

OPTIMASI PENGECORAN *STAYED CABLE* BETON JEMBATAN PULAU BALANG

Armen Adekristi

Kepala Satuan Kerja Jembatan Pulau Balang
Direktorat Jenderal Bina Marga
Kementerian PUPR
armenadekristi@yahoo.com

Dhono Nugroho

Kepala Proyek Jembatan Pulau Balang
Direktorat Jenderal Bina Marga
Kementerian PUPR
dhono.nugroho@hutamakarya.com

Adi Sutrisno

Deflection Control Engineer
Proyek Jembatan Pulau Balang
Direktorat Jenderal Bina Marga
Kementerian PUPR
adi.sutrisno@hutamakarya.com

Sofyan Ramadhani

Asisten Pengawasan
Satuan Kerja Jembatan Pulau Balang
Direktorat Jenderal Bina Marga
Kementerian PUPR
sofyan.ramadhani@gmail.com

Abstract

Balang Island Bridge is the second longest cable-stayed bridge in Indonesia. This bridge is planned to have 4 traffic lanes with a total length of 971 m. This paper presents the experience of building the main deck of the Pulau Balang Bridge, starting from the challenges of work and optimization, so that the work sequence on this bridge is the fastest in Indonesia. Concrete job mix, equipment arrangement, form traveler design, and detailed calculations on the construction sequence are critical to the success of this project. This study shows that the optimization carried out in the construction of this bridge can shorten the work cycle, from 14 days to 9 days per segment.

Keywords: bridge; cable-stayed; optimization; construction sequence; work cycle.

Abstrak

Jembatan Pulau Balang merupakan jembatan *stayed cable* terpanjang kedua di Indonesia. Jembatan ini direncanakan mempunyai 4 lajur lalu lintas dengan panjang total 971 m. Pada makalah ini disajikan pengalaman pelaksanaan pengecoran *main deck* Jembatan Pulau Balang, dimulai dari tantangan pekerjaan dan optimasi yang dilakukan, sehingga menjadikannya siklus kerja di jembatan ini menjadi yang tercepat Indonesia. *Job mix* beton, penempatan alat, desain *form traveler*, dan perhitungan detail pada urutan konstruksi menjadi kunci suksesnya pekerjaan ini. Studi ini menunjukkan bahwa optimasi yang dilakukan pada pembangunan jembatan ini dapat mempersingkat siklus pekerjaan, dari 14 hari menjadi 9 hari per segmen.

Kata-kata kunci: jembatan; jembatan *stayed cable*; optimasi; urutan konstruksi; siklus pekerjaan.

PENDAHULUAN

Jalan Lintas Trans Kalimantan, yang merupakan salah satu prasarana utama di Pulau Kalimantan, terputus di Teluk Balikpapan. Saat ini terdapat layanan ferry, namun kondisi layanan ferry ini masih kurang memadai, yang tampak dari lamanya waktu tunggu dan panjangnya antrian penyeberangan. Jembatan Pulau Balang akan menjadi ruas penghubung antara kota Balikpapan dan Penajam, yang sekaligus menjadi bagian jalan Trans Kalimantan Poros Selatan, yang melalui Riko-Pantai Lango-Pulau Balang-Tempadung-KM 13 Balikpapan, serta terintegrasi dengan Outer Ring Road Balikpapan. Jembatan Pulau Balang dikerjakan dengan biaya APBN SBSN Tahun Anggaran 2015–2021.

Jembatan Pulau Balang mempunyai 4 lajur lalu lintas dengan panjang total 971 m, yang terdiri atas jembatan utama tipe *stay cable*, dengan panjang 804 m, dan jembatan pendekat dengan struktur PCI girder bentang 40 sebanyak 4 bentang. Ilustrasi Jembatan Pulau Balang ini ditunjukkan pada Gambar 1.

Pekerjaan jembatan *stay cable* meliputi pekerjaan *pylon* (tiang utama), *deck* jembatan, dan penarikan *stay cable*. Pada tiap tahapan tersebut, kontrol terhadap tegangan menjadi kritikal karena menentukan kekuatan dan keamanan struktur. Di sisi lain, kontrol terhadap elevasi atau camber lantai (*deck*) jembatan memerlukan perhatian khusus agar jembatan dapat dilewati dengan nyaman.



Gambar 1 Ilustrasi Jembatan Pulau Balang

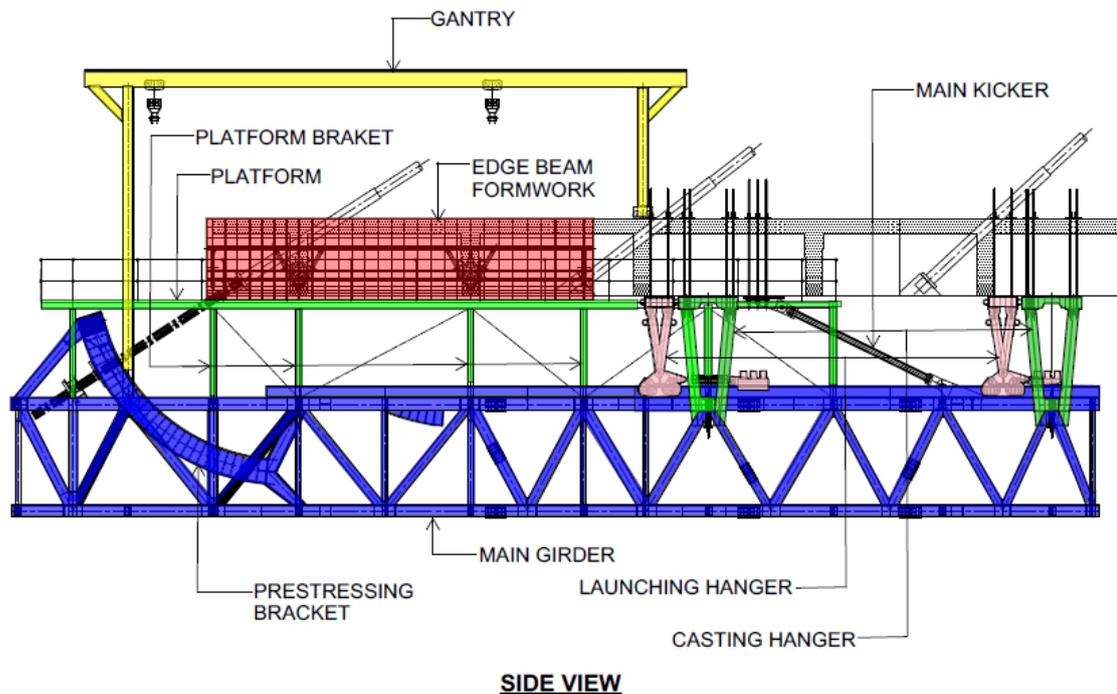
Pada umumnya lantai jembatan *stay cable* dibangun secara segmental, dengan menggunakan alat bantu perancah menggantung (*form traveler*). Hal ini dikarenakan jembatan *stay cable* umumnya difungsikan untuk membentangi selat atau jurang, sehingga secara ekonomi maupun secara teknis tidak memungkinkan untuk dilakukan *full shoring*.



