

4 9 1 5 0 0 4 8 0 2 J B 0 1 0 5

LAPORAN AKHIR
PENGEMBANGAN GELAGAR PRACETAK
SEGMENTAL BETON MUTU TINGGI



DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN

Jl. A.H. Nasution No. 264 Kotak Pos 2 Ujungberung Telp. (022) 7802251 Fax. 7802726 Bandung 40294 e-mail:pusjatan@pusjatan.pu.go.id



0000016639

0000016639

PERPUSTAKAAN
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN

No. ID. : 2006/10156

UDC : 625.7 (047.31)

EX : 1

4 9 1 5 0 0 4 8 0 2 J B 0 1 0 5

LAPORAN AKHIR
PENGEMBANGAN GELAGAR PRACETAK
SEGMENTAL BETON MUTU TINGGI

DR. H. ... M. Sc.
NIP. 110 032 487

DR. H. ... M. Sc.
NIP. 110 013 343

Maryati,
Kepala Tim Teknis

Maryati,
Kepala Satuan Kerja

Dr. ... M. Sc.
NIP. 110 020 993

Dr. ... M. Sc.
NIP. 110 021 134

Kepala Pusat Litbang Jalan dan Jembatan



DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN
Jl. A.H. Nasution No. 264 PO BOX 2 Bandung 40294 Indonesia Telp. (022) 7802251 Fax. 7802726 e-mail: pusjatan@pusjatan.pu.go.id

**PENGEMBANGAN GELAGAR PRACETAK
SEGMENTAL BETON MUTU TINGGI**

TAHUN 2005

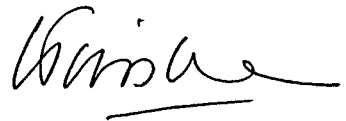
Bandung, Desember 2005

Mengetahui
Kepala Balai/Koordinator Penelitian,



DR. Ir. Siegfried, M. Sc.
NIP. : 110 052 487

Peneliti Utama,



Ir. Lanneke Tristanto, APU
NIP. 110 013 248

Menyetujui,
Ketua Tim Teknis



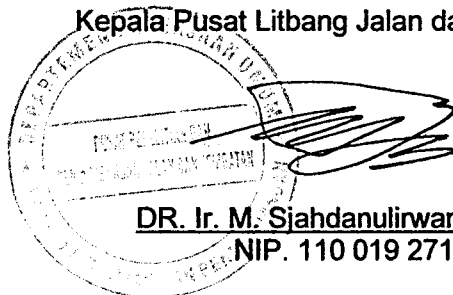
Ir. Agus Bari Sailendra, M.Sc
NIP. 110 020 993

Menyetujui,
Kepala Satuan Kerja



Ir. Nanny Kusminingrum
NIP. 110 021 134

Kepala Pusat Litbang Jalan dan Jembatan



DR. Ir. M. Sjahdanulirwan, M. Sc
NIP. 110 019 271

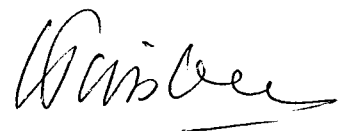
4	9	1	5	0	0	4	8	0	2	J	B	0	1	0	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

PENGEMBANGAN GELAGAR PRACETAK SEGMENTAL BETON MUTU TINGGI

Tim Pelaksana :

- 1. Peneliti Utama** : Ir. Lanneke Tristanto, APU.
- 2. Peneliti** : 1. N. Retno Setiati, ST., MT.
2. Ir. Setyo Hardono, MT.
3. Iif Harry Setyadi, ST.
- 3. Pembantu Peneliti /Teknisi** : 1. Surya Putra B. Sc.
2. KGS Rasyidi, BE.
3. Indra Bakti Utama
4. R. Moh. Harijanto
5. Rachmat

Peneliti Utama,



(Ir. Lanneke Tristanto, APU)
NIP. 110 013 248

Ringkasan Eksekutif

(Executive Summary)

I. LATAR BELAKANG

Beton dengan kuat tekan 65 MPa pada penelitian, pembuatan serta pengujian prototipe gelagar beton mutu tinggi bentang 22 m skala penuh telah dilakukan dalam tahun 2002 di Proyek Pengadaan Komponen Jembatan Pracetak Buntu. Ternyata pembinaan sumber daya yang dimiliki oleh Departemen PU terpacu dan memadai untuk mengembangkan produksi gelagar beton mutu tinggi.

Prototipe gelagar I komposit monolitik dalam tahun 2002 dibuat untuk bentang 22 m dengan acuan standar yang tersedia di pabrik pracetak Buntu. Masalah transportasi gelagar monolitik diatasi dengan pengembangan gelagar segmental. Dalam tahun 2005 akan dibuat prototipe gelagar I komposit segmental dengan modifikasi sebagian acuan standar. Bentang prototipe 22 m dipertahankan untuk penghematan biaya dan peralatan pengujian, serta diperhitungkan mewakili bentangan sampai 43 m.

2. TUJUAN DAN SASARAN

2.1 Tujuan

- Mendukung kemampuan industri beton pracetak ;
- Mendukung efisiensi dan standarisasi gelagar beton mutu tinggi (BMT).

2.2 Sasaran

- Prototipe gelagar I komposit BMT dengan sistem segmental ;
- Konsep pedoman teknis untuk standar gelagar BMT.

3. KAJIAN PUSTAKA

Teknologi beton di Indonesia perlu dibina agar gap antara perencana, pelaksana, dan pengawas lapangan diperkecil. Penelitian ini mencakup pembinaan personil dalam produksi beton mutu tinggi di kalangan pabrikasi beton pracetak dalam lingkungan ke-PU-an.

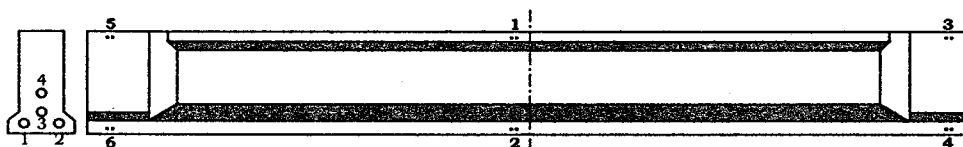
Mutu bahan agregat beton menentukan kekuatan beton, dan diatasi dengan bahan tambah seperti abu terbang, serbuk silika, plasticiser serta kadar semen untuk mencapai suatu kekuatan optimal untuk bahan yang tersedia setempat. Kekuatan beton optimal dalam eksperimen pelaksanaan berkisar antara 65 - 75 MPa.

Gelagar beton mutu tinggi dengan kuat tekan karakteristik 65 MPa optimal dalam memenuhi persyaratan fleksibilitas lentur serta menyediakan cukup tempat untuk angkur kabel prategang. Peningkatan mutu beton sampai 100 MPa teoritis terlaksana tetapi terjadi lendutan besar dan kesulitan penempatan angkur kabel prategang.

Kesulitan penempatan angkur kabel prategang dalam desain alternatif ditampung oleh diafragma tambahan yang berada di dalam gelagar boks, sehingga dilakukan pasca-penegangan internal di dalam badan boks dan eksternal didalam diafragma. Untuk desain alternatif akan dikaji mutu beton optimal yang memenuhi persyaratan fleksibilitas.

4. METODOLOGI DAN HASIL PENELITIAN

Peningkatan standar gelagar segmental tipe I komposit dalam bentang sederhana dapat di-optimal-kan dari mutu beton 40 MPa ke 65 MPa dengan sistem tendon internal dan pertebalan blok angkur untuk bentangan 22,6 m : gelagar I tinggi 900 mm (semula untuk 19,6 m), ctc 185 cm. Pengukuran regangan dan lendutan dilakukan di lokasi blok angkur dan tengah bentang gelagar sebagai berikut :



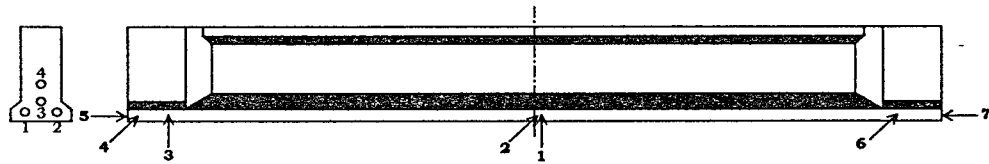
Gambar 1. Sketsa pengujian regangan

Tabel 1. Regangan ϵ ($\times 1,97.10^{-5}$) gelagar pada penegangan tendon
(nilai positif = regangan tarik)

Tahap	Kondisi penegangan	Titik D1 serat atas tengah bentang	Titik D2 serat bawah tengah bentang	Titik D3 Serat atas blok angkur ka	Titik D4 Serat bawah blok angkur ka	Titik D5 Serat atas blok angkur ki	Titik D6 Serat bawah blok angkur ki
1	0%	0	0	0	0	0	0
2 *	50% tendon 3	-11	0	-2	-1	1	0
3 **	50% tendon 3	-11,5	-3	-4	-2	0	0
4	100% tendon3	-14,5	-4	-5	-3	-1	-3
5	50% tendon 2	-18,5	-13	-4	-4	0	-1
6	50% tendon 1	-13,5	-13	-3	-3	0	-1
7	100% tendon 1	-4,5	-10	-2	-1	0	1
8	100% tendon 2	-6,5	-24	-3	-2	2	3
9	50% tendon 4	-4,5	-28	-1	0	2	3
10	100% tendon 4	-3,5	-32	0	-1	3	2
11	100% selesai	-3,5	-34	-1	0	2	1

* Tahap 1-2 : Penegangan tendon untuk penyambungan segmen dengan lapis epoksi

** Tahap 3-11 : Penegangan tendon dilanjutkan setelah segmen gelagar tersambung



Gambar 2. Sketsa pengujian lendutan

Tabel 2. Lawan lendutan (arah vertikal dalam mm) dan simpangan arah horisontal (arah lateral dan memanjang dalam mm) pada penegangan tendon

Tahap	Kondisi penegangan	Titik G1 Vertikal tengah bentang	Titik G2 Lateral tengah bentang	Titik G3 Vertikal blok angkur ki	Titik G4 Lateral blok angkur ki	Titik G5 Memanjang blok angkur ki	Titik G6 Lateral blok angkur ka	Titik G7 Memanjang blok angkur ka
1	0%							
2 *	50% tendon 3							
3 **	50% tendon 3	~0	~0	~0	~0	~0	~0	~0
4	100% tendon3	1,09	0,19	-0,35	0,11	-1,24	0,02	-0,34
5	50% tendon 2	7,81	22,28	-0,62	1,03	-1,39	-0,78	-3,40
6	50% tendon 1	18,18	-0,27	-0,75	-0,17	-3,85	0,21	-7,26
7	100% tendon 1	30,48	26,95	-0,92	-1,79	-7,16	1,92	-2,20
8	100% tendon 2	47,99	-7,43	-1,06	-0,57	-7,64	0,53	-5,50
9	50% tendon 4	53,73	-8,23	-1,09	-0,71	-9,19	0,48	-5,49
10	100% tendon 4	62,28	-8,15	-1,16	-0,94	-11,52	0,42	-5,42
11	100% selesai	65,38	-7,98	-1,19	-1,03	-12,33	0,41	-5,3

* Tahap 1-2 : Penegangan tendon untuk penyambungan segmen dengan lapis epoksi

** Tahap 3-11 : Penegangan tendon dilanjutkan setelah segmen gelagar tersambung

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian dan penerapan beton mutu tinggi dalam gelagar segmental memberikan kesimpulan yang berikut :

- Pengendalian mutu prototipe perlu dilakukan sebagai berikut :
 - Pembuatan prototipe dalam penelitian mendatang perlu pengawasan penuh dengan dibentuknya tim khusus, agar kegagalan model dapat dihindari ;
 - Tim khusus harus berada di lokasi selama proses pembuatan dan pengecoran beton dari gelagar prototipe dan diberi wewenang untuk mengambil keputusan di tempat ;
 - Tim khusus terdiri dari 1 Engineer dan 2 Teknisi beton.
- Argumentasi gelagar percontohan yang telah dilaksanakan:

- Gelagar percontohan yang telah terlaksana kurang memenuhi syarat untuk digunakan sebagai model prototipe secara penuh dengan uji beban yang merusak ;
 - Gelagar mempunyai kelebihan kekuatan tendon dibanding kekurangan kekuatan beton yang disebut keadaan “ *over reinforced* ” ;
 - Pada uji beban sampai batas ultimit akan terjadi keruntuhan tekan beton lebih awal dari keruntuhan tendon prategang ;
 - Gelagar dengan demikian tidak mencapai kekuatan rencana.
3. Manfaat penelitian yang diperoleh dari gelagar percontohan yang telah terlaksana :
- Gelagar digunakan untuk pemeriksaan kekuatan aktual beton secara tidak merusak ;
 - Cara deteksi regangan dan lawan lendutan selama proses penegangan tendon merupakan cara yang andal dan tidak merusak untuk menentukan modulus elastisitas aktual dari gelagar beton ;
 - Modulus elastisitas beton aktual memberikan korelasi langsung dengan kekuatan tekan beton aktual yang mewakili kekuatan karakteristik beton.
4. Kekurangan penelitian dari gelagar percontohan yang telah terlaksana :
- Gelagar tidak diuji sampai kekuatan batas ultimit, sehingga faktor keamanan beban rencana terhadap beban ultimit (persyaratan faktor beban ultimit adalah 1,8) tidak terungkap ;
 - Pembuatan gelagar percontohan diulang dalam tahun mendatang di mana kekurangan data uji akan diperbaiki.

