

# PERENCANAAN STRUKTUR JEMBATAN LEMAHIRENG 1

## JALAN TOL SEMARANG – SOLO

Dimas Prasetyo Nugroho, Sidqi Muhammad

Sri Tudjono \*), Sukamta \*)

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jalan Prof. Soedarto, SH., Tembalang, Semarang 50275

Telp.: +62-24 7474770 Fax.: +62-24 7460060

### ABSTRAK

Jembatan Lemah Ireng 1 terletak pada ruas Jalan Tol Semarang – Solo Tahap I Ruas Ungaran – Bawen Paket V Tinalun – Lemah Ireng. Jembatan ini dibangun karena adanya jurang yang dalam pada Desa Lemah Ireng, sehingga diperlukan jembatan ini sebagai bagian dari jalan tol tersebut. Jembatan ini direncanakan menggunakan konstruksi beton prategang *box girder*. Metode pelaksanaan yang digunakan adalah *balance cantilever* dengan *box girder* cor di tempat (*cast in place*). Alat yang digunakan dalam pekerjaan *box girder* adalah *traveller*. Panjang total jembatan 879 m, yang terbagi menjadi 8 bentang. Jembatan dengan panjang 879 m membutuhkan perencanaan yang kompleks agar mendapatkan hasil yang efisien. Jembatan ini memiliki dua buah abutment dan tujuh buah pilar. Pada tahap awal perencanaan dilakukan pradimensi pada struktur atas. Dimensi *box girder* pada jembatan ini berbeda-beda disetiap segmennya dengan bentuk menyerupai parabola. Tahap berikutnya melakukan analisis beban yang terjadi, meliputi berat sendiri, beban mati tambahan, beban lalu lintas, beban angin, dan beban gempa. Dari hasil analisis tersebut selanjutnya dilakukan analisis struktur dengan bantuan program SAP2000 dengan keluaran hasil gaya aksial, momen, gaya geser, dan torsi. Dari keluaran tersebut dapat dilakukan perhitungan kehilangan gaya prategang, kebutuhan *tendon*, dan penulangan *box girder*. Perencanaan struktur bawah direncanakan dengan langkah awal melakukan pradimensi pilar dan dihitung kekuatannya dengan cara biaxial bending metode bresler. Hasil dari perhitungan tersebut didapat rasio tulangan pilar sebesar 1%. Tahap selanjutnya dilakukan perhitungan abutment dengan langkah awal melakukan pradimensi dan dihitung kekuatan dan kebutuhan tulangannya. Tahap akhir pada perencanaan jembatan ini adalah perhitungan pondasi pada pilar dan abutment dengan menggunakan *bore pile*. Perhitungan pondasi *bore pile* menggunakan metode *broms* untuk menghitung momen yang diterima oleh *bore pile*. Hasil dari perhitungan tersebut didapat rasio tulangan *bore pile* untuk abutment sebesar 1% dan untuk pilar sebesar 1,5%.

**Kata kunci:** Jembatan Lemah Ireng 1, *box girder*, *balance cantilever*.

### ABSTRACT

Lemah Ireng 1 Bridge is located at Semarang – Solo Toll Road Phase I Section Ungaran – Bawen Package V Tinalun – Lemah Ireng. This bridge was constructed due to a deep ravine at Lemah Ireng Village, so necessary this bridge as a part of the toll road. This bridge is designed using prestressed concrete box girder construction. The method of execution is used by balance cantilever with cast in place box girder. The equipment which is used in the work of box girder is traveller. The length of the bridge is 879 m, which is divided into 8 spans. The

---

\*) Dosen Teknik Sipil Universitas Diponegoro

bridge with length of 879 m requires complex planning in order to obtain efficient results. This bridge has two abutments and seven piers. Design of this bridge began of planning do the pre-dimension on top of the structure. The dimensions of box girder on this bridge are different in each segment with a shape like a parabola. The next step is analyzing loads incurred, including its own weight, additional dead load, traffic load, wind load, and earthquake load. From the results of this analysis is then performed structural analysis with the program SAP2000 to output results axial force, moment, shear, and torsion. The output of it is able to calculated loss of prestressing force, needs of tendon, and reinforcement of box girder. Sub structures are planned with do the pre-dimension of pier and calculating its strength by biaxial bending Bresler method. A Result from these calculations obtained pier reinforcement ratio is 1%. The next step is calculation of abutment with the first step do pre-dimension and calculated strengths and reinforcement needs. The final stage in the planning of this bridge is foundation of abutment and pier calculations. Calculation bore pile using Broms method for calculating moments received by the bore pile. Results from these calculations obtained bore pile reinforcement ratio is 1% for the abutments and pier amounted to 1.5%.