Gambar 2 *Form Traveler* Jembatan Pulau Balang

Berdasarkan prinsip kerjanya, terdapat 2 jenis *form traveler*, yaitu *overhang* dan *underslung*. *Form traveler* tipe *underslung* belakangan ini lebih diminati karena kemudahan

pekerjaan dan karena dapat memanfaatkan *stay cable* pada segmen terdepan untuk memikul berat *form traveler* maupun beban pengecoran. Tipe *overhang* dapat menjadi alternatif apabila *vertical clearance* untuk lalu lintas air di bawah jembatan pada masa konstruksi menjadi pertimbangan utama. Pada Jembatan Pulau Balang II digunakan *form traveler* tipe *underslung*, seperti terlihat pada Gambar 2. Komponen-komponen *form traveler* pada Jembatan Pulau Balang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Komponen-Komponen *Form Traveler*

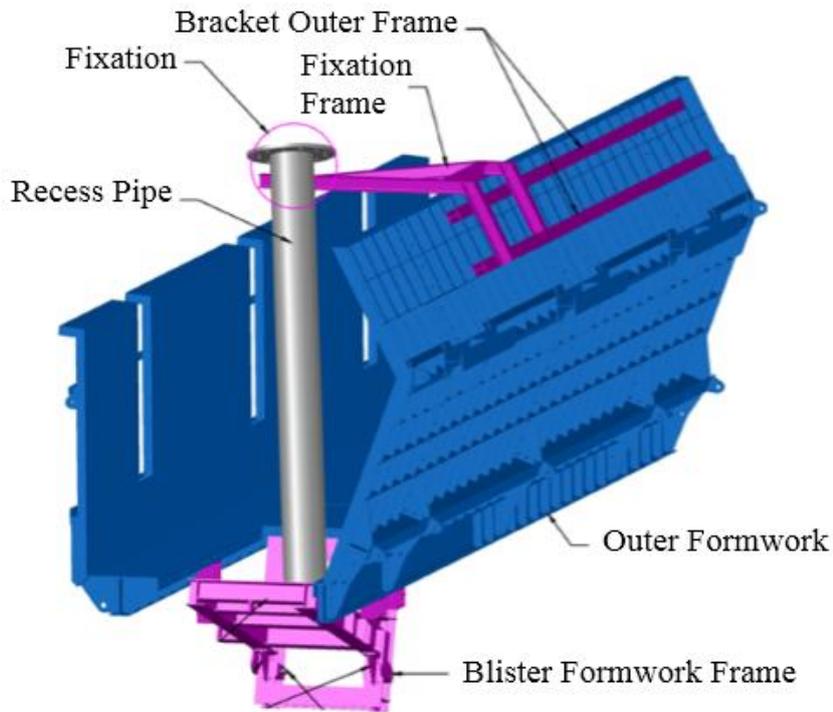
Tipikal Pekerjaan *Main Deck*

Seperti halnya jembatan *cable stayed* lainnya, Jembatan Pulau Balang juga mempunyai tipikal urutan kerja. Urutan kerja *main deck* Jembatan Pulau Balang meliputi *launching form traveler*, *setting* elevasi *deck*, pemasangan *embedded pipe*, penarikan pertama *stay cable*, pemasangan pipa HDPE, pembesian, pemasangan *ducting PT*, pengecoran *main deck*, *curing* beton, *stressing PT*, *transfer load* (pemindahan gaya *stay cable* dari *form traveler* ke *edge beam*), dan penarikan kedua *stay cable*.

