

BAB II STUDI PUSTAKA

2.1. DASAR BETON PRATEGANG

Beton prategang adalah jenis beton dimana tulangan bajanya ditarik/ditegangkan terhadap betonnya. Penarikan ini menghasilkan sistem keseimbangan pada tegangan dalam (tarik pada baja dan tekan pada beton) yang meningkatkan kemampuan beton menahan beban luar. Karena beton cukup kuat dan daktail terhadap tekanan dan sebaliknya lemah serta rapuh terhadap tarikan maka kemampuan menahan beban dapat ditingkatkan dengan pemberian pratekanan (Collins & Mitchell, 1991).

2.1.1. Baja Prategang

Baja prategang yang digunakan pada beton prategang merupakan baja bermutu tinggi dan berbentuk kawat-kawat tunggal, *strands* yang terdiri atas beberapa kawat yang dipuntir membentuk elemen tunggal, kumpulan dari beberapa *strands* itulah yang nantinya disebut dengan tendon setelah disatukan dan ditutup oleh sebuah selubung yang bernama selubung tendon. Dilihat dari kualitas penyusun tendon yang bermutu tinggi tentunya penggunaan yang efektif sebisa mungkin dapat direncanakan (Lin and Burns, 2000).

2.1.2. Sistem Penarikan Baja Prategang

Menurut Kadir (2006), pada dasarnya ada 2 (dua) macam metode pemberian gaya prategang pada beton, dengan penjelasan sebagai berikut.

1. Metode Pra-Tarik (*Pre-Tension Method*)

Metode ini baja prategang diberi gaya prategang dulu sebelum beton dicor, oleh karena itu disebut *pretension method*.

2. Metode Pasca-tarik (*Post-Tension Method*)

Pada metode Pascatarik, beton dicor lebih dahulu, yang mana sebelumnya telah disiapkan saluran kabel atau tendon yang disebut *duct*. Secara singkat metode ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

- a. Dengan cetakan (*formwork*) yang telah disediakan lengkap dengan saluran/selongsong kabel prategang (*tendon duct*) yang dipasang melengkung sesuai bidang momen balok, beton dicor.
- b. Setelah beton cukup umur dan kuat memikul gaya prategang, tendon atau kabel prategang dimasukkan dalam selongsong (*tendon duct*), kemudian ditarik untuk mendapatkan gaya prategang. Metode pemberian gaya prategang ini, salah satu ujung kabel diangker, kemudian ujung lainnya ditarik (ditarik dari satu sisi). Ada juga yang ditarik di kedua sisinya dan diangker secara bersamaan. Setelah diangkur, kemudian saluran di-*grouting* melalui lubang yang telah disediakan.
- c. Setelah diangkur, balok beton menjadi tertekan, jadi gaya prategang telah ditransfer kebeton. Karena tendon dipasang melengkung, maka akibat gaya prategang tendon memberikan beban merata kebalok yang arahnya ke atas, akibatnya balok melengkung ke atas.

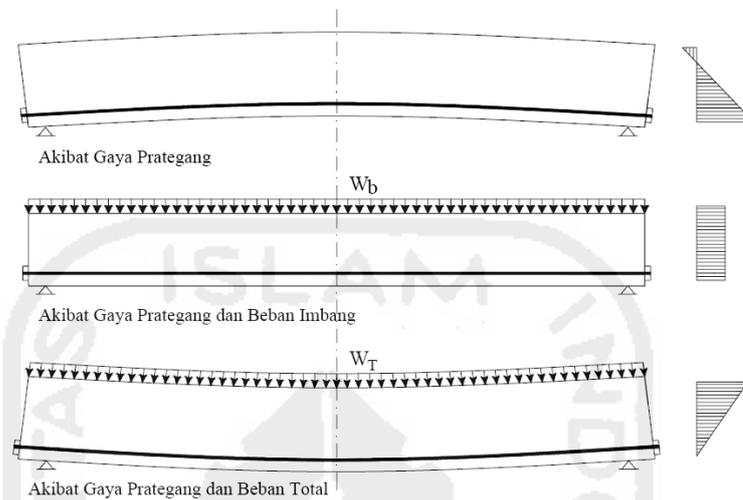
2.1.3. Konsep Beton Prategang

Menurut Lin dan Burns (2000), ada tiga konsep yang berbeda yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisis sifat-sifat dasar dari beton prategang.