**Keywords:** Lemah Ireng 1 Bridge, box girder, balance cantilever.

## LATAR BELAKANG

Penyediaan Jalan Tol di wilayah Jawa Tengah merupakan suatu harapan serta kebutuhan masyarakat akan ketersediaan dan layanan jalan tol di Indonesia, sekaligus dapat memberikan pertumbuhan usaha jangka panjang yang berkesinambungan. Jalan Tol Ruas Semarang – Ungaran mulai beroperasi pada 12 November 2011, dimana dengan pengoperasian ini diharapkan mampu mengurangi kepadatan lalu lintas di wilayah Banyumanik hingga Ungaran.

Jembatan Lemah Ireng 1 terletak di desa Lemah Ireng, Kecamatan Bawen, Kabupaten Semarang yang akan menjadi bagian pada ruas Jalan Tol Semarang – Solo Tahap 1 Ruas Ungaran – Bawen dengan panjang 879 meter. Jembatan Lemah Ireng 1 dibangun karena adanya jurang yang dalam pada Desa Lemah Ireng, sehingga diperlukan jembatan ini sebagai bagian dari jalan tol tersebut. Jembatan tersebut diharapkan mampu membantu kelancaran kendaraan yang melewati Jalan Tol Semarang – Solo dan juga membantu mempercepat pertumbuhan ekonomi di wilayah sekitar Ungaran dan Bawen khususnya dan Jawa Tengah umumnya.

Dasar dari kebijakan pemilihan suatu tipe jembatan dilakukan supaya biaya pembangunan jembatan seminimum mungkin baik dari pelaksanaan konstruksi, perbaikan, dan pemeliharaan jembatan. Hal tersebut dilakukan tetap harus mengacu pada spesifikasi dan standar yang digunakan. Pedoman tersebut diharapkan struktur jembatan aman, efektif, dan efisien sampai akhir umur rencana.

Jembatan dapat menggunakan beton prategang karena komponen struktur prategang mempunyai tinggi lebih kecil dibandingkan dengan beton bertulang konvensional untuk kondisi bentang dan beban yang sama. Pada umumnya, tinggi komponen struktur beton prategang berkisar antara 65 sampai 80 persen dari tinggi komponen struktur beton bertulang konvensional <sup>(3)</sup>.

## PERMASALAHAN

Permasalahan pada Jembatan Lemah Ireng 1 adalah jembatan dengan bentang panjang dan letak lantai jembatan dengan elavasi tanah asli terlalu tinggi, sehingga tidak dapat menggunakan perancah pada saat tahap pelaksanaan. Pembangunan jembatan yang tidak menggunakan perancah membutuhkan perencanaan yang kompleks. Lokasi jembatan yang terletak di pedesaan menjadi kesulitan tersendiri pada saat tahap pelaksanaan.

## METODOLOGI

Karena lokasi Jembatan Lemah Ireng 1 di pedesaan yang sulit dijangkau, maka jembatan ini direncanakan dengan beton cor di tempat (*cast in place*). Jembatan ini dapat menggunakan *box girder* sebagai lantai jembatan karena penampang yang berbentuk *hollow* dapat mengurangi volume beton, sehingga lebih efisien.

Tahap pelaksanaan Jembatan Lemah Ireng 1 untuk pembuatan *box girder* di laksanakan dengan cara cor di tempat, sebab tidak memungkinkannya menggunakan beton *precast* karena lokasi jembatan yang terletak di pedesaan yang sulit di jangkau oleh truk trailer pembawa beton *precast*. Alat yang digunakan dalam pekerjaan *box girder* ini menggunakan *traveller*, dengan metode pelaksanaan *balance cantilever*.

