

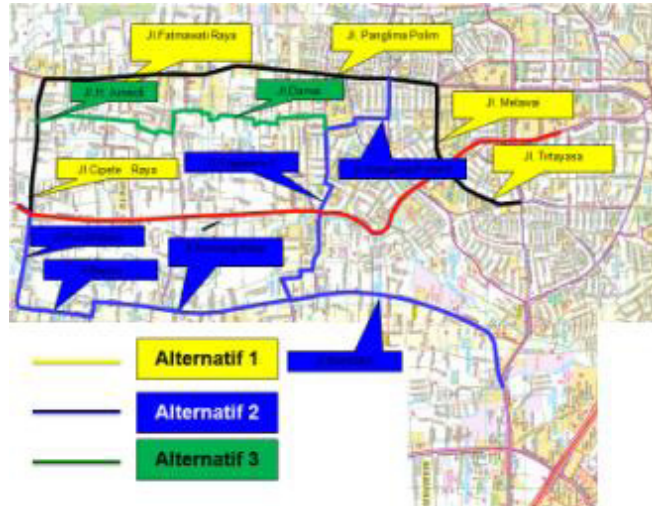
Perencanaan dan Pelaksanaan Konstruksi Jalan Layang Non Tol DKI dengan Menggunakan Box Girder Segmental Pracetak dan Prategang sebagai Metoda yang memenuhi Konsep Konstruksi Hijau

Hari Nugraha Nurjaman
HR Sidjabat
Gambiro
Ismu Sutopo
Surakhman
Diki N Mayadi

1. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah kendaraan baru di Jakarta adalah sebesar 236 mobil/hari dan motor 891 motor/hari, sehingga total penambahan adalah 1.127 kendaraan/hari. Peningkatan jumlah kendaraan di Jadetabek adalah sebesar 319 mobil/hari dan motor 1.707 motor/hari, sehingga total penambahan adalah 2.026 kendaraan/hari. Secara faktual peningkatan jalan hanyalah 0,01 % atau 401 m²/tahun, sehingga terjadi kemacetan lalu-lintas yang kronis. Kerugian akibat kemacetan diperkirakan adalah Rp. 5,5 triliun/tahun [8]

Untuk mengatasi permasalahan lalu lintas di DKI Jakarta, salah satu langkah yang dilakukan oleh Pemda DKI adalah Pembangunan Jalan Layang Non Tol Antasari – Blok M, yang pembangunannya dimulai sejak tahun 2011. Seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Trase jalan layang non-tol Antasari – Blok M dan jalur menghindari kemacetan

Beberapa alasan pembangunan diantaranya adalah :

- a) Sebagai upaya mengatasi aksesibilitas pergerakan kendaraan dari atau ke wilayah-wilayah di Jakarta Selatan yang merupakan salah satu kawasan penyangga ibukota Jakarta.

- b) Mengatasi kepadatan lalu lintas di Jalan Pangeran Antasari yang merupakan jalan utama bagi masyarakat Depok, Bekasi maupun Tangerang menuju ke Blok M atau Senayan.
- c) Pembangunan jalan layang dapat mendukung rencana pembangunan jalan tol Antasari-Depok yang direncanakan oleh pemerintah pusat.

Pelaksanaan pembangunan jalan layang non tol DKI dibagi menjadi 5 segmen yang dikerjakan oleh 5 kontraktor, dengan di dukung 3 pabrikan precast di Jakarta.

Metoda konstruksi proyek ini menjadi sangat penting karena dilakukan di tengah jalur-jalur eksisting yang sangat sibuk, harus memenuhi kriteria konstruksi hijau yang sedang giat-giatnya dikembangkan di DKI Jakarta, aspek artistik, dan tentunya kriteria ekonomis. Pemilihan tipe girder yang digunakan merupakan aspek yang paling menentukan, dimana akhirnya dipilih Box Girder Segmental Pracetak dan Prategang.

Makalah ini membahas proses pemilihan tipe girder yang dilanjutkan dengan proses perencanaan teknis, sistem produksi sampai pemasangan. Keseluruhan kegiatan ini dilakukan sepenuhnya oleh tenaga ahli konstruksi dan pelaksana Indonesia, yang prosesnya dapat menjadi bahan masukan bagi seluruh pelaku konstruksi Indonesia.

