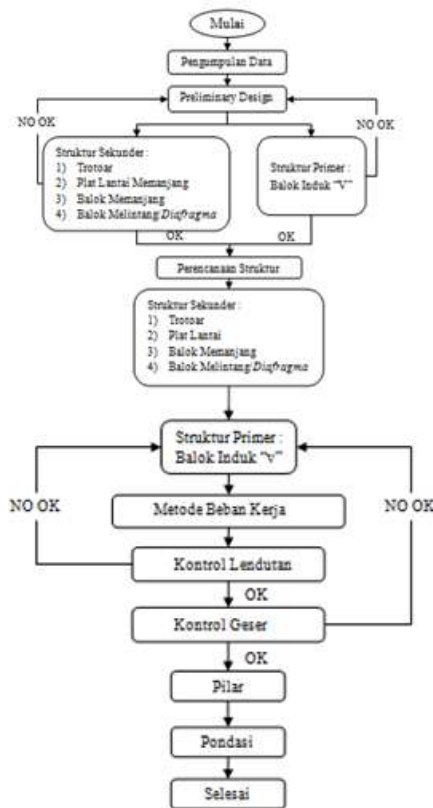
Perencanaan ulang struktur jembatan sembayat II gresik sepanjang ± 350 meter terdiri dari 5 pier, 2 ambutmen dan 6 bentang. Sebagai perencanaan ulang struktur atas balok jembatan, diambil data pier 2 sampai 3

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR JEMBATAN SEMBAYAT II GRESIK MENGGUNAKAN BALOK INDUK BETON PRATEGANG “V” PADA BENTANG KE-3
(Bambang Tri Atmojo, Miftahul Huda, Siswoyo)

pada bentang ke-3 dengan panjang 51,5 meter dengan menggunakan balok prategang. Akan diuraikan dalam bentuk diagram alir (gambar 3.1)

3.1.2. Diagram Alir Perencanaan

Pengumpulan dan pencarian data yang diperlukan untuk perancangan terdiri dari gambar denah jembatan yang direncanakan ulang untuk dibangun jembatan tersebut. Perencanaan dilakukan dengan urutan seperti gambar di bawah ini.



Gambar 1 Diagram Alir Perencanaan

3.2. Preliminary Design

Rencana awal perencana yang digunakan untuk menentukan rencana sesungguhnya dengan hasil yang telah di kontrol dan telah memenuhi persyaratan.

3.2.1. Struktur Sekunder

- 1) *Design* Trotoar dan Sandaran
Perencanaan trotoar jembatan direncanakan menurut Bridge Management System (BMS 1992) pasal 2.2.3. Tiang sandaran umumnya direncanakan dengan tinggi ± 90 – 100 cm dari muka trotoar, dan dibuat lebih

tinggi 20 – 25 cm dari lantai jembatan. (Supriyadi dan Muntohar, 2000).

- 2) *Design* Plat Lantai Kendaraan
Untuk pembebanan diambil dari peraturan *Bridge Management System* (BMS 1992) pasal 2.2.2 tentang beban mati berat sendiri. Pelat lantai kendaraan direncanakan setebal 250 mm dengan asumsi tebal plat $t_s \geq 100 + 4 \cdot L$, dimana L adalah bentang plat antara pusat tumpuan. Berdasarkan *Bridge Management Code* (BDC 1992) pasal 6.7.1.2 yaitu $t_s \geq 20$ mm. Perhitungan penulangan mengacu pada SNI 03-2847-2002 dan PBI '71 pasal 8. 5. (2) “ ...tulangan momen negatif paling sedikit 1/3 (sepertiga) dari tulangan tarik total yang diperlukan di atas tumpuan... “
- 3) Balok Memanjang
Perencanaan Balok Memanjang dipergunakan untuk membantu menahan beban struktur atas serta untuk meminimalisir ukuran balok induk (beton prategang). Pada perencanaan balok memanjang direncanakan dengan SNI 03-2847-2002.
- 4) *Design* Balok Melintang/Diafragma
Balok melintang adalah bagian jembatan yang berfungsi sebagai pembagi penyebaran gaya (distribusi beban) vertikal, sehingga akan terjadi perilaku yang seragam antara balok induk. Tinggi gelagar melintang diasumsikan ±2/3 tinggi gelagar utama. Balok melintang juga berfungsi sebagai komponen pengaku yang direncanakan untuk menahan deformasi melintang dari bangunan atas. Penulangan balok ini direncanakan mengacu pada SNI 03-2847-2002.

3.2.2. Struktur Primer

- 1) *Design* Balok Induk Beton Prategang
Balok induk jembatan direncanakan menggunakan balok beton prategang sistem *pre-tension* balok “V” karena panjang jembatan yang tidak memungkinkan menggunakan beton konvensional untuk menahan beban. Perencanaan prategang mengacu pada SNI 03-2847-2002. Dimensi perkiraan V dari analisa preliminary design diperoleh lebar 2 m tinggi 2 m.