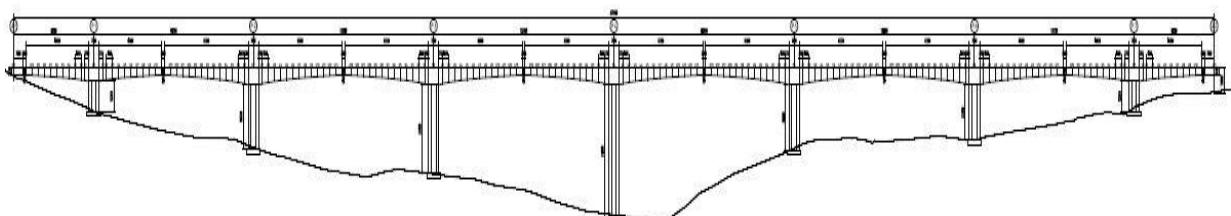
Pekerjaan *box girder* dimulai dari sisi abutment dengan menggunakan perancah sejauh 7 m. Pada bagian selanjutnya menggunakan *traveller* yang dimulai dari bagian pilar dengan sistem *balance cantilever*. Pada proses pengecoran *box girder* beton *readymix* dari truk *mixer* dipompa ke atas, namun untuk ketinggian lebih dari 25 m pengecoran menggunakan *bucket* yang di angkat oleh *tower crane*.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

## 1) Perencanaan Penampang

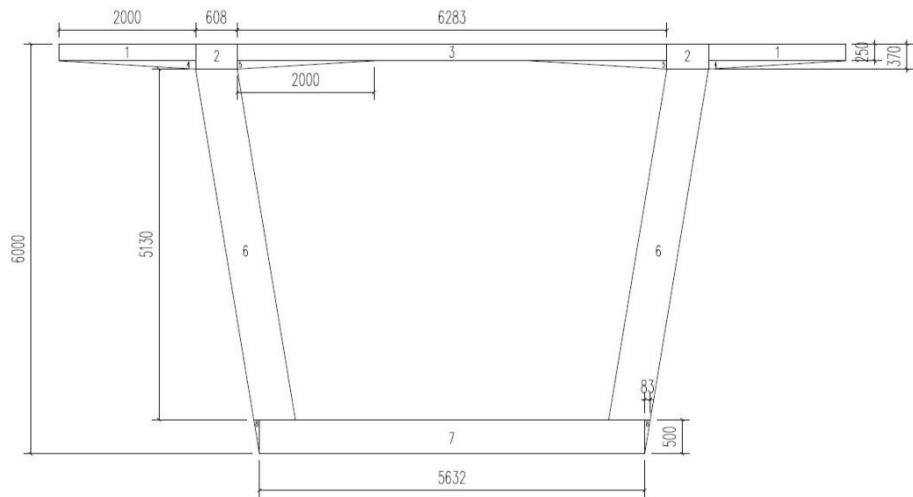
Struktur Jembatan Lemah Ireng 1 berupa dua buah *box girder* sejajar dengan lebar total sebesar 23 meter. Terdapat delapan bentang dengan panjang yang berbeda-beda, yaitu 58,75 m, 116,75 m, 132 m (sebanyak 4 bentang), 116,75 m, dan 58,75 m.

Jembatan ini direncanakan menggunakan tujuh pilar dan dua abutment. *Pier head* pada jembatan ini direncanakan menggunakan *box girder* dengan tipe yang sama. Potongan memanjang pada jembatan ini dapat di lihat pada gambar 1 berikut.



Gambar 1 Potongan Memanjang Jembatan Lemah Ireng 1

Jembatan Lemah Ireng 1 direncanakan menggunakan *box girder* berbentuk trapesium berongga, dengan tipe *box girder* antar pilar berbentuk parabola. Penampang *box girder* pada segmen P2 – U2 dapat dilihat pada gambar 2 berikut.



## Gambar 2 Desain Penampang P2 – U2

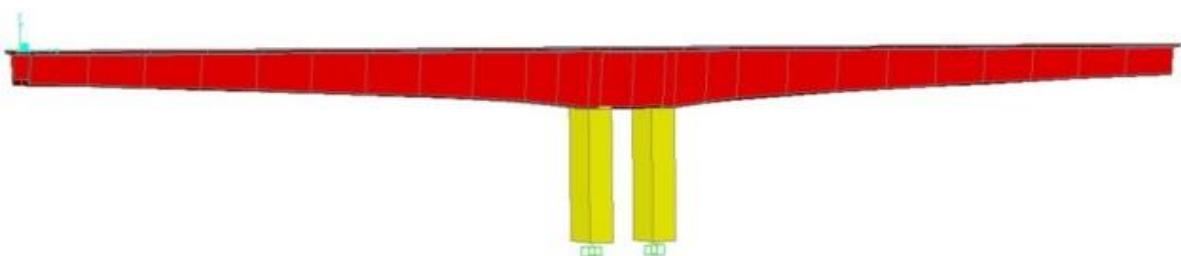
## 2) Analisis Beban Jembatan

Analisis pembebanan pada Jembatan Lemah Ireng 1 mengacu pada RSNI T-02-2005. Analisis beban pada jembatan ini terdiri dari beberapa jenis pembebanan, yaitu beban mati (MS), beban mati tambahan (MA), beban lajur (D), beban truk (T), gaya rem (TB), beban angin (EW), beban gempa (EQ), beban pelaksanaan (PL)<sup>(1)</sup>.