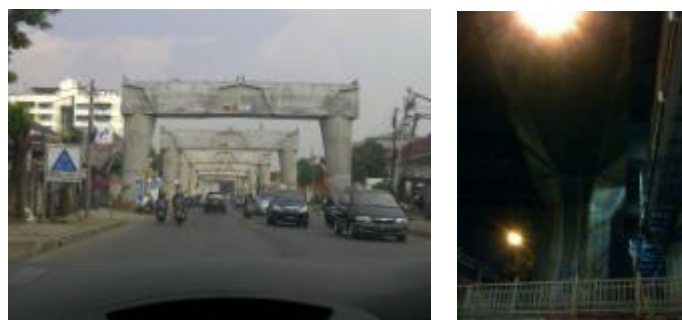
2. KONSEP PEMILIHAN GIRDER SISTEM BOX SEGMENTAL PRACETAK PRATEGANG

Ada berbagai alternatif tipe girder yang dapat digunakan dengan masing-masing kelebihan dan kekurangannya. Kriteria pemilihan alternatif adalah : gangguan minimal pada lalu lintas, konstruksi hijau, artistik dan ekonomis.

2.1 Kriteria Gangguan Minimal Pada Lalu Lintas

Kriteria ini merupakan kriteria utama karena tujuan utama pembangunan adalah mengurangi kemacetan, sehingga pada waktu konstruksi yang berkisar 2 tahun pun seharusnya hanya menimbulkan gangguan minimal pada lalu lintas.

Pada konstruksi pier, dipilih menggunakan sistem portal dengan kaki bertumpu di pinggir jalan. Pilihan ini lebih menimbulkan gangguan minimal dibandingkan pemasangan pier satu kaki ditengah (misalnya dengan Sistem Sosrobahu pada Jalan Layang Wiyoto Wiyono) karena situasi lokal Jalan Antasari mediannya hanya berupa blok beton seperti terlihat pada Gambar 2a



Gambar 2a Alternatif pier 2 kaki vs pier 1 kaki dengan Sosrobahu

Sementara pada ruas Casablanca digunakan 2 (dua) buah pier yang dirangkai dengan balok penghubung seperti terlihat pada Gambar 2b. Adanya median yang cukup lebar memungkinkan penggunaan pier seperti ini. Pemisahan 2 pier dikarenakan adanya infrastruktur utilitas (seperti pipa dll.) yang harus dihindari.



Gambar 2b Alternatif pier 2 kaki balok penghubung

Pemilihan sistem box girder segmental pracetak prategang dinilai paling minimal gangguannya terhadap lalu lintas dibandingkan dengan sistem lain seperti I girder dengan beberapa alasan :

- Jumlah komponen untuk dapat membentuk satu jalur lebih sedikit. Satu komponen sudah cukup membentuk satu jalur dibandingkan 3 atau 4 komponen I girder yang dibutuhkan untuk menutup satu jalur, seperti terlihat pada Gambar 2. Jumlah komponen yang lebih sedikit akan mempersingkat gangguan lalu lintas selama pengiriman produk.
- Komponen box girder cukup dibawa dengan alat **“low bed”** , dibandingkan dengan I girder yang jika dibawa utuh harus menggunakan alat **“boggie”**, seperti terlihat pada Gambar 3.
- Proses erection hampir sepenuhnya dilakukan di udara. Gangguan hanya pada saat pengangkatan komponen dari trailer yang hanya memakan waktu 20 menit. Metoda ini praktis tidak membutuhkan stoking di lapangan. Komponen langsung diangkut dari pabrik dan di erection segera setelah sampai di lapangan. Proses erection dilakukan pada malam hari pada saat lalu lintas tidak terlalu padat.