5.2 Saran

Penelitian dan penerapan beton mutu tinggi dalam gelagar segmental memberikan saran yang berikut :

1. Saran untuk target utama
- Desiminasi *pengendalian beton mutu tinggi* perlu di-fokus-kan sebagai *target utama* , berarti perlu ada peningkatan sdm dalam teknologi perbetonan ;
 - Pengendalian mutu dalam produksi beton pracetak yang meliputi pemeriksaan bahan dasar berupa agregat dan bahan pengisi/tambahan, perencanaan campuran beton, pencapaian kekuatan target dan pengecekan kekuatan aktual dari hasil produksi komponen jembatan, perlu di-desiminasi-kan ;

- Pada produksi gelagar beton pracetak dapat diadakan cara uji petik berdasarkan pengamatan perilaku struktural selama proses penegangan sebagai verifikasi mutu hasil produksi
2. Saran untuk target akhir
- Pencapaian *bentangan panjang* dalam beton mutu tinggi adalah *target akhir*, yang keberhasilannya tergantung pada kemampuan teknologi perbetonan ;
 - Sistem gelagar segmental memungkinkan efisiensi dalam berat sendiri dari beton sebesar 20 – 30 % (untuk peningkatan dari f_c' 40 MPa menjadi f_c' 65 – 80 MPa) dalam pencapaian bentang panjang serta menghemat keperluan perancah.

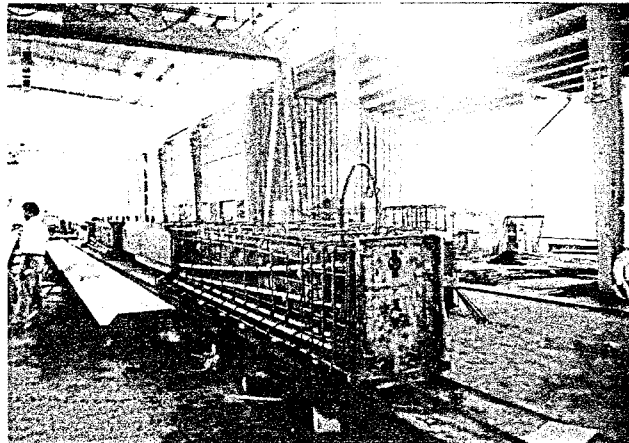


Foto 1. Sistem Penulangan Gelagar Beton Pracetak

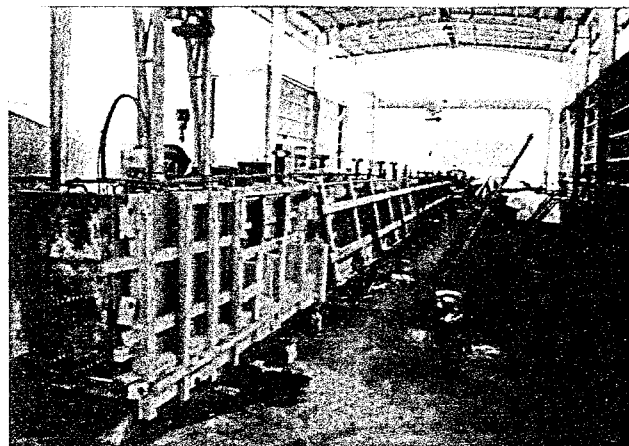


Foto 2. Pembukaan Bekisting Gelagar Beton Pracetak

KATA PENGANTAR

Gelagar menerus sistem segmental dengan beton mutu tinggi dikaji untuk meningkatkan efisiensi bangunan atas dan bangunan bawah jembatan dalam segi dimensi, berat sendiri beton dan biaya transportasi komponen pracetak.

Dalam tahun 2002 telah dilaksanakan prototipe gelagar I monolitik dengan lantai komposit untuk bentang tunggal 22m. Kemudian dilanjutkan dengan prototipe gelagar I segmental dengan lantai komposit untuk bentang tunggal 22m dalam tahun 2005. Mutu beton adalah $f_c' 65$ MPa. Prategangan internal digunakan dalam kombinasi pra dan pasca penegangan untuk gelagar tipe monolitik, serta pasca penegangan untuk gelagar tipe segmental.

Gelagar I komposit dengan bentang tunggal yang bervariasi antara 22 – 45 m akan dikembangkan menjadi sistem bentang menerus dalam studi tahun 2006.

Pengkajian gelagar boks menerus sistem segmental dengan beton mutu tinggi bervariasi $f_c' 65-80$ MPa akan menjadi topik pengkajian dalam tahun 2006. Prategangan internal dan eksternal dalam studi berikut perlu dikaji untuk digunakan secara murni dan juga dalam kombinasi satu dengan lainnya.

Keutuhan sambungan segmen ke segmen perlu dikaji lebih lanjut sehubungan dengan perencanaan prategangan parsial atau penuh agar sambungan tidak terbuka akibat beton mengalami tarik pada saat dibebani sampai ultimit.

Penerapan teknologi beton mutu tinggi dalam pabrikasi komponen beton pracetak jembatan akan meningkatkan mutu, desain serta segi ekonomis dalam menunjang pembangunan jembatan bentang panjang di Indonesia.

Abstrak

Gelagar beton pracetak yang umumnya diproduksi dengan mutu beton 40 MPa, akan menghemat 20% dalam dimensi dan berat sendiri pada mutu beton 65 MPa untuk kapasitas daya pikul beban yang sama. Dengan penghematan 20%, maka rangkaian bentang gelagar standar dari 13 - 40 m ditingkatkan ke 16 - 45 m.

Selain pengembangan gelagar standar (penampang I komposit) pracetak segmental di Proyek Pengadaan Komponen Jembatan Pracetak Buntu, juga akan dikembangkan tipe gelagar segmental alternatif (seperti penampang boks komposit) yang mencapai bentang 50 m untuk memperluas lingkup pedoman teknis. Transportasi komponen gelagar menjadi efisien dalam sistem segmental.

Daftar Isi

	Halaman
Lembar Pengesahan	i
Tim Pelaksana Kegiatan	ii
Executive Summary	iii
Kata Pengantar	iv
Abstrak	v
Daftar Isi.....	vi
BAB I PENDAHULUAN.....	I - 1
1.1 Latar Belakang.....	I - 1
1.2 Tujuan dan Sasaran.....	I - 2
1.3 Luaran	I - 2
1.4 Manfaat.....	I - 2
1.5 Ruang Lingkup.....	I - 2
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	II - 1
2.1 Beton Fiber Mutu Ultra Tinggi.....	II - 1
2.2 Konstruksi Segmental dengan Tendon Eksternal	II - 2
2.3 Gelagar Beton Pracetak Segmental di Indonesia	II - 7
BAB III METODOLOGI.....	III - 1
3.1 Kerangka Pemikiran	III - 1
3.2 Teknik Bahan Beton Mutu Tinggi.....	III - 1
3.2.1 Superplasticizer (<i>addmixture</i>) sebagai bahan tambahan	III - 1
3.2.2 Abu terbang (<i>additive</i>)	III - 4
3.2.3 Serbuk silika (<i>additive</i>)	III - 4
3.2.4 Klasifikasi beton mutu tinggi	III - 5
3.3 Teknik Analisis Prototipe Gelagar Segmental.....	III - 5
BAB IV HASIL PENELITIAN/PENGEMBANGAN/PENGKAJIAN.....	IV - 1
4.1 Hasil Penelitian Mutu Campuran Beton	IV - 1
4.2 Hasil Penelitian Prototipe Gelagar Segmental	IV - 3
4.3 Pengembangan Gelagar Segmental.....	IV - 7

4.4 Efisiensi Gelagar Menerus vs Gelagar Sederhana	IV - 8
4.4.1 Momen Lapangan dan Tumpuan	IV - 8
4.4.2 Keuntungan Sistem Menerus	IV - 8
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	V - 1
5.1 Kesimpulan.....	V - 1
5.2 Saran.....	V - 2
5.2.1 Saran untuk target utama	V - 2
5.2.2 Saran untuk target akhir.....	V - 2

Daftar Pustaka

Lampiran A Rencana Prototipe

Lampiran B Persiapan Prototipe

Lampiran C Hasil Uji Prototipe

Lampiran D Contoh Numerik Bidang Momen Bentang Menerus vs Sederhana

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Pembuatan serta pengujian prototipe gelagar monolitik dengan beton mutu tinggi 65 MPa karakteristik dilakukan dalam tahun 2002 di Proyek Pengadaan Komponen Jembatan Pracetak Buntu. Pembinaan sumber daya yang dimiliki oleh Departemen PU terpacu dan memadai untuk mengembangkan produksi gelagar beton mutu tinggi. Beton mutu tinggi menggunakan bahan agregat setempat secara selektif, yaitu agregat halus dengan kadar lumpur maksimum 1% dan batu pecah dengan ukuran nominal maksimum 20mm. Agregat selektif merupakan unsur utama dalam meningkatkan mutu beton sampai 90 MPa (80 MPa karakteristik). Beton mutu tinggi adalah inovasi bahan untuk desain gelagar alternatif yang hemat dimensi dalam pencapaian bentang panjang.

Prototipe gelagar I komposit dalam tahun 2002 telah dibuat dan diuji untuk bentang 22,6m monolitik dengan mutu beton 65 MPa karakteristik, dimana dipertahankan dimensi penampang standar untuk bentang 19,6m dengan penambahan strand dalam sistem pra-penegangan. Salah satu keuntungan gelagar monolitik adalah penggabungan sistem pra-penegangan (ikatan strand dalam beton) dan pasca penegangan (ikatan strand pada angkur), yang menanggulangi keterbatasan dimensi blok angkur. Dengan meningkatkan mutu beton, gelagar standar untuk bentang 19,6m (40 MPa) dapat diperpanjang menjadi 22,6m (65 MPa), yang berarti peningkatan panjang bentang 15% dan penghematan berat beton 20%.

Biaya transportasi gelagar monolitik bentang 22,6 m hampir sama dengan biaya pembetonan gelagar. Penghematan transportasi menjadi argumentasi untuk pengembangan gelagar sistem segmental. Biaya transportasi gelagar segmental dapat berkurang sampai sepertiga biaya transportasi gelagar monolitik. dengan membagi bentang 22,6 m dalam empat bagian dengan panjang masing-masing segmen 5-6m.

Dalam tahun 2005 dibuat prototipe gelagar I segmental dengan modifikasi tebal blok angkur. Penambahan tebal blok angkur diperlukan untuk menampung jumlah angkur tendon yang diperlukan, mengingat reduksi tinggi gelagar perlu disertai dengan penambahan tendon prategang. Bentang prototipe gelagar segmental dipertahankan 22,6 m, dan mewakili gelagar segmental dengan sistem serupa sampai bentang 46,6 m.

1.2 TUJUAN DAN SASARAN

Teknologi beton di Indonesia perlu dibina agar gap antara perencana-pelaksana dan pengawas lapangan diperkecil. Penelitian ini mencakup pembinaan personil dalam produksi beton mutu tinggi di kalangan pabrikasi beton pracetak dalam lingkungan ke-PU-an.

Efisiensi dimensi dan berat sendiri beton mutu tinggi akan menghemat biaya bangunan atas, bangunan bawah dan transportasi segmen beton pracetak. Hasil penelitian ini diharapkan memberi motivasi dalam meningkatkan teknologi dan penggunaan beton mutu tinggi dalam pembangunan jembatan.

1.3 LUARAN (*Output*)

Luaran hasil penelitian menjadi optimalisasi gelagar beton mutu tinggi sistem segmental sebagai acuan standarisasi komponen jembatan beton pracetak.

1.4 MANFAAT (*Outcome*)

Memberi arahan dan pedoman pada perencana-pelaksana-pengawas dalam memproduksi gelagar sistem prategang segmental dalam beton pracetak mutu tinggi.