Beban lajur (D) sudah dihitung dengan faktor DLA (*Dynamic Load Allowance*) sebesar 0,3. Beban gempa (EQ) dihitung dengan analisis dinamis berdasarkan ketentuan pada SNI 2833:2008. Beban pelaksanaan (PL) diambil dari beban *traveler* sebesar 65 ton untuk masing-masing *traveller*.

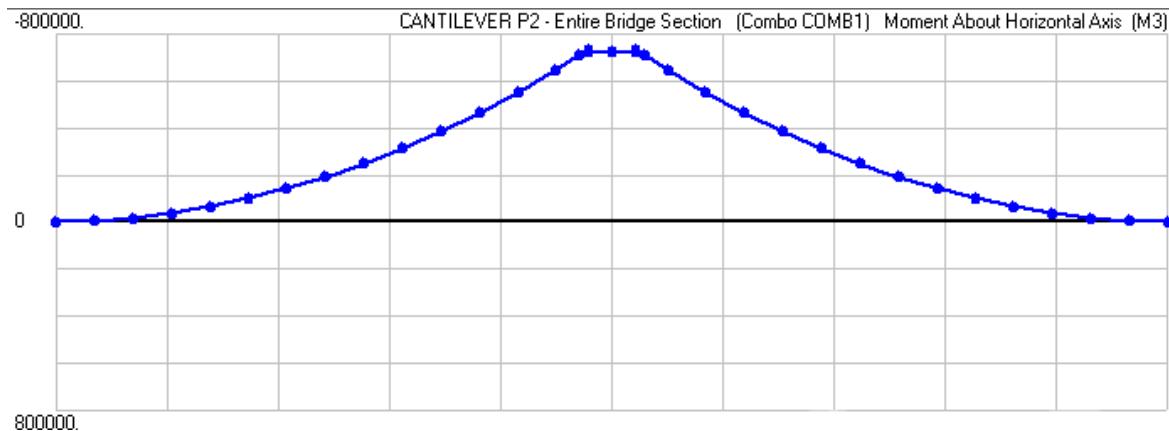
### 3) Perhitungan Momen Jembatan

Perhitungan momen pada Jembatan Lemah Ireng 1 dihitung menggunakan program SAP2000. Perhitungan momen pada jembatan ini dibagi menjadi dua, yaitu momen kantilever pada saat tahap pelaksanaan dan momen pada saat jembatan sudah jadi (*service*). Pemodelan tahap pelaksanaan dapat dilihat pada gambar 3 berikut.



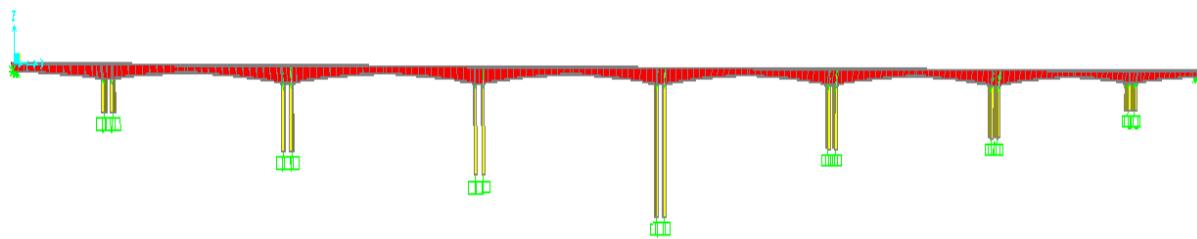
Gambar 3 Pemodelan Tahap Pelaksanaan

Perhitungan momen tahap pelaksanaan menggunakan kombinasi pembebanan 1,3 MS + 1,25 PL + 1,0 EW. Setelah itu diperoleh  $M_{max}$  (-) akibat pelaksanaan kantilever yang akan untuk digunakan pada perhitungan *tendon*. Momen pada tahap pelaksanaan dapat dilihat pada gambar 4 berikut.



Gambar 4 Momen Tahap Pelaksanaan

Momen *service* dihitung berdasarkan keseluruhan struktur jembatan tersebut pada saat jembatan sudah digunakan. Pemodelan Jembatan Lemah Ireng 1 ditunjukkan pada gambar 5 berikut.