1. Sistem Prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis

Konsep ini memperlakukan beton sebagai bahan yang elastis. Konsep ini merupakan pemikiran dari Eugene Freyssinet yang memvisualisasikan beton prategang sebagai beton yang ditransformasikan dari bahan getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu (pratekan) pada bahan tersebut. Beton yang tidak mampu menahan tarikan dan kuat memikul tekanan sedemikian rupa sehingga bahan yang getas dapat memikul tegangan tarik. Dari konsep ini kemudian muncul kriteria “tidak ada tegangan tarik” pada beton. Berdasarkan pandangan tersebut, beton divisualisasikan sebagai benda

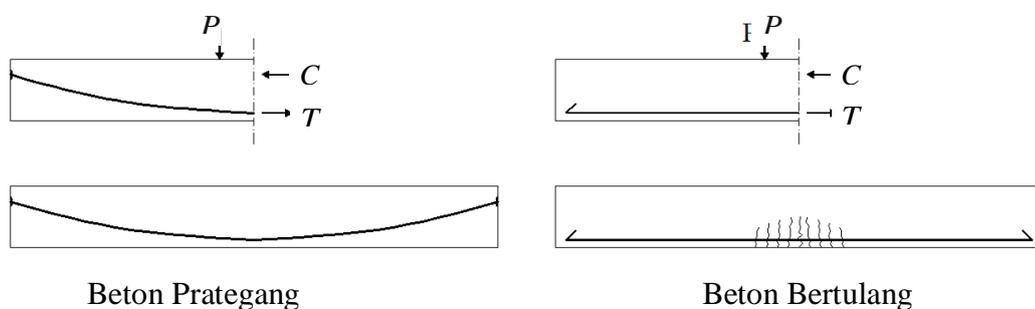
yang mengalami dua sistem pembebanan yaitu gaya internal prategang dan beban eksternal seperti pada Gambar 2.1, dengan tegangan tarik akibat gaya eksternal dilawan oleh tegangan akibat gaya prategang (Supriyadi, 2000).



Gambar 2.1 Gaya akibat gaya prategang dan gaya eksternal
(Sumber : Kadir, 2006)

2. Sistem Prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton

Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai kombinasi dari baja dan beton seperti pada beton bertulang, fungsi baja untuk menahan tarikan dan beton untuk menahan desakan. Dengan demikian kedua bahan membentuk tahanan untuk menahan momen eksternal. Berikut contoh perbedaan antara beton prategang dan beton bertulang biasa seperti pada Gambar 2.2.



Beton Prategang

Beton Bertulang

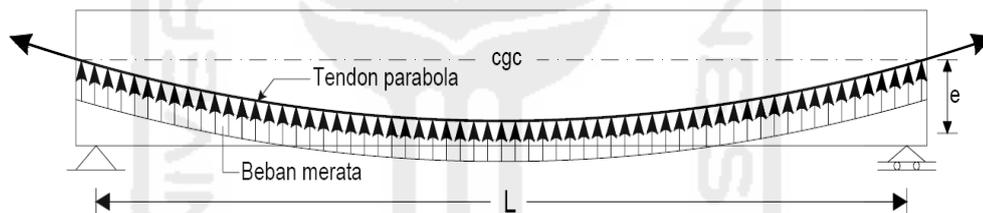
Gambar 2.2 Momen tahanan internal pada balok beton prategang dan beton bertulang

(Sumber: Supriyadi, 2000)

3. Sistem Prategang untuk mencapai keseimbangan beban

Konsep ini terutama menggunakan prategang sebagai usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah batang. Penerapan dari konsep ini menganggap beton diambil sebagai benda bebas dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya pada beton sepanjang bentang.

Pada keseluruhan desain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai kesetimbangan berat sendiri sehingga bagian yang mengalami lenturan seperti plat, balok dan gelagar 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 di dalam desain maupun analisis dari struktur yang rumit. Berikut gambaran tentang penggantian tendon dengan gaya-gaya sepanjang bentang dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Beton pategang dan tendon parabola

(Sumber : Kadir, 2006)

2.1.4. Tahap Pembebanan

Dalam perancangan beton prategang, pembebanan tidak hanya ditinjau berdasarkan beban eksternal yang bekerja, seperti beban mati dan beban hidup, tetapi juga terhadap kombinasi dari beban-beban tersebut dengan gaya prategang yang bekerja pada penampang beton. Diantara tahap pembebanan tersebut yang paling kritis biasanya pada tahap sesaat setelah baja ditegangkan (*initial stage*) dan pada masa pelayanan/akhir (*service/final stage*). (Supriyadi, 2000).