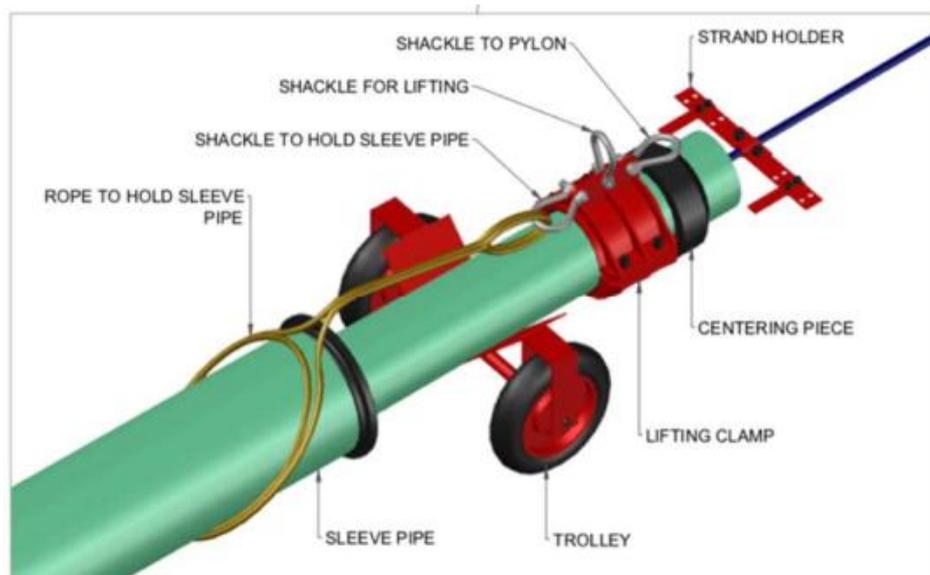
Embedded pipe dipasang sesuai dengan koordinat *setting* yang telah diperhitungkan terhadap *sagging*, yaitu kelengkungan kabel saat terpasang, dan *pracamber*, atau penyesuaian elevasi terhadap urutan pelaksanaan konstruksi. Ilustrasi pemasangan *embedded pipe* dapat dilihat pada Gambar 4. Toleransi ketelitian pemasangan yang diizinkan adalah ± 10 mm untuk jarak dengan arah x, y, z dan $\pm 0,3^\circ$ untuk sudut.

Pipa HDPE *Stay Cable* berfungsi sebagai pelindung *strand cable stay*. Pipa HDPE yang terpasang disesuaikan dengan jumlah *strand* pada segmen tersebut. Ilustrasi rangkaian HDPE sisi *pylon* dan *deck* dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.

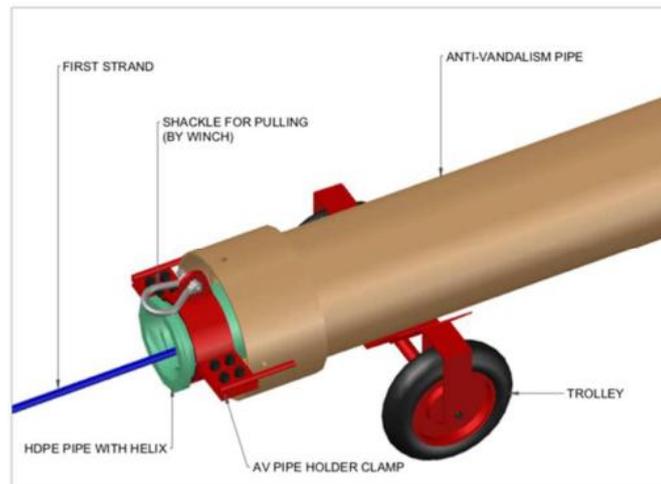
Instalasi *Stay Cable* dilakukan dengan menarik *strand* satu per satu menggunakan *glider* yang terhubung pada *pulling winch* di dalam *pylon*. Urutan penarikan *stay cable* harus sudah didefinisikan di awal. *Stay cable* kemudian di-*stressing* menggunakan *content jack* untuk memastikan agar setiap *strand* pada *stay cable* tersebut memiliki gaya atau tegangan yang relatif seragam.



Gambar 4 Ilustrasi Metode *Setting Embedded Pipe*



Gambar 5 Rangkaian HDPE Sisi *Pylon*



Gambar 6 Rangkaian HDPE Sisi Deck

TANTANGAN

Detailing Tulangan dan *Post Tension*

Pembesian yang rapat dan banyaknya *ducting* untuk *post tension* pada pekerjaan *deck* membutuhkan ketelitian yang tinggi. Selain itu lubang-lubang *ducting* untuk *traveler* dan *blister* menyebabkan rumitnya pekerjaan pembesian dan *ducting* pada *deck*. Selain itu, diperlukan perhatian khusus pada sambungan *ducting* agar tidak terjadi kebocoran pada saat pengecoran.

Post Tensioning dilakukan pada saat kuat beton mencapai 28 MPa oleh petugas yang berpengalaman dengan *jacking force* sebesar 75% UTS. Pada saat pelaksanaan *post tensioning*, elongasi harus dicatat dengan toleransi 7% (ACI, 2014; BSN, 2005; Bondy, 2012).

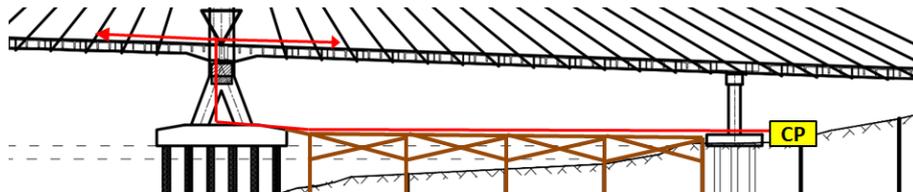
Kontrol Camber

Elevasi atau camber *main deck* akan berubah pada setiap tahapan. Untuk itu, diperlukan *backward analysis* untuk menentukan target elevasi pada ujung segmen untuk tiap tahapnya (pracamber). Kontrol terhadap camber ini sangat penting untuk mendapatkan geometri jembatan yang halus, sehingga menjamin kenyamanan pengguna jembatan. Pada Jembatan Pulau Balang, pemantauan terhadap pracamber dilakukan pada tahapan penarikan pertama *stay cable* (*stay cable* terhubung dengan *form traveler*), pengecoran, penarikan tendon *post tensioning* pada *deck*, penarikan kedua *stay cable* (*stay cable* terhubung dengan *main deck*, *form traveler* tidak memikul beban), dan ketika *form traveler* maju ke segmen berikutnya (BSN, 2004; BSI, 2009; ACI 2016).