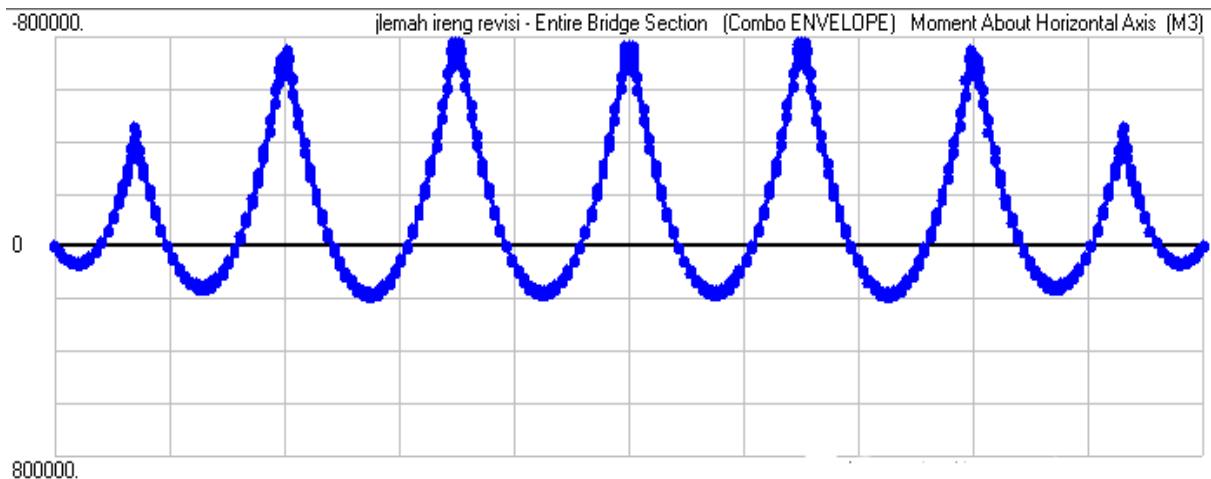
Gambar 5 Pemodelan Tahap *Service*

Perhitungan momen tahap *service* menggunakan kombinasi pembebanan pada tabel 1. Setelah itu diperoleh  $M_{max} (-)$  dan  $(+)$  akibat *service* yang akan untuk digunakan pada perhitungan *tendon*.

Tabel 1 Kombinasi pembebanan

Kombinasi	Faktor Beban
COMB1	1,3 MS + 2,0 MA + 1,8 D + 1,8 TB + 1,0 EW
COMB2	1,3 MS + 2,0 MA + 1,0 D + 1,0 TB
COMB3	1,3 MS + 2,0 MA + 1,0 D + 1,0 TB + 1,0 EW
COMB4	1,3 MS + 2,0 MA + 1,0 D + 1,0 TB + 1,2 EW
COMB5	1,3 MS + 2,0 MA + 1,0 D + 1,0 EQ-X + 0,3 EQ-Y + 0,3 EQ-Z
COMB6	1,3 MS + 2,0 MA + 1,0 D + 0,3 EQ-X + 1,0 EQ-Y + 0,3 EQ-Z
COMB7	1,3 MS + 2,0 MA + 1,0 D + 0,3 EQ-X + 0,3 EQ-Y + 1,0 EQ-Z

Momen tahap *service* dapat dilihat pada gambar 6 berikut.



Gambar 6 Momen Tahap *Service*

#### 4) *Tendon*

*Box girder* menggunakan kumpulan *strands* atau yang disebut juga *tendon* untuk menahan momen lentur dan gaya geser akibat beban sendiri maupun beban eksternal. Pemilihan *tendon* sangat penting dilakukan karena akan mempengaruhi analisis perhitungan selanjutnya. *Tendon* terbuat dari baja bermutu tinggi yang memiliki kuat tarik minimal sebesar 150000 psi (1034 MPa), dengan kuat leleh minimum sebesar 85% dari kuat tarik ultimit untuk batang polos dan 80% untuk batang ulir. Baja bermutu tinggi seperti itu dapat mengimbangi kehilangan gaya prategang di beton dan dapat menahan gaya prategang yang dibutuhkan <sup>(3)</sup>.