1. *Initial Stage*

Initial stage adalah tahap disaat gaya prategang dipindahkan pada beton dan tidak ada beban luar yang bekerja selain berat sendiri. Pada tahap ini gaya

prategang maksimum sebab belum ada kehilangan prategangan dan kekuatan beton minimum sebab umur beton masih muda, konsekuensinya tegangan pada beton menjadi kritis. Pada system penarikan akhir (*post tensioning*), tendon tidak ditarik sekaligus tetapi ditarik dalam dua atau tiga tahap untuk memberikan kesempatan kepada beton untuk mencapai kekuatan yang diisyaratkan gaya prategang diterapkan sepenuhnya.

2. *Final Stage*

Tahap ini merupakan kondisi paling berat untuk kondisi masa pelayanan, dengan asumsi bahwa semua kehilangan prategang telah terjadi sehingga gaya prategang telah mencapai nilai terkecil dan kombinasi beban luar mencapai nilai terbesar yaitu meliputi berat sendiri, beban mati, beban hidup, beban kejut dan sejenisnya.

2.2. TIPE-TIPE GELAGAR BETON PRATEGANG PADA JEMBATAN

Beton prategang banyak dimanfaatkan sebagai gelagar pada struktur atas konstruksi jembatan. Berikut beberapa jenis-jenis gelagar prategang pada struktur jembatan yang biasa digunakan.

1. Balok I

Girder dengan bentuk balok I sering disebut dengan PCI *girder* (yang dibuat dari material beton). Adapun contohnya seperti yang terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Balok I *girder*

(Sumber : Ilman, 2005)

2. *Box Girder*

Box girder sangat cocok digunakan untuk jembatan bentang panjang. Biasanya *box girder* didesain sebagai struktur menerus di atas pilar karena *box girder* dengan beton prategang dalam desain biasanya akan menguntungkan untuk bentang menerus. *Box girder* sendiri bisa berbentuk trapesium maupun kotak dan dapat direncanakan terdiri atas satu sel atau multi sel seperti yang terlihat pada Gambar 2.5 dan 2.6.



Gambar 2.5 Penampang *box girder* multi sel
(Sumber : Supriyadi, 2000)



Gambar 2.6 Penampang *box girder* single sel
(Sumber : Supriyadi, 2000)

Salah satu keuntungan dari jembatan *box girder* yaitu ketahanan torsi yang lebih baik, yang sangat bermanfaat untuk aplikasi jembatan yang melengkung.

Tinggi elemen *box girder* dapat dibuat konstan maupun bervariasi, makin ke tengah makin kecil seperti Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Tinggi elemen *box girder* bervariasi
(Sumber : Supriyadi, 2000)

3. *U-Girder*

U-Girder merupakan konsep baru yang mulai dipopulerkan belakangan ini. *U-girder* merupakan bentuk *box girder* dalam bentuk yang lebih kecil. Bentuk dari *U girder* itu sendiri seperti yang terlihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Balok U
(Sumber : Ilman, 2005)

2.3. PENELITIAN TERDAHULU

Studi pustaka telah dilakukan pada beberapa perencanaan ulang jembatan sebelumnya, di antaranya Hardwiyono dkk (2013) yang telah melakukan perancangan ulang struktur atas *I girder* jembatan Gajah Wong Yogyakarta dengan menggunakan *box girder*. Dengan melihat fungsi jembatan sebagai penghubung suatu akses dari satu daerah ke daerah lain sebagai penunjang perkembangan kedua wilayah tersebut maka pengaruh perubahan yang akan ditimbulkan semakin beragam, salah satunya penambahan jumlah kendaraan sebagai akibat pertumbuhan kedua wilayah. Perencanaan jembatan tersebut dimulai dengan penjelasan mengenai latar belakang pemilihan tipe jembatan, perumusan tujuan perencanaan hingga lingkup pembahasan yang sebelumnya dilakukan analisis yang didasarkan pada peraturan *BMS 1992*. Analisa beban yang terjadi pada perencanaan struktur jembatan tersebut yaitu analisa berat sendiri, analisa beban mati tambahan, analisa beban lalu lintas dan analisa pengaruh kehilangan gaya prategang. Dari hasil analisa tersebut dilakukan kontrol tegangan-tegangan yang terjadi. Selanjutnya dilakukan perhitungan penulangan *box*, kontrol lendutan, perhitungan gaya geser dan momen batas.

