

ABSTRAK

Jembatan beton umumnya dipilih untuk membangun jembatan dengan bentang pendek karena sesuai sifat strukturnya yang kuat menahan gaya tekan namun lemah dalam menahan gaya tarik. Perkembangan teknologi menemukan cara untuk mengatasi kelemahan beton, yaitu dengan cara memberikan tegangan pada beton melalui tendon-tendon baja yang biasa disebut dengan beton prategang. Salah satu jenis gelagar yang umum digunakan untuk pembangunan jembatan maupun *flyover* adalah *box girder*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan penampang yang efektif untuk diaplikasikan pada pembangunan jembatan atau *flyover* dari tiga variasi *box girder*. Tiga variasi *box girder* ini memiliki luasan dan jumlah tendon yang sama, agar hasil dari penelitian ini bisa di bandingkan. Metode penelitiannya adalah metode pengolahan dan menganalisis data dengan *microsoft excel*, Hasil analisis hitungan dari perbandingan nilai tegangan (kondisi awal, akhir dan akibat pembebebanan) yang memiliki nilai tegangan maksimum adalah penampang tipe 3. Sedangkan nilai *defleksi* atau lendutan (kondisi akhir, kehilangan tegangan dan akibat pembebanan) terkecil pada penampang tipe 3.

Kata kunci: jembatan, *flyover*, *box girder*, beton prategang, tendon, lendutan.

ABSTRACT

Concrete bridges are chosen to build bridges with short spans because the properties strong concrete structures for compressive force, but weak in resisting tensile forces. The new technology have way to resolve the weakness of concrete, that is with gives tension to the concrete through a strands that is called prestressed concrete. One of common girder used to build bridges or flyovers is the box girder. The present study aims to get an effective cross section of box girder variation to be applied on bridge construction. Three variations of this box girder have the same area and number of strands, so the result of this study can be compared. This study method is processing and data analysis with microsoft excel. The results of the stress values (initial condition, final condition and effect of the load) has a maximum prestressed values is box girder type 3, meanwhile on deflection values (initial condition, final condition and effect of the load) minimum values is box girder type 3.

Key words: bridges, flyover, box girder, prestressed concrete, strands, deflection.

BAB I.

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan zaman yang semakin maju terlihat pada pembangunan gedung dan berbagai infrastruktur lainnya. Perkembangan zaman ini membawa pada perkembangan teknologi yang semakin maju. Indonesia adalah salah satu Negara berkembang yang terus meningkatkan perekonomian dan memperbaiki berbagai konstruksi dan infrastrukturnya sehingga pembangunan akan terus bertambah. Salah satu bangunan yang akan terus berkembang adalah jembatan.

Konstruksi jembatan dibangun untuk menghubungkan wilayah yang dibatasi sungai, lembah yang dalam, danau, saluran irigasi, laut, hingga melintasi jalan atau lalu lintas padat (*flyover*) agar mobilisasi tetap berlangsung. Jenis-jenis jembatan berdasarkan materialnya yaitu; jembatan kayu, jembatan beton, jembatan baja, dan jembatan komposit. Pemilihan material tersebut berdasarkan kebutuhan dan biaya yang ada, karena setiap material tersebut mempunyai kekurangan dan keunggulan masing-masing.

Jembatan beton banyak dipilih untuk pembangunan bentang pendek karena sesuai sifat beton yang berat dan kaku sehingga kuat dalam menahan gaya tekan sedangkan lemah menahan gaya tarik, sehingga jembatan beton banyak dipilih untuk bentang 4-25 m. Pelaksanaan jembatan beton masih membutuhkan waktu relatif lama dan jumlah pekerja yang lebih banyak. Untuk mengatasi kelamahan jembatan beton yang lemah terhadap gaya tarik dan memerlukan pekerjaan yang lebih lama, digunakan teknologi baru yaitu beton yang diberikan tegangan (beton prategang). Beton prategang (*Prestressed concrete*) yaitu beton struktural dimana tegangan dalam diberikan untuk mereduksi tegangan tarik potensial dalam beton yang dihasilkan dari beban (BSN, 2013). Gaya prategang yaitu gaya tekan yang memberikan tegangan pada penampang disepanjang bentang suatu elemen struktural sebelum bekerjanya beban mati dan beban hidup transversal atau beban hidup horizontal transien (Nawy, 2001).

Beton prategang digunakan untuk meminimalisir waktu pekerjaan karena dalam proses pembuatan beton prategang dapat dilaksanakan diluar proyek (*precast*

concrete). Beton prategang juga untuk mengatasi kelemahan beton yang lemah terhadap gaya tarik, metode beton prategang yang diberikan tegangan melalui baja-baja dalam kabel sehingga beton mencapai tegangan ultimit yang diinginkan dan mampu menahan gaya tarik dengan baik.

Girder merupakan salah satu contoh beton prategang yang sering diaplikasikan pada pembangunan jembatan. Beberapa jenis girder berdasarkan bentuk penampangnya adalah *I-girder*, *T-girder* dan *box girder*. *I-girder* memiliki bentuk yang padat dan menyerupai huruf I. *T-girder* juga memiliki bentuk yang padat dan menyerupai huruf T, sedangkan *box girder* memiliki bentuk trapesium yang memiliki rongga yang cukup lebar di penampangnya.