Konsistensi Beton

Pada jembatan bentang panjang, konsistensi penuangan beton harus mendapat perhatian khusus (BSN, 2004; ACI, 2014). Apabila memungkinkan, pengecoran dapat dilakukan

menggunakan *floating batching plant* atau dengan menuangkan beton langsung dengan menggunakan *truck mixer*. Hal ini dimaksudkan agar beton segar dapat langsung dituang pada segmen yang akan dicor, sehingga menjamin homogenitas dan konsistensi beton (BSI, 2009). Pada Jembatan Pulau Balang, kedua hal tersebut tidak dimungkinkan, sehingga pengecoran harus menggunakan *concrete pump*, dengan pipa yang membentang sepanjang jembatan (lihat Gambar 7). Dengan kondisi tersebut panjang pipa pada kondisi terpanjang bisa mencapai 400 m.



Gambar 7 Ilustrasi Metode Pengecoran *Main Deck*

Launching Form Traveler

Pengoperasian *traveler* harus dilaksanakan dengan hati-hati mengingat adanya keterkaitan dengan ketelitian pekerjaan, *heavy lifting*, dan keselamatan struktur, sehingga prosedur *checklist* harus diberlakukan. Terdapat batasan kondisi angin dalam pengoperasian *form traveler* sesuai dengan yang terdapat pada Tabel 1.

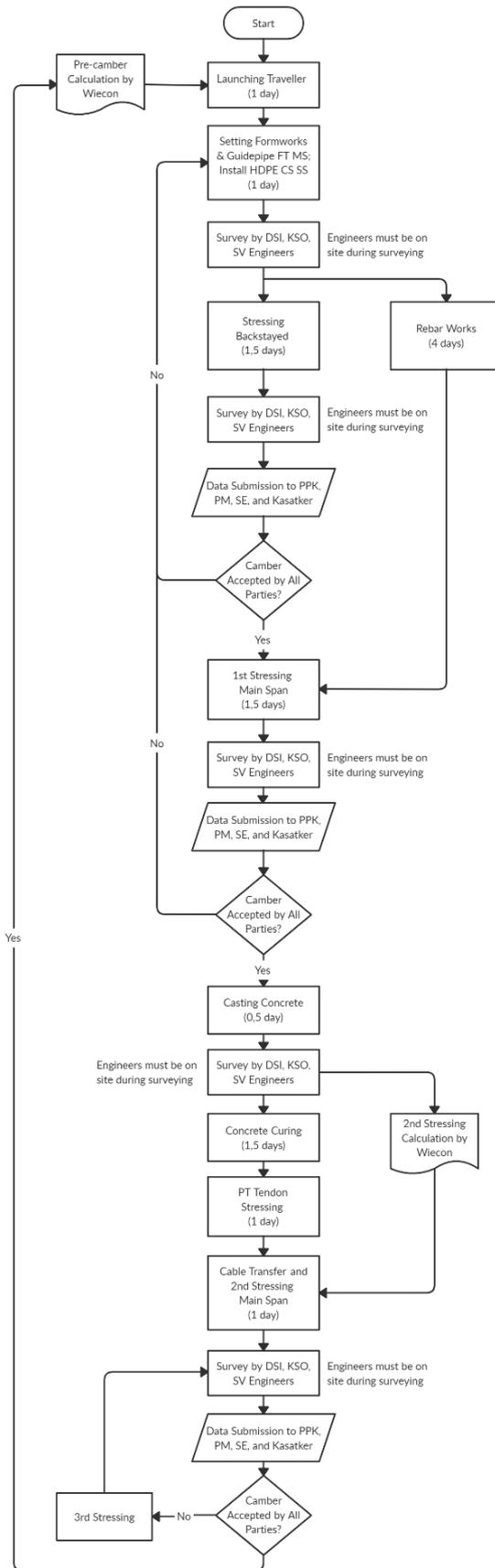
Tabel 1 Kondisi Operasional *Form Traveler*

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Jenis Pekerjaan yang Diizinkan
1	0–20	1) <i>Launching Form Traveler</i> diizinkan
2	20–30	2) <i>Launching Form Traveler</i> tidak diizinkan 3) Pembesian dan Pengecoran diizinkan
3	> 30	4) <i>Launching Form Traveler</i> tidak diizinkan, <i>kicker</i> harus dipasang kembali

OPTIMASI

Construction Engineering Sequence

Untuk mengoptimasi waktu, beberapa pekerjaan dilakukan secara paralel. Hal ini memerlukan analisis yang lebih detail untuk setiap pekerjaan, sehingga elevasi (pracamber) dan tegangan pada *stay cable* tetap dijaga untuk menjamin keamanan struktur dan kenyamanan pengguna jembatan.



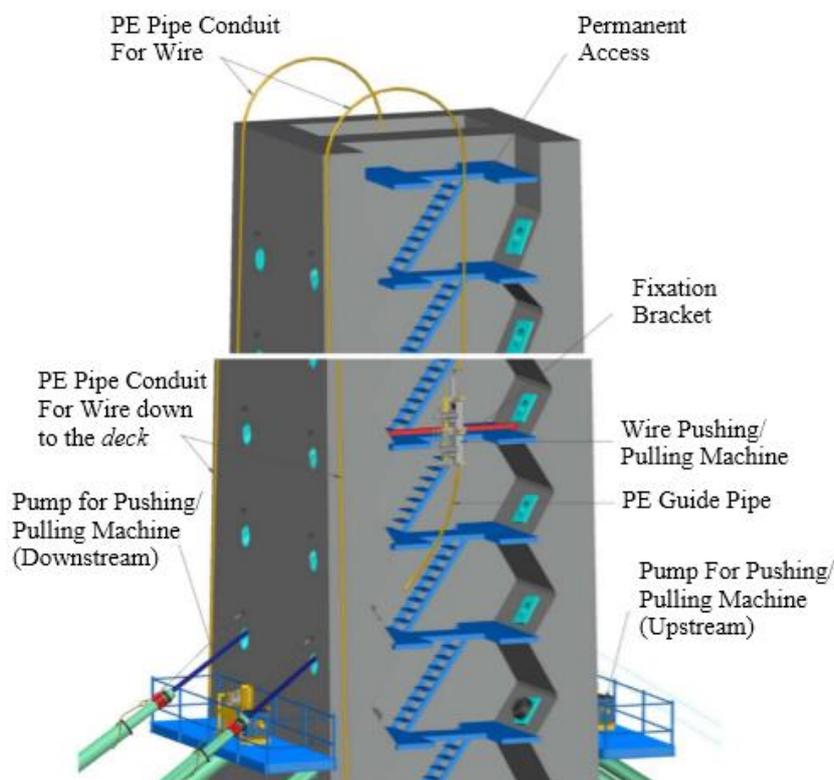
Gambar 8 Urutan Kerja Optimasi *Main Deck*