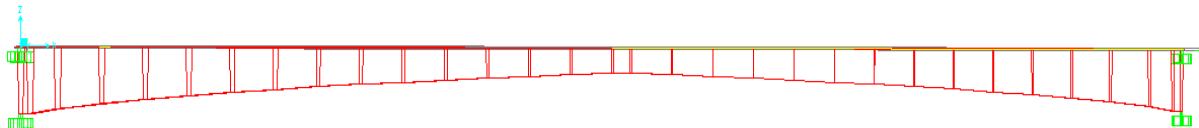
*Strands* pada umumnya terdiri dari tujuh kawat baja atau yang umum disebut 7 *wire strands*. Kumpulan tujuh kawat ini kemudian dipuntir hingga membentuk elemen tunggal. Terdapat dua ukuran *strand* yang terdapat dipasaran, yaitu 0,5" (13 mm) dan 0,6" (15 mm). *Tendon* terdiri dari beberapa *strands*, umumnya satu lubang *duct* diisi oleh 1 hingga 55 *strands*. Lubang *duct* yang telah diisi *tendon* kemudian dilakukan proses *stressing*, setelah proses *stressing* lubang *duct* harus di *grouting* untuk menghindari korosi pada *strands* dan lubang *duct* <sup>(5)</sup>.

Jembatan Lemah Ireng 1 menggunakan *strand 7-wire relieved* VSL tipe 0,6" ASTM A 416-06 Grade 270, dengan *minimum breaking load* sebesar 260700 N dan  $f_{pu}$  sebesar 1860 MPa. Pada perhitungan kebutuhan jumlah *strand*, sebelumnya dihitung kehilangan gaya prategang. Hasil dari analisa struktur yang dilakukan, Jembatan Lemah Ireng 1 membutuhkan 27 *strand* untuk tiap *tendon* bagian atas dan 22 *strand* untuk tiap *tendon* bagian bawah.

#### 5) *Box Girder*

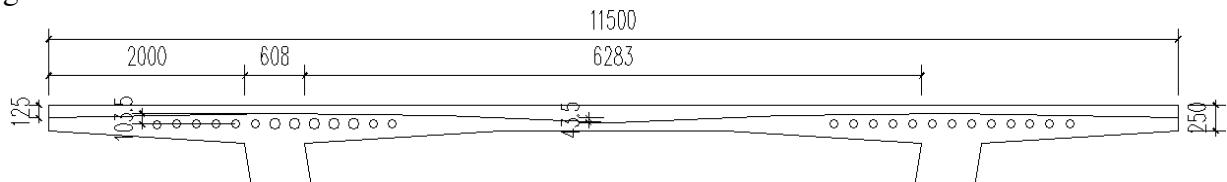
Perhitungan tulangan *box girder* dilakukan dengan memperhitungkan beban-beban yang bekerja pada struktur *box girder* yang nantinya akan diketahui gaya-gaya dalam yang terjadi. Beban-beban yang bekerja pada perhitungan tulangan *box girder*, yaitu beban mati (MS), beban mati tambahan (MA), beban truk (T), dan beban angin (EW) <sup>(1)</sup>.

Pemodelan *box girder* untuk perhitungan tulangan di desain satu bentang, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 7 berikut.



Gambar 7 Pemodelan *Box Girder*

Pada plat atas *box girder* direncanakan menggunakan *tendon transversal* yang berfungsi untuk mengurangi jumlah tulangan dalam menahan momen M22 (melintang) baik pada bagian tumpuan maupun lapangan. Penampang melintang plat atas *box girder* dapat dilihat pada gambar 8.

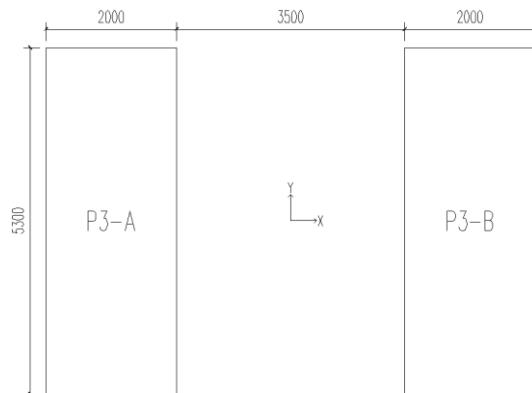


Gambar 8 Plat Atas *Box Girder*

Dari hasil perhitungan didapat *tendon transversal* yang digunakan pada plat atas *box girder* adalah 6 – 4 @ 500.