3.3. Struktur Bawah

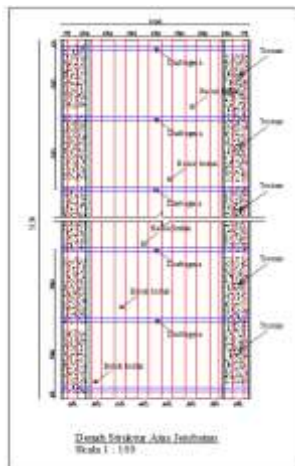
1) Pilar (*Pier*)

Pilar jembatan sederhana adalah suatu konstruksi beton bertulang yang menumpu di atas pondasi tiang-tiang pancang dan terletak di tengah sungai atau yang lain yang berfungsi sebagai pemikul antara bentang tepi dan bentang tengah bangunan atas jembatan (BMS 1992). Pilar-pilar dapat berupa susunan rangka pendukung (trestle), yaitu kepala beton bertulang yang bertindak sebagai balok melintang (cross beam) dengan kepala tiang tertanam pada topi, atau susunan kolom, yang menggunakan sistem beton kopel (pile cap) yang terpisah, sistem kolom dan balok melintang terpisah. Pada perencanaan ulang ini untuk perencanaan pilar digunakan pilar dengan tipe dinding penuh.

2) Pondasi

Struktur bawah jembatan adalah bagian dari jembatan yang menghubungkan struktur atas dengan struktur bawah jembatan dalam mentransfer beban atau energi kepada pondasi, dan diteruskan ke tanah dasar. Beban yang bekerja pada struktur bawah adalah gaya tekan, gaya tarik, gaya momen dan beban lateral. Struktur bawah pondasi direncanakan menurut SNI 03-2847-2002, dengan pondasi tiang pancang beton.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

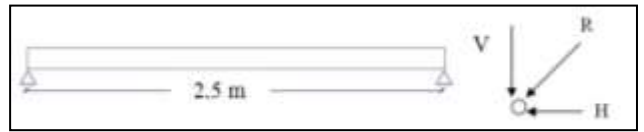


Gambar 2 Denah Struktur Atas Jembatan

4.1. Perencanaan Pipa Sandaran

1) Pembebanan

Beban Vertikal (QV) : 166,924 kg/m
 Beban Horizontal (QH) : 100 kg/m



Gambar 3. Resultan gaya pada pipa sandaran

Perhitungan :

$$R = \sqrt{QV^2 + QH^2} = 194,589 \text{ kg/m}$$

Cek Kekuatan Pipa :

$$M_{\max} = 1/8 \cdot Qu \cdot L^2 = 15144,3 \text{ kg/m}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{15144,3}{12,9} = 1173,977 \text{ kg/cm}^2 < \sigma = 1600 \text{ kg/cm}^2 \dots (\text{O.K})$$

1) Jadi, dipakai pipa baja diameter 76,3 mm sebagai pipa sandaran.

4.2. Perencanaan Tiang Sandaran

1) Menghitung Momen Tiang Sandaran

Momen Lentur :

$$M = 2,5 \times 100 \times 0,9 = 225 \text{ kgm}$$

$$M_u = 1,6 \times 225 = 360 \text{ kgm} = 3600 \text{ Nm}$$

Gaya Geser :

$$V = 2,5 \times 200 = 250 \text{ kgm}$$

$$V_u = 1,6 \times 300 = 400 \text{ kgm} = 4000 \text{ Nm}$$

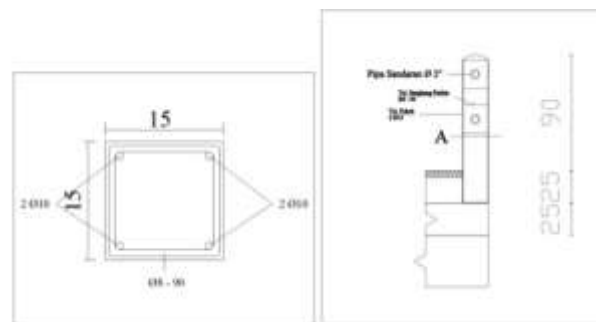
2) Perhitungan Tulangan

$$As = \rho \cdot b \cdot d = 131,175 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan tarik 2Ø10

$$s = \frac{Av \cdot fy}{\frac{1}{3} \sqrt{fc} \cdot b} = 112,5 \text{ mm}$$

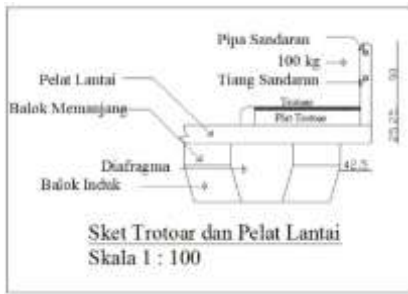
Jadi dipakai tulangan Ø 8 - 90 mm



Gambar 4. Penulangan tiang sandaran

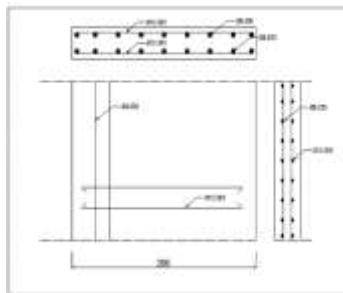
4.3. Perencanaan Trotoar

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR JEMBATAN SEMBAYAT II GRESIK MENGGUNAKAN BALOK INDUK BETON PRATEGANG "V" PADA BENTANG KE-3
(Bambang Tri Atmojo, Miftahul Huda, Siswoyo)