Box girder sering diaplikasikan pada konstruksi *flyover* (jembatan layang) yang memiliki bentang panjang hingga 50 m. Penelitian Tugas Akhir ini menganalisis tiga bentuk penampang *box-girder* yang memiliki luasan yang sama untuk dianalisis nilai tegangan dan lendutannya. *Box girder* termasuk kedalam struktur bagian atas jembatan (*superstructures*) yang menerima beban langsung dari atas jembatan yang terdiri dari beban sendiri, beban mati tambahan, beban lajur, beban pejalan kaki, gaya rem, beban angin dan beban gempa. Selanjutnya dari nilai lendutan dan nilai tegangan tersebut diperoleh satu bentuk penampang yang efisien. Satu penampang yang efisien dari ketiga bentuk *box girder* ini diharapkan mampu memberikan pilihan bentuk yang tepat untuk para perancangan jembatan dan membantu menganalisis nilai tegangan dan lendutannya.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini terangkum dalam pertanyaan sebagai berikut ini.

1. Berapakah total kehilangan prategang (*Loss of Prestressed*) pada setiap penampang *box girder*?
2. Bagaimana hasil dari analisis tegangan dan analisis lendutan atau defleksi dari setiap tipe penampang *box gider*?
3. Bagaimana hasil penampang yang paling efektif untuk diaplikasikan pada konstruksi jembatan atau *flyover*?

1.3. Lingkup Penelitian

Lingkup penelitian dari analisis beton prategang dengan variasi *box girder* yang memiliki luasan dan jumlah tendon yang sama terhadap nilai tegangan, lendutan dan kehilangan prategang. Penyusunan permasalahan ini akan dibatasi sampai dengan batasan-batasan antara lain sebagai berikut:

1. Analisis hanya menggunakan tiga penampang berjenis *box girder*.
2. Benda uji balok beton prategang menggunakan tipe K-500 dengan luasan 6,26 m² dengan jenis *strands Uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 grade 270* dengan jumlah *strands* yang telah ditentukan.
3. Perhitungan analisis hanya mencari besaran tegangan, lendutan dan kehilangan prategangn dari setiap penampang dengan menggunakan *Microsoft Excel*.
4. Beban susut dan rangkai pada pembebanan jembatan diabaikan
5. Perhitungan tulangan geser dan longitudinal tidak diperhitungkan.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah untuk menghitung:

1. total kehilangan prategang (*Loss of Prestressed*).
2. nilai dari hasil analisis tegangan dan analisis lendutan atau defleksi dari setiap tipe penampang *box girder*.
3. variasi penampang yang paling efektif untuk diaplikasikan pada konstruksi jembatan atau *flyover*.

1.5. Manfaat Penelitian

Berikut adalah manfaat yang diharapkan dapat tercapai setelah melakukan penelitian Tugas Akhir ini yaitu sebagai berikut ini.

1. Penerapan ilmu teknik sipil secara langsung dilapangan khususnya pada jembatan prategang.
2. Memberikan kepada tenaga ahli dalam menentukan bentuk *box girder* yang akan digunakan dalam jembatan maupun *fly over*.
3. Memberikan pengetahuan untuk umum tentang penerapan dan contoh perhitungan beton prategang khususnya bentuk penampang *box girder*.

BAB II.

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang balok prategang telah banyak diteliti oleh beberapa peneliti diantaranya seperti penelitian tentang perencanaan struktur beton prategang yang diaplikasikan pada beberapa konstruksi jembatan (Wicaksono dkk., 2016; Nurrianto dkk., 2013; Hardwiyono dkk., 2015; Hidayat dkk., 2014). Menganalisis kekuatan balok prategang pada konstruksi jembatan maupun *flyover* (Meidiansyah dkk., 2016; Hady dkk., 2017; Putra dkk., 2017). Menganalisis tegangan dan deformasi struktur jembatan (Setyawan dan Sulistiyo, 2013). Studi parametrik pengaruh kuat tekan beton dan gaya prategang awal pada balok prategang (Syaifulah dkk., 2016). Efektifitas beton prategang menggunakan tulangan limbah ban dan meneliti kekuatan beton prategang dan membandingkannya dengan beton biasa prategang (Martoyo, 2017).

2.1.1. Penelitian Terdahulu tentang Perencanaan dan Pengaplikasian Beton Prategang

Menurut Wicaksono dkk. (2016) tentang perencanaan jembatan *slab on pile* pada Sungai Brantas pada Proyek Tol Solo – Kertosono Sta. 176+050 – Sta. 176+375 menghitung dan membandingkan tegangan yang terjadi dengan tegangan izin yang ditetapkan, perencanaan berdasarkan kekuatan batas layan (teori kekuatan elastik). Apabila terjadi tegangan yang lebih kecil dari tegangan izin maka dinyatakan aman. Perencanaan yang didasarkan batas layan ini, untuk mengantisipasi batas layan (tegangan kerja, momen retak dan deformasi permanen). Batasan tegangan yang telah ditentukan dan diijinkan pada struktur beton prategang serta rumus perhitungan tegangan berdasarkan kekuatan batas layan dalam standar Bina Marga tahun 2011. Pemodelan dan analisis struktur dalam penelitian ini dilakukan 3 tahap, pertama struktur sudah berfungsi, kedua saat pengangkatan elemen pelat pracetak prategang dan yang terakhir pada saat pemasangan elemen pelat pracetak prategang. Analisis struktur pada penelitian ini menggunakan

bantuan SAP2000. Beban-beban direncanakan pada struktur jembatan *slab on pile* diperhitungkan dengan tata cara pembebanan yang tercantum pada SNI T-02-2005. Elemen plat jembatan yang direncanakan menggunakan plat pracetak jenis *full slab* penulangan prategang. Sistem penulangan prategang bertujuan menahan momen positif di daerah lapangan, sedangkan momen negatifnya bertujuan menahan di daerah tumpuan dan ditahan oleh sistem penulangan *konvensional*. Berdasarkan hasil analisis penelitian struktur jembatan *slab on pile* pada sungai Brantas diperoleh tebal rencana seluruh *full slab* sebesar 350 mm. Untuk momen positifnya menggunakan 14 *strand* dengan diameter 12,7 mm serta tambahan 14 tulangan D13. Sedangkan untuk menahan momen negatifnya digunakan tulangan yaitu 18 D25 + 18 D16. 3. Tulangan susut arah melintang pelat menggunakan tulangan diameter 13 dan jarak 200 mm.