## 6) Pilar

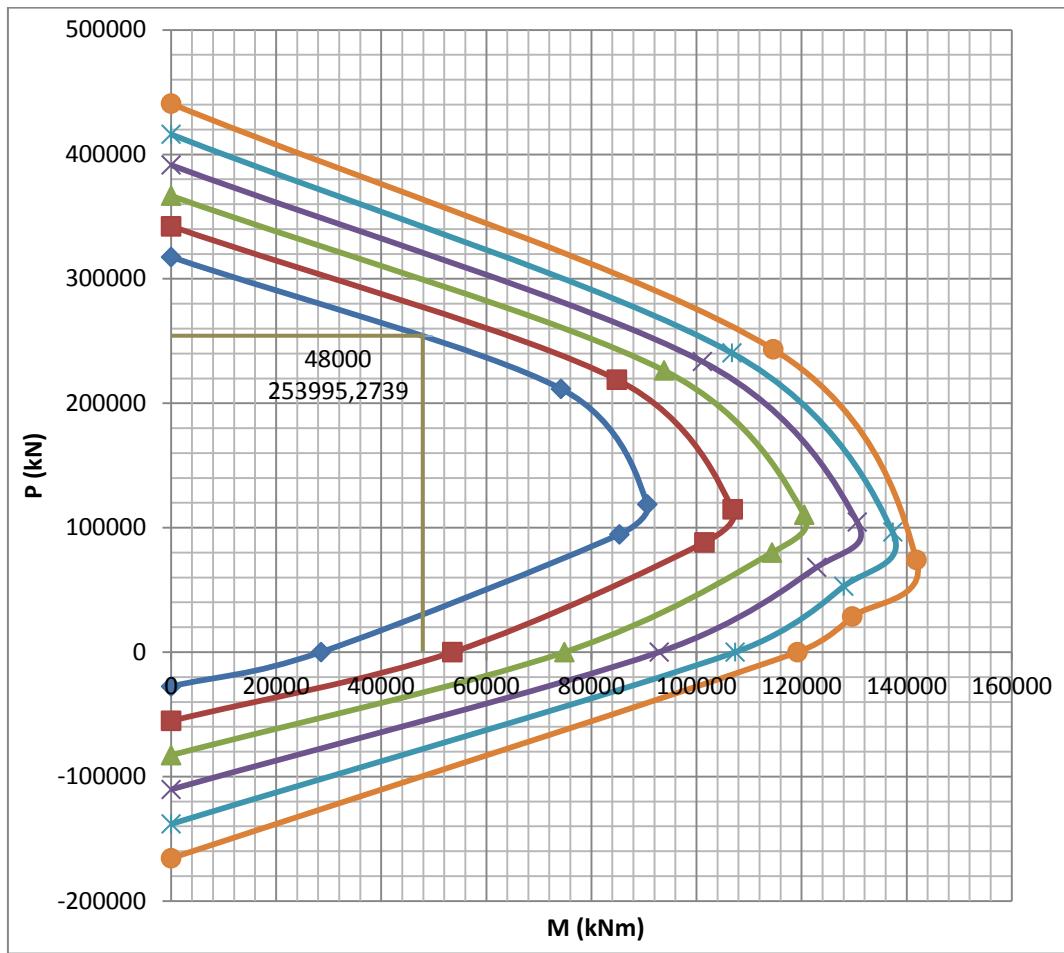
Pada Jembatan Lemah Ireng 1 terdapat 7 pilar, pada setiap pilarnya terdapat dua pilar sejajar yang berbentuk persegi panjang. Gambar 9 menunjukkan pilar pada P3.



Gambar 9 Pilar P3

Perhitungan pilar direncanakan menggunakan dua buah pilar pada setiap as pilar. Pada setiap pilar di cek biaxial metode Bresler dan Parme untuk rasio tulangan 1% sampai 6% baik ke arah memanjang maupun melintang jembatan <sup>(4)</sup>.

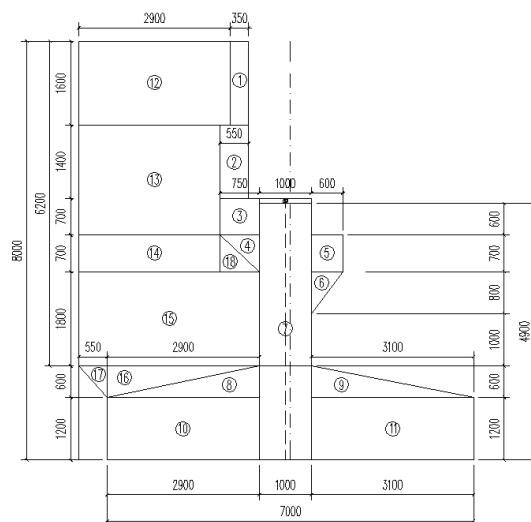
Berdasarkan hasil perhitungan metode kontur beban parme rasio tulangan 1% sudah memenuhi syarat di bawah 1, sehingga pilar Jembatan Lemah Ireng 1 menggunakan rasio tulangan 1%. Gambar 10 menunjukkan diagram interaksi pilar 1% – 6% M22.