Gambar 5. Sket Trotoar dan Tiang Sandaran

Beban Mati Merata (Qd) = 0,765 T/m'
 Beban Hidup Trotoar = 0,500 T/m'
 Momen Ultimat Trotoar :
 $M_u = 1,6 M_{LL} + 1,2 M_{DL} = 1,92 \text{ T/m} = 1920 \text{ kgm}$
 Maka dipakai tulangan utama $\phi 12-250$ (As = 452 mm²)
 Tulangan pembagi $\phi 8-250 \text{ mm}$ (As = 201 mm²)



Gambar 6. Penulangan Pelat trotoar

4.4. Perencanaan Plat Lanta

$$i_{\frac{ly}{lx}} = \frac{5}{1,5} = 3,33 > 2,5$$



Gambar 7 Perletakan Jepit Penuh

Pembebanan
 Beban Mati (Qd) = 5,15 kN/m'
 $M_{lx} = +0,001 q \cdot lx^2 \cdot C = 0,66 \text{ KNm}$
 $M_{tx} = 0,001 q \cdot lx^2 \cdot C = 0,93 \text{ KNm}$

Beban Hidup
 Tabel Bitner dan Muatan T
 $t_x = 100$
 $l_y = 142,85$
 $t_x/l_y = 0,7$ $M_{xm} = 0,1016$
 $t_x = 70$
 $l_y = 142,85$
 $t_x/l_y = 0,49$ $M_{ym} = 0,0483$

$M_{xm} = 10,15 \text{ kNm}$

$M_{ym} = 4,82 \text{ kNm}$

Momen Total (beban mati + Muatan T)
 Arah x = $M_{xm} = 0,66 + 10,15 = 10,81 \text{ kNm}$
 Arah y = $M_{ym} = 0,93 + 4,82 = 5,75 \text{ kNm}$

Penulangan Lapangan arah X :

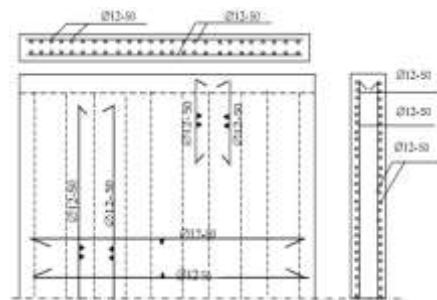
$M_{xm} = 1081 \text{ kgm}$
 $M_{LL} = M/\phi = 1351,25 \text{ kgm}$
 $M_u = 1,6 M_{LL} + 1,2 M_{DL} = 2273,6 \text{ kgm}$
 Dipakai tulangan $\phi 12 - 50 \text{ mm}$ (As = 2260,8 mm²)

Penulangan Lapangan arah Y :

$M_{ym} = 575 \text{ kgm}$
 $M_{LL} = M/\phi = 718,75 \text{ kgm}$
 $M_u = 1,6 M_{LL} + 1,2 M_{DL} = 1261,6 \text{ kgm}$
 Dipakai tulangan $\phi 12 - 50 \text{ mm}$ (As = 2260,8 mm²)

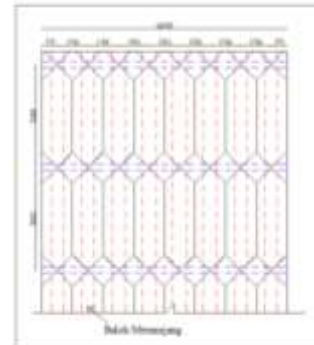
Penulangan Pada Tumpuan :

$M_{tx} \text{ total} = 93 + (1/3 \times 1081) = 453,33 \text{ kgm}$
 $M_{LL} = M/\phi = 566,6 \text{ kgm}$
 $M_u = 1,6 M_{LL} + 1,2 M_{DL} = 1018,16 \text{ kgm}$
 Dipakai tulangan $\phi 12 - 50 \text{ mm}$ (As = 2260,8 mm²)



Gambar 8. Penulangan Pelat Lantai Kendaraan

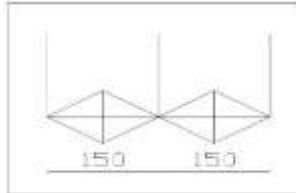
4.5. Perencanaan Balok Memanjang



Gambar 9. Pemodelan Beban Gelagar Memanjang

Beban Mati qD = 3673 kg/m
 Beban Hidup qL = 8629,5 kg/m
 Qu = 1,2. QDL + 1,6. QLL = 18214,8 kg/m
 Dipakai tulangan Ø14-50 mm (As = 3077,2 mm²)

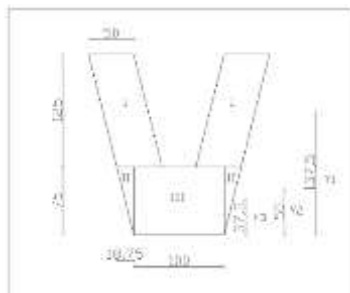
4.6. Perencanaan Balok Melintang (Diafragma)



Gambar 10. Beban Pelat Segitiga Diafragma

Beban Mati qD = 1225 kg/m
 Beban Hidup qL = 5132,7 kg/m
 Qu = 1,2. QDL + 1,6. QLL = 6742kg/m
 Dipakai tulangan Ø16 - 50 mm (As = 4019,2 mm²)