Menurut Nurrianto dkk. (2013) tentang perhitungan perancangan jalan layang akses terminal A Mangkang Semarang. Jalan layang ini dibangun untuk memperlancar arus lalu lintas menuju dan dari terminal A Mangkang tanpa mengganggu lalu lintas pada jalan Urip Sumoharjo. Perencanaan jembatan layang ini dimulsi dari tahap persiapan data selanjutnya pengumpulan data (data primer dan sekunder). Data primer meliputi data hasil pengamatan langsung dilapangan, sedangkan data sekunder (LHR, topografi, data tanah, geometri dan alinyemen) yang didapatkan dari instansi terkait. Dilanjutkan perhitungan detail jembatan. Desain kontruksi jembatan layang yaitu direncanakan menggunakan beton prategang pracetak dengan lantai dari beton bertulang, dengan bentang 52 m. kontruksi ditumpu abutmen pada kedua ujungnya yang terbuat dari beton bertulang. Setiap segmen gelagar memiliki panjang 6 m, sehingga satu bentang jembatan terdiri dari enam segmen. Lebar jalur untuk lalu lintas 2 x 3,5 m, kontruksi jalannya menggunakan plat beton yang permukaannya dilapisi aspal setebal 20 cm. Dua buang pengaman selebar 0,2 m.

Menurut Meidiansyah dkk. (2016) tentang analisis *box girder fly over* Rawabuaya sisi barat terhadap gempa. Jalur Cengkareng-Kembangan adalah jalur distribusi barang, perlintasan menuju Bandara Internasional Soekarno Hatta maupun sebaliknya. Lambat laun kemacetan sering terjadi sehingga solusi yang diberikan pemerintah setempat adalah membangun jembatan *fly over* Rawabuaya.

Pembebanan *fly over* Rawabuaya mengacu pada RSI T-02-2005. Beban gempa merupakan salah satu beban yang sangat bahaya bagi suatu struktur. Oleh karena itu dilakukan penelitian untuk menganalisis ketahanan terhadap gempa pada jembatan Rawabuaya yang mengacu pada RSNI 03-1726-2010 dan peta zonasi Gempa Indonesia tahun 2010. Tahapan pelaksanaan dalam penelitian ini dilakukan tiga tahap, yaitu pemodelan komputer, pembebanan pada pemodelan komputer dan kontrol gaya dalam. Pemodelan komputer dibantu menggunakan program komputer *Csi Bridge 15* yaitu program komputer yang dibuat khusus oleh *Computer and struktur, Inc* yang khusus dimodelkan untuk analisis jembatan. Tahap kontrol gaya dalam untuk membandingkan nilai dari analisis struktur permodelan komputer yaitu gaya dalam maksimum dari hasil kombinasi beban ultimit dengan nilai gaya dalam nominal. Tata cara kontrol gaya dalam ini mengacu SNI 03-2847-2002 “Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung” dan SNI T-12-2004 “Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan”. Kontrol gaya dalam ini meliputi gaya aksial, gaya geser dan momen, nilai dari hasil analisis berturut-turut adalah 191132 kN; 85636,3 kN; dan 640142 kNm. Terdapat 29 kombinasi dengan sembilan beban ultimit yang bekerja pada struktur *box girder*. Nilai maksimum tersebut terjadi pada COMB 5 (1, 2, 3, 4). Adanya kombinasi arah x dan y pada beban gempa menyebabkan struktur beban lebih besar hingga dua kali lipat tanpa beban gempa. Hasil perbandingan gaya-gaya dalam maksimum pada kombinasi beban ultimit dengan gaya-gaya dalam nominal menunjukkan jembatan Rawabuaya memiliki beban gempa dengan selisih 10% , yang artinya struktur dapat menahan 90% beban gempa ultimit. Sehingga perlu tambahan tulangan-tulangan pada *box girder* untuk menambah kekuatan tekan beton dan tambahan tendon untuk menambah kekuatan tarikan beton.

Menurut Hady dkk. (2017) tentang tinjauan ulang *two cell box girder* beton prategang pada perencanaan pembangunan *fly over* di Kota Banda Aceh. Rencana pembangunan *fly over* ini merupakan alternatif yang sangat tepat dalam mengatasi kemacetan lalu lintas yang disebabkan dari pola pergerakan yang terjadi di simpang Surabaya yang belum terbagi secara jelas. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau ulang *two cell box girder* dari momen dan lendutan (segi keamanan), volume beton dan luasan penampang *box girder* (segi ekonomis) terhadap kapasitas daya dukung