Gambar 2 Jumlah komponen box girder vs I girder



Gambar 3 Alat pengangkut **“low bed”** vs **“boggie”**

2.2 Kriteria konstruksi hijau

Konsep pembangunan berkelanjutan menekankan pada optimalisasi penggunaan energi, Konsep ini didasarkan atas pertimbangan bahwa sumber energi di bumi ini semakin terbatas, sehingga penggunaannya harus dilakukan secara bijaksana [6]. Secara umum, menurut Green Building Council Indonesia (GBCI), ada 7 aspek yang menjadi penilaian terhadap suatu gedung jika ingin direncanakan dengan konsep pembangunan berkelanjutan [4]

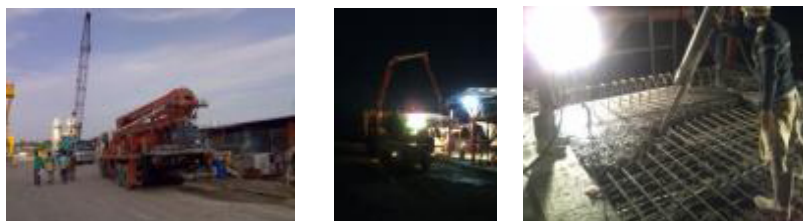
Untuk konstruksi jalan layang, yang dominan adalah aspek **material resources**, konsep konstruksi yang memenuhi konsep ini dikenal sebagai konstruksi hijau (**green construction**). Prinsip utama konstruksi hijau dalam segi material adalah 3 R (**“reduce”, “reuse”, “recycle”**). Sistem pracetak prategang beton merupakan sistem pembangunan yang memenuhi kaidah ini.

Prinsip **reduce** diterapkan pada efisiensi penggunaan material dan metoda kerja :

- Bahan beton adalah material lokal yang banyak ditemui di Indonesia.
- Perencanaan sistem pracetak dan prategang akan dapat menghemat pemakaian besi, sebagai material yang paling banyak menghasilkan emisi dalam pembuatannya, serta bahan dasarnya masih impor.
- Metoda kerja banyak melakukan penghematan pada cetakan ,penghematan perancah serta dapat mendekati **“zero waste”** pada material besi dan beton seperti terlihat pada Gambar 4



Gambar 4 Zero waste pada pembesian



Gambar 5 Zero waste pada beton : batching plant, mollen, concrete pump pada plant

Prinsip **reuse** terutama diterapkan pada repetisi penggunaan cetakan yang jauh lebih banyak dibandingkan dengan cetakan sistem konvensional. Cetakan box girder menggunakan bahan baja yang dapat digunakan ratusan kali. Pada salah satu produsen box girder, dipakai 6 cetakan untuk memproduksi 1000 komponen, seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Prinsip **reuse** : 6 set cetakan untuk menghasilkan 1000 komponen

Prinsip **recycle** diterapkan dengan penggunaan bahan additif yang dibuat dari bahan daur ulang yang mempunyai **green label** seperti terlihat pada Gambar 6. Bahan-bahan ini digunakan untuk menghasilkan beton kinerja tinggi, yaitu beton bermutu tinggi, mempunyai kekuatan awal yang tinggi, kelecakan yang baik, serta mereduksi penggunaan semen sebagai material yang energi produksinya terbesar kedua setelah besi. Beton yang digunakan dalam pembuatan box girder sudah termasuk katagori **self compacting concrete** yang dikenal efisien dalam energi produksinya.



Gambar 6 Prinsip **recycle**: additif bahan daur ulang, reduksi semen, beton kinerja tinggi

2.3 Kriteria artistik

Pada umumnya perencanaan jalan layang di perkotaan, bidang yang dominan adalah teknik sipil, namun tidak bisa dipungkiri bahwa sebenarnya jalan layang juga membentuk wajah kota. Jadi dalam perencanaan jalan layang ada tiga kasta jika ditinjau dari segi artistik. Kasta pertama adalah sepenuhnya direncanakan oleh teknik sipil dengan kriteria ekonomis sebagai kriteria utama. Bentuk umum dari kasta ini adalah sistem **pier-girder**, dimana jarak antar pier adalah bentang efektif gelagar pracetak prategang bentuk I yang berkisar 35 m – 40 m. Gelagar I dipasang berderet-deret dengan spasi berkisar 2 m – 2.75 m. Contoh di Jakarta yang termasuk kasta ini adalah jalan layang Cawang – Priok yang dibangun pada tahun 1985.

Kasta kedua yang lebih tinggi nilai artistiknya tapi masih sepenuhnya direncanakan oleh teknik sipil adalah sistem pier dengan girder box segmental pracetak dan prategang. Pada sistem ini jarak pier bisa diset lebih jauh dari 40 m sesuai kebutuhan, sedangkan girder bentuk box secara artistik lebih menarik dibanding barisan I Girder. Contoh yang termasuk kasta ini adalah Jalan Layang Pasteur di Bandung.