5. Perencanaan Struktur Atas Primer
5.1. Perencanaan Balok Induk (Beton Prategang)



Gambar 11. Penampang Balok Induk

1) Sebelum Komposit

Tabel 1. Analisa perhitungan jarak Yb

Bagian	B(cm)	H(cm)	A	Y	A.Y
I	50	125	12500	137,50	1718750,00
II	18,75	75	1406,25	50,00	70312,50
III	100	75	7500	37,50	281250,00
	ΣA		21406	ΣA.Y	2070312,5

Titik Berat Balok :

$$Yb = \frac{\sum Ac.Y}{\sum Ac} = 96,72 \text{ cm}$$

$$Yt = Y - Yb = 200 - 96,72 = 103,28 \text{ cm}$$

Tabel 2. Perhitungan Momen Inersia (Ix)

Bagian	B(cm)	H(cm)	A	I	Ix
I	50	125	12500	40,78	28930388,73
II	18,75	75	1406,25	-46,72	3288616,75
III	100	75	7500	-59,22	29814038,44
				ΣIx(cm ⁴)	62033043,93

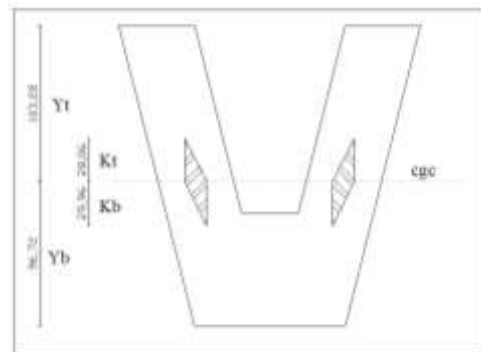
Penentuan batas inti balok prategang (kem)

Bagian Atas :

$$Kt = \frac{Ix}{Ac.Yt} = 28,06 \text{ cm}$$

Bagian Bawah :

$$Kb = \frac{Ix}{Ac.Yb} = 29,96 \text{ cm}$$



Gambar 12. Potongan Melintang Balok Induk Sebelum Komposit

2) Setelah Komposit

Tabel 3. Analisa perhitungan jarak Yb

Bagian	Luas (Ac) cm ²	Z	A.Z
ΣA	21406		1718750,00
Pelat	2296	237,5	545394,2
Balok Memanjang	1250	212,5	265625,0
ΣAc	24953	ΣAc.Z'	2529769,2

$$Yb' = \frac{\sum Ac.Y}{\sum Ac} = 101,38 \text{ cm}$$

$$Yt' = 255 - 101,38 = 114,66 \text{ cm}$$

Tabel 4. Perhitungan Momen Inersia (Ix)

Bagian	B (cm)	H (cm)	A (cm ²)	X	Ix
Balok V			21406		62033043,93
Plat	91,86	25	2296,40	136,1	42666992,69
Balok Memanjang	50	25	1250	111,1	15498894,14

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR JEMBATAN SEMBAYAT II GRESIK MENGGUNAKAN BALOK INDUK BETON PRATEGANG "V" PADA BENTANG KE-3
(Bambang Tri Atmojo, Miftahul Huda, Siswoyo)

I_x (c m ⁴)	120198930, 6	3	15,45	3061,52
		4	20,6	3563,32
		5	25,75	3805,76

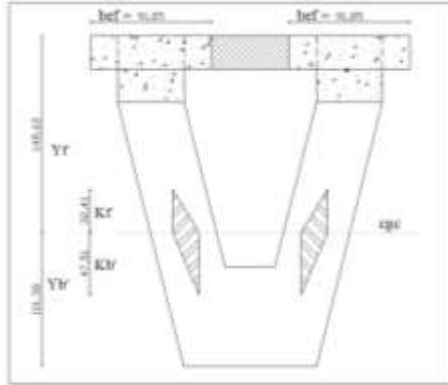
Penentuan batas inti balok prategang (kem)

Bagian Atas :

$$Kt' = \frac{I_x}{\Sigma A_c \cdot Y_{tr}} = 32,41 \text{ cm}$$

Bagian Bawah :

$$Kb' = \frac{I_x}{\Sigma A_c \cdot Y_{br}} = 47,51 \text{ cm}$$



Gambar 13. Potongan Melintang Balok Induk Setelah Komposit

Tabel 5. Analisa Penampang

Uraian	A (cm ²)	Yt	Yb	Ix (cm ⁴)	Kt	Kb
Balok Precast	21406	103	97	62033044	29	29,96
Balok Composit	24953	147	101	12019893	32	47,51

4.7 Analisa Pembebanan Balok Prategang

Akibat beban Mati :

$$RA = RB = (q_{tot} \times L + P) \times \frac{1}{2} = 273,70 \text{ T/m}$$

Tabel 6. Perhitungan Gaya Lintang Akibat Beban Mati (Dx)

Rumus	Titik	x (m)	Dx (Ton)
	A	0	273,70
	1	5,15	223,34
$Dx=RA-q \cdot x$	2	10,3	172,98
	3	15,45	122,62
	4	20,6	72,26
	5	25,75	21,90

Tabel 7. Perhitungan Momen Akibat Beban Mati (Mx)

Rumus	Titik	x (m)	Mx (Ton)
	A	0	0
$Mx=RA \cdot x - 12 \cdot q \cdot x^2$	1	5,15	1279,86
	2	10,3	2300,37

