

# Penerapan Beton Kekuatan Awal Tinggi Untuk Percepatan Pekerjaan Jembatan *Cast in Place Balanced Cantilever Prestressed Box Girder*

Darmawan Adi Susanto<sup>1</sup>, Aleksander Purba<sup>2</sup>, Fauzan Murdapa<sup>3</sup>

Program Profesi Insinyur, Universitas Lampung  
Jl. Prof Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

<sup>1</sup>dharmasinyo@gmail.com

<sup>2</sup>aleksander.purba@eng.unila.ac.id

<sup>3</sup>fauzan.murdapa@eng.unila.ac.id

*Intisari* — Percepatan konstruksi jembatan telah menjadi alternatif populer yang digunakan dalam pembangunan jembatan baru. Di Indonesia saat ini, masih banyak konstruksi jembatan *Cast in Place Balanced Cantilever Prestressed Box Girder*. Sebagai studi kasus, kajian ini dilakukan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Solo Seksi 1, dalam lingkupnya proyek ini harus menyelesaikan 3 buah jembatan box girder yaitu Jembatan Banyumanik 1 (170m'), Jembatan Banyumanik 2 (384 m') dan Jembatan Gedawang (470m'). Percepatan masa konstruksi dilakukan dengan mempersingkat *cycle time* metode *balanced cantilever* dari 7 hari menjadi 5 hari, dengan mengurangi durasi *curing time* beton dari 3 hari menjadi 2 hari. Pada umur 2 hari kuat tekan beton harus mencapai  $80\% \cdot f'c$  (33.20 MPa) untuk keperluan *prestressing tendons*. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan campuran beton kekuatan awal tinggi, membandingkan campuran beton dengan penambahan beberapa produk *superplastisizer* ditinjau dari aspek nilai slump dan kuat tekan, serta mendapatkan campuran beton dengan kuat tekan  $80\% \cdot f'c$  (33.20 MPa) pada umur 2 hari. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen (*trial mix*) dengan menambahkan *superplastisizer* sikament LN dosis 1.7%, Glenium C-315 dosis 1.2% dan ViscoCrete 3110 ID dosis 1.2% selanjutnya dilakukan uji kuat tekan pada umur 1,2,7 dan 28 hari. Benda uji berupa silinder beton Ø15 x 30 cm dengan jumlah sampel 72 buah dan kuat tekan rencana 41.5 MPa. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai slump ketiga campuran diatas  $20 \pm 2$  cm, kuat tekan rerata tertinggi pada umur 1,2 dan 7 hari pada campuran beton dengan Glenium C-315 1.2% (26.85 MPa, 37.52 MPa dan 44.78 MPa) dan umur 28 hari pada campuran beton dengan Sikament LN 1.7% sebesar 51.33 MPa, kuat tekan karakteristik tertinggi umur 28 hari pada campuran beton dengan Sikament LN 1.7% sebesar 49.55 MPa dan kuat tekan beton umur 2 hari yang sudah mencapai  $80\% \cdot f'c$  (33.20 MPa) didapat pada campuran beton dengan Glenium C-316 1.2% sebesar 37.52 MPa dan ViscoCrete 3110 ID 1.2% sebesar 36.40 MPa.

*Kata kunci* — jembatan *box girder*, beton kekuatan awal tinggi, *superplastisizer*, kuat tekan.