Pada jembatan Pulau Balang, pekerjaan setting elevasi *formwork main span* dapat dilakukan sebelum penarikan *stay cable* pada sisi *side span* dengan memperhitungkan perubahan elevasi. Penarikan *stay cable* pada sisi *side span* ini dilakukan secara bersamaan dengan pekerjaan pembesian, dengan urutan kerja seperti yang terdapat pada Gambar 8.

Skema Penempatan Alat

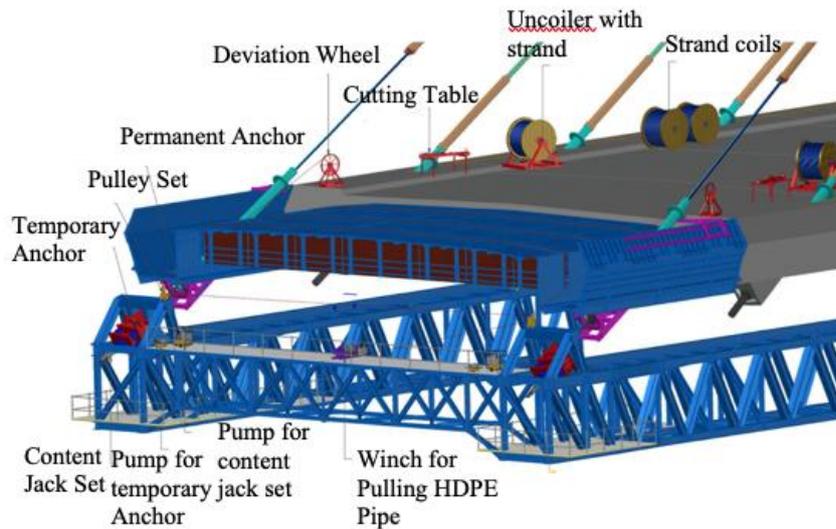
Pengaturan posisi peralatan yang tepat dapat mereduksi waktu pelaksanaan. Untuk itu dilakukan pengaturan skema penempatan alat di *pylon* dan di *deck*.

Penempatan alat pada *pylon* diatur sedemikian rupa sehingga pipa *conduit* untuk *wire* terakomodir dengan baik dan tidak menyebabkan *strand* kusut saat proses penjemputan *strand stay cable*. Pompa *hydraulic* diusahakan berada di sisi luar *pylon* agar tidak mempersempit ruang gerak pekerjaan *stay cable* yang berada di dalam *pylon*. Skema penempatan peralatan pada *pylon* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Skema Penempatan Peralatan pada *Pylon*

Strand sesuai dengan kebutuhan segmen disiapkan pada *main deck* dan diletakan dekat dengan *uncoiler*. *Cutting table* diatur dengan *deviation wheel* agar proses instalasi kabel dapat berjalan dengan lebih baik dan lebih cepat. Pompa *hydraulic* untuk *content jack* dan *temporary* angkur ditempatkan pada area sisi sehingga ruang gerak proses *stressing* tidak terganggu dan waktu dapat tereduksi. Ilustrasi penempatan alat pada *deck* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Skema Penempatan Peralatan pada *Main Deck*

Prefabrikasi

Terdapat 2 pekerjaan yang dapat dilakukan secara prefabrikasi. Kedua pekerjaan tersebut adalah pekerjaan penulangan CBD (*transverse beam*) dan pekerjaan *Preassembly* angkur.

Pekerjaan penulangan tulangan CBD (*transverse beam*) dilakukan secara prefabrikasi paralel dengan pemasangan *recess pipe* maupun penulangan *edge beam*. Hal ini seperti yang terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Prefabrikasi Tulangan CBD

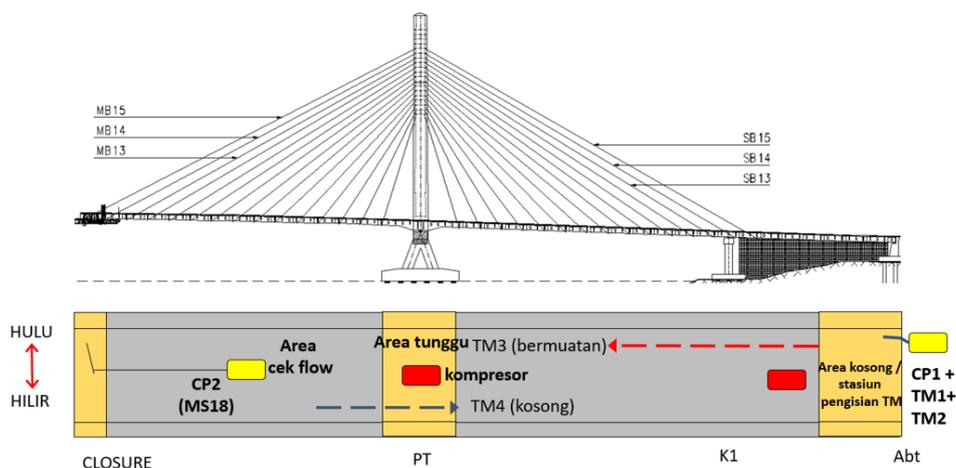
Preassembly angkur dengan *recess pipe* dilakukan sebelum diangkat ke *deck* untuk mempermudah penyetulan angkur dan pemasangan *formwork*. Ilustrasi *preassembly recess pipe* tersebut dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Preassembly Angkur dan Recess Pipe