Kasta ketiga yang paling tinggi aspek artistiknya adalah jalan layang yang direncanakan oleh arsitek. Bentuk jalan layang biasanya direncanakan untuk menjadi ikon kota tempat jalan tersebut dibangun. Konstruksinya harus mengikuti bentuk tersebut sehingga biasanya menggunakan sistem jembatan bentang panjang seperti jembatan gantung dan **cable stayed**, Contoh yang termasuk kasta ini adalah jalan layang yang menyebrangi Kali Cikapundung di Lembah Siliwangi Bandung. Kali yang hendak disebrangi kurang dari 20 m, namun sistem yang dipilih adalah sistem **cable stayed**. Harga konstruksi menjadi mahal namun akhirnya Bandung mempunyai konstruksi yang menjadi ikon kota.

Pemilihan tipe jalan layang dari segi artistik menggambarkan tingkat kemakmuran kota tersebut, seperti terlihat pada Gambar 7. Pada tahun 1985 Jakarta sudah mempunyai jalan layang kasta pertama di Cawang-Priok. Pada tahun 2010, kemakmuran Jakarta sudah jauh meningkat, sehingga pilihan dari segi artistik wajar sudah harus naik ke kasta kedua yaitu sistem pier dengan box girder.



(a) I girder



(b) Box Girder



(c) Cable Stayed

Gambar 7 Kasta artistik konstruksi jalan layang

Pada saat ini konstruksi jalan layang sudah sebagian besar terbentuk. Gambar 8 menunjukkan beberapa kondisi Jalan Antasari, dimulai dari kondisi awal, kemudian impresi artistik dari konstruksi yang akan dibangun, dan terakhir kondisi saat ini yang telah terbangun.



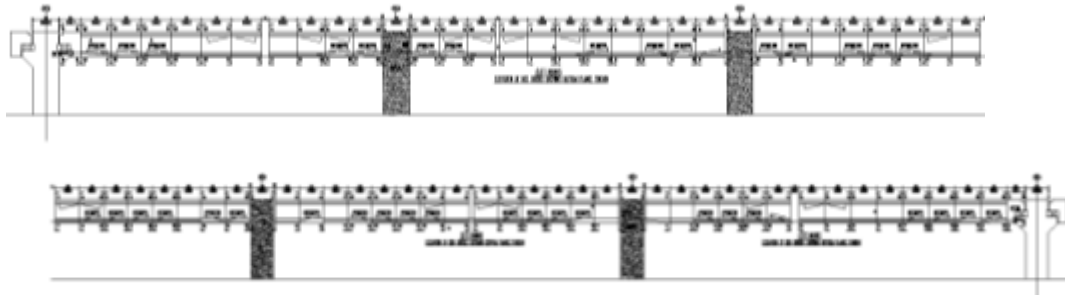
Gambar 8 Jalan Antasari : sebelum konstruksi, impresi artistik, setelah konstruksi.

2.4 Kriteria ekonomis

Secara umum sistem box girder akan lebih mahal dibanding desain I girder. Pada kasus ini, sehubungan dengan beberapa kendala seperti sempitnya lahan serta lalu lintas yang padat, maka tingkat keekonomisan antara kedua metoda tersebut menjadi tidak terlalu jauh. Jadi pertimbangan ekonomis bukan merupakan pertimbangan utama dalam menentukan pilihan sistem box girder.

3. KONSEP PERENCANAAN

Perencanaan sistem struktur prategang sangat dipengaruhi oleh tahapan pelaksanaan [1,2,5]. Secara umum konstruksi jalan yang terbagi menjadi portal-portal yang dibatasi oleh portal ekspansi joint (EJ). Diantara portal EJ, umumnya ada 4 portal standar, seperti terlihat pada Gambar 9. .