*Abstract* — Accelerated bridge construction has become a popular alternative used in the construction of new bridges. In Indonesia today, there is still a lot of Cast in Place Balanced Cantilever Prestressed Box Girder bridge construction. As a case study, this study was carried out on the Semarang - Solo Toll Road Development Project Section 1, within the scope of this project, it must complete 3 box girder bridges, namely the banyumanik1 bridge-170m', banyumanik2 bridge-384 m' and the gedawang bridge-470m'. The acceleration of the construction period is done by shortening the cycle time of the balanced cantilever method from 7 days to 5 days, by reducing the duration of the concrete curing time from 3 days to 2 days. At the age of 2 days the concrete compressive strength must reach  $80\% \cdot f'c$  (33.20 MPa) for the purposes of prestressing tendons. This study aims to develop high early strength concrete mixture, compare concrete mixture with the addition of several superplasticizer products in terms of slump value and compressive strength, and obtain concrete mixes with  $80\% \cdot f'c$  (33.20 MPa) compressive strength at 2 days. This study used an experimental method (*trial mix*) by adding a superplasticizer; Sikament LN dose 1.7%, Glenium C-315 dose 1.2% and ViscoCrete 3110 ID dose 1.2% and then the compressive strength test was performed at ages 1,2,7 and 28 days. The specimen was a concrete cylinder Ø15 x 30 cm with a total sample of 72 pieces and a compressive strength of 41.5 MPa. The results of this study indicate the value of the third slump mixture above  $20 \pm 2$  cm, the highest average compressive strength at ages 1.2 and 7 days in concrete mixtures with Glenium C-315 1.2% (26.85 MPa, 37.52 MPa and 44.78 MPa) and 28 days in concrete mix with Sikament LN 1.7% of 51.33

MPa, the highest compressive strength characteristic of 28 days in concrete mixture with Sikament LN 1.7% of 49.55 MPa and compressive strength of 2-day age concrete that has reached 80% f'c obtained in concrete mixture with Glenium C-316 1.2% at 37.52 MPa and ViscoCrete 3110 ID 1.2% at 36.40 MPa.

*Keywords*— box girder bridge, high early strength concrete, superplasticizer, compressive strength.

## I. PENDAHULUAN

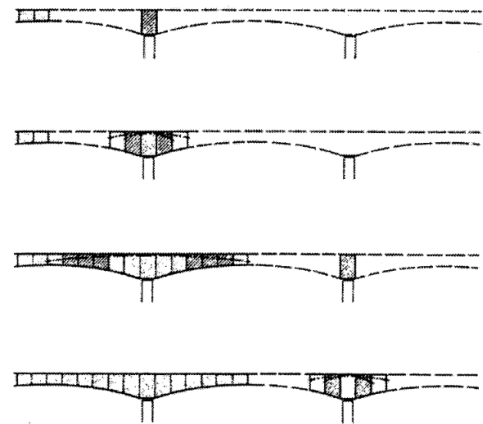
## II. KAJIAN PUSTAKA

Percepatan konstruksi jembatan telah menjadi alternatif populer yang digunakan dalam pembangunan jembatan baru. Di Indonesia saat ini masih banyak konstruksi jembatan *cast in place balanced cantilever prestressed box girder*. Metode *balance cantilever*, salah satunya pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Solo Paket 1 dimana memiliki lingkup pekerjaan 3 buah jembatan *box girder* dengan metode *balanced cantilever* yaitu jembatan banyumanik1 (170 m'), jembatan banyumanik2 (384 m') dan jembatan gedawang (470 m') dikarenakan masa konstruksi yang singkat maka dilakukan upaya memperpendek durasi *cycle time* metode *balanced cantilever* dari 7 hari menjadi 5 hari, salah satu aktifitas *sequence* pada metode ini adalah *curing concrete* yang berdurasi standar 3 hari, akan diperpendek menjadi 2 hari dengan target kuat tekan beton sudah mencapai 80% kuat tekan rencana. Saat ini sudah banyak inovasi teknologi beton guna menjawab tantangan akan kebutuhan diatas, beton yang dihasilkan diharapkan memiliki kualitas tinggi meliputi kekuatan dan daya tahan. Rekayasa mengenai penambahan *concrete admixture (superplasticizer)* dengan dosis tertentu yang dapat menambah kekuatan tekan pada beton agar mendapatkan nilai kuat tekan yang tinggi. Saat ini banyak produsen menawarkan produk *concrete admixture* guna mendapatkan campuran beton dengan kekuatan awal tinggi.

Berdasarkan uraian tersebut, tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan campuran beton dengan kekuatan awal tinggi, membandingkan campuran beton dengan penambahan *admixture* antara beberapa produk *superplasticizer* ditinjau dari aspek nilai slump dan kuat tekan serta mendapatkan campuran beton dengan kuat tekan 80% f'c pada umur 2 hari.