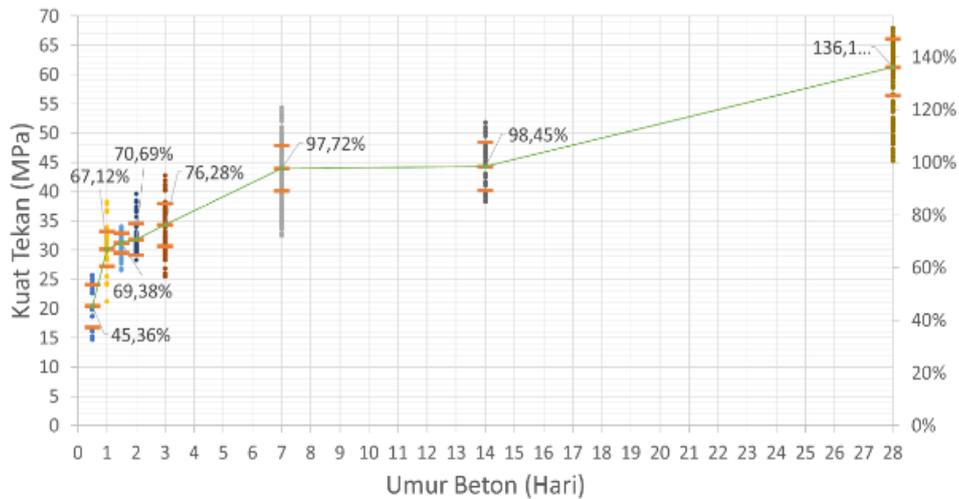
Konsistensi dan Mutu Beton

Untuk menjamin homogenitas dan konsistensi beton akibat hilangnya *flow* selama pengecoran, dilakukan perubahan metode konstruksi pengecoran *main span* segmen M15 sampai dengan *main closure*, dengan menempatkan *concrete pump* di atas *deck* jembatan dengan panjang pipa kurang dari 70 m. Hal ini dimungkinkan karena sisi *side span* dikerjakan secara *full shoring*. Pada saat pengecoran *main span*, seluruh sisi *span span* telah dilakukan penarikan *post-tensioning* dan *full shoring* tetap terpasang. Skema pengecoran *main span* dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13 Skema Pengecoran Main Span

Berdasarkan statistik sampel beton, pada umur 36 jam diperoleh rata-rata kuat tekan beton sebesar 31,22 MPa dengan deviasi standar 1,67 MPa. Hal ini memungkinkan penarikan *post-tensioning* dilakukan lebih awal. Pada pekerjaan ini, perawatan (*curing*) beton tetap dilakukan selama 7 hari (BSI, 2009; ACI, 2014). Grafik rata-rata mutu beton dan deviasi standar dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14 Hubungan Kuat Tekan dan Umur Beton

Pemasangan Tendon

Pemasangan *longitudinal tendon* pada *edge beam* dilakukan secara paralel dengan pemasangan *ducting*. Hal ini dapat menghemat waktu pelaksanaan instalasi *strand*, yang umumnya dilakukan setelah pengecoran. Layout *longitudinal tendon* pada *edge beam* sepanjang 18 m. Untuk memungkinkan pekerjaan pemasangan *strand* dilakukan paralel dengan *ducting*, diperlukan perpanjangan (*extension*) *form traveler*, seperti terlihat pada Gambar 15.



Gambar 15 Extension Form Traveler

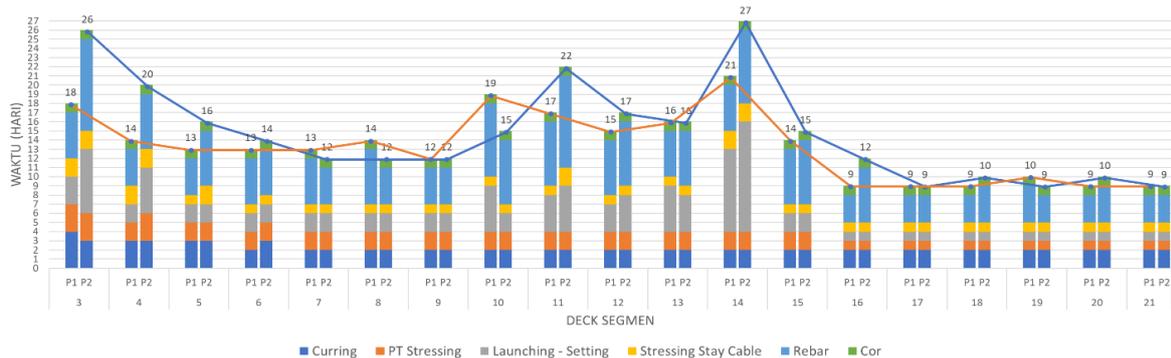
CAPAIAN

Waktu Pelaksanaan

Waktu penyelesaian 1 siklus pekerjaan *main deck*, sesuai dengan rencana awal, ditargetkan dapat diselesaikan dalam 14 hari. Dari masing-masing kegiatan dilakukan optimasi untuk dapat mengurangi waktu siklus pekerjaan. Beberapa hal signifikan yang

mempercepat siklus pekerjaan *main deck*, antara lain, adalah waktu penarikan tendon yang dipercepat dengan *high strength concrete* menjadi 36 jam, pembesian yang difabrikasi secara paralel pada bagian CBD, optimasi penempatan alat untuk percepatan pekerjaan *stressing*, dan *strand tendon* PT yang dipasang bersama dengan *ducting* sehingga mengurangi waktu untuk instalasi strand.