Gambar 9 Sistem struktur konstruksi jalan layang

Diantara portal-portal tersebut dipasangkan serangkaian komponen box girder pracetak prategang. Box girder menumpu sederhana pada portal EJ, serta menjadi sambungan kaku pada portal standar. Suatu contoh urutan pemasangan antar portal standar dapat dilihat pada Gambar 10. Suatu contoh urutan pemasangan antar portal standar dan portal EJ dapat dilihat pada Gambar 11. Secara umum sistem pemasangan ini dinamakan **ballance cantilever**



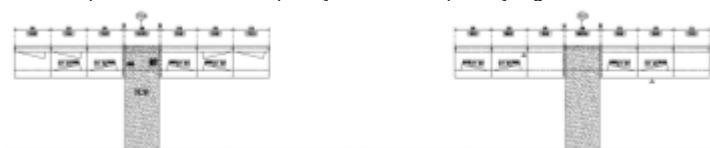
- (a) Pemasangan segmen pertama ke portal dan dibantu dengan **hanger beam**. Ada gap yang nantinya diisi beton (**wet joint** yang direncanakan) yang fungsinya meng**adjust** koordinat untuk menghindari kemelencengan segmen



- (b) Stressing permanen top kemudian dilakukan di tendon atas box untuk menyatukan dengan portal



- (c) Kemudian dilanjutkan dengan ereksi segmen kedua dan epoksi dioleskan pada tepi segmen, yang akan direkatkan dengan segmen pertama. Setelah segmen ditempelkan, maka dilakukan **install temporary stress bar top** dan **bottom**. Setelah itu, stressing permanen top tendon dan rilis temporary stress bar top dan yang bottom tidak dirilis.



- (d) Kemudian dilanjutkan dengan ereksi segmen ketiga dan oleskan epoksi pada tepi segmen yang akan direkatkan dengan segmen pertama. Setelah segmen ditempelkan, maka dilakukan install temporary stress bar top dan bottom. Setelah itu, stressing permanen top tendon dan rilis temporary stress bar top dan yang bottom tidak dirilis.



- (e) Proses ereksi segmen keempat pada pier sebelah kanan.



- (f) Proses dilanjutkan ke segmen kelima di pier kanan di kedua sisi



- (g) Proses dilanjutkan ke segmen keenam di pier kanan di kedua sisi



- (h) Proses dilanjutkan ke segmen ketujuh di pier kanan di kedua sisi. Pada sisi kiri terjadi pertemuan dengan segmen ketiga pier kiri. Celah antar dua segmen tersebut (**closure**) dilakukan dengan **self compacting concrete** dengan mutu yang sama dengan box precast.



- (i) Setelah menyatu, dilakukan penarikan tendon bawah box. Ada 3 fase penarikan : Fase pertama dari pier ke pier, fase kedua dari segmen pertama pier kiri ke segmen kedua pier kanan, dan fase ketiga dari segmen kedua pier kiri ke segmen ke lima pier kanan

Gambar 10 Sistem pelaksanaan box girder antar pier standar



- (a) Pemasangan segmen pertama di pier EJ dan pier standar. Pada pier EJ diselipkan bantalan beton penahan di sisi atas dan sisi bawah segmen EJ



- (b) Pada segmen pertama di pier EJ dilakukan stressing tendon atas untuk menjepit sementara segmen EJ ke pier.



- (c) Pemasangan segmen dilanjutkan ke segmen kedua di masing-masing pier. Pertama-tama dilakukan stressing sementara pada tendon tengah untuk merapatkan antar segmen yang diantaranya diberi epoksi. Setelah secara geometri memenuhi, dilakukan stressing permanen top tendon..



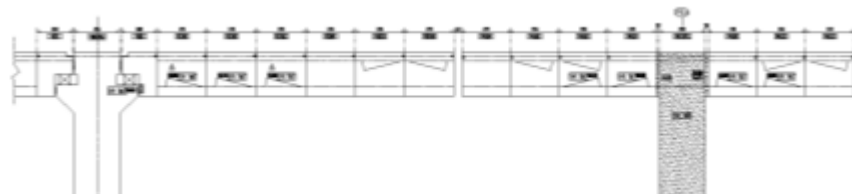
- (d) Dilanjutkan dengan ereksi segmen ketiga masing-masing pier