### A. Jembatan Cast in Place Balance Cantilever Prestressed Box Girder

Referensi [1] menjelaskan bahwa konstruksi *segmental balanced cantilever* pada jembatan *box girder* beton, telah lama direkomendasikan sebagai salah satu metoda yang efisien dalam pembangunan sebuah jembatan tanpa menggunakan perancah. Konstruksi dilakukan dari pilar permanen dan proses selanjutnya dengan cara “*balanced*” ke arah span tengah sampai dengan sambungan terakhir. Kantilever biasanya dibuat 3 – 6 m panjang tiap segmen. Segmen ini dapat dapat dikonstruksi dengan cara cor di tempat atau dengan beton *precast*. Teknik pengecoran ditempat lebih sesuai untuk span panjang dan tidak seragam.



Gbr 1. Konstruksi balanced cantilever [1]

Dalam [2] dijelaskan mengenai *overview* langkah pengecoran dan *cycle time* pengecoran *balanced cantilever cast in place prestressed box girder* yang ditunjukkan pada tabel berikut ini:

Tabel 1. Tipikal Durasi Langkah Pengecoran

Durasi (hari)	Aktifitas
1	Post-tensioning tendon pada segmen sebelumnya Pelepasan <i>formwork</i>

	Penggeseran <i>traveller form</i>
2	Pemasangan besi tulangan, <i>ducting</i> dan <i>tendon</i>
1	Pengecoran <i>bottom slab</i> , <i>web</i> dan <i>top slab</i>
3	<i>Curing concrete</i> (termasuk hari minggu)
7	Total durasi 7 hari

Dari tabel diatas diperoleh durasi total *cycle time* per segmen pengecoran adalah 7 hari, salah satu upaya untuk mempersingkat durasi tersebut dengan mempercepat *curing time* dari 3 hari menjadi 2 hari dengan membuat campuran beton kekuatan awal tinggi (*High Early Strength Concrete*) dengan menambahkan *concrete admixture (superplasticizer)* sebagai bahan tambahannya.

### B. Definisi Beton

Beton merupakan suatu bahan campuran dari beberapa material, yang bahan utamanya terdiri dari campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, air serta bahan tambahan lain dengan perbandingan tertentu. Karena beton merupakan campuran, maka kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing- masing material pembentuknya [3].

### C. Beton Segar (*Fresh Concrete*)

#### 1) Keleccakan (*Workability*),

Dalam [4] *workability* didefinisikan sebagai suatu ukuran dari beton segar atau mortar yang menentukan tingkat kemudahan beton dalam pencampuran, pengecoran, pemadatan dan tetap dengan kondisi homogen.

#### 2) Pemisahan Air ke Permukaan (*Bleeding*)

Dalam [4] dijelaskan definisi *bleeding* adalah pengeluaran air dari adukan, pada beton yang baru di cor atau mortar, yang disebabkan oleh penurunan material padat di dalam masa beton atau disebut pelepasan air.

#### 3) Pemisahan Butiran (*Segregation*),

Dalam [4] dijelaskan definisi segregasi adalah pemisahan konsentrasi komponen penyusun campuran beton, agregat atau sejenisnya, mengakibatkan ketidakseragaman proporsi pada masa beton.

### 4) Pengujian Slump (*Slump Test*)

Referensi [7] menjelaskan, slump beton adalah salah satu ukuran kekentalan adukan beton dinyatakan dalam mm ditentukan dengan alat kerucut abram, Dalam [9] juga menjelaskan definisi slump adalah ukuran kekentalan dari campuran beton segar, mortar atau plesteran yang setara tinggi campuran diukur terdekat bagian 1/4 in (6 mm) dari cetakan benda uji sesaat setelah pemindahan kerucut slump.