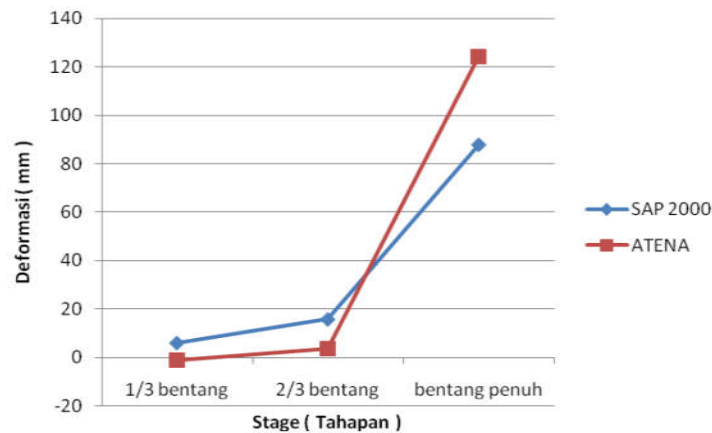
beban lalu lintas. Kekuatan batas yang digunakan dalam menganalisis hubungan momen dan kelengkungan adalah hasil perkiraan dari peraturan ACI (318-11). Momen batas sesuai dengan adanya regangan yang menyebabkan kehancuran (biasanya 0,003 mm/mm) atau regangan baja yang mematahkan tendon (sekitar 5% untuk baja prategang). Struktur *flyover* dimodelkan struktur menerus tiga bentang, kemudian dilakukan perhitungan pembebanan di dasarkan pada SNI 1725 2016. Setelah *fly over* aman, selanjutnya dilakukan pembebanan secara bertahap dengan meningkatkan beban lalu lintas (beban lajur “D”) hingga *fly over* tersebut hancur (melampaui kapasitas momen lentur *box girder* dengan meninjau momen kelengkungan *box girder*). Distribusi momen akibat kombinasi beban ultimit maksimum didapatkan sebesar 134638,3 kNm, sedangkan dari analisis momen kelengkungan didapatkan kapasitas momen ultimit sebesar 211679,11 kNm. Sehingga rasio kapasitas momen lentur ($M_u/\phi M_n$) didapat $0,71 \leq 1$, jadi disimpulkan momen letur pada penampang *two cell* akibat beban ultimit masih memenuhi persyaratan. Lendutan akibat kombinasi pembebanan adalah $0,009064 \text{ m} < L/250$ (SNI T-12-2004) = $45/250 = 0,18 \text{ m}$, jadi penampang *two cell* aman. Rasio kapasitas geser kondisi ultimit masih memenuhi persyaratan $V_u/\phi V_n < 1$ disepanjang bentang balok.

Menurut Setyawan dan Sulistyono (2012) tentang analisis non linier tegangan dan deformasi struktur jembatan beton prategang pada tahap konstruksi dengan metode *balanced cantilever* melanjutkan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, penelitian tersebut tentang jembatan segmental beton prategang metode *balanced cantilever* dengan analisis *elastic linier* dengan menggunakan program SAP2000. Hasil analisis program SAP2000 diperoleh gaya-gaya dalam, yang kemudian digunakan sebagai dasar perhitungan dalam menentukan tegangan yang terjadi, hasil analisis ini tidak bisa diketahui perilaku strukturnya. Untuk 42 perilaku struktur jembatan segmental beton prategang tersebut, pendekatan analisis secara numerik dapat menggunakan analisis non linier elemen hingga menggunakan program ATENA. Penelitian dilakukan mulai dari pemodelan *box girder* struktur atas jembatan, beton bertulang dengan kabel prategang sesuai dengan data-data dari lapangan dengan material properties sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Material beton menggunakan

kuat tekan 41,5 MPa, tipe *stand prestress* menggunakan *7 Wire Lox Relaxation*, banyaknya strand di tendon adalah *19 strand*. Jembatan yang dimodelkan setengah bentang yang terdiri dari 13 segmen yang masing-masing segmen mempunyai dimensi dan umur yang berbeda-beda. Pada pemodelan numerik dengan program ATENA dari setengah bentang tersebut *box girdernya* dimodelkan hanya setengah penampang *box girder*. Hasil nilai tegangan yang terjadi dari kedua program memiliki perbedaan karena perbedaan pendekatan model analisis. Pada program SAP2000 (analisis *linier elastic*) di peroleh analisis berupa momen kemudian untuk memperoleh nilai tegangannya dihitung secara manual. Sedangkan program ATENA (analisis *non linier*) dapat menghasilkan *output* nilai tegangan yang terjadi setiap nodal elemen. Hasil analisis pada Tabel 2.10 mengenai deformasi (lendutan) tampak jelas perbedaannya pada tinjauan 1/3 bentang hasil program SAP 2000 mengalami deformasi ke bawah sedangkan pada program ATENA *box girder* mengalami deformasi ke atas. Pada hasil analisis beban runtuh terlihat pada Gambar 2.6, setelah pembebanan mencapai 360 kN dan lendutan mencapai 180 mm model struktur atas *box girder* mengalami keruntuhan. Sedangkan untuk hasil pola retak, retak pertama terjadi pada pembebanan 270 kN, meningkatnya pembebanan hingga 360 KN struktur *box girder* mengalami keruntuhan. Kegagalan tersebut merupakan kegagalan lentur sesuai dengan pola retaknya terjadi di sepanjang daerah lentur atau di sepanjang bidang momen. Sedangkan pola retak pada suatu tempat yang menahan gaya geser paling besar disebut kegagalan geser. Pola retak yang terjadi sebagian besar berada pada daerah tumpuan jepit dibagian sayap dan badan atas yang berarti menunjukkan kegagalan akibat momen lentur negatif.