Akibat beban hidup:

$$RA = RB = (q_{tot} \times L + P) \times \frac{1}{2} = 232,97 \text{ T/m}$$

Tabel 8. Perhitungan Gaya Lintang Akibat Beban Hidup (Dx)

Rumus	Titik	x (m)	Dx (Ton)
	A	0	232,97
	1	5,15	188,68
$Dx=RA-q \cdot x$	2	10,3	144,39
	3	15,45	100,10
	4	20,6	55,81
	5	25,75	11,52

Tabel 9. Perhitungan Momen Akibat Beban Hidup (Mx)

Rumus	Titik	x (m)	Mx (Ton)
	A	0	0
	1	5,15	1085,76
$Mx=RA \cdot x - 1/2 \cdot q \cdot x^2$	2	10,3	1943,42
	3	15,45	2572,99
	4	20,6	2974,46
	5	25,75	3147,85

4.8 Perhitungan Gaya Prategang

Spesifikasi beton Prategang :

$$f_c' = 80 \text{ MPa (800 kg/cm}^2\text{) (tegangan umur 28 hari)}$$

$$f_{ci}' = 0,75 \times 800 = 600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tegangan beton saat transfer umur 14 hari)}$$

Tabel 10. Tegangan Awal Saat transfer

No	Tegangan Awal (kg/m)	Tepi Atas	Tepi Bawah
1	Pi1/At	-2,47	-2,47
2	Pi1.e.Y/lx	-3,28	3,43
3	Mbm.Y/lx	5,93	-62,20
Total		0,19	-61,23

Pada tepi atas = 0,19 < 12,24
(OK)
 Pada tepi bawah = -61,23 < -360
(OK)

Tabel 11. Tegangan Akhir Saat servis

No	Tegangan Akhir (kg/m)	Tepi Atas	Tepi Bawah
1	Pi1/At	-2,47	-2,47
2	Pi1.e.Y/lx	-3,28	3,43
3	Mbm.Y/lx	5,93	-62,20
4	Mbh.Y/lx	4,91	-4,95
		5,10	-66,18

Pada tepi atas = 5,10 < 7,07
(OK)
 Pada tepi bawah = -66,18 < -360
(OK)

Penampang lebih kecil dari tegangan ijin maka penampang dinyatakan ... Aman

4.9 Perhitungan Kabel Partegang (Tendon)

$F_0 = 3418,75$ Ton
 Tegangan batas $f_{pu} = 19000$ kg/cm² = 19 ton/cm²

Tabel 12. Profil Kabel

Type	Diameter	Luas Ast	fu	Es
VSL	cm	cm ²	kg/cm ²	Es
1/2 inc	1,27	9,87	19000	1960000

$$n = \frac{F_0}{0,7 \times F_{pu}} = 40,74 \approx n = 40$$

Sehingga digunakan 40 strand yang tersebar pada 4 tendon.

Tendon 1 = 10 strand

Tendon 2 = 10 strand

Tendon 3 = 10 strand

Tendon 4 = 10 strand

1) Posisi Tendon

$$Y_i = \frac{4 \cdot f \cdot x_i \cdot (L - x_i)}{L^2}$$

$$\text{Tepi bawah} = Y_b - Y_i = Y_b - \left(\frac{4 \cdot f \cdot x_i \cdot (L - x_i)}{L^2} \right) = 96,72 \text{ cm}$$

Tabel 13. Perhitungan jarak garis netral tendon

Jarak Tinjau (cm)	Yi (cm)
0	96,72
2,575	89,15
5,15	82,39
7,725	76,42
10,3	71,24
12,875	66,86
15,45	63,28
18,025	60,49
20,6	58,50
23,175	57,31
25,75	56,91

Lintasan Inti Tendon

4.10 Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang

Tabel 14. Kehilangan Tegangan Pada Beton

No	R	Level Tegangan	Tegangan (MPa)	Presentase (%)
1		Akibat perpendekan elastis	26,442	1,86
2		Akibat Rangkak	21,48	1,51
3		Akibat susut	40	2,81
4	Beton	Penambahan beban mati tambahan	6,63	0,47
1		Akibat Relaksasi Baja	66,67	4,68
2		Akibat angker slip	36,9	2,59
3	Baja	Akibat Gelombang dan Geseran	59,18	4,15
		Mnet	257,30	18,06

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR JEMBATAN SEMBAYAT II GRESIK MENGGUNAKAN BALOK INDUK BETON PRATEGANG "V" PADA BENTANG KE-3
(Bambang Tri Atmojo, Miftahul Huda, Siswoyo)

4.11 Gaya Prategang Efektif

- 1) Kondisi saat transfer :
 Gaya Prategang efektif :

$$F_{eff} = \frac{Mp + (mb.Mc)}{e + K_A} = 184,43 \text{ ton} = 184430 \text{ kg}$$

$$\text{Asp} = \text{Jumlah strand} \times \text{Ast} = 394,8 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tegangan Kabel} = F_{eff} / \text{Asp} = 467,14 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_b = \text{balance (tengah bentang)} = \frac{F_{eff} \cdot e \cdot 8}{L^2} = 222,5 \text{ kgm}$$
- 2) Kondisi servis :

$$P = 81,94 \% \times 184430 = 151121,9 \text{ kg}$$

$$\text{Asp} = \text{Jumlah strand} \times \text{Ast} = 394,8 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tegangan Kabel} = F_{eff} / \text{Asp} = 382,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_b = \text{balance (tengah bentang)} = \frac{P \cdot e \cdot 8}{L^2} = 182,3 \text{ kgm}$$