Gambar 10 Diagram Interaksi 1% – 6% M22

## 7) Abutment

Jembatan Lemah Ireng 1 direncanakan memiliki dua abutment dengan tinggi 8 m. Bagian-bagian pada abutment, meliputi *breast wall*, *back wall*, *corbel*, *wing wall*. Pada abutment tumpuan *box girder* menggunakan *elastomeric bearing pad*. Bagian *corbel* berfungsi sebagai tempat untuk *jacking box girder* pada saat penggantian *elastomeric bearing pad*. Desain abutment yang digunakan pada jembatan ini dapat dilihat pada gambar 11.

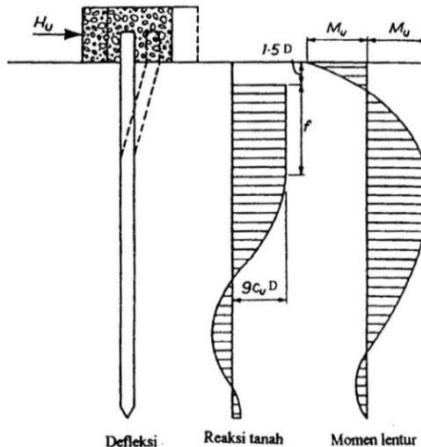


Gambar 11 Abutment

## 8) Pondasi

Pondasi pilar pada Jembatan Lemah Ireng 1 direncanakan menggunakan pondasi dalam, yaitu pondasi *bore pile*. Pada abutment terdapat 18 buah *bore pile* dengan diameter sebesar 0,8 m, sedangkan pada setiap pilar terdapat 15 buah *bore pile* dengan diameter sebesar 1,8 m. Perhitungan daya dukung axial izin didasarkan pada kekuatan bahan, N-SPT, dan CPT.

Perhitungan gaya lateral pada *bore pile* ini menggunakan metode Broms. Parameter gaya lateral pada *bore pile* dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12 Gaya Lateral *Bore Pile*

Dari gaya lateral ( $H_u$ ) tersebut didapat momen untuk mencari tulangan longitudinal *bore pile*. Hasil dari perhitungan didapat tulangan longitudinal *bore pile* sebesar 1,5%. Gaya lateral ( $H_u$ ) juga dicek terhadap gaya tekanan tanah pasif apakah melebihi atau tidak. Dari hasil perhitungan gaya lateral ( $H_u$ ) tidak melebihi gaya tekanan tanah pasif.

## SIMPULAN DAN SARAN

Jembatan Lemah Ireng 1 direncanakan menggunakan dua buah *box girder* sejajar. Jembatan ini memiliki 4 lajur 2 arah dengan pemisah (4/2 D) dengan lebar satu *box girder* sebesar 11,5 m.

Analisa struktur Jembatan Lemah Ireng 1 menggunakan bantuan program SAP2000 dengan analisa pemodelan *3D bridge*. Terdapat tiga pemodelan jembatan, yaitu tahap pelaksanaan, beban truk, dan tahap *service*.

Pemodelan struktur dengan SAP2000 perlu dilakukan memasang *tendon* yang telah direncanakan agar dapat diketahui *stress ratio* yang terjadi. Pemodelan struktur perlu dibandingkan dengan program selain SAP2000, seperti RM2000 atau CSI. Agar mendapatkan hasil yang lebih efisien.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Standardisasi Nasional. 2005. *Standar Nasional Indonesia: Standar Pembebaan Untuk Jembatan, RSNI T-02-2005*. Bandung.
2. Badan Standardisasi Nasional. 2008. *Standar Nasional Indonesia: Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan, SNI 2833-2008*. Bandung.

3. Nawy, Edward G & Suryoatmono, Bambang. 2001. *Beton Prategang, Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta.
4. Nawy, Edward G & Suryoatmono, Bambang. 2001. *Beton Prategang, Edisi Ketiga Jilid 2*. Jakarta.
5. VSL International LTD. 2010. *VSL Post-Tensioning Solution*. France.