Tabel 2.1 Perbandingan tegangan hasil penelitian - pangkal segmen 1
(Setyawan dan Sulistyono, 2012)

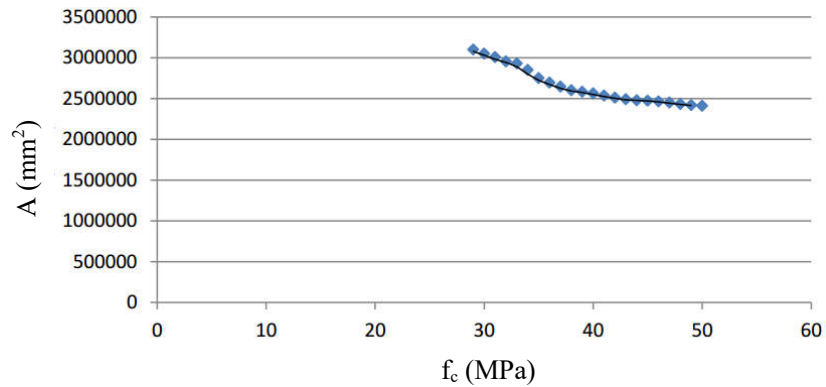
<i>Stage</i> (Tahapan)	SAP2000		ATENA	
	Teg. Atas (MPa)	Teg. Atas (MPa)	Teg. Atas (MPa)	Teg. Atas (MPa)
1/3 bentang	-2,804	-1,574	-14,412	-1,29
2/3 bentang	-0,627	-6,777	-2,98	-5,899
Bentang penuh	4,227	-14,412	4,321	-16,57



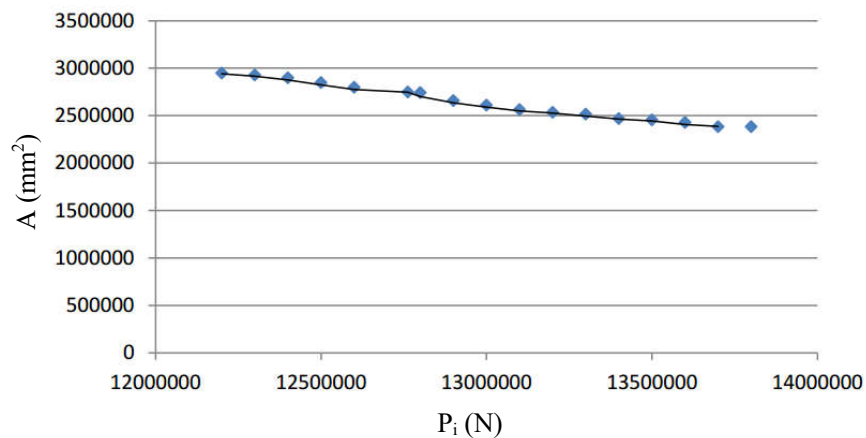
Gambar 2.1 Perbandingan deformasi (Setyawan dan Sulisty, 2012)

Menurut Syaifullah dkk. (2016) tentang studi parametrik pengaruh kuat tekan beton dan gaya prategang awal pada balok beton prategang (studi kasus Hotel Alila, Surakarta). Penelitian ini meneliti cara untuk meminimalkan usaha yang nantinya dibutuhkan atau dengan memaksimalkan keuntungan, disebut teknik optimasi. Dalam desain perancangan sistem struktur, harus memiliki teknik dan juga strategi pelaksanaan dalam tahap langkahnya. Proses optimasi ini memakan waktu lama, namun dapat disederhanakan menggunakan program komputer. Optimasi desain bertujuan meminimalkan fungsi (harga). Parameter tertentu yang berhubungan dengan optimasi pada beton prategang seperti f_c' dan P_i . Penelitian ini, juga bertujuan mengkaji lebih jauh tentang pengaruh f_c dan P terhadap teknik optimasi yang diaplikasikan dalam balok beton prategang. Metode penelitian yang digunakan yaitu metode perencanaan dan perhitungan. Data awal diperoleh dari proyek Hotel Alila Surakarta. Elemen yang dikaji yaitu elemen balok prategang bentang 42 m. tegangan ijin yang digunakan SNI 7833 2012 dan SNI 2847 2002. Setelah analisis perhitungan selanjutnya dengan program MATLAB 2012b, dengan nilai f_c 35 Mpa dan P_i 12.762.386 N diperoleh nilai A 2.750.360 mm² dari nilai A awal 3.000.000 mm². Berdasarkan hasil pada Gambar 2.2, diperoleh bahwa nilai A berbanding terbalik dengan nilai f_c . Apabila nilai P meningkat maka nilai A menurun. Ketika nilai A menjadi mendatar, diambil nilai asumsi f_c optimum 47 MPa dengan A 2.451.610 mm². Berdasarkan hasil grafik pada Gambar 2.3 diperoleh bahwa nilai A berbanding terbalik dengan nilai P . Apabila nilai P meningkat maka nilai A akan menurun. Ketika nilai A menjadi konvergen atau mendatar, diambil

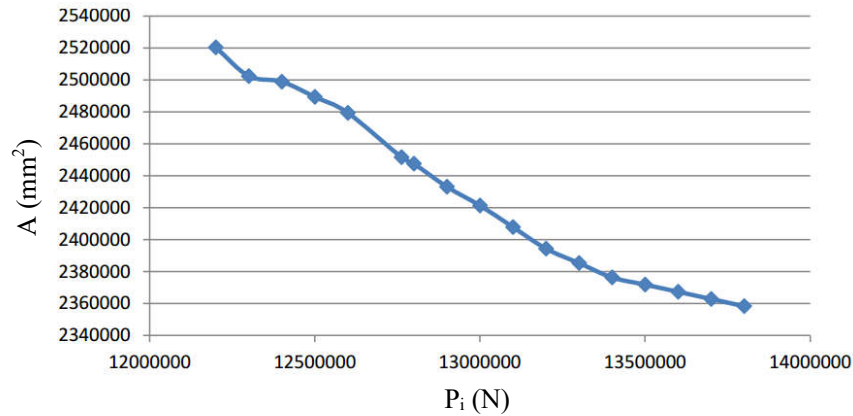
niali asumsi P_i . Berdasarkan grafik pada Gambar 2.4 diperoleh hasil yaitu nilai A berbanding terbalik dengan nilai P . Menggunakan nilai f_c optimum sehingga diperoleh nilai A terbesar 2.362.860 mm². Kesimpulan dari penelitian ini yaitu diperoleh nilai dimensi baru yang lebih optimal, nilai f_c dan P yang sama yaitu dengan luas 2,835 m² dan keuntungannya sebesar 8,330% dari dimensi awal penampang.