- (e) Pemasangan dilanjutkan ke segmen keempat masing-masing pier



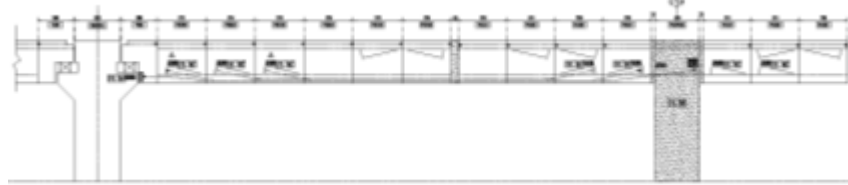
- (f) Pemasangan dilanjutkan ke segmen kelima dan keenam di pier EJ



- (g) Pemasangan dilanjutkan ke segmen ketujuh di pier EJ



- (h) Dilakukan penyambungan antara segmen ketujuh pier EJ dan segmen keempat pier standar



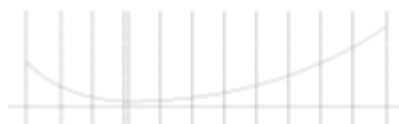
- (i) Penarikan tendon bawah box dalam 3 fase : Fase pertama antara segmen kedua pier EJ dan pier standar, fase kedua antara segmen ketiga pier EJ dan segmen pertama pier standar, dan fase ketiga antara segmen keempat pier EJ dan segmen kedua pier standar. Setelah semua tendon bawah selesai ditarik, stressing sementara segmen pertama EJ ke pier dilepas. Maka hubungan segmen pertama pier EJ dengan piernya menjadi hubungan sederhana.

Gambar 11 Sistem pelaksanaan box girder antara pier EJ dan pier standar

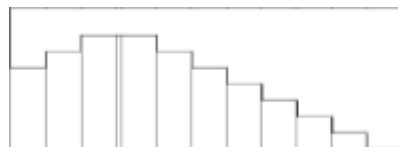
Sebagai contoh dari tahap pembebanan dalam proses perencanaan berbasis kontro tegangan dapat dilihat pada Gambar 12



- (a) Contoh konfigurasi struktur



- (b) Bidang momen akibat berat sendiri pemasangan segmen



- (c) Bidang momen akibat stressing tendon atas per pemasangan segmen



- (d) Bidang momen akibat stressing tendon bawah per trase kabel



(e) Bidang momen akibat beban superimposed dan beban hidup

Gambar 12 Tahap pembebanan untuk kontrol tegangan

Kontrol tegangan dilakukan berdasarkan momen-momen yang bekerja sesuai tahapan pemberian gaya prategang, Kriteria yang diterapkan adalah kriteria **zero tension**, yaitu tidak diijinkan terjadi tegangan tarik pada penampang.

4. SISTEM PRODUKSI

Secara fisik, bentuk segmen box girder standar pada sisi depan dan sisi belakang dapat dilihat pada Gambar 13. Komponen-komponen segmen penting dapat dilihat pada Gambar 14. Komponen ekspansi join dan komponen antara dapat dilihat pada Gambar 15