Dengan beberapa kondisi tersebut, waktu 1 siklus pekerjaan *main deck* dapat berkurang 5 hari, menjadi 9 hari per siklus pekerjaan. Waktu siklus pekerjaan *main deck* ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16 Waktu Pelaksanaan Pekerjaan *Main Deck*

Total waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan Segmen 3 sampai dengan Segmen 21 pada Pylon 1 dan Pylon 2 masing-masing adalah 254 hari dan 283 hari kerja. Dari total waktu tersebut, sebanyak 21 hari dan 27 hari diperlukan untuk menyelesaikan *side closure backstayed* Pylon 1 dan Pylon 2. Siklus tercepat untuk pekerjaan *main deck* adalah selama 9 hari, yaitu Pylon 1 segmen 16 sampai dengan segmen 21 dan Pylon 2 segmen 17 dan segmen 19.

Produktivitas Kerja

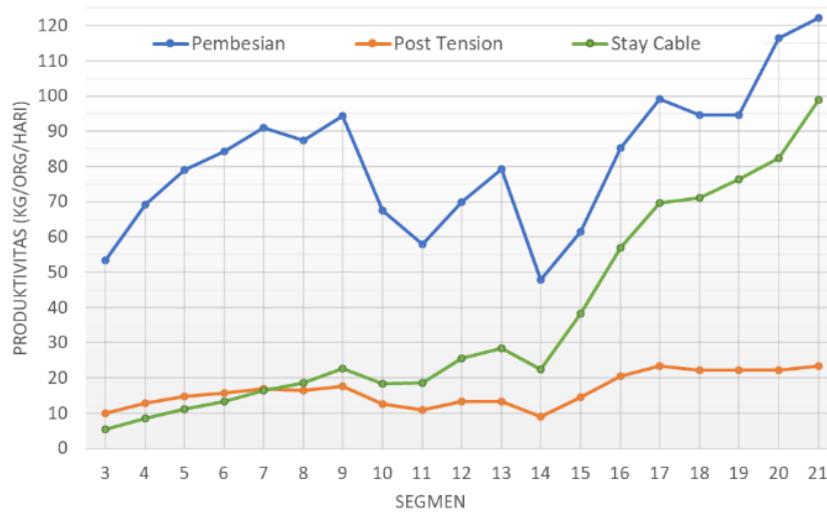
Produktivitas pekerjaan dari Segmen 3 sampai dengan akhir Segmen 21 mengalami peningkatan. Masing-masing kegiatan memiliki jumlah pekerja yang berbeda. Grafik produktivitas untuk masing-masing pekerjaan dapat dilihat pada Gambar 17.

Pada pekerjaan pembesian, setiap segmen memiliki volume yang hampir sama, yaitu sekitar 35 ton, dengan tenaga kerja sebanyak 33 orang untuk fabrikasi dan instalasi. Produktivitas pembesian pada Segmen 3 sekitar 53,4 kg/orang/hari dan pada Segmen 21 mencapai 12222 kg/orang/hari, dengan rata-rata 81,8 kg/orang/hari.

Untuk pekerjaan *post-tensioning*, total volume *strand* untuk tiap segmen sekitar 5 ton. Jumlah tenaga kerja untuk pemasangan *ducting*, instalasi *strand*, pemasangan angkur, dan *stressing* sebanyak 23 orang. Produktivitas pada Segmen 3 sekitar 9,9 kg/orang/hari dan pada Segmen 21 mencapai 23,5 kg/orang/hari, dengan rata-rata 16,4 kg/orang/hari.

Pekerjaan *stay cable* bervariasi untuk tiap segmennya. Volume pekerjaan *stay cable* berkisar 4 ton pada Segmen 3 dan terus meningkat menjadi 31 ton pada Segmen 21.

Produktivitas pekerjaan *stay cable* pada Segmen 3 sekitar 5,3 kg/orang/hari dan di Segmen 21 mencapai 99 kg/orang/hari, dengan rata-rata 37 kg/orang/hari.



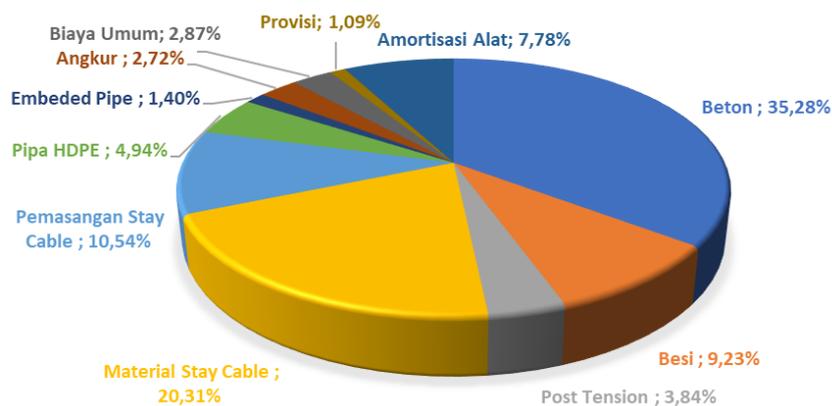
Gambar 17 Produktivitas Perkerjaan *Main Deck*

Analisis Biaya

Untuk melakukan analisis biaya, komponen biaya dibedakan menjadi 3 kelompok yaitu:

- 1) Biaya operasional; yang meliputi biaya-biaya umum, provisi, dan amortisasi alat.
- 2) Biaya pokok tipikal; merupakan biaya pokok yang volume dan tingkat kerumitannya relatif sama untuk tiap segmen, yang meliputi biaya-biaya bahan dan pemasangan untuk baja tulangan, beton, dan post tensioning.
- 3) Biaya pokok variabel; merupakan biaya pokok yang volume dan tingkat kerumitan pekerjaannya bervariasi untuk tiap segmen, yang terdiri atas biaya-biaya material dan pemasangan *stay cable*, pipa HDPE, dan sistem angkur.