1.5 RUANG LINGKUP

Lingkup kegiatan yang dilakukan untuk mencapai sasaran yang telah direncanakan adalah :

- Mengumpulkan bahan referensi yang berhubungan dengan beton mutu tinggi dan gelagar pracetak segmental ;
- Melakukan peninjauan untuk menjalin kerjasama dengan pabrik komponen jembatan beton pracetak Buntu ;
- Melakukan perencanaan campuran beton dengan kadar air bebas dan kadar semen yang efisien ;
- Melakukan persiapan metode, acuan dan penulangan untuk percontohan gelagar segmental pracetak di Buntu ;
- Memproduksi segmen gelagar pracetak skala penuh di Buntu ;
- Merangkai komponen gelagar segmental menjadi gelagar utuh ;
- Melakukan penarikan tendon pada gelagar prototipe skala penuh ;
- Mengadakan evaluasi hasil pengukuran regangan dan lendutan selama proses penarikan tendon ;

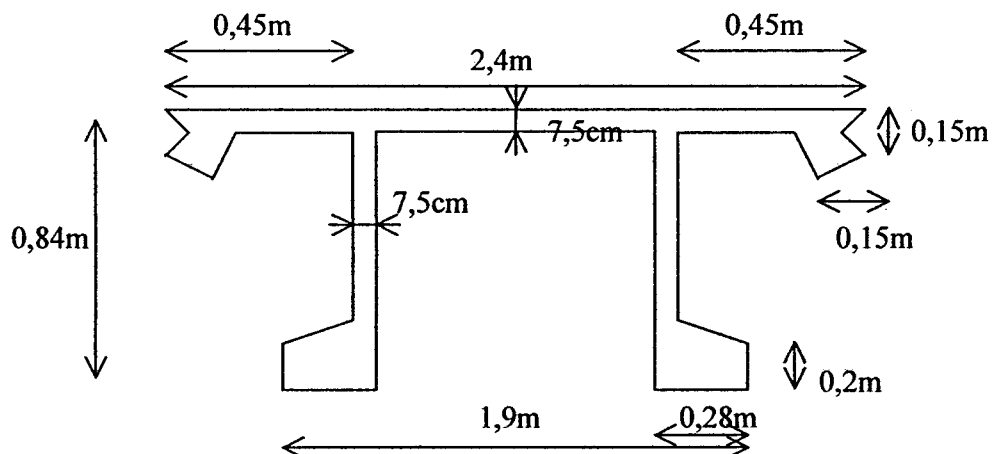
- Mengadakan evaluasi pengendalian mutu gelagar prototipe ;
- Mendesain pengembangan bentangan gelagar beton pracetak segmental untuk produksi dengan beton mutu tinggi ;
- Mempersiapkan konsep pedoman gelagar pracetak segmental beton mutu tinggi.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 BETON FIBER MUTU ULTRA TINGGI (Referensi Pustaka 7)

Dalam referensi pustaka luar negeri terdapat beton fiber mutu ultra tinggi yang mencapai 190 MPa (faktor air terhadap semen dan serbuk silika adalah 0,16) dengan fiber baja (panjang 13mm dengan diameter 0,2mm, dengan kadar rasio 2% terhadap volume beton) sebagai penulangan sekunder dan strand sistem pra- penegangan sebagai penulangan utama. Campuran beton mutu ultra tinggi mempunyai komposisi tipikal sebagai berikut : semen 712 kg/m³, pasir 1020 kg/m³, serbuk silika 231kg/m³, abu batu kuarsa 211kg/m³, superplasticiser 31 kg/m³, akselerator 30 kg/m³, fiber baja 156kg/m³, air bebas 109 kg/m³. Dari susunan komposisi terlihat bahwa beton merupakan mortar mutu tinggi yang diperkuat oleh fiber baja. Penampang gelagar berbentuk boks terbuka, dengan tinggi gelagar 84cm, lebar lantai atas 240cm dan bentang monolitik 21m – Gambar 1.



Gambar 1. Tipikal gelagar beton mutu ultra tinggi untuk bentang tunggal 21m

Argumentasi segi biaya dan teknik terhadap penggunaan beton fiber mutu ultra tinggi diuraikan sebagai berikut :

- Fiber memerlukan banyak pasta (= semen dan air) sehingga kadar semen tinggi ;
- Mutu ultra tinggi memerlukan kadar tinggi dari serbuk silika, yang merupakan bahan impor ;

- Beton fiber membuat beton segar lebih kaku dan lebih sulit dipadatkan secara sempurna ;
- Beton mutu 190 MPa memungkinkan dimensi sangat ramping, penempatan tulangan dan tebal selimut beton sangat terbatas sehingga tulangan sekunder harus diganti dengan fiber baja dalam kadar tinggi, dimana 2% fiber identik dengan 156 kg baja per m kubik beton, fiber merupakan bahan impor ;
- Penempatan angkur tendon sangat terbatas sehingga harus digunakan sistem pra-penegangan, dengan demikian gelagar tidak dapat dibuat segmental dan harus dibuat utuh/monolitik.

Optimasi gelagar segmental dengan beton mutu ultra tinggi diperoleh dengan pertimbangan berikut untuk kondisi di Indonesia :

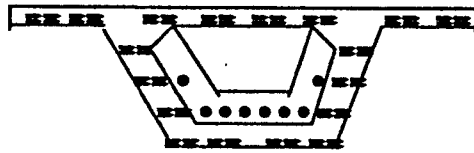
- Konstruksi segmental memerlukan sistem pasca penegangan sehingga perlu digunakan kombinasi sistem *tendon internal (memikul beban mati)* dan *eksternal (memikul beban hidup)* bila dilaksanakan dengan beton mutu ultra tinggi ;
- Beton mutu ultra tinggi sebaiknya optimal 90 MPa (*80 MPa karakteristik*) , agar dapat tercapai tanpa penggunaan *serbuk silika*.

2.2 KONSTRUKSI SEGMENTAL DENGAN TENDON EKSTERNAL

(Referensi Pustaka 3)

Dalam referensi pustaka luar negeri dibahas mengenai perkembangan gelagar pracetak segmental dengan tendon eksternal dan sambungan kering (dengan gerigi geser) dengan/tanpa lapisan epoksi. Sistem gerigi geser tanpa lapisan epoksi pernah diterapkan pada pembangunan tahap II dari jalan tol di Bangkok Thailand, dan juga pernah digunakan dengan lapisan epoksi pada penyambungan segmen dari jembatan layang Pasupati di Bandung. Lapis epoksi berguna karena berfungsi untuk meratakan ketidak kesempurnaan dari permukaan kontak dan menyediakan kemampuan penyaluran geser melalui sambungan. Tanpa epoksi, seluruh geser harus disalurkan oleh friksi dan aksi mekanis dari gerigi geser yang dicetak pada setiap permukaan sambungan segmen. Di negara tropis masih dapat digunakan alternatif sambungan kering tanpa epoksi karena tidak terdapat pencairan salju dengan garam seperti di negara dingin.

Penampang berbentuk boks dibuat secara segmental dengan tendon eksternal (●) dan sambungan gerigi antara segmen (=) – Gambar 2.



Gambar 2. Tipikal gelagar segmental dengan tendon eksternal

Sambungan gerigi geser yang kering akan mempercepat waktu pelaksanaan karena tidak menggunakan epoksi dan tidak diperlukan penekanan sementara pada joint selama waktu setting epoksi. Pada keadaan daya layan, sambungan kering berfungsi seperti sambungan epoksi atau hasil pengecoran setempat (*in situ*) dengan syarat bahwa sambungan tidak membuka. Untuk mencapai sambungan yang demikian, sambungan harus selalu tertekan dan mempunyai tegangan tekan sisa pada semua kombinasi beban daya layan. Kapasitas geser pada keadaan daya layan terjamin selama sambungan tertekan dan tidak menggelincir (*slip*). Gigi geser tidak dapat diandalkan pada keadaan daya layan karena gigi berfungsi setelah tergelincir.

Sehingga :

Tegangan geser langsung + Tegangan geser puntir – $0,8 V_{pw}/A_w$ harus melebihi $0,5 f_{pa}/1,25$

dimana :

V_{pw} = komponen vertikal prategangan ;

A_w = luas badan (web) yang menahan geser ;

f_{pa} = tekanan rata-rata melalui badan ;

0,8 = faktor reduksi ;

0,5 = koefisien friksi batas terhadap tergelincirnya sambungan.

Gigi geser pada sambungan kering bekerja bila sambungan mulai menggelincir pada peningkatan gaya geser ke batas ultimit. Kapasitas geser pada keadaan ultimit terjamin bila gigi geser menahan sambungan terhadap gelincir. Kapasitas geser ultimit dengan demikian ditentukan sebagai berikut :

- Kapasitas geser ultimit = $1,4$ tegangan tekan rata-rata pada badan x luas gigi geser + $0,6$ x tegangan tekan rata-rata pada badan x (luas badan – luas gigi geser), dimana $1,4$ adalah koefisien geser ultimit untuk beton monolitik dan $0,6$ adalah koefisien geser ultimit untuk permukaan beton pracetak ;

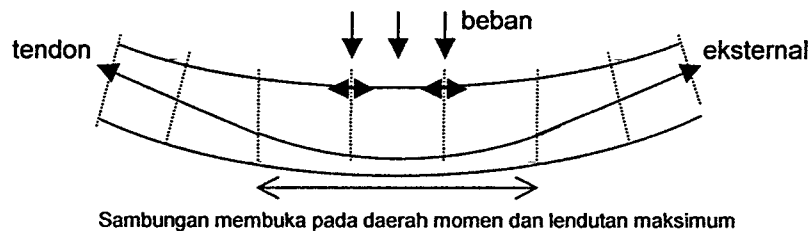
- Keruntuhan tumpuan gigi geser dicegah dengan membatasi kapasitas geser ultimit sampai : $0,7 \times \text{kuat tekan silinder} \times \text{luas gigi geser}$. Gaya geser ultimit dalam badan gelagar (*web*) merupakan kombinasi geser langsung dan geser puntir yang paling kritis ;
- Gaya geser ultimit dalam badan adalah kombinasi paling kritis dari tegangan geser langsung dan tegangan geser puntir. Pendekatan kapasitas geser ultimit pada sambungan dapat diperoleh dari hasil uji tipikal dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil tes geser ultimit tipikal (Referensi Pustaka 3)

Kapasitas contoh uji monolitik	Kapasitas sambungan epoksi	Kapasitas sambungan kering	Catatan	Rekomendasi untuk desain sambungan kering
Contoh 1: 100%*	114% keruntuhan geser pada gigi	80% keruntuhan geser pada gigi	Gigi tunggal	Kuat geser $= 0,65\sqrt{f_c}' + 1,36$
Contoh 2: 100%**	122% 114% keruntuhan tumpuan	80% 87% keruntuhan geser pada gigi	Gigi tunggal Gigi majemuk	Gesekan friksi dengan $\mu = 0,5$ pada permukaan rata dan tegangan geser $0,66\sqrt{f_c}'$ pada luas gigi geser (rumus ACI)

Catatan : * berdasarkan hasil tes, ** berdasarkan rumus geser desain (ACI)

Kapasitas lentur ultimit menurun bila digunakan tendon eksternal karena strand tidak terikat kedalam struktur sehingga keduanya tidak me-regang secara bersama. Walaupun struktur segmental atau monolitik, peningkatan regangan dalam tendon eksternal pada peningkatan beban ke ultimit akan kecil dan lendutan meningkat sampai terjadi keruntuhan tekan – Gambar 3.



Gambar 3. Peningkatan lendutan dan keruntuhan tekan geser akibat beban ultimit pada struktur dengan tendon eksternal

Sambungan dalam struktur segmental membuka pada keadaan lentur ultimit. Sedangkan sambungan kering yang secara teoritis berperilaku seperti sambungan

epoksi, mengalami rotasi yang terkonsentrasi pada sambungan individual dan tidak terbagi rata dalam struktur, sehingga kapasitas beban tereduksi lebih lanjut. Perencanaan struktur segmental menggunakan faktor reduksi kekuatan sesuai spesifikasi AASHTO 1989 – Tabel 2.

Tabel 2. Faktor reduksi kekuatan ultimit untuk struktur segmental

	AASHTO 1989 : Segmen pracetak dgn sambungan epoksi dgn tendon internal atau eksternal	AASHTO 1989 Pedoman spesifikasi : Desain dan pelaksanaan jembatan segmental			
		Tendon internal		Tendon eksternal	
		Beton cor di tempat atau sambungan epoksi	Sambungan kering	Beton cor di tempat atau sambungan epoksi	Sambungan kering
Faktor reduksi lentur ultimit	1,00	0,95	0,90	0,90	0,85
Faktor reduksi kapasitas geser ultimit	0,90	0,85	0,70	0,80	0,65

Catatan :

Rasio kekuatan antar

Sambungan kering dan tendon eksternal $\approx$ 0,94 (lentur) dan 0,81 (geser)

Sambungan epoksi dan tendon eksternal

$$\frac{0,85}{0,90} = 0,94(\text{lentur})$$

dan

$$\frac{0,65}{0,80} = 0,81(\text{geser})$$

Dalam peraturan perencanaan beton struktural 2002 yang diturunkan berdasarkan code dan manual BMS 1992 tercantum faktor reduksi kekuatan 0,8 (menurut BMS 0,75) untuk momen lentur ultimit rencana dan 0,7 (menurut BMS 0,6) untuk kuat geser ultimate rencana, yang dapat di-verifikasi melalui pengkajian model skala penuh. Faktor reduksi kekuatan perlu dipertimbangkan karena berbeda untuk gelagar monolitik vs segmental, serta terpengaruh oleh penggunaan tendon eksternal vs tendon internal atau kombinasi tendon internal dan eksternal.

Tendon eksternal yang berada pada diafragma di dalam gelagar boks mempunyai *keuntungan* sebagai berikut :

- Badan gelagar dapat diperkecil sampai yang minimal diperlukan untuk geser dan momen lentur, berarti penghematan berat sendiri ;
- Trase tendon dilengkungkan pada beberapa titik saja melalui pipa deviator yang dibentuk khusus pada $\frac{1}{2}$ dan $\frac{1}{4}$ bentang, sehingga kehilangan akibat friksi berkurang, berarti 15% dari *prategang tersimpan* ;

- Sambungan kering mempercepat pelaksanaan, dan karena opsional/ pilihan maka sambungan gerigi dapat dibuat tanpa/dengan lapis epoksi ;
- Pemasangan tendon dan grauting selubung dengan graut semen, wax, atau grease menjadi sederhana, strand tendon umumnya berada dalam pipa polietilen yang melalui pipa deviator sehingga menerus antara angkur ke angkur ;
- Pengecoran segmen lebih sederhana karena tidak perlu ketepatan letak selubung tendon secara "matched up" antara segmen ;
- Pemeriksaan, pemeliharaan dan penggantian tendon yang terkorosi dapat dengan mudah dilakukan, tendon pengganti dipasang dan ditegangkan di dalam gelagar boks untuk mengambil alih beban dari tendon rusak yang dibongkar, tanpa mengganggu kelancaran lalu lintas, dan sebaiknya telah sebelumnya dipersiapkan diafragma/deviator/angkur cadangan dalam penampang boks ;

Kerugian sistem tendon eksternal terutama menyangkut segi biaya yang dijelaskan sebagai berikut :

- Selubung eksternal dan deviator lebih mahal (*sekitar dua kali*) dibanding selubung pasca penegangan yang tertanam ;
- Tendon tidak dapat berada di dalam flens, maka eksentrisitas kabel berkurang, sehingga diperlukan *10% prategangan tambahan* ;
- Pengaruh tidak terikatnya tendon menyebabkan penurunan kekuatan lentur ultimit, sehingga diperlukan *tambahan tendon* ;
- Gaya pada deviator meningkat setempat sehingga harus diperhitungkan sebagai beban dalam perencanaan ;
- Risiko fatik akibat getaran tendon meningkat, yang dibatasi dengan memelihara jarak bebas 12 m maksimum antara angkur dan deviator.