Gambar 13 Segmen standar sisi depan dan sisi belakang



Tendon tengah atas dan bawah, untuk stressing sementara



Blister bawah

Tendon bawah



Tendon atas

Kunci geser

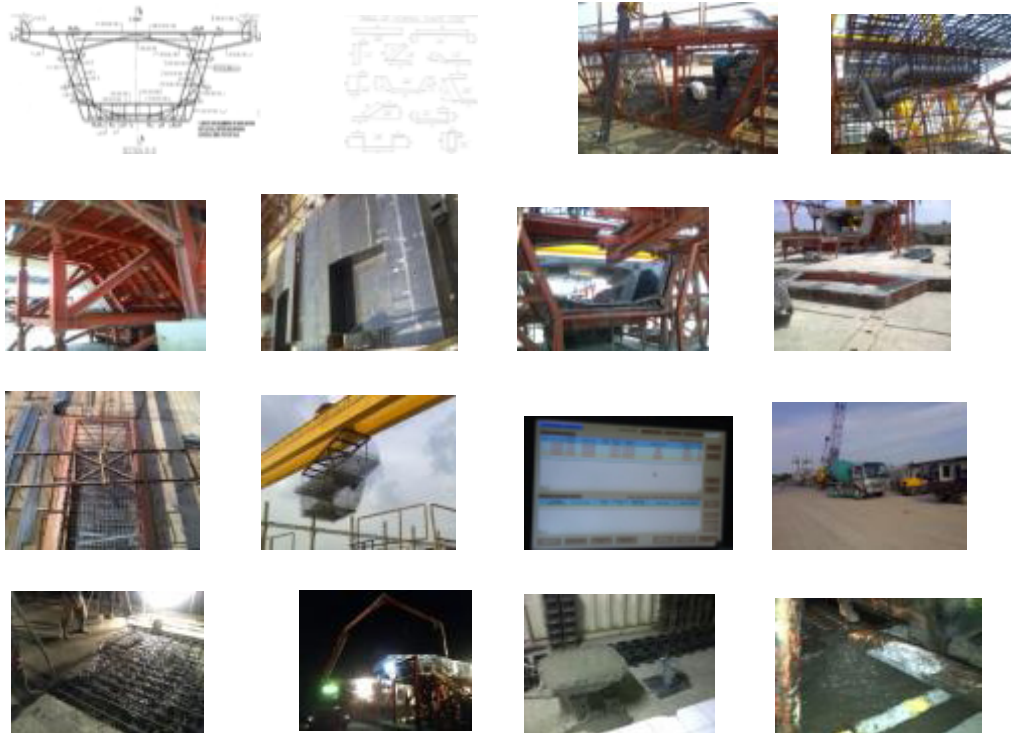
Gambar 14 Komponen Segmen standar



Gambar 15 Komponen Ekspansi Joint dan Komponen antara

Sistem produksi yang digunakan pada proyek ini adalah **short line match cast**. Sistem ini menjadikan segmen yang sudah dicetak sebelumnya menjadi cetakan untuk segmen berikutnya (**match cast**) untuk menjamin bahwa sambungan antar segmen berfungsi dengan baik. Hal penting yang perlu menjadi perhatian adalah kontrol geometri untuk mendapatkan geometri segmen yang sesuai dengan perencanaan geometri jalan.

Proses produksi berdasarkan gambar kerja box girder. Pembesian dilakukan sesuai bar bending schedule, yang dilengkapi dengan ducting untuk tendon dan **bursting steel** untuk block tendon di blister. Paralel dengan proses tersebut cetakan disiapkan. Rangka penulangan yang sudah siap lalu dimasukkan ke cetakan. Beton disiapkan di **batching plant** yang menggunakan komputer untuk proses pencampurannya untuk menyiapkan **self compacting concrete**. Beton lalu dibawa dengan mobil mixer ke tempat pencetakan, dan dicor ke cetakan melalui **concrete pump**. Beton lalu didiamkan selama 12 jam, untuk kemudian keesokan harinya dilakukan proses pelepasan cetakan. Siklus produksi untuk pembuatan satu segmen berlangsung selama 24 jam. Produk yang telah jadi lalu dipindahkan ke tempat stoking, sambil dilakukan pekerjaan perapihan. Proses produksi dapat dilihat pada Gambar 16





Gambar 16 Sistem Produksi

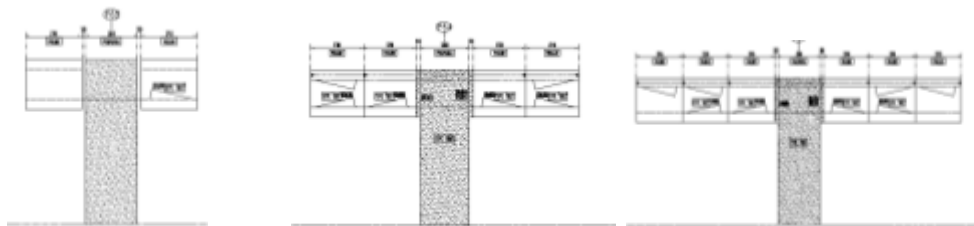
5. SISTEM PEMASANGAN

Metoda yang digunakan pada proyek ini adalah metoda **balanced cantilever** [3]. Pemasangan segmen dilakukan secara berimbang antara sebelah kiri dan kanan pier. Untuk merangkaikan segmen-segmen tersebut digunakan **temporary stressing** dari **stress bar** untuk membantu pemasangan **cantilever cables**. Setelah semua segmen dari 2 pier terhubung, maka dipasang **integration cables** untuk menjadikannya struktur yang kontinu.