Gambar 2.2 Perbandingan optimasi antara parameter f_c dan luas penampang (A) dengan nilai $P_i = 12.762.386$ N (Syaifullah dkk., 2016)



Gambar 2.3 Perbandingan optimasi antara parameter f_c dan luas penampang (A) dengan nilai $P_i = 12.762.386$ N (Syaifullah dkk., 2016)



Gambar 2.4 Perbandingan Optimasi antara Parameter Gaya prategang (P) dan Luas Penampang (A) dengan $f_c = 47$ MPa (Syaifullah dkk., 2016)

Menurut Maryoto (2017) tentang pengaruh panjang sambungan pada beban prategang segmental bertulang limbah ban menganalisis efektifitas beton prategang menggunakan tulangan limbah ban dan meneliti kekuatan beton prategang dan membandingkannya dengan beton biasa. Jumlah limbah ban yang semakin melimpah disebabkan karena peningkatan perekonomian secara nasional, menyebabkan jumlah kendaraan motor semakin meningkat. Kenyataan ini menimbulkan dampak pada limbah ban kendaraan, menimbulkan jumlah limbah semakin banyak. Mengacu pada keunggulan durabilitas pada limbah ban yang baik dan memiliki nilai elastisitasnya yang besar, limbah ban sangat baik untuk digunakan sebagai penahan lentur pada beton bertulang. Jenis pengujian yang dilakukan pengujian lentur dengan menggunakan metode *third point loading*. Material yang digunakan yaitu limbah ban, semen, batu pecah, pasir dan air, angkur dari baja, angkur dari kayu dan angkur dari paku. Panjang sambungan meliputi 0 cm, 10 cm, 15 cm. Balok beton pracetak segmental sepanjang 50 cm digabung dengan segmental lainnya. Alat penyambung berupa tulangan polos diameter 8 cm dan diameter baut pengunci 8 cm. Jumlah penyambung segmental sebanyak 4 buah. Jumlah tulangan limbah ban yang ditarik berjumlah 10 buah di tarik dengan gaya P sehingga meregang sebesar 40%. Hasil dari proses penyambungan tidak terjadi secara sempurna sehingga balok beton dari sambungan segmental menjadi bengkok. Kegagalan pertama kali terjadi pada sambungan antar ujung segmen beton. Hasil dari pengujian lentur balok beton tanpa tulangan mempunyai kuat lentur maksimal 15 kN, setelah kuat lentur maksimal tercapai balok tersebut

mendadak patah. Sedangkan balok prategang yang mempunyai kuat lentur segmental bertulangn limbah ban, mempunyai kuat lentur 4,5 kN hingga 7 kN setelah beban maksimum tercapai, beton prategang ini masih mempunyai kekuatan sisa untuk menahan beban eksternal kurang lebih 1 kN. Metode sambungan yang dicoba tidak layak pakai, karena kuat lentur beton prategangnya lebih kecil bila dibandingkan balok beton tanpa sambungan.

Menurut Hardwiyono dkk. (2013) tentang perancangan ulang struktur atas jembatan Gajah Wong Yogyakarta dengan *box girder*. Panjang bentang jembatan yaitu 40 m, jembatan ini dibangun untuk menaikkan pendapatan ekonomi warga sekitar, mendukung aktifitas lalu lintas area jembatan di jalan Selokan Mataram, menghubungkan area Seturan dengan Jalan Gejayan. Jembatan ini menggunakan tipe *I girder*, tetapi di dalam penelitian mengacu pada *Bridge Management System* (BMS, 1992). Penelitian ini menggunakan *Excel* dalam menganalisis struktur dan pembebanan, *AutoCAD 2010* untuk gambar desain jembatan. Metode penelitian dimulai dengan mengumpulkan data jembatan, penentuan spesifikasi jembatan. Selanjutnya perhitungan beban-beban mengacu pada peraturan *Bridge Management System* (BMS, 1992). Dari hasil perancangan jembatan Gajah Wong didapatkan tegangan pada saat kondisi layan (akhir) pada serat atas sebesar $f_t = 12,597 \text{ MPa} < f_{cs} = -22,5 \text{ MPa}$ dan pada serat bawah $f_b = -2,527 \text{ MPa} < f_{cs} = -22,5 \text{ MPa}$, jadi dapat disimpulkan bahwa struktur beton prategang box girder dinyatakan aman karna telah memenuhi syarat.

Menurut Hidayat dan Chayati (2014) tentang perencanaan beton prategang pada struktur atas jembatan Cinangneng. Jembatan Cinangneng merupakan jembatan yang dibangun untuk meningkatkan kelancaran lalu lintas dan aktivitas perekonomian di Kabupaten Bogor. Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh dimensi, jarak tulangan beton pada plat, trotoar serta menghitung nilai lendutan dan tegangan akibat pembebanan pada gelagar beton prategang. Jenis pembebanannya terdiri dari beban primer (beban mati, beban mati tambahan, beban hidup yang terdiri dari beban lajur "D" beban terbagi merata (UDL), beban truk "T", dan faktor beban dinamis), beban sekunder (gaya rem, beban angin, dan beban gempa). Hasil analisis dimensi dan jarak tulangan beton yaitu semakin besar kebutuhan tulangan

dan semakin sedikit luasan tulangan yang digunakan maka jarak antar tulangan akan semakin panjang, begitu juga sebaliknya. Diperoleh nilai tegangan pada kondisi awal sebesar -2384,088 kPa pada serat atas dan -23536,800 pada serat bawah dan nilai lendutan sebesar -0,04775 m. pada kondisi kehilangan tegangan diperoleh nilai tegangan sebesar -3625,64 kPa pada serat atas dan 19141,179 kPa pada serat bawah serta lendutannya sebesar -0,03501 m. Tegangan yang terjadi pada saat balok telah komposit, pada kombinsai pembebanan yaitu 22065,750 kPa, sedangkan nilai lendutannya sebesar 0,140 lebih kecil dari lendutan yang diijinkan yaitu $L/300$.