4.12 Kontrol Tegangan

- 1) Kontrol tegangan saat *transfer*:

$$f_{top} = \frac{P}{A} - \frac{P \cdot e}{St} + \frac{M_{net}}{St} = 105,33 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{bot} = \frac{P}{A} + \frac{P \cdot e}{Sb} - \frac{M_{net}}{Sb} = -94,66 \text{ kg/cm}^2$$
- 2) Kontrol tegangan saat *servis*:

$$f_{top}' = \frac{P}{Ac} - \frac{P \cdot e}{St'} + \frac{M_{net}}{St'} = 107,43 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{bot}' = \frac{P}{Ac} + \frac{P \cdot e}{Sb'} - \frac{M_{net}}{Sb'} = -142,56 \text{ kg/cm}^2$$
- $f_{top} = 105,33 \text{ kg/cm}^2 < f_{top}' = 108,34 \text{ kg/cm}^2$
(OK)
 $f_{bot} = -94,66 \text{ kg/cm}^2 < f_{bot}' = -142,56 \text{ kg/cm}^2$
(OK)

4.13 Kontrol Lendutan

- 1) Kontrol Lendutan saat *transfer*

$$\delta_1 = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot EI} = 0,0104 \text{ m} = 1,04 \text{ cm}$$
- 2) Kontrol Lendutan saat *servis*

$$\delta_2 = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot EI} + \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot EI} = 0,016 \text{ m} = 1,6 \text{ cm}$$
- 3) Total Lendutan

$$\delta_{total} = \delta_1 + \delta_2 = 3,04 \text{ cm}$$

$$\delta_{ijin} = \frac{L}{800} = 0,064 \text{ m} = 6,47 \text{ cm}$$

$$\delta_{total} = 3,04 \text{ cm} < \delta_{ijin} = 6,47 \text{ cm} \text{ (OK)}$$

≈ Aman

4.14 Perencanaan Shear Connector

Q = 3982,4 kg (Untuk 1 studs Dipakai 4 kaki = 15929,7 kg)
 Panjang stud sebagai stek penyambung pada balok prategang

$$\sigma_b' = 664 \text{ kg/cm}^2$$

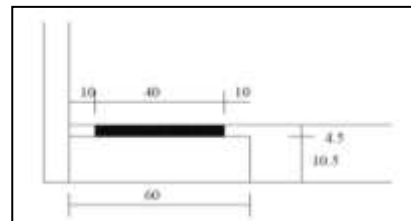
$$\sigma_{bk}' = 219,12 \text{ kg/cm}^2$$
 Panjang stud = 3,61 cm

Tabel 15. Jarak *shear connector* tiap bagian setengah bentang

Titik	x (m)	Dx (Ton)	Sx (cm ³)	Ix (cm ⁴)	Q (Ton)	q (Ton)	S (cm)	n
A	0	274	84913868	120198931	9,78	193	31	17
1	5,2	223	84913868	120198931	9,78	158	38	14
2	10,3	173	84913868	120198931	9,78	12	50	10
3	15,5	123	84913868	120198931	9,78	87	70	7
4	20,6	72	84913868	120198931	9,78	51	117	4
5	25,8	22	84913868	120198931	9,78	15	386	1

4.15 Perencanaan Elastomeric bearings

Beban Vertikal = 59620 kg
 Beban Horizontal = 14060 kg
 Perencanaan *Elastomeric Bearing* :
 CPU *Elastomeric Bearing*
 Tebal 45 mm isi 3 plat baja 3 mm
 Kuat tekan = 56 kg/cm²
 Kuat geser = 35 kg/cm²
 CPU *Bearing Pad / strip* tebal 20 mm
 Kuat geser = 2.11 kg/cm



Gambar 14. *Elastomeric Bearing Pad*

- (1) Cek terhadap daya dukung

$$f = \frac{V_{tot}}{A} = 33,78 \text{ kg/cm}^2 \leq 56 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}$$
- (2) Cek terhadap geser

$$f = \frac{H_{tot}}{A} = 7,81 \text{ kg/cm}^2 \leq 35 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}$$
- (3) Cek terhadap dimensi

$$f = \frac{5\% \cdot H}{A} = 0,195 \text{ kg/cm}^2 \leq 2,11 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}$$

4.16 Struktur Bawah

4.16.1 Pembebanan Pada Pilar

Beban Mati :

$$V_d = 429,51 \text{ Ton}$$

$$R_{vm} = 250,2 \text{ Ton}$$
 Beban Hidup :