Pelaksanaan sistem tendon eksternal menurut pedoman teknis "*Bridge Design Directive*" Inggris (BD 58/94) dirangkum sebagai berikut :

- Semua tendon eksternal/tidak terikat harus dapat diganti ;
- Tersedia fasilitas untuk pemeriksaan dan pemeliharaan tendon ;
- Pengecekan agar 25% keruntuhan tendon tidak menyebabkan keruntuhan struktur;
- Pada keadaan batas layan harus tercapai tegangan tarik nol pada beban tetap, dan tidak boleh terjadi retakan pada beban rencana, persyaratan ini berlaku untuk beton cor di tempat ;

- Faktor beban parsial 0,87 untuk prategang ;
- Pada momen ultimit : peningkatan regangan ulur tendon berada antara 0 – 0,0005 atau diturunkan dari hasil analisis linier ;
- Desain geser : dianggap sebagai beton bertulang dengan prategang sebagai beban eksternal ;
- Angkur : dicek pada beban tendon ultimit ;
- Deviator :
 - dicek pada keadaan ultimit untuk beban karakteristik
 - dicek pada keadaan batas layan untuk keretakan ;
- Getaran : tendon ditahan pada tiap interval 12m, bila jarak lebih besar maka dicek frekuensi alami tendon terhadap frekuensi jembatan agar tendon tidak cepat lelah/fatik.

Kelayakan penggunaan sistem tendon eksternal untuk gelagar segmental diperoleh dari pertimbangan biaya dan waktu serta keuntungan yang dapat mengimbangi sebagian besar dari kerugian.

2.3 GELAGAR BETON PRACETAK SEGMENTAL DI INDONESIA

Gelagar segmental yang diproduksi oleh Proyek Pengadaan Komponen Jembatan Beton Pracetak di Buntu merupakan hasil kerjasama antara Indonesia dan Australia (sejak tahun 1982) dengan desain berdasarkan mutu beton 40 MPa dan sistem prategangan secara internal.

Setelah kurun waktu 20 tahun perlu diadakan pertimbangan optimalisasi untuk mengikuti perkembangan teknologi beton mutu tinggi dan kemungkinan penerapan alternatif desain dengan sistem prategangan secara eksternal, dimana angkur berada pada diafragma atau pada blok angkur antara.

Tendon eksternal adalah salah satu cara yang dikenal sejak tahun 1928 dan dimulai di Jerman. Sistem tendon eksternal menanggulangi keterbatasan tempat untuk tendon tambahan. Tendon tambahan selalu diperlukan mengingat terwujudnya penghematan dimensi dan perpanjangan bentang akibat peningkatan mutu beton. Sistem tendon internal lebih menguntungkan dibanding sistem eksternal, karena :

- Biaya tendon ekonomis ;
- Kekuatan ultimit tercapai oleh ikatan tendon dengan beton ;
- Cara pembesaran blok angkur di ujung balok untuk menampung tendon internal tambahan merupakan suatu cara efektif ;
- Sistem pengecoran "*matched up*" antara segmen telah dikenal di industri pracetak

- Sistem gelagar I segmental komposit dengan tendon internal dan pelat lantai yang dicor monolitik akan lebih menahan keruntuhan tekan dan geser beton di tepi atas sambungan gelagar ;

Hal-hal yang perlu diamati pada pengujian prototipe gelagar segmental beton mutu tinggi di pabrik Pracetak Buntu adalah :

- Kekuatan sambungan :
Kekuatan sambungan akibat beban maksimum dalam keruntuhan tekan dan geser beton di tepi atas gelagar I yang didukung oleh struktur lantai monolitik.
- Kekuatan gelagar :
Kekuatan prototipe gelagar segmental (pengujian thn 2005-2006) identik dengan kekuatan prototipe gelagar monolitik (hasil pengujian thn 2002).
- Faktor reduksi kekuatan ultimit :
Hasil uji skala penuh memberi masukan untuk verifikasi peraturan perencanaan beton struktural yang berlaku, walaupun suatu peraturan memerlukan lebih banyak model dan pengkajian untuk menetapkan nilai reduksi kekuatan ultimit yang rasional untuk kondisi di Indonesia.

BAB III

METODOLOGI

3.1 KERANGKA PEMIKIRAN

Peningkatan standar gelagar segmental tipe I komposit dalam bentang sederhana dapat di-optimal-kan dari mutu beton 40 MPa ke 65 MPa dengan sistem tendon internal dan pertebalan blok angkur untuk bentangan sebagai berikut :

- Bentang 22,6 m : gelagar I tinggi 900 mm (semula untuk 19,6 m), ctc 185 cm ;
- Bentang 31,6 m : gelagar I tinggi 1250 mm (semula untuk 25,6 m), ctc 185 cm ;
- Bentang 35,6 m : gelagar I tinggi 1600 mm (semula untuk 31,6 m), ctc 185 cm ;
- Bentang 40,6 m : gelagar I tinggi 1600 mm (semula untuk 31,6 m), ctc 144 cm ;
- Bentang 46,6 m : gelagar I tinggi 1700 mm (semula untuk 40,6 m), ctc 144 cm.

Prototipe bentang 22,6 m telah dilaksanakan dengan kerjasama antara proyek pracetak di lokasi Buntu dan tim Pusjatan. Teknik pengambilan data dan teknik analisis diuraikan dalam sub-bab yang berikut.

3.2 TEKNIK BAHAN BETON MUTU TINGGI

3.2.1 *Superplasticizer (admixture)* sebagai bahan tambahan

Bahan tambahan merupakan produk kimiawi yang umumnya ditambahkan pada campuran beton dalam kadar sama atau kurang dari 5% terhadap jumlah semen selama pencampuran berlangsung, yang secara signifikan memperbaiki salah satu atau beberapa sifat pasta semen dalam campuran beton segar, dan beton dalam produk yang telah mengeras. Dari 5 tipe bahan tambahan – Tabel 3 – paling sesuai digunakan *superplasticizer* (SP) untuk campuran beton mutu tinggi.

Penggunaan *superplasticizer* (SP) berbasis naftalensulfat dengan kombinasi retarder (tipe SP yang sekarang digunakan di pabrik beton pracetak Buntu) akan lebih sesuai untuk beton siap pakai yang beberapa jam di perjalanan dimana sifat retarder habis terpakai.

Untuk pembuatan komponen beton pracetak justru diperlukan percepatan pengerasan beton, sedangkan SP dengan kombinasi retarder menyebabkan keterlambatan pengerasan beton sampai melebihi 24 jam. Untuk produksi beton pracetak paling sesuai digunakan tipe SP berbasis naftalensulfat saja atau berbasis

polycarboxylat tanpa sifat retarder (tipe SP dalam pelaksanaan percontohan gelagar beton mutu tinggi).

Dengan demikian penggunaan tipe SP perlu diwaspadai agar tepat pada sasarannya. *Superplasticizer* adalah bahan tambahan yang mengurangi keperluan air secara signifikan dan dibedakan menurut bagian bahan efektif/basis dalam uraian yang berikut.

Tabel 3. Ikhtisar Tipe Bahan Tambahan

Tipe	Penggunaan Bahan Tambahan
1. <i>Air entrainment</i>	.kemudahan pengerjaan dan kohesif (beton <i>slip form</i>) .ketahanan terhadap beku/ <i>frost</i>
2. <i>Water reducer</i> (= <i>plasticizer</i>)	.reduksi kadar air dan semen, dengan mempertahankan tingkat kemudahan pengerjaan dan kekuatan yang sama .peningkatan kekuatan dengan reduksi kadar air, mempertahankan kadar semen yang sama
3. <i>Retarder</i>	.memperlambat waktu pengikatan atau <i>setting</i> , dilanjutkan dengan proses pengerasan yang biasa
4. <i>Accelerator</i>	.mempercepat pengikatan, memperoleh kekuatan tinggi dalam waktu pendek .catatan : -penggunaan CaCl dilarang untuk beton bertulang -perencanaan kekuatan beton lebih tinggi dan/atau semen portland kuat awal tinggi akan lebih baik
5. <i>Superplasticizer</i>	.kemudahan pengerjaan dan beton mengalir atau <i>flowing concrete</i> .dapat digunakan sebagai <i>water reducer</i>
6. Bahan tambahan kombinasi	. <i>Water reducing air entrainment</i> : Reduksi kadar air untuk memulihkan reduksi kekuatan akibat <i>air entrainment</i> , mempertahankan kadar semen . <i>Water reducing accelerator</i> : Reduksi kadar air dikombinasi dengan kuat awal tinggi . <i>Water reducing retarder</i> : Reduksi kadar air untuk mengurangi kadar semen dikombinasi dengan perlambatan pengikatan beton segar .catatan : <i>Accelerator</i> tidak boleh dikombinasi dengan <i>air entraining agents</i> , juga tidak dengan semen tahan sulfat
Penjelasan reduksi kadar air : . Reduksi kadar air adalah 10-12% pada penggunaan <i>water reducer</i> (= <i>plasticizer</i>) . Reduksi kadar air adalah 20-25% pada penggunaan <i>superplasticizer</i> . Peningkatan kekuatan pada pengurangan kadar air tetapi mempertahankan kadar semen adalah 15-20% untuk 10% reduksi kadar air	

Tabel 4. *Superplasticizer* pada basis lignosulfat

Kerja utama :
• meningkatkan kemudahan pengerjaan atau mengurangi keperluan air • pengurangan air sampai 10% untuk basis lignosulfat (sebagai <i>plasticizer</i> atau <i>water reducer</i>), sampai 20% untuk lignosulfat termodifikasi (sebagai <i>superplasticizer</i>)
Kerja sampingan :
• dapat memperlambat pengikatan • dapat memasukkan udara pada dosis tinggi • dapat meningkatkan susut (akibat basis lignosulfat)
Dosis :
• sesuai petunjuk pabrik
Petunjuk :
• efektif pada dosis rendah • efektivitas dan perlambatan pengikatan makin meningkat pada semen portland dengan kadar C₃A makin menurun

Tabel 5. *Superplasticizer* pada basis melaminsulfat

Kerja utama :
• meningkatkan kemudahan pengerjaan atau mengurangi keperluan air • pengurangan air sampai 20%
Kerja sampingan :
• tidak ada
Dosis :
• sesuai petunjuk pabrik
Petunjuk :
• tingkat kemudahan pengerjaan cepat menurun, terutama bila temperatur tinggi • pemberian dosis setelah penambahan air akan lebih meningkatkan efektivitas

Tabel 6. *Superplasticizer* pada basis naftalensulfat

Kerja utama :
• meningkatkan kemudahan pengerjaan atau mengurangi keperluan air • pengurangan air sampai 20%
Kerja sampingan :
• dapat memperlambat pengikatan pada dosis tinggi ; terutama pada penggunaan semen dengan kadar slag
Dosis :
• sesuai petunjuk pabrik
Petunjuk :
• pemberian dosis setelah penambahan air akan lebih meningkatkan efektivitas

Tabel 7. *Superplasticizer* pada basis polycarboxylat

Kerja utama :
• meningkatkan kemudahan pengerjaan atau mengurangi keperluan air
Kerja sampingan :
• sesuai keterangan pabrik
Dosis :
• sesuai petunjuk pabrik atau berdasarkan pengujian
Petunjuk :
• pemberian dosis memerlukan penyesuaian seksama antara kadar bahan tambahan dan kadar air, kurang ketelitian akan menyebabkan campuran beton mencair • tingkat kemudahan pengerjaan sedikit menurun • tidak memperlambat pengikatan

3.2.2 Abu terbang (*Additive*)

Abu terbang *fly ash* adalah bahan pengisi yang digunakan dalam jumlah maksimum 0,33 terhadap kadar semen, dengan fungsi mengikat yang mempengaruhi campuran beton segar dan beton yang mengeras sebagai berikut :

Tabel 8. Pengaruh abu terbang pada campuran beton segar

	Pengaruh
Keperluan air	0 (tidak berpengaruh)
Kemudahan pengerjaan	+(lebih baik)
Stabilitas	0(tidak berpengaruh)
Finising permukaan	- (partikel ringan naik ke permukaan)

Tabel 9. Pengaruh abu terbang pada beton yang mengeras

	Pengaruh
Kuat tekan 7 hari	0 (tidak berpengaruh)
Kuat tekan 28 hari	+ (lebih baik)
Kuat tekan > 28 hari	++ (sangat baik)
Porositas	+ (lebih baik)
Permeabilitas	+ (lebih baik)
Keawetan	+ (lebih baik)
Ketahanan terhadap reaksi alkali silika (ASR)	++ (sangat baik)

3.2.3 Serbuk silika (*additive*)

Serbuk silika *silica fume* adalah bahan pengisi yang sebaiknya digunakan dalam jumlah maksimum 0,05 terhadap kadar semen, dengan fungsi mengikat yang mempengaruhi campuran beton segar dan beton yang mengeras sebagai berikut :

Tabel 10. Pengaruh serbuk silika pada campuran beton segar

	Pengaruh
Keperluan air	-- (sangat meningkat)
Kemudahan pengerjaan	- (berkurang)
Stabilitas	++ (sangat baik, tidak bliding)
Finising permukaan	- (kurang baik)

Tabel 11. Pengaruh serbuk silika pada beton yang mengeras

	Pengaruh
Kuat tekan 7 hari	++ (sangat meningkat)
Kuat tekan 28 hari	++ (sangat meningkat)
Kuat tekan > 28 hari	0 (tidak berpengaruh)
Porositas	0 (tidak berpengaruh)
Permeabilitas	+ +(sangat baik)
Keawetan	+ +(sangat baik)
Ketahanan terhadap reaksi alkali silika (ASR)	++ (sangat baik)

3.2.4 Klasifikasi Beton Mutu Tinggi

Klasifikasi beton mutu tinggi menurut kuat tekan karakteristik (berdasarkan silinder 15x30 atau ekuivalen silinder 10x20) terbagi sebagai berikut :

Tabel 12. Klasifikasi kuat tekan beton mutu tinggi

Code Belanda (kubus 15cm)	Indonesia (silinder 15x30)
B 75	fc' 65
B 85	fc' 70
B 95	fc' 80
B105	fc' 90

Mutu yang telah terlaksana dan berhasil dengan baik adalah 65 MPa. Peningkatan ke 90 MPa akan terjangkau pula dengan memelihara bahan dasar agregat sesuai persyaratan untuk beton struktural.