### D. Beton Keras (*Hardened Concrete*)

#### 1) Kuat Tekan Beton

Campuran beton dapat di desain untuk mendapatkan jangkauan sifat sifat mekanis dan durabilitas yang memenuhi persyaratan desain suatu struktur. Kuat tekan adalah sebuah atribut umum mutu yang digunakan para insinyur untuk memdesain suatu struktur. Kuat tekan diukur dengan cara memecahkan beton silinder dalam mesin uji kuat tekan. Kuat tekan dihitung dengan cara mebagi beban maksimum saat benda uji pecah dengan luas penampang benda uji dengan satuan psi atau MPa [10]. Dalam [11] dijelaskan mengenai tata cara pengujian kuat tekan beton dan perhitungan kuat tekan dari benda uji diperoleh dengan cara membagi beban maksimum yang diberikan pada benda uji dengan luas penampang benda uji tersebut.

#### 2) Faktor Air Semen (*FAS*)

Faktor air semen (*FAS*) adalah angka perbandingan antara berat air bebas dan berat semen dalam beton [7]. Dalam [5] dijelaskan bahwa perbandingan *FAS* sangat menentukan mutu kekuatan beton. Nilai *FAS* yang semakin tinggi menyebabkan mutu kekuatan beton akan semakin rendah, namun nilai semakin rendah nilai *FAS* tidak bisa diartikan bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Nilai *FAS* yang rendah menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, sehingga pemadatan beton akan sulit dilakukan dan mengakibatkan mutu beton menjadi turun. Umumnya nilai *FAS* minimum yang diberikan sekitar 0.4 dan maksimum 0.65. Hampir untuk semua tujuan, beton yang mempunyai faktor air semen minimal dan cukup untuk memberikan *workabilitas* tertentu yang dibutuhkan untuk pemadatan yang sempurna tanpa pekerjaan

pemadatan yang berlebihan, merupakan beton yang terbaik [18].

#### E. Concrete Admixture (Superplasticizer)

*Admixture* adalah material selain air, agregate, material semen hidrolis, dan serat yang digunakan sebagai bahan campuran beton untuk mendapatkan campuran segar, *setting time*, dan pengerasan yang ditambahkan pada campuran beton sebelum atau sesudah pencampuran [12]. Dalam [13] disebutkan tipe-tipe *chemical admixtures*; Tipe A. *Water-reducing admixtures*, Tipe B. *Retarding admixtures*, Tipe C. *Accelerating admixtures*, Tipe D. *Water-reducing and retarding admixtures*, Tipe E. *Water-reducing and accelerating admixtures*, Tipe F. *Water-reducing and high range admixtures*, Tipe G. *Water-reducing, high range and retarding admixtures*.

##### 1) Sikament LN

Referensi [14] menjelaskan Sikament LN adalah bahan tambah yang sangat efektif untuk mengurangi kadar air dan merupakan *superplasticizer* yang dapat meningkatkan percepatan pengerasan dengan *workability* yang tinggi. Sesuai dengan ASTM C 494 Type F. Bahan tambah ini bisa mengurangkan kadar air hingga 20% dan akan menaikkan 40% kuat tekan pada umur 28 hari dosis pada campuran beton berkisar 0.6% - 1.5% terhadap berat semen.

##### 2) Glenium C-316

Referensi [16] menjelaskan Glenium C-316 adalah generasi baru untuk mengurangi kadar air, berbahan dasar *polycarboxic ether*, dikhususkan untuk industri beton yang memerlukan *slump retention*, memiliki kekuatan dan daya tahan tinggi dan sesuai untuk cuaca panas. Glenium C-316 didesain sesuai dengan ASTM C 494 Type F. Dosis pada campuran beton berkisar 0.8 - 2.0 liter per 100 kg berat semen.

##### 3) Sika ViscoCrete – 3110 ID

Referensi [15] menjelaskan Sika ViscoCrete – 3110 ID adalah *superplasticizer* generasi ke-3 pada beton dan mortar. Bahan tambah ini khusus untuk pengembangan produksi beton encer dengan pengecualian penundaan *flow properties*. Bahan ini

sesuai dengan ASTM C 494 Type G dan BS 5075: Part 3. Bahan tambah ini bisa mengurangi kadar air hingga 30% dan memiliki kekuatan tinggi. Dosis pada campuran beton berkisar 0.6% - 1.8% terhadap berat semen.