Menurut Iqbal dkk. (2017) tentang Kinerja target beton pratekan terhadap dampak proyektil. Tujuan penelitian percobaan ini untuk mengeskplorasi pengaruh yang mungkin terjadi dari besar ya pratekan kapasitas penyerapan energi beton prategangn terhadap dampak proyektil. Sampel plat beton prategang terdiri dari 60, 80 dan 100 mm dan dikenakan dampak oleh 1 kg proyektil baja pada kecepatan kejadian normal mendekati batas balistik. Prategang awal 10 dan 20% telah diinduksi dalam target melalui kawat baja pra tegangan berdiameter 4 mm kekuatan tinggi (1646 MPa). Untuk mendapatkan perilaku beton prategang lebih lanjut percobaan ini menggunakan simulasi elemen hingga ABAQUS. Simulasi selanjutnya dilakukan dengan menggunakan model Holmquist Johnson Cook untuk beton dan model Johnson Cook elasto-viscoplastic untuk penguatan dan tendon pratekan. Simulasi elemen hingga secara akurat mereproduksi kuantitas dan kualitas kerusakan di tiga beton (60, 80 dan 100 mm) memprediksi batas balistik dengan deviasi maksimum 11% dari batas balistik yang sebenarnya.

Menurut Putra dkk. (2017) tentang perbandingan penggunaan PCU dan PCI *girder* pada jembatan Jurang Gempal di daerah Wonogiri. Jembatan Jurang Gempal melintasi sungai Bengawan Solo yang merupakan sarana utama pada transportasi di Kabupaten Wonogiri yang menghubungkan jalan provinsi ke arah Pacitan, Jawa Timur. Material utama jembatan ini adalah baja, karena konstruksi baja memerlukan pemeliharaan secara rutin dari korosif sehingga biayanya pemeliharaannya tidak sedikit. Pada penelitian ini dikaji perbandingan penggunaan materail beton yaitu PCU dan PCI *girder* pada struktur atas jembatan tersebut. Tahap awal penelitian ini adalah dengan survey lokasi jembatan untuk mengumpulkan data yang selanjutnya didesain dengan tipe *girder* PCU dan PCI.

Selanjutnya menganalisis pembebanan, perencanaan struktur atas jembatan berupa dinding pagar tepi, plat lantai dan merencanakan balok girder. Pembebanan penelitian ini mengacu pada peraturan RSNIT-02-2005. Analisis struktur pada menggunakan bantuan program SAP 2000 v.11 dan *Ms. Excel* 2013. Hasil desain dinding pagar tepi yaitu tinggi 1 meter dan tebal 0,42 meter. Tulangan susut digunakan D13-190 sedangkan tulangan gesernya $\emptyset 6$ -300. Plat lantai kendaraan menggunakan tulangan arah x D16-120 sedangkan arah y D16-250. Sedangkan untuk plat injak menggunakan tulangan pokok arah x D16-250 sedangkan arah y D16-150. Hasil perhitungan dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan PCI *girder* lebih hemat karena luasan yang diperoleh 3,76 m² sedangkan PCU *girder* 5,12 m². Jumlah tendon yang dibutuhkan PCU *girder* sebanyak 32 buah sedangkan PCI *girder* sebanyak 20 buah dengan jenis *strand* yang digunakan ASTM A-416 grade 270. Jumlah tulangan geser dan tulangan utama pada PCU *girder* lebih banyak dari PCI *girder* sehingga penggunaan PCU *girder* lebih mahal.

Menurut Ronanki dkk. (2017) tentang percobaan dan analisis dari penyelidikan retak zona akhir pada BT-78 *Girder*. Beberapa akhir tahun ini, para perancang lebih tertarik untuk meningkatkan jumlah tendon prategang pada gelagar jembatan bentang panjang. Penambahan jumlah tendon ini menyebabkan masalah retak pada zona akhir girder prategang yang berdampak pada kapasitas desain retak yang berlebihan. Percobaan ini dilakukan dalam sebuah proyek yang didanai oleh Alabama departemen transportasi (DOT) yang memiliki panjang 180 kaki (54,864 meter) dengan menggunakan *girder Bulb-Tee* dengan tebal girder 78 inci. Penelitian ini pertama dievaluasi menggunakan model 3D (FEM) yang dikembangkan oleh ABAQUS. Selanjutnya, dipantau tekanan kritisnya selama penahanan empat girder dengan skala penuh 54 kaki (16,459 meter) dengan zona akhir yang berbeda-beda. Untuk desain balok T dengan SCC ini direkomendasikan untuk menggunakan nilai yang direkomendasikan oleh AASHTO. Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa penguat akhir zona yang dirancang sesuai dengan persyaratan AASHTO saat ini, dikombinasikan dengan *draping* dan *debonding* (pelepasan) yang lebih rendah akan menghilangkan retak zona akhir di BT-78 girder.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Prinsip Dasar Beton Prategang

Beton adalah material yang kuat dalam menahan tekan, dan lemah dalam menahan tarikan. Karena rendahnya beton dalam menahan gaya tarik maka retak lentur dapat terjadi pada pembebanan yang masih rendah. Usaha yang dilakukan untuk mengurangi terjadinya retak tersebut yaitu dengan memberikan gaya arah longitudinal yang disebut dengan gaya prategang. Akibat dari gaya ini penampang dapat berperilaku elastis yaitu meningkatkan kapasitas lentur, geser dan torsional penampang sehingga mampu mencegah perkembangan retak tersebut.