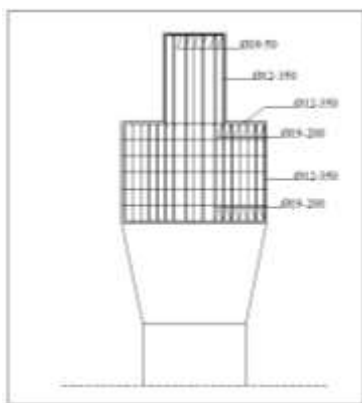
$$R_{pv} = 11,63 \text{ Ton}$$

$$R_{vh} = 6,77 \text{ Ton}$$
 Gaya Geser = 32,21 Ton
 Gaya Rem = 1,9 Ton

4.16.2 Perencanaan Bagian Pilar

- Kepala Pilar

$q = 6,07 \text{ T/m}$
 $M_{maks} = 96,6 \text{ T/m} = 966 \text{ KN}$
 $D_{maks} = 34,87 \text{ T/m} = 348,7 \text{ KN}$
 $f_c = 30 \text{ Mpa}$
 $f_y = 240 \text{ Mpa}$
 $A_s = \rho \cdot b \cdot d = 2658,8 \text{ mm}^2$
 Dipergunakan tulangan $\varnothing 19-100 (A_s = 2833 \text{ mm}^2)$
 Tulangan bagi 50% dari tulangan utama = $1329,4 \text{ mm}^2$
 Dipergunakan $\varnothing 19-200 (A_s = 1416,3 \text{ mm}^2)$
 $A_v = \frac{(V_n - V_c) \cdot s}{f_y \cdot d} = 228,9 \text{ mm}^2$
 Dipergunakan sekatang $\varnothing 12 - 350 (A_s = 323,1 \text{ mm}^2)$



Gambar 15. Penulangan Kepala Pilar

• **Badan Pilar**

Tabel 16. Gaya Dalam Akibat kombinasi beban arah x dibadan pilar

Kombinasi	Momen (T/m)	Lintang (Ton)	Normal (Ton)
I	-	-	703,21
II	-	-	625,548
III	-	-	704,038
IV	3805,76	223,34	625,548

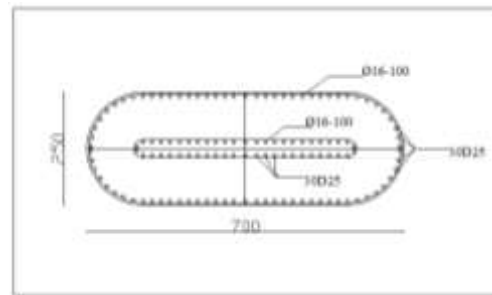
Tabel 17. Gaya Dalam Akibat kombinasi beban arah y dibadan pilar

Kombinasi	Momen (T/m)	Lintang (Ton)	Normal (Ton)
I	-43,75	-	662,48
II	-719,099	-	662,48
III	-719,099	-	662,48
IV	2428,751	32,21	662,48

Kombinasi IV arah Y lebih menentukan sehingga digunakan sebagai design. Badan pilar diasumsikan sebagai kolom dengan penampang berbentuk bulat.

Penulangan Badan Pilar

$A_s = \rho \cdot A_g = 29150 \text{ mm}^2$ (untuk 2 sisi)
 untuk 1 sisi dipergunakan : $0,50 \cdot A_s = 14575 \text{ mm}^2$
 Digunakan tulangan 2 lapis 30D25 ($A_s = 14718 \text{ mm}^2$)
 $A_v = \frac{(V_n - V_c) \cdot s}{3 \cdot f_y} = 4385,77 \text{ mm}^2$
 Dipergunakan sekatang $\varnothing 16 - 50 (A_s = 4019,2 \text{ mm}^2)$



Gambar 16. Penulangan Badan Pilar

• **Perencanaan Pondasi**

$q_{cu} = \frac{(115 + 110 + 115 + 120 + 115 + 120)}{6} = 115,83 \text{ kg/cm}^2$

$P_{ijin} = \frac{Q_u}{FK} = 281,04 \text{ Ton}$

$Q_u = (40 \cdot N_b \cdot A_b) + (0,2 \cdot N \cdot A_s) \cdot 70\% = 907,42 \text{ Ton}$

Jumlah tiang pancang yang dibutuhkan :

$n = \frac{P_{yang\ terjadi}}{P_{i\ tiang}} = 3,22 = 4 \approx 16 \text{ buah}$

Perhitungan Efisiensi Tiang Pancang dalam kelompok :

$\eta = 1 - \theta \cdot x^{\frac{m(n-1)+n(m-1)}{90 \times m \times n}}$

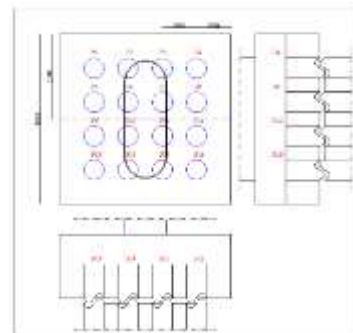
$\theta = \text{arc tg} \left(\frac{60}{220} \right) = 15,25$

$\eta = 1 - 15,25 \cdot x^{\frac{4(4-1)+4(4-1)}{90 \times 4 \times 4}} = 0,74$

$P_{group\ tiang} = \eta \times P_{ijin} = 207,96 \text{ ton}$
 $> \Sigma P = 6793,42 \text{ ton}$

$E = 1 - \frac{20,556}{90} \cdot x^{\left(\frac{(5-1)5 + (5-1)5}{5 \times 5} \right)} = 0,634$

$P = E \cdot P_{daya\ dukung\ 1\ bore\ pile} = 178,17 \text{ ton}$



Gambar 17. Denah Penempatan Tiang

Pancang

5. Kesimpulan

Dari Perencanaan Ulang Jembatan Sembayat II Gresik ini dapat disimpulkan hasil perencanaan sebagai berikut :

- 1) Struktur atas terdiri dari sandaran, trotoar, pelat lantai, balok memanjang, balok diafragma dan balok induk.