3.3 TEKNIK ANALISIS PROTOTIPE GELAGAR SEGMENTAL

Evaluasi mutu beton aktual berdasarkan prosedur penegangan tendon merupakan salah satu 'cara uji beban' teoritis eksperimental yang bermanfaat untuk pengendalian mutu beton dalam produksi komponen pracetak.

Dalam pelaksanaan jalan tol Cipularang terdapat juga gelagar dengan lawan lendutan berlebih, yang kemudian diganti dengan gelagar baru untuk pemasangan di lokasi jembatan.

Lawan lendutan adalah fungsi dari modulus elastisitas beton yang tergantung pada kuat tekan beton. Kekurangan dalam mutu beton akan menyebabkan kelebihan dalam lawan lendutan.

Bila pada saat penegangan tendon juga dipasang detektor regangan, akan diperoleh tegangan beton aktual ($= \text{regangan} \times \text{modulus elastisitas Young } E$) akibat beban prategang darimana diturunkan mutu beton aktual. Tegangan beton pada saat penegangan tendon dapat dihitung secara teoritis, dimana tegangan teoritis harus sama dengan tegangan aktual. Karena regangan terukur telah diketahui maka modulus elastis dan kuat tekan beton aktual dapat dievaluasi.

BAB IV

HASIL PENELITIAN/PENGEMBANGAN/PENGKAJIAN

4.1 HASIL PENELITIAN MUTU CAMPURAN BETON

Hasil percobaan komposisi campuran beton dengan SP polykarboksilat, abu terbang eks Suryalaya dan pasir eks Kebumen yang dicuci (0% lumpur) mencapai 75 MPa, dengan kadar semen < 500 kg per meter kubik beton sebagai batas maksimum penggunaan semen secara efektif – Tabel 13. Untuk mencapai beton dengan mutu lebih tinggi perlu diadakan perbaikan bahan dasar pasir yang diambil dari sumber lain. Bahan dasar beton adalah unsur utama untuk memperoleh efisiensi dalam penghematan semen dan pencapaian kekuatan.

Tabel 13. (a) Bahan agregat eks Buntu untuk campuran beton mutu tinggi

Pemeriksaan bahan	Batu pecah	Pasir eks Kebumen
1. Analisa saringan		
% lolos saringan :		
1"		
3/4"	100	
1/2"	66	
3/8"	15	
No.4	3	100
No.8	0	81
No.16		58
No.30		35
No.50		14
No.100		4
% melewati No.200 bahan organis	0,20	0% (4,6% tanpa cuci) warna < No.3
2.Modulus Kehalusan	7,16	3,07
3.Berat isi (kg/l)		
lepas	1,46	1,48
dipadatkan	1,57	1,59
4.Berat Jenis		
kering	2,60	2,55
jenuh kering permukaan	2,66	2,61
semu	2,74	2,72
peresapan(%)	1,87	2,51

Tabel 13(b). Komposisi campuran beton mutu tinggi (75 MPa kuat tekan target)

Komposisi campuran	Berat bahan (kg/m ³) beton
Air	140,42
Semen	446,65
Abu terbang	148,87
Agregat halus	705,11
Agregat kasar	953,36
Superplasticizer (polycarboxylat)	5,36
Slump(mm)	200
Berat isi beton (kg/meter kubik)	2458
Kuat tekan (MPa) :	
1 hari	36,9 MPa (18 MPa tanpa cuci)
3 hari	57,7 MPa
7 hari	69,1 MPa
28 hari	75 MPa (OK)

Dalam pelaksanaan pembuatan segmen gelagar telah terjadi deviasi kadar lumpur dalam bahan pasir eks Kebumen. Kadar lumpur aktual 4% menyebabkan kehilangan kemudahan pengerjaan dan reduksi mutu beton. Mutu beton gelagar hanya mencapai 50 MPa (target) berdasarkan tes silinder dan 40 MPa (karakteristik) berdasarkan evaluasi pengukuran regangan dan lawan lendutan saat penarikan tendon dalam uraian sub-bab berikut. Mengingat kuat tekan target yang diperlukan adalah 75 MPa dan kuat tekan karakteristik menurut rencana prototipe adalah 65 MPa, maka diputuskan untuk mengulang pembuatan model gelagar.

Gelagar pengganti menggunakan pasir eks Jogja/Merapi yang mengandung debu vulkanik sejenis pozolan. Kecenderungan pasir berpozolan adalah kenaikan mutu beton dalam jangka waktu panjang 3 sampai 6 bulan, untuk mana diperlukan tes tambahan untuk uji tekan silinder 10x20cm yang diambil dari batch pengecoran beton gelagar prototipe.

Kebersihan dan mutu agregat sangat berpengaruh pada mutu beton dan sangat menghemat dalam kadar semen. Campuran dengan komposisi 475 kg semen dan 150 kg air per meter kubik beton, memperoleh slump 20cm pada penggunaan pasir eks Jogja/Merapi dan mencapai kuat tekan target 85,5 MPa :

Umur 1 hari : 18 MPa (pasir sedot eks Kebumen) vs 28 MPa (pasir eks Jogja/Merapi)

Umur 3 hari : 55 MPa (pasir eks Jogja/Merapi)

Umur 28 hari : 64MPa(pasir sedot eks Kebumen) vs 85,5MPa (pasir eks Jogja/Merapi)

75 MPa dengan semen 425 kg

90 MPa dengan semen 500 kg

4.2 HASIL PENELITIAN PROTOTIPE GELAGAR SEGMENTAL

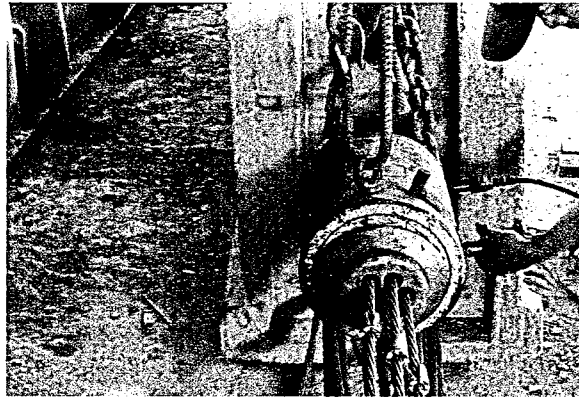
Prototipe gelagar segmental bentang 22,6m dalam skala penuh telah di-uji beban dengan cara pasca-penegangan tendon di pabrik beton pracetak Buntu. Pengukuran regangan dan lendutan dilakukan di lokasi blok angkut dan tengah bentang gelagar – Gambar 4-7, Tabel 14 dan 15, untuk keterangan ada di lampiran C.



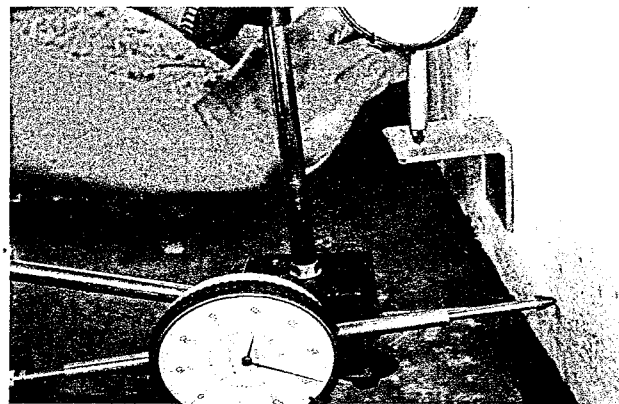
Gambar 4. Sambungan epoksi segmen



Gambar 5. Gelagar segmental tersambung



Gambar 6 Penarikan tendon



Gambar 7 Pengukuran regangan dan lendutan prototipe gelagar I segmental

Tabel 14. Regangan ϵ ($\times 1,97.10^{-5}$) gelagar pada penegangan tendon
(nilai positif = regangan tarik)

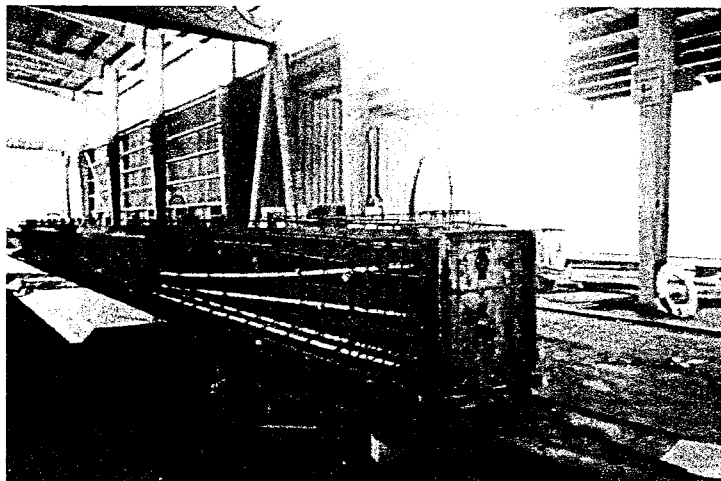
Tahap	Kondisi penegangan	Titik D1 serat atas tengah bentang	Titik D2 serat bawah tengah bentang	Titik D3 Serat atas blok angkur ka	Titik D4 Serat bawah blok angkur ka	Titik D5 Serat atas blok angkur ki	Titik D6 Serat bawah blok angkur ki
1	0%	0	0	0	0	0	0
2 *	50% tendon 3	-11	0	-2	-1	1	0
3 **	50% tendon 3	-11,5	-3	-4	-2	0	0
4	100% tendon3	-14,5	-4	-5	-3	-1	-3
5	50% tendon 2	-18,5	-13	-4	-4	0	-1
6	50% tendon 1	-13,5	-13	-3	-3	0	-1
7	100% tendon 1	-4,5	-10	-2	-1	0	1
8	100% tendon 2	-6,5	-24	-3	-2	2	3
9	50% tendon 4	-4,5	-28	-1	0	2	3
10	100% tendon 4	-3,5	-32	0	-1	3	2
11	100% selesai	-3,5	-34	-1	0	2	1

* Tahap 1-2 : Penegangan tendon untuk penyambungan segmen dengan lapis epoksi

** Tahap 3-11: Penegangan tendon dilanjutkan setelah segmen gelagar tersambung

Evaluasi tegangan untuk titik D1 (serat atas di tengah bentang gelagar) dan titik D2 (serat bawah di tengah bentang gelagar) dihitung berdasarkan hasil pengukuran (Tabel 14, untuk keterangan ada di lampiran C) sebagai berikut :

- Tegangan teoritis akibat penarikan tendon dan pengaruh berat sendiri gelagar ditengah bentang adalah $-1,9$ MPa di serat atas dan $-19,9$ MPa di serat bawah ;
- Kemudian tegangan ($= \epsilon E$) dihitung kembali dengan hasil regangan $-3,5 \times 1,97 \times 10^{-5} \times 27556 = 1,9$ MPa dan $34 \times 1,97 \times 10^{-5} \times 29710 = -19,9$ MPa. Tegangan teoritis mendekati nilai aktual, sehingga diperoleh modulus elastisitas Young E rata-rata dari pengukuran regangan tepi atas dan tepi bawah sebesar $E = 28633$ MPa ;
- Dari rumus $E = 0,043 \times 2400^{1,5} \times (f_c')^{0,5}$ diperoleh mutu beton aktual (karakteristik) $f_c' = 32$ MPa dan dari rumus $E = 47000 \times (f_c')^{0,5}$ diperoleh mutu beton aktual (karakteristik) $f_c' = 37$ MPa. Dengan anggapan $\pm 20\%$ deviasi dalam penentuan modulus elastisitas diperoleh mutu beton aktual rata-rata $1,10 \times 37$ MPa = 40 MPa sebagai kuat tekan karakteristik. Berdasarkan uji silinder (2 buah identik) diperoleh 50 MPa sebagai kuat tekan target. Verifikasi tegangan eksperimental vs teoritis dengan demikian merupakan salah satu cara untuk mengendalikan mutu dalam produksi gelagar beton prategang.
- Titik D3-D6 berada di blok angkur dengan tegangan tarik $1,08$ MPa dan tegangan tekan $0,54$ MPa yang dalam batas tegangan ijin.