Produk yang sudah tercetak lalu dibawa ke lapangan dengan alat transportasi "**low bed**" langsung ke lapangan untuk direksi. Ada dua alat ereksi yang digunakan yaitu tipe "**lifter**" dan tipe "**launcher**" seperti terlihat pada Gambar 17. Alat lifter pertama-tama ditempatkan di pier, mengangkat segmen pertama di kedua sisi secara "**balance**", Alat ini lalu memecah kedua sisi mengikuti penambahan segmen seperti terlihat pada Gambar 18. Berat alat ini adalah 33 ton, sehingga harus diperhitungkan sebagai beban sementara pada proses pemasangan. Alat ini bisa melakukan pemasangan segmen pada alinyemen yang berbelok seperti terlihat pada Gambar 19. Alat launcher dipasang statis antara dua pier, dan mengangkat segmen satu per satu seperti terlihat pada Gambar 21. Alat ini tidak bisa memasang segmen lengkung.



Gambar 17 Alat transportasi **low bed** dan alat pemasang **lifter** dan **launcher**



Gambar 18 Alat lifter dan pergerakannya dalam proses pemasangan



Gambar 19 Segmen lengkung yang dipasang dengan alat lifter



Gambar 20 Proses pemasangan segmen box dengan alat launcher

6. PENUTUP

Peningkatan jumlah kendaraan baru di Jakarta dan terbatasnya daya dukung lahan dalam penambahan jalan membuat terjadinya kemacetan lalu-lintas yang kronis yang menimbulkan kerugian yang besar. Salah satu langkah yang dilakukan oleh Pemda DKI adalah Pembangunan Jalan Layang Non Tol Antasari – Blok M, yang pembangunannya dimulai sejak tahun 2011.

Metoda konstruksi proyek ini menjadi sangat penting karena dilakukan di tengah jalur-jalur eksisting yang sangat sibuk, harus memenuhi kriteria konstruksi hijau yang sedang giat-giatnya dikembangkan di DKI Jakarta, aspek artistik, dan tentunya kriteria ekonomis. Sistem *Box Girder Segmental Pracetak dan Prategang* dipilih berdasarkan keempat pertimbangan tersebut.

Keseluruhan pekerjaan dilakukan oleh para pelaku konstruksi nasional, atas kepercayaan yang diberikan oleh Pemerintah Daerah DKI Jakarta. Banyak hal teknis serta pengalaman baru yang dipelajari dan didapat selama proses pelaksanaan, Keseluruhan proses ini semakin memperkuat kemampuan industri konstruksi nasional dalam menangani pembangunan proyek infrastruktur di masa depan.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. Lucko, G. (1999), "Chapter 3 : The Design Process of Segmental Bridges", http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-120199-224950/unrestricted/10lucko_chapter3.pdf
2. Madani, M., "Article 6.0 General Guidelines for the Preliminary Design For Segmental Concrete Box Girder Superstructure", (<http://www.fhwa.dot.gov/bridge/segmental/task60.htm>)
3. Mathivat, J. (1983) "The Cantilever Construction of Prestressed Concrete Bridges", J. Wiley
4. Nasir, R.Y (2011) "Achieving High Performance Building through Green Building Rating Tools in Indonesia," **DISEMINASIPERATURANPERUNDANG-UNDANGANBANGUNAN GEDUNG DAN LINGKUNGAN**, Kementerian Pekerjaan Umum, Makassar, Indonesia
5. Nawy, E.G. (1996), **Prestressed Concrete A Fundamental Approach**, Prentice Hall, New Jersey, USA
6. Nurjaman, H.N., Sitepu, H, Sidjabat, H.R. (2011), Sistem Pracetak Beton sebagai Sistem Konstruksi Hijau : Studi Kasus Perbandingan Energi Konstruksi dan Dampak Lingkungan di Pembangunan Rumah Susun di Batam dalam **Prosiding Seminar Konstruksi Indonesia Melangkah ke Masa Depan**, HAKI, Jakarta, Indonesia
7. PCI (2004), PCI Bridge Design Manual, Chicago, USA
8. Website Pemda DKI, Pembangunan Jalan Layang Non Tol Antasari-Blok M, (www.antasariblokm.com)