Menurut Nawy (2001) menyatakan bahwa tegangan tekan di penampang balok persegi panjang yang ditumpu sederhana mengalami gaya prategang P *kosentris* pada Gambar 3.1(a) adalah seragam dan mempunyai intensitas:

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

dimana $A_c = bh$ adalah luas penampang balok dengan lebarnya b dan tingginya h . Tanda minus digunakan untuk tekan dan plus untuk tarik. Jika beban tranfersal bekerja di balok yang menimbulkan momen M di tengah bentang, maka tegangan pada serat atas menjadi:

$$f^t = -\frac{P}{A} - \frac{MC}{I_g} \dots\dots\dots (2.2a)$$

dan tegangan pada serat bawah menjadi :

$$f_b = -\frac{P}{A} + \frac{MC}{I_g} \dots\dots\dots (2.2b)$$

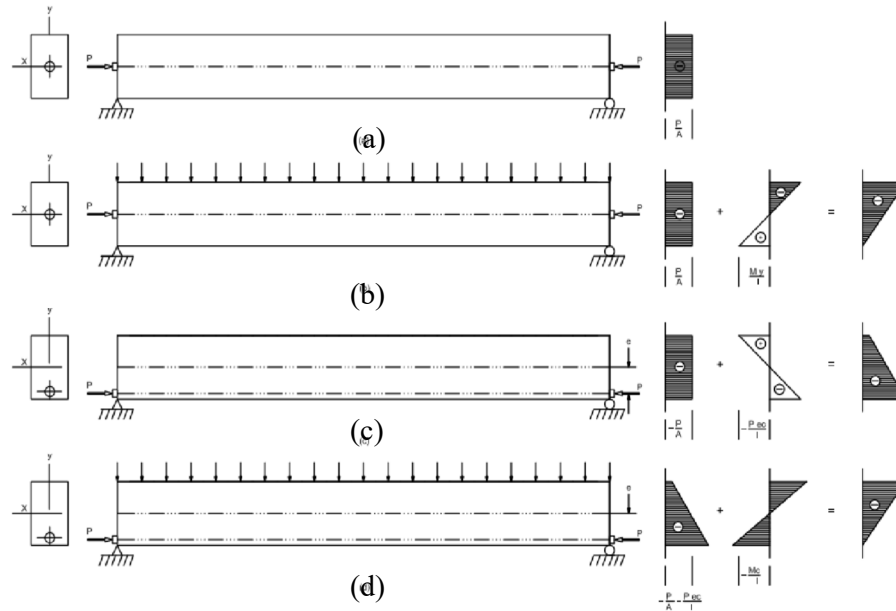
dengan: f^t = tegangan di serat atas

f_b = tegangan di serat bawah

c = $h/2$, untuk penampang persegi panjang

I_g = $bh^3/12$, untuk momen inersia bruto penampang

Persamaan 1.2b tersebut menunjukkan adanya tegangan tekan prategang $-P/A$ mengurangi tegangan lentur tarik Mc/l . Sedangkan Persamaan 1.2a tegangan tekan di serat atas balok digabungkan terhadap tegangan akibat pembebanan Mc/l , seperti terlihat pada Gambar 2.5(b). Dengan demikian dengan memberikan tegangan *kosentris*, kemampuan tegangan tekan balok menahan beban luar akan menjadi jauh berkurang. Beberapa jenis distribusi tegangan serat beton pada balok persegi panjang dengan tendon lurus.



Gambar 2.5 Distribusi tegangan serat beton pada balok persegi panjang dengan tendon lurus. (a) Tendon kosentris, hanya prategang. (b) Tendon kosentris, berat sendiri ditambahkan. (c) Tendon eksentris, hanya prategang. (d) Tendon eksentris, berat sendiri ditambahkan (Nawy, 2001)

Untuk menghindari kapasitas tegangan tekan yang menjadi jauh berkurang, tendon prategang diletakkan secara eksentris dibawah sumbu netral (ditengah bentang), agar timbul tegangan tarik di serat atas akibat prategang, seperti terlihat dalam Gambar 2.5(c) dan (d). Jika tendon diletakkan eksentris maka timbul momen Pe dan tegangan di tengah bentang menjadi:

$$f^t = -\frac{P}{A} + \frac{Pec}{I_g} - \frac{MC}{I_g} \dots\dots\dots(2.3a)$$

$$f^b = -\frac{P}{A} - \frac{Pec}{I_g} + \frac{MC}{I_g} \dots\dots\dots (2.3b)$$

Penampang tumpuan balok yang ditumpu balok sederhana ini tidak memikul momen akibat beban luar transversal, maka tegangan serat tarik yang terbesar di serat atas akibat gaya prategang eksentris. Maka garis cgc dibuat lebih kecil di penampang tumpuan dibanding dengan penampang lapangan, atau tidak sama sekali, atau di atas garis cgc .

Perubahan garis cgc di penampang lapangan ke penampang tumpuan di peroleh dari menaikkan tendon pategang secara mendadak yang disebut dengan proses *harping* seperti pada Gambar 2.6 (a) yang biasanya digunakan untuk balok *pre-tension* (pratarik). Maupun secara perlahan-lahan yang disebut proses *draped*