Gambar 8 Detail trase tendon dan penjangkaran tendon di blok angkur (letak tendon 1 & 2 eksentris, tendon 3 & 4 sentris)

Tabel 15. Lawan lendutan (arah vertikal dalam mm) dan simpangan arah horizontal (arah lateral dan memanjang dalam mm) pada penegangan tendon

Tahap	Kondisi penegangan	Titik G1 Vertikal tengah bentang	Titik G2 Lateral tengah bentang	Titik G3 Vertikal blok angkur ki	Titik G4 Lateral blok angkur ki	Titik G5 Memanjang blok angkur ki	Titik G6 Lateral blok angkur ka	Titik G7 Memanjang blok angkur ka
1	0%							
2 *	50% tendon 3							
3 **	50% tendon 3	~0	~0	~0	~0	~0	~0	~0
4	100% tendon3	1,09	0,19	-0,35	0,11	-1,24	0,02	-0,34
5	50% tendon 2	7,81	22,28	-0,62	1,03	-1,39	-0,78	-3,40
6	50% tendon 1	18,18	-0,27	-0,75	-0,17	-3,85	0,21	-7,26
7	100% tendon 1	30,48	26,95	-0,92	-1,79	-7,16	1,92	-2,20
8	100% tendon 2	47,99	-7,43	-1,06	-0,57	-7,64	0,53	-5,50
9	50% tendon 4	53,73	-8,23	-1,09	-0,71	-9,19	0,48	-5,49
10	100% tendon 4	62,28	-8,15	-1,16	-0,94	-11,52	0,42	-5,42
11	100% selesai	65,38	-7,98	-1,19	-1,03	-12,33	0,41	-5,3

* Tahap 1-2 : Penegangan tendon untuk penyambungan segmen dengan lapis epoksi

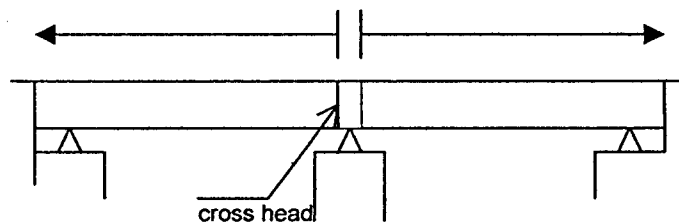
** Tahap 3-11: Penegangan tendon dilanjutkan setelah segmen gelagar tersambung

Berdasarkan hasil pengukuran (Tabel 15, untuk keterangan ada di lampiran C) diadakan evaluasi lendutan dan simpangan sebagai berikut :

- Lawan lendutan di tengah bentang pada gelagar monolitik dengan pategangan identik dengan gelagar segmental adalah 47,25 mm dengan mutu beton f_c' 65 MPa. Lawan lendutan pada titik G1 adalah ~65,38 mm. Mengingat nilai lawan lendutan harus mencakup hasil tahap 1-2 maka dapat diperkirakan sebesar $65,38\text{mm} + 1,09\text{mm} = 66,47\text{mm}$ di tengah bentang gelagar segmental. Mutu beton f_c' 40 MPa diperoleh berdasarkan evaluasi regangan. Bila mutu beton diturunkan dari lendutan aktual 66,47mm akan diperoleh $f_c' \sim 46$ MPa. Pengukuran lendutan dilakukan setelah penyambungan segmen (tahap 1-2 tidak terekam) dan terpengaruh oleh gerakan arloji ukur sebesar 5 cm maksimum ;
- Simpangan lateral -7,98mm di tengah bentang terjadi akibat penarikan tendon 1 dan 2 yang letaknya eksentris (Gambar 7), sehingga garis sumbu balok pada akhir penarikan tendon menyimpang 8mm dari keadaan lurus, dimana kekurangan pengukuran tahap 1-2 tidak berpengaruh karena tendon 3 yang ditarik lebih awal letaknya sentris, kemampuan arloji ukur 50mm maksimum berpengaruh pada ketelitian pengukuran tahap 7 saja. Evaluasi berdasarkan pengukuran regangan dalam kasus ini dipertimbangkan lebih akurat untuk penentuan modulus elastisitas dan mutu beton aktual.

4.3 PENGEMBANGAN GELAGAR SEGMENTAL

Bentang gelagar I sederhana dapat dibuat bentangan menerus dengan 'cross head' yang dicor menjadi kesatuan di pilar seperti di jalan tol Jagorawi dan Cipularang. Dengan demikian penghematan dimensi dari beton mutu tinggi dan pengurangan momen lentur (momen gelagar menerus adalah 80 % terhadap bentang sederhana) dari gelagar menerus menjadi efisiensi secara maksimal, dari 20 % penghematan berat beton untuk sistem gelagar sederhana menjadi 25 % untuk sistem gelagar menerus.



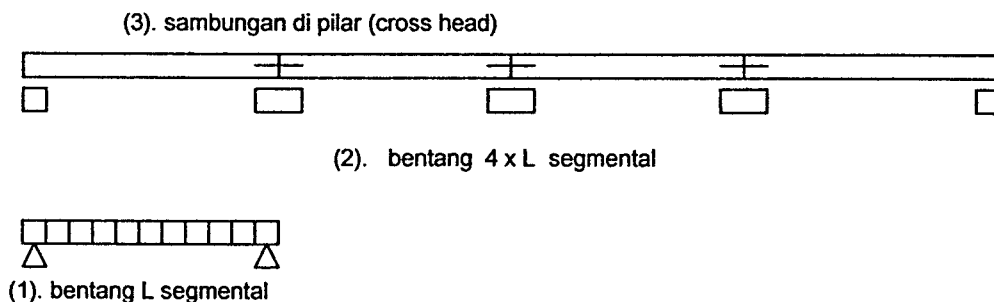
Gambar 9. Cross head di pilar pada bentangan gelagar I komposit menerus

Tipe gelagar I hanya dapat digunakan sampai batas mutu beton f_c' 65 MPa karena keterbatasan penempatan tendon. Untuk mutu beton lebih tinggi perlu digunakan tipe gelagar boks, mengingat tersedianya ruang untuk penempatan tendon di dalam boks. Sebagai studi pembandingan dibahas rencana gelagar beton mutu tinggi diatas 65 MPa yaitu 80 MPa karakteristik sebagai mutu tinggi yang optimal untuk kondisi di Indonesia, dengan sistem tendon internal untuk memikul beban mati dan eksternal untuk memikul beban hidup. Tendon eksternal yang ditempatkan pada diafragma antara menjadi solusi terbaik, karena trase tendon berada dalam bidang vertikal tanpa lengkungan dalam arah horisontal. Rencana ini dilanjutkan dalam pengkajian tahun mendatang.

Beberapa keuntungan dari gelagar boks segmental yang disarankan untuk kondisi di Indonesia adalah :

- Tidak diperlukan blister angkur untuk tendon internal dengan segala kerumitannya;
- Dapat dipilih sambungan dengan/tanpa epoksi (sambungan kering) ;
- Gelagar dapat dibuat menerus diatas beberapa tumpuan, mengingat penampang boks memadai dalam menahan momen positif maupun negatif ;
- Gelagar menerus menjadi lebih ringan dalam pencapaian bentang panjang ;
- Bentang sederhana yang dibentuk dari segmen 5m kedalam bentang 40-60m, kemudian disambung menjadi bentang panjang menerus ;

- Bentang panjang 160 m – 240 m (= 4x40 m - 4x60 m) dengan sistem segmental disambung menerus diatas pilar – Gambar 10.



Gambar 10. Rencana bentangan gelagar boks segmental menerus

4.4 EFISIENSI GELAGAR MENERUS VS GELAGAR SEDERHANA

4.4.1 Momen Lapangan dan Tumpuan

Momen positif maksimum untuk gelagar menerus adalah 30 % lebih kecil dibanding gelagar sederhana (13994 KN-m vs 19346 kN-m dalam contoh numerik di Lampiran D). Gelagar menerus memiliki momen negati dan positif, momen negatif maksimum untuk gelagar menerus mendekati momen positif maksimum pada gelagar sederhana (-19083 KN-m vs 19346 kN-m dalam Lampiran D).

Dari perbandingan momen dalam contoh kasus (Lampiran D) sepiantas tidak terdapat keuntungan yang berarti bila gelagar sederhana dijadikan gelagar menerus.

4.4.2 Keuntungan Sistem Menerus

Hal apa yang membuat gelagar beton pracetak sistem menerus lebih efisien terhadap sistem gelagar sederhana diuraikan sebagai berikut :

- Mengurangi tinggi gelagar dari $1/18 L$ menjadi $1/20 L$, dimana L adalah bentang tunggal ;
- Mengurangi dimensi kepala pilar dan pondasi, mengingat keperluan tempat dari 2 perletakan menjadi 1 perletakan, selain beban eksentris dari dua perletakan menjadi beban sentris dari 1 perletakan (tidak timbul momen) ;
- Mengurangi sambungan dilatasi, sambungan di pilar menjadi rantai menerus ;
- Rantai atau lens atas dari gelagar menahan momen negatif maksimum ;
- Retakan tarik yang terjadi di rantai tidak mengurangi integritas rantai, tetapi harus ditutup terhadap penetrasi air agar tidak terjadi korosi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Penelitian dan penerapan beton mutu tinggi dalam gelagar segmental memberikan kesimpulan yang berikut :

1. Pengendalian mutu prototipe perlu dilakukan sebagai berikut :
 - Pembuatan prototipe dalam penelitian mendatang perlu pengawasan penuh dengan dibentuknya tim khusus, agar kegagalan model dapat dihindari ;
 - Tim khusus harus berada di lokasi selama proses pembuatan dan pengecoran beton dari gelagar prototipe dan diberi wewenang untuk mengambil keputusan di tempat ;
 - Tim khusus terdiri dari 1 Engineer dan 2 Teknisi beton.
2. Argumentasi gelagar percontohan yang telah dilaksanakan:
 - Gelagar percontohan yang telah terlaksana kurang memenuhi syarat untuk digunakan sebagai model prototipe secara penuh dengan uji beban yang merusak ;
 - Gelagar mempunyai kelebihan kekuatan tendon dibanding kekurangan kekuatan beton yang disebut keadaan " *over reinforced* " ;
 - Pada uji beban sampai batas ultimit akan terjadi keruntuhan tekan beton lebih awal dari keruntuhan tendon prategang ;
 - Gelagar dengan demikian tidak mencapai kekuatan rencana.
3. Manfaat penelitian yang diperoleh dari gelagar percontohan yang telah terlaksana :
 - Gelagar digunakan untuk pemeriksaan kekuatan aktual beton secara tidak merusak ;
 - Cara deteksi regangan dan lawan lendutan selama proses penegangan tendon merupakan cara yang andal dan tidak merusak untuk menentukan modulus elastisitas aktual dari gelagar beton ;
 - Modulus elastisitas beton aktual memberikan korelasi langsung dengan kekuatan tekan beton aktual yang mewakili kekuatan karakteristik beton.
4. Kekurangan penelitian dari gelagar percontohan yang telah terlaksana :

- Gelagar tidak diuji sampai kekuatan batas ultimit, sehingga faktor keamanan beban rencana terhadap beban ultimit (persyaratan faktor beban ultimit adalah 1,8) tidak terungkap ;
- Pembuatan gelagar percontohan diulang dalam tahun mendatang di mana kekurangan data uji akan diperbaiki.

5.2 SARAN

Penelitian dan penerapan beton mutu tinggi dalam gelagar segmental memberikan saran yang berikut :

1. Saran untuk target utama

- Desiminasi *pengendalian beton mutu tinggi* perlu di-fokus-kan sebagai *target utama* , berarti perlu ada peningkatan sdm dalam teknologi perbetonan ;
- Pengendalian mutu dalam produksi beton pracetak yang meliputi pemeriksaan bahan dasar berupa agregat dan bahan pengisi/tambahan, perencanaan campuran beton, pencapaian kekuatan target dan pengecekan kekuatan aktual dari hasil produksi komponen jembatan, perlu di-desiminasi-kan ;
- Pada produksi gelagar beton pracetak dapat diadakan cara uji petik berdasarkan pengamatan perilaku struktural selama proses penegangan sebagai veriikasi mutu hasil produksi

2. Saran untuk target akhir

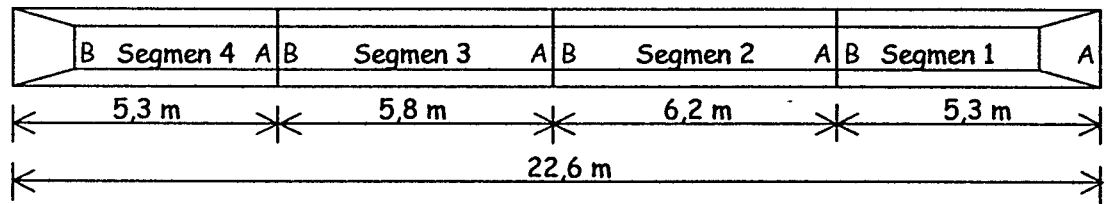
- Pencapaian *bentangan panjang* dalam beton mutu tinggi adalah *target akhir*, yang keberhasilannya tergantung pada kemampuan teknologi perbetonan ;
- Sistem gelagar segmental memungkinkan efisiensi dalam berat sendiri dari beton sebesar 20 – 30 % (untuk peningkatan dari $f_c' 40$ MPa menjadi $f_c' 65 - 80$ MPa) dalam pencapaian bentang panjang serta menghemat keperluan perancah.