#### F. High Early Strength Concrete

Referensi [17] menjelaskan *High Early Strength Concrete* merupakan salah satu tipe beton mutu tinggi. Kekuatan awal beton yang tinggi adalah kuat tekan beton pada 24 jam pertama setelah pengecoran di lapangan dapat mencapai kuat tekan 35 MPa dengan faktor air semen maksimum 0.35 dan *frost durability* minimum 80%.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Lokasi dan Sampel Penelitian

Penelitian ini dilakukan laboratorium beton Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Solo Paket 1, Semarang, Jawa tengah. Sampel penelitian ialah benda uji yang berupa silinder dengan ukuran dia. 15 cm tinggi 30 cm, terdiri dari benda uji beton normal dengan penambahan *superplasticizer* Sikament LN 1.7% (S. LN), Glenium C-316 1.2% (S. 316) dan ViscoCrete 3110 ID 1.2% (S. 3110) yang akan diuji pada umur 1, 2, 7 dan 28 hari. Jumlah benda uji sebanyak 72 buah. Kuat tekan beton rencana pada umur 28 hari adalah 41.5 MPa.

#### B. Material

Agregat halus merapi Klaten Jawa Tengah, Agregat kasar (split/batu pecah 1/2 dan 2/3) Gringsing Batang Jawa tengah, Air sumur artesis desa Kramas Semarang Jawa Tengah, Portland Cement tipe I produksi semen gresik dan *superplasticizer* (Sikament LN, Glenium C-316 dan ViscoCrete 3110 ID).

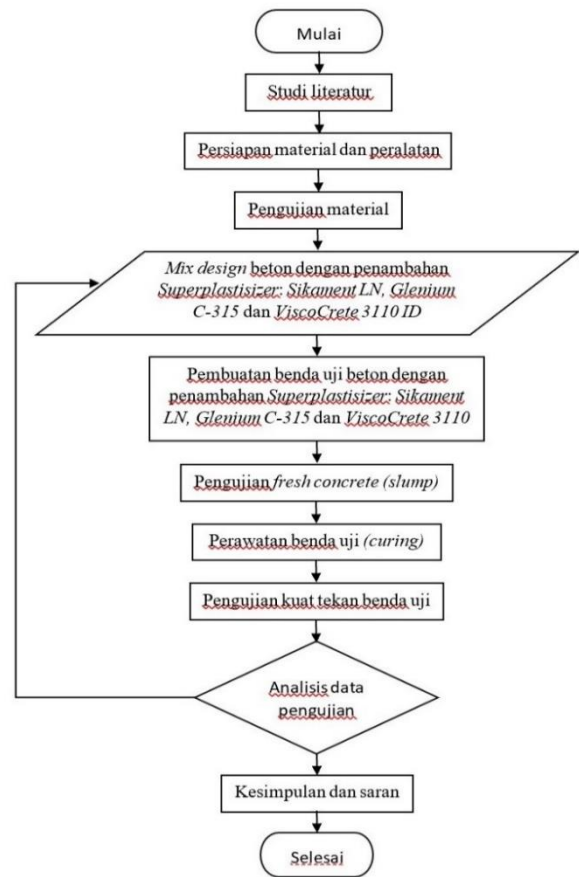
#### C. Peralatan

Centing semen, cawan aluminium, cawan plastik, timbangan digital, analisa saringan, mesin *Los Angeles*, kerucut *Abrams*, gelas ukur, tabung pitot, mistar ukur, molen, cetakan silinder Ø15 x 30 cm, kunci dan *compressive strength machine*. Standar pengujian mengacu pada Peraturan Beton Indonesia 1971 [6], SNI 03-2834-2002 Tata Cara Pembuatan Campuran Beton Normal [7], SNI 03-