Pipa sandaran menggunakan pipa dengan diameter 76,3 mm.

Tiang sandaran direncanakan menggunakan beton bertulang dengan ukuran dimensi 15 x 15 cm dengan tulangan \emptyset 8 - 90 mm untuk geser, dan 2 \emptyset 10 untuk lentur.

Pelat lantai kendaraan direncanakan menggunakan beton bertulang dengan ketebalan 25 cm dari plat cor dengan tulangan \emptyset 12-50 mm.

Balok memanjang direncanakan menggunakan dimensi 0,5 x 0,5 dengan tulangan \emptyset 14-50 mm.

Balok diafragma direncanakan menggunakan dimensi 0,3 x 0,8 dengan jarak antar balok 1,5 m dengan tulangan \emptyset 19-50 mm.

Balok induk direncanakan menggunakan beton prategang dengan menggunakan perhitungan metode beban kerja didapat bentuk dimensi V dengan tinggi 2,0 m lebar atas 2,0 m dan lebar bawah 1,0 m.

Dimensi tersebut telah memenuhi syarat menahan beban dari struktur sekunder.

Gaya prategang awal yang diberikan pada balok induk adalah sebesar 3247,8 Ton dengan kehilangan gaya prategang sebesar 18,06 %.

Kabel yang dipakai adalah jenis kawat untai (strand)VSL dengan diameter nominal $\frac{1}{2}$ inch dengan jumlah strand 10 strand dalam 1 kabel.

Lendutan total yang terjadi pada balok induk utama adalah sebesar 2,64 cm yang lebih kecil dari lendutan ijin maksimum yakni sebesar 6,47 mm

Perletakan *Elastomeric Bearing* yang dipakai berdimensi 40 x 60 x 10,5 cm

- 2) Struktur bawah terdiri dari pile dan pondasi jembatan dengan analisa di atas di dapatkan.

Perencanaan pile dengan Pemisah Gelagar di gunakan \emptyset 19-50 dengan sengkang \emptyset 12-350,

Pemisah gelgara direncanakan menggunakan tulangan dengan \emptyset 19-50 dengan \emptyset 12-350, sengkang Kepala pilar dengan ukuran 2,15 meter dengan tulangan \emptyset 19-100 dan sengkang \emptyset 12-350.

Badan Pilar direncanakan menggunakan D25-150 dengan Sengkang D13-250. Badan pilar dengan ukuran lebar 2,5 m dan tinggi 13 m dengan tulangan 30D25 dan sengkang \emptyset 16-50.

Pondasi dengan diameter 60 cm dengan jumlah 16 buah dengan kedalaman 25 m.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Alim R, Khoirul, 2010, *Modifikasi Perencanaan Struktur Jembatan Kali Berek Kabupaten Malang Dengan Sistem Balok Beton Pratekan Menerus*. Proposal Tugas Akhir Departemen Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya
- Annur, Dini Fitria., 2013, *Perencanaan Precast Concrete I Girder pada Jembatan Prestressed Post-tension dengan Bantuan Program Microsoft Office Excel*. Tugas Akhir Departemen Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Aswani M.G, Vazirani V.N, Ratwani M.M, 1975, *Design Of Concrete Brigdes. A Text Book Of Engineering Students*, Khanna Publishers, Delhi.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002, *Tata Cara Pembebanan Jembatan Jalan Raya*, SNI 03-1725-1989, BSN, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, SNI 03-2847-2002, BSN, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1971, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI 1971)*, Bandung.
- Direktorat Jendral Bina Marga Direktorat Bina Progam Jalan, 1992, *Bridge Design Code BDC vol. 1*, (Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan), Departement Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Jakarta.
- Direktorat Jendral Bina Marga Direktorat Bina Progam Jalan, 1992, *Brigde Management Systeml BMS*, Bagian 2 (Beban Jembatan), Departement Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Jakarta.
- Direktorat Jendral Bina Marga Direktorat Bina Progam Jalan, 1992, *Brigde Management Systeml BMS*, Bagian 6 (Perencanaan beton struktural), Departement Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Jakarta.

- Direktorat Jendral Bina Marga, 2013, *Gambar Denah Jembatan Sembayat II Gresik*, Satuan Kerja Non Vertikal Tertentu Perencanaan Dan Pengawasan Jalan Nasional Provinsi Jawa Timur, Surabaya.
- Huda, Miftahul, 2015, *Beton Prategang*. Diklat Departemen Teknik Sipil Universitas Wiajaya Kusuma, CV. Delta Agung Jaya, Surabaya
- Maulana, Rangga Wisnu, 2015, *Perencanaan Ulang Struktur Jembatan Taman Hiburan Pantai Kenjeran Surabaya Menggunakan Beton Prategang Pada Section 10-12*. Tugas Akhir Departemen Teknik Sipil Universitas Wiajaya Kusuma, Surabaya
- Raju, N Krishna., 2004, *Beton Prategang*, Erlangga, Jakarta.
- Supriyadi, Agus Setyo Muntohar, 2000, *Jembatan*, Biro Penerbit KMTS FT Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.