Daftar Pustaka

1. Prestressed Concrete Bridges, Indonesian Australian Concrete Bridges Project, 1982, Construction Drawings and Details ;
2. Precast Segmental Construction with External Tendons and Dry Joints, 1994, Richard Lawrence Taylor, Acer Consultants Limited, United Kingdom ;
3. Laporan Penelitian Beton Mutu Tinggi Untuk Jaringan Prasarana Jalan Wilayah, 2002, Laporan Penelitian Pustrans, L. Tristanto ;
4. Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan, RSNI 2003
5. Pembebanan untuk Jembatan, RSNI 2004 ;
6. Fabrication of an Optimized Ultra-High Performance UHPC Concrete Bridge, 2004 PCI National Bridge Conference, Benyamin A. Graybeal ;
7. Strength and Durability of Ultra-High Performance Concrete, 2004 PCI National Bridge Conference, Benyamin A. Graybeal, Joseph L. Hartmann ;
8. Bridge Design for Economy and Durability, Brian Pritchard, Thomas Telford, London, 1992 ;
9. Betonpocket 2000 - H.M.M. Krikhaar - ENCI Media - 's-Hertogenbosch, Belanda – 2000 ;
10. Properties of Concrete - A.M.Neville – Longman Group Ltd – UK – 1995.

Lampiran A
Rencana Prototipe

1. TRASE KABEL GELAGAR SEGMENTAL

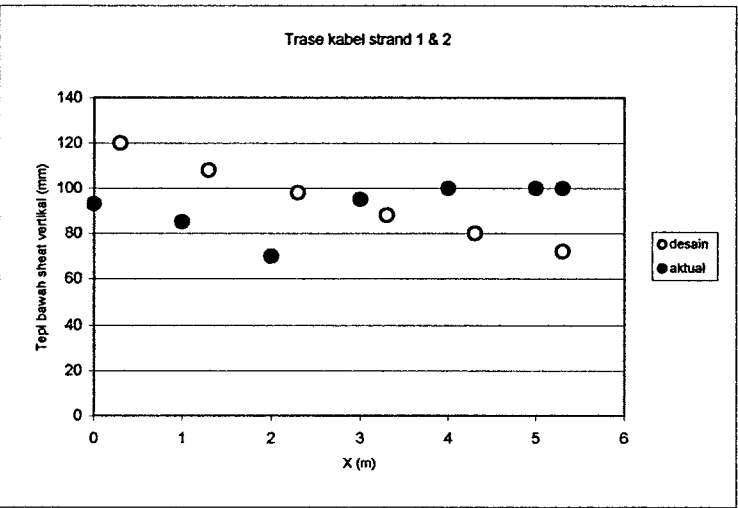


Segmen 1

a. Tepi Bawah Sheat Vertical

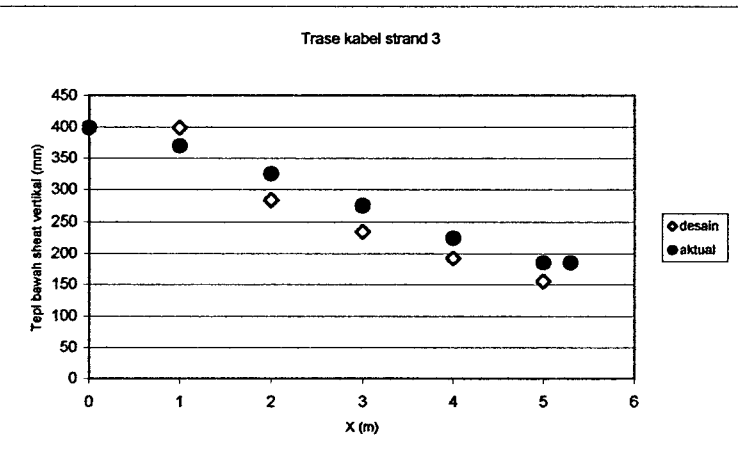
Strand 1 & 2 :

X (m)	Design	Actual
0,0		93
0,3	120	
1,0		85
1,3	108	
2,0		70
2,3	98	
3,0		95
3,3	88	
4,0		100
4,3	80	
5,0		100
5,3	72	100



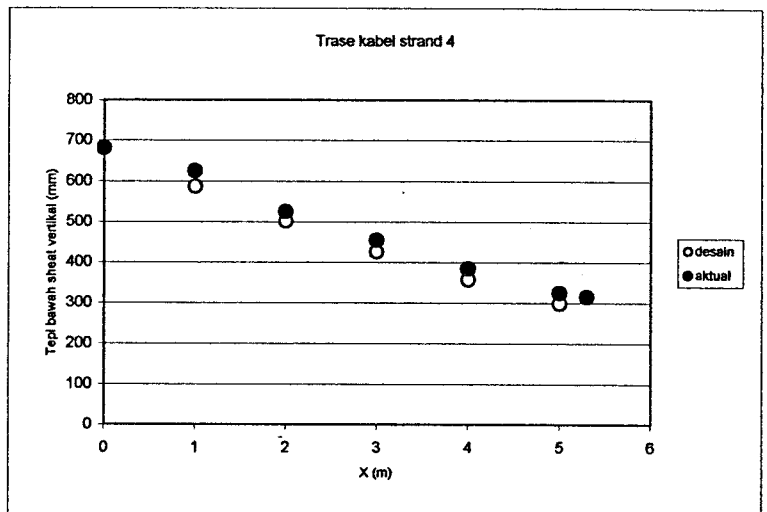
Strand 3

X (m)	Design	Actual
0,0	399	399
1,0	399	370
2,0	284	325
3,0	235	275
4,0	192	225
5,0	155	185
5,3		185



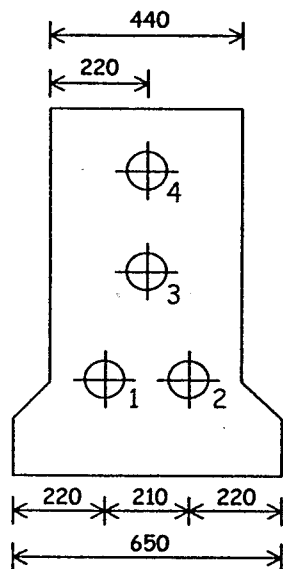
Strand 4 :

X (m)	Design	Actual
0,0	681	681
1,0	587	625
2,0	501	525
3,0	425	455
4,0	357	385
5,0	299	325
5,3		315

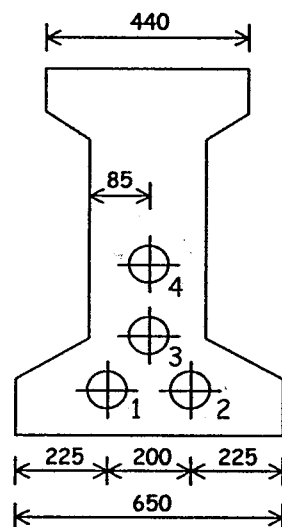


b. Pusat Sheat Horizontal

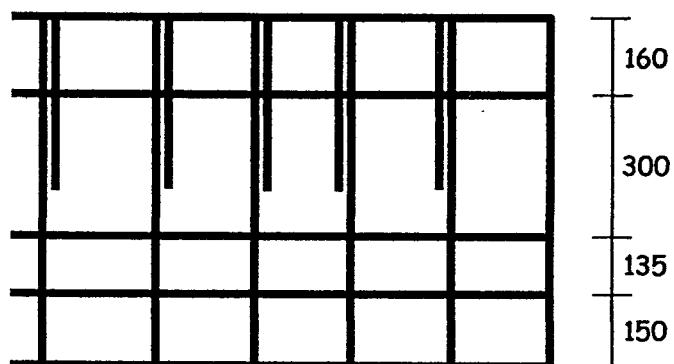
Penampang Bagian A



Penampang Bagian B



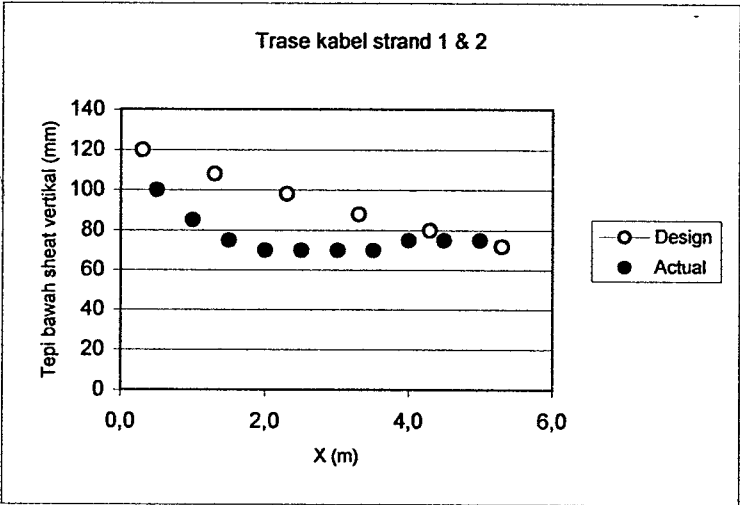
c. Sketsa Kerangka Tulangan



Segmen 2

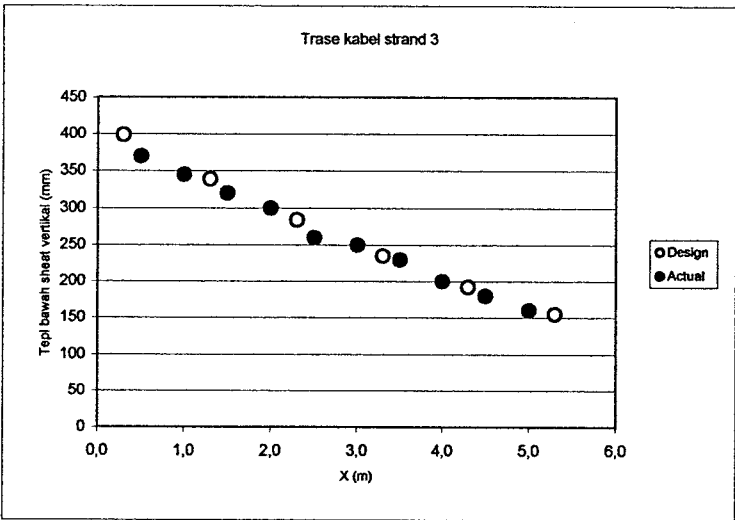
Strand 1 & 2 :

X (m)	Design	Actual
0,3	120	
0,5		100
1,0		85
1,3	108	
1,5		75
2,0		70
2,3	98	
2,5		70
3,0		70
3,3	88	
3,5		70
4,0		75
4,3	80	
4,5		75
5,0		75
5,3	72	



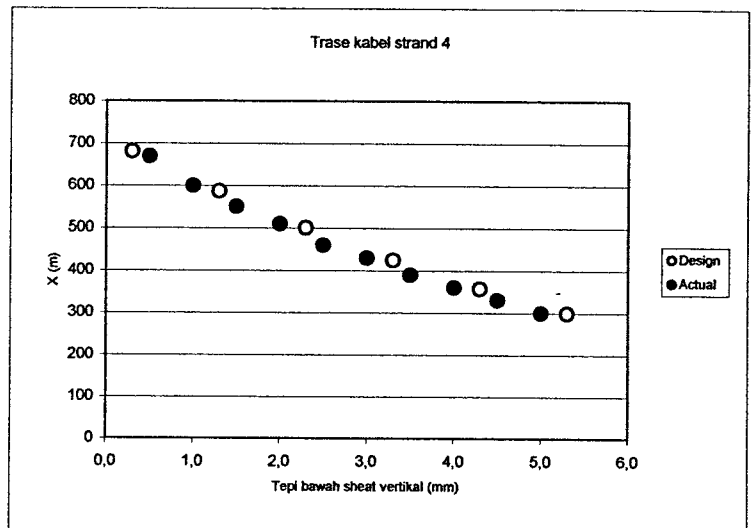
Strand 3 :

X (m)	Design	Actual
0,3	399	
0,5		370
1,0		345
1,3	339	
1,5		320
2,0		300
2,3	284	
2,5		260
3,0		250
3,3	235	
3,5		230
4,0		200
4,3	192	
4,5		180
5,0		160
5,3	155	



Strand 4 :

X (m)	Design	Actual
0,3	681	
0,5		670
1,0		600
1,3	587	
1,5		550
2,0		510
2,3	501	
2,5		460
3,0		430
3,3	425	
3,5		390
4,0		360
4,3	357	
4,5		330
5,0		300
5,3	299	