Komponen biaya untuk seluruh pekerjaan *main deck* ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18 Komponen Biaya Pekerjaan *Main Deck*

Biaya pekerjaan *main deck* dipengaruhi oleh ketiga kelompok biaya tersebut. Komponen biaya pokok relatif bertambah sesuai dengan volume pekerjaan *deck* yang semakin besar pada segmen-segmen akhir. Komponen biaya operasional cenderung turun sesuai siklus segmen pekerjaan yang lebih cepat setiap segmennya. Proporsi biaya untuk tiap segmen dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19 Biaya Per Segmen *Deck*

Perbandingan dengan *Cable Stayed Sejenis*

Dalam rentang beberapa tahun terakhir terdapat jembatan *cable stay* menggunakan *deck* beton yang sejenis dengan Jembatan Pulau Balang. Jembatan-jembatan tersebut memiliki panjang segmen yang tidak jauh berbeda, yaitu sekitar 9 m, dan memiliki lebar yang bervariasi antara 16,95 m hingga 25 m.

Tabel 2 Perbandingan *Cable Stayed Sejenis*

No.	Bridge Name and Location	Country	Construction Year	Stay Details			Bridge Geometry			Bridge Segmentation (m)		Type of Form Traveler	Productivity (m ² /days)
				No. of Pylons	No. of Stays	Anchor Type	Tonage (t)	Span Config (m)	Width (m)	Length (m)	Cycle Time of Construction (days)		
1	Balang Bridge Balikpapan, East Kalimantan	Indonesia	2016–2021	2	168	31, 37, 43, 55, 61, 73	1394	201-402-201	23,4	9	9	Underslung	23,40
2	Kendari Bay Bridge Kendari, Southesat Sulawesi	Indonesia	2015–2020	2	80	37, 43, 55, 61, 73	360	100-200-100	25	9	14	Underslung	16,07
3	Neak Loeung Bridge Neak Loeung, Prey Veng	Cambodia	2011–2015	2	160	31, 37, 55, 61	930	155-330-155	16,98	8	8	Underslung	16,98
4	Soekarno Manado, North Sulawesi	Indonesia	2007–2014	1	44	22, 31, 37, 55	139	120-120	17	9	14	Underslung	10,93
5	Teuku Angung Sultanah Latifah Kab. Siak, Riau	Indonesia	2002–2007	2	88	19, 22, 31, 37, 55	280	94-200-94	16,95	9	14	Overhang	10,90

Bila dibandingkan dengan jembatan-jembatan tersebut, Jembatan Pulau Balang memiliki bentang terpanjang untuk jenis jembatan *cable stay* dengan *deck* beton, dengan waktu siklus yang tercepat untuk jembatan dengan segmen 9 m, serta memiliki indeks produktivitas yang terbaik, yaitu dengan kecepatan 23,4 m²/hari untuk segmen tercepatnya. Perbandingan antara jembatan-jembatan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari beberapa hal yang dijelaskan sebelumnya, didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Optimasi yang dilakukan, yaitu berupa *arrangement* alat, pekerjaan prefabrikasi, *desain form traveler*, *job mix* beton, dan *construction sequence engineering* dapat mempersingkat siklus pekerjaan dari 14 hari menjadi 9 hari per segmen.
- 2) Total waktu penyelesaian pekerjaan *main deck* dari Segmen 3 sampai dengan Segmen 21, untuk *Pylon 1* dan *Pylon 2*, masing-masing selama 254 hari dan 283 hari.
- 3) Siklus tercepat untuk pekerjaan *main deck* adalah 9 hari (*Pylon 1* segmen 16 sampai dengan segmen 21 dan *Pylon 2* segmen 17 dan segmen 19).
- 4) Produktivitas rata-rata pada *main deck* untuk pekerjaan pembesian adalah 81,8 kg/orang/hari, untuk *post tension* 16,4 kg/orang/hari, dan untuk *stay cable* 37 kg/orang/hari.
- 5) Biaya operasional berkurang seiring dengan siklus pekerjaan yang semakin cepat.
- 6) Siklus pekerjaan *main deck* Jembatan Pulau Balang merupakan yang tercepat saat ini.

Untuk perbaikan pekerjaan dikemudian hari ada beberapa saran yang mungkin dapat dipertimbangkan, yaitu:

- 1) Menggunakan tenaga kerja yang sudah berpengalaman untuk mengurangi kesalahan dan pekerjaan berulang; dan
- 2) Pengaturan *shift* pekerja bila jumlah pekerja dalam satu grup pekerjaan sudah tidak efisien bila ditambah pekerja.

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute (ACI). 2014. *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318R-14)*. Farmington Hills, MI.
- American Concrete Institute (ACI). 2016. *Guide to Estimating Prestress Losses (ACI 423.10R-16)*. Farmington Hills, MI.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2004. *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan. SNI-T12*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2005. *Standar Pembebanan untuk Jembatan. RSNI T-02-2005*. Jakarta.

- Bondy, K.B. 2012. *Short Tendon Elongations*. PTI Technical Notes. Technical Note No. 16. Farmington Hills, MI: Post-Tensioning Institute.
- British Standards Institution (BSI). 2009. *Execution of Concrete Structures BS EN 13670: 2009*. London.