Bintoro Tri Wijatmiko (2016) telah melakukan penelitian terhadap efektifitas mutu beton bentang 50 m profil *box girder* untuk mengetahui mutu beton paling efektif pada bentang 50 m. Pada penelitian tersebut digunakan 4 macam variasi mutu beton K-500, K-475, K-450 dan K-425. Hasil dari desain perencanaan struktur balok prategang tipe *Box Girder* didesain dengan aman terhadap beban yang bekerja pada konstruksi jembatan sesuai RSNI-T-02-2005. Dari beberapa variasi mutu beton yang digunakan maka dapat dikatakan bahwa mutu beton paling efektif yaitu mutu beton K-475.

Rizki Jati Nugroho (2013) telah melakukan perencanaan ulang jembatan Kretek II dengan *box girder prestressed* penampang trapesium. Panjang total Jembatan Kretek II adalah 210 m. Perencanaan awal dipakai 3 pilar sehingga terbagi menjadi 4 bentang (35 + 70 + 70 + 35) m. Pada awalnya Jembatan Kretek II didesain menggunakan jembatan plengkung bawah dengan menggunakan 3 pilar. Dengan melihat aliran yang cukup deras di Sungai Opak maka diperlukan

perencanaan lain agar pilar yang digunakan lebih sedikit. Pada perencanaan ulang jembatan tersebut digunakan jembatan beton prategang dengan bentuk *box* (*box girder prestressed concrete*) tipe trapesium. Dimana bentuk tersebut memiliki kekuatan yang relatif besar dibanding bentuk yang lain. Bentuk tersebut dinilai cukup efisien untuk menahan beban yang besar dan bisa digunakan untuk bentang-bentang cukup panjang. Semua analisa yang dipakai mengacu pada peraturan *BMS 1992*, mulai dari analisa beban dari aksi tetap hingga beban dari aksi lingkungan. Dan pada akhirnya dalam perencanaan tersebut didapat ukuran profil *box girder* dan jumlah tendon yang dipakai agar tercapai struktur yang aman digunakan.



Tabel 2.1 Perbedaan perencanaan ulang terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan

| Nama | Perencanaan Ulang Terdahulu | | | Penelitian yang akan Dilakukan |
|--------------------------|--|--|---|--|
| | Hardwiyono dkk (2013) | Rizki Jati Nugroho (2013) | Bintoro Tri Wijatmiko (2016) | Himawan Wibisono (2016) |
| Judul | Perencanaan Ulang Struktur Atas Jembatan Gajah Wong Yogyakarta dengan Menggunakan <i>Box Girder</i> | Perencanaan Ulang Jembatan Kretek II Dengan <i>Box Girder Prestressed</i> Penampang Trapesium | Kajian Efektifitas Mutu Beton Jembatan Profil <i>Box Girder</i> Bentang 50 m | Analisis Jumlah Tendon Prategang <i>Box Girder Prestressed</i> Bentang 50 meter Terhadap Variasi Tinggi Penampang dan Variasi Mutu Beton Terhadap. |
| Lokasi | Jembatan Gajah Wong, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta | Jembatan Kretek II, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta | | Daerah Istimewa Yogyakarta, pada kondisi tanah lunak |
| Peraturan yang digunakan | <i>Bridge Management System (BMS) 1992</i> | <i>Bridge Management System (BMS) 1992</i> | RSNI T-02-2005 | RSNI T-02-2005 |
| Hasil | Didapat perencanaan gelagar jembatan Gajah Wong dengan struktur <i>box girder</i> yang aman dan mampu menambah kapasitas pembebanan. | Didapat perencanaan struktur jembatan Kretek II yang aman terhadap pembebanan melintang dan mampu mempertahankan bentuk dasar. | Didapat mutu beton paling efektif pada struktur beton prategang profil <i>box girder</i> bentang 50 m | |

2.4. KEASLIAN PENELITIAN

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu tentang *box girder prestressed*, penelitian seperti ini belum pernah dilakukan karena penelitian ini dikhususkan untuk melihat ataupun menganalisis karakteristik dari beton prategang *box girder prestressed* bentang 50 meter akibat variasi tinggi penampang *box girder* dan mutu beton yang digunakan. Peneliti melakukan penelitian dengan menggunakan variasi tinggi dan mutu beton sementara pada penelitian sebelumnya hanya dilakukan sebuah perencanaan ulang suatu struktur jembatan menggunakan beton prategang tipe *box girder* tanpa melihat karakteristik yang timbul dari struktur beton prategang tersebut.