Lampiran B

Persiapan Prototipe

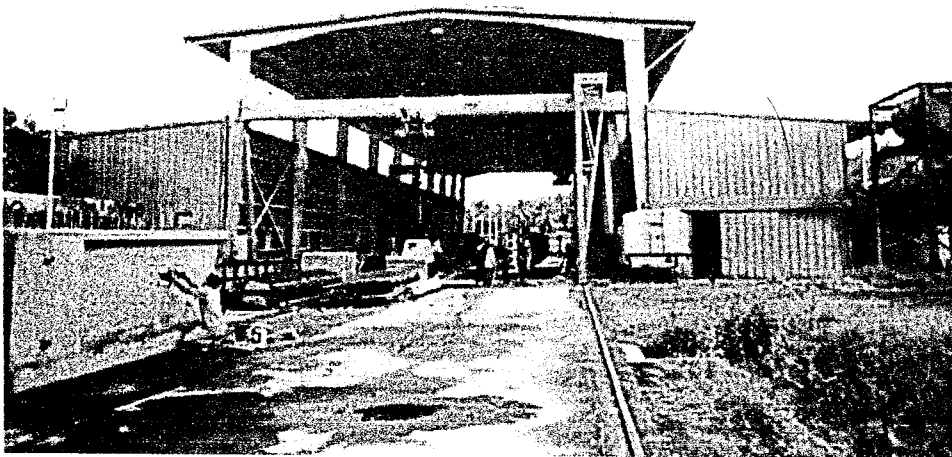


Foto 1. Tempat Perakitan Tulangan Balok Pracetak Buntu

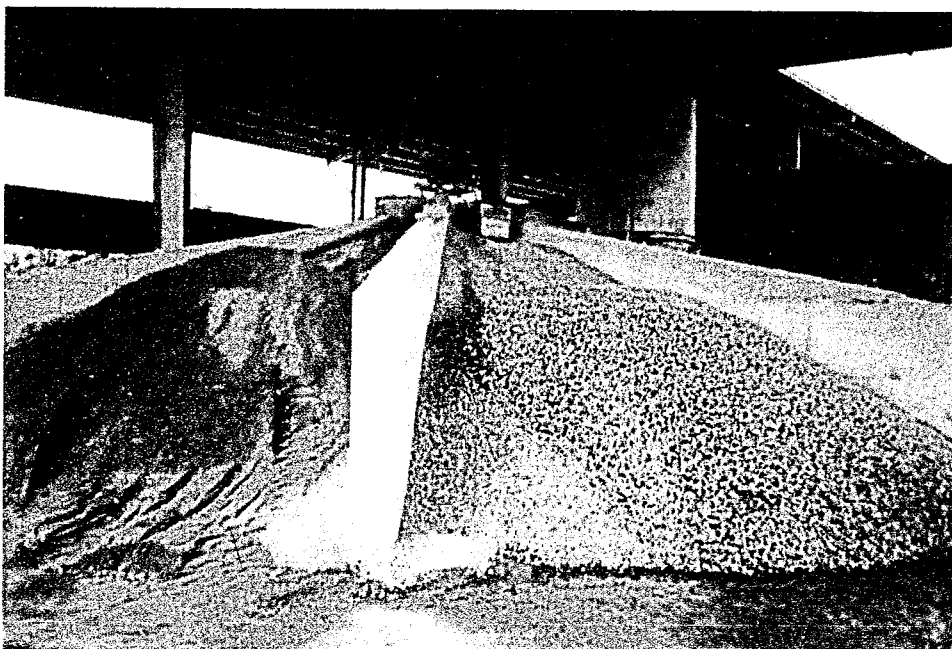


Foto 2. Lokasi Material Pembentuk Beton

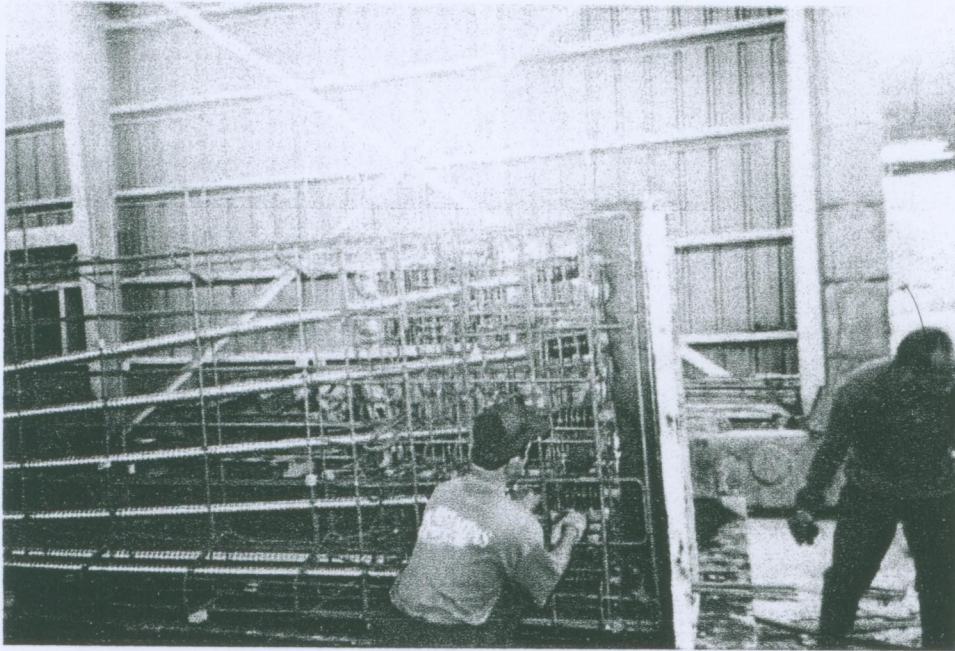


Foto 3. Pemasangan Tulangan Balok Prategang Pracetak Segmental

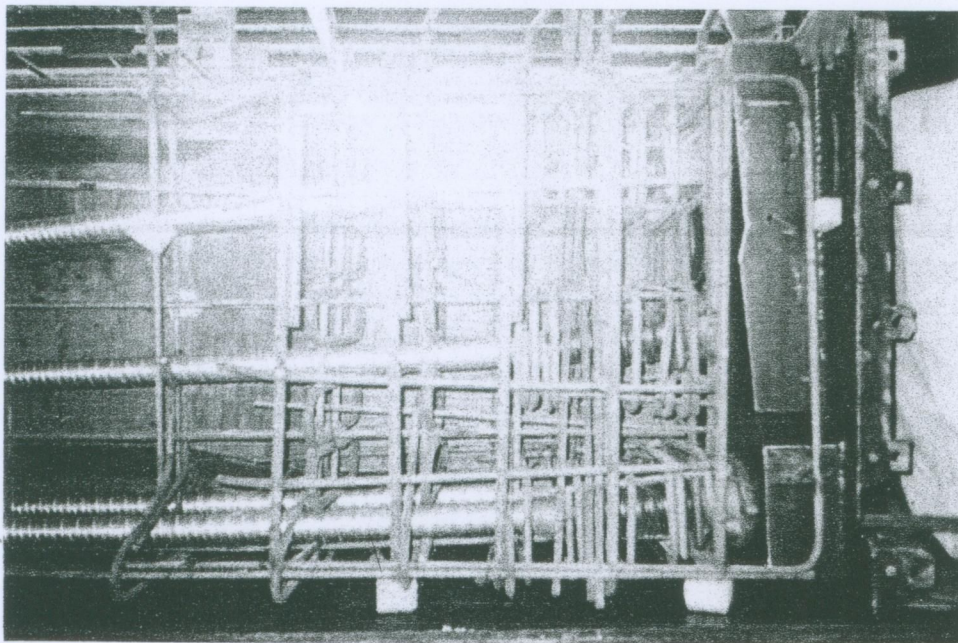
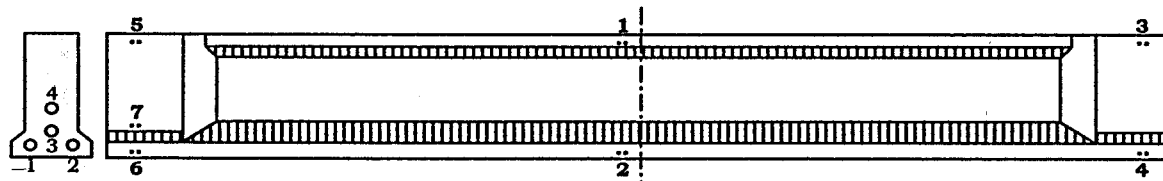


Foto 4. Penulangan Sengkang Balok Prategang Pracetak

Lampiran C
Hasil Uji Prototipe

HASIL PENGUJIAN REGANGAN DAN LENDUTAN **STRESSING GELAGAR SEGMENTAL BETON MUTU TINGGI**

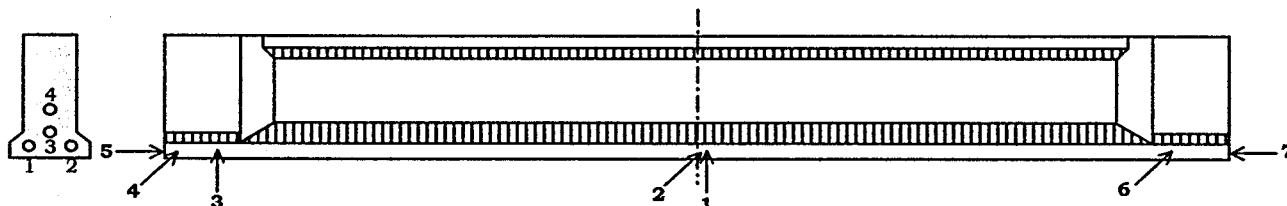
1. Pengujian Regangan



Hasil Pengukuran :

No.	Kondisi	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
1	0 % Beban	7535	7620	7570	7590	7570	7570	-
2	50 % Beban Pada T3	7425	7620	7550	7580	7580	7570	-
3	50 % Beban Pada T3'	7420	7590	7530	7570	7570	7570	7520
4	100 % Beban Pada T3	7390	7580	7520	7560	7560	7540	7520
5	50 % Beban Pada T2	7350	7490	7530	7550	7570	7560	7530
6	50 % Beban Pada T1	7400	7490	7540	7560	7570	7560	7510
7	100 % Beban Pada T1	7490	7520	7550	7580	7570	7580	7520
8	100 % Beban Pada T2	7470	7380	7540	7570	7590	7600	7520
9	50 % Beban Pada T4	7490	7340	7560	7590	7590	7600	7520
10	100 % Beban Pada T4	7500	7300	7570	7580	7600	7590	7520
11	100 % Beban All 30'	7500	7280	7560	7590	7590	7580	7520

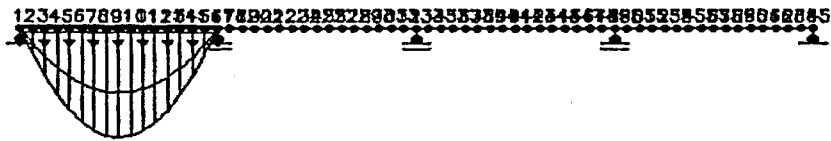
2. Pengujian Lendutan



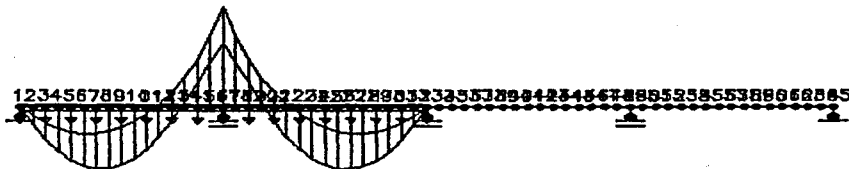
Hasil Pengukuran :

No.	Kondisi	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
1	0 % Beban	-	-	-	-	-	-	-
2	50 % Beban Pada T3	-	-	-	-	-	-	-
3	50 % Beban Pada T3'	0173	2305	1789	1575	2500	2075	3146
4	100 % Beban Pada T3	0282	2324	1754	1586	2376	2077	3112
5	50 % Beban Pada T2	0954/1032	0077	1727	1678	2361	1997	2806
6	50 % Beban Pada T1	2069	2278	1714	1558	2115	2096	2420
7	100 % Beban Pada T1	3299	5000	1697	1396	1784	2267	2926
8	100 % Beban Pada T2	5050/0296	1562	1683	1518	1736	2128	2596
9	50 % Beban Pada T4	0870	1482	1680	1504	1581	2123	2597
10	100 % Beban Pada T4	1725	1490	1673	1481	1348	2117	2604
11	100 % Beban All 30'	2035	1507	1670	1472	1267	2116	2616

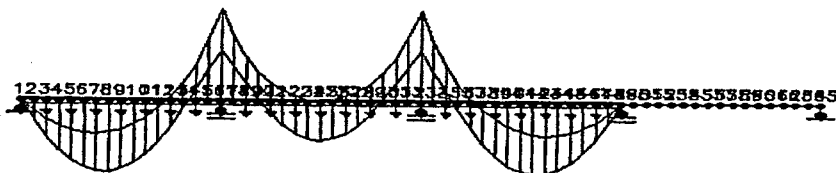
Lampiran D
Contoh Numerik Bidang Momen
Bentang Menerus vs Sederhana
Untuk Gelagar Boks dengan Susunan Bentang
4 x 40 m ,
3 x 40 m ,
2 x 40 m ,
40 m



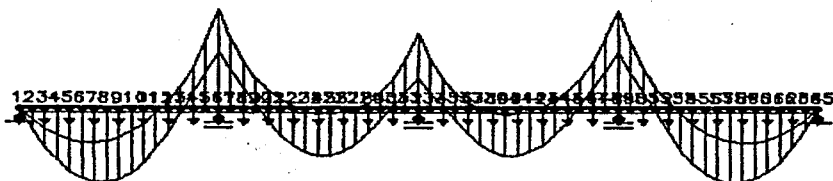
Computed Moments in kNm at: 9999.95 days
 Moment Max: 19346 Min: -103.106 Scale: $\text{---} = 6440.924$



Computed Moments in kNm at: 9999.95 days
 Moment Max: 12900 Min: -20940 Scale: $\text{---} = 6980.139$



Computed Moments in kNm at: 9999.95 days
 Moment Max: 14005 Min: -18005 Scale: $\text{---} = 6001.675$



Computed Moments in kNm at: 9999.95 days
 Moment Max: 13994 Min: -19083 Scale: $\text{---} = 6361.157$



Perbandingan Bidang Momen pada Gelagar untuk Beban Mati dan Hidup yang Sama dan Susunan Bentang Bervariasi dari 4 Sampai 1 Bentang @ 40 m

KO. 149