**D. Metode Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan dalam perencanaan campuran beton normal dengan menggunakan bahan tambah kimia *superplasticizer* adalah metode *trial mix* atau biasa disebut metode eksperimen. Eksperimen yang dilakukan adalah dengan membuat campuran beton dengan menambahkan beberapa macam produk *superplasticizer* Sikament LN 1.7% (S. LN), Glenium C-316 1.2% (S. 316) dan ViscoCrete 3110 ID 1.2% (S. 3110), Dari hasil pengujian ketiga campuran tersebut akan dibandingkan aspek kelecakan, kuat tekan rata-rata pada umur 1,2,7 dan 28 hari dan kuat tekan karakteristik umur 28 hari. Dalam penelitian juga akan membandingkan hasil kuat tekan beton umur 2 hari dimana percepatan *cycle time* metode *balanced cantilever* dilakukan dengan cara mempersingkat durasi *curing time* beton menjadi 2 hari dengan syarat kuat tekan beton umur 2 hari sudah mencapai target  $0.80 f'c = 33.20$  MPa.

**E. Alur Penelitian**



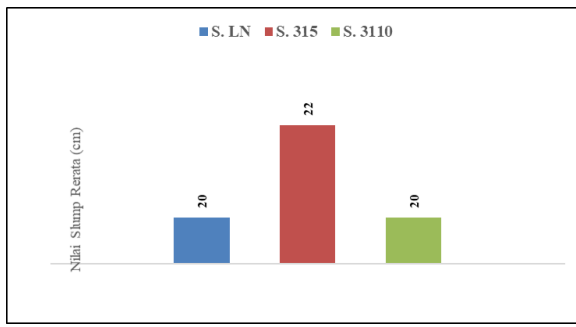
Gbr 2. Flowchart penelitian

**IV. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN**

**A. Mix Design dan Hasil Pengujian Nilai Slump**

Tabel 2. Mix Design Beton

Uraian	S. LN	S. 315	S. 3110
WC ratio	0.32	0.31	0.29
Air	184	153	146
PC tipe 1	560	500	500
Pasir	620	674	776
Split 5-10	-	301	313
Split 10-20	1128	875	729
Sikament LN	1.7%	1.2%	1.2%
Slump rerata	20	22	20



Gbr 3. Pengaruh Penggunaan Superplasticizer Terhadap Nilai Slump.

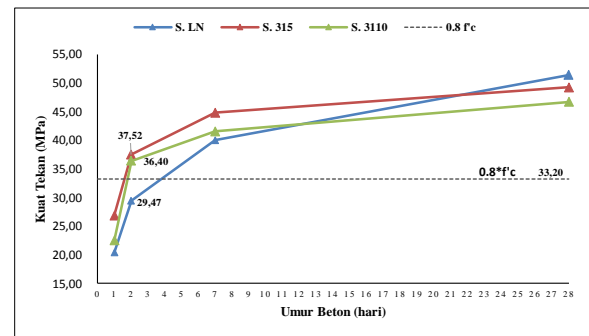
Gambar 3 menunjukkan hasil pengujian slump pada masing-masing sampel benda uji silinder beton, campuran beton dengan penambahan *superplastisizer* Sikament LN 1.7% 20 cm, Glenium C-316 1.2% 22 cm dan ViscoCrete 3110 ID 1.2% 20 cm. Dengan nilai slump  $20 \pm 2$  cm, sehingga beton segar memiliki *workability* yang cukup baik dan bisa diterapkan pada pengecoran *cast in place box girder* metode *balanced cantilever*.

#### B. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Rerata

Kode Benda Uji	Kuat Tekan Rerata (MPa)			
	1 hari	2 hari	7 hari	28 hari
S. LN	20,38	29,47	40,02	51,33
S. 315	26,85	37,52	44,78	49,23
S. 3110	22,49	36,40	41,53	46,69

Dari Tabel 3 dan Gambar 3 menunjukkan hasil pengujian kuat tekan rerata beton pada masing-masing benda uji. Umur 1 hari kuat tekan tertinggi pada campuran beton Glenium C-316 26.85 MPa, umur 2 hari kuat tekan tertinggi pada campuran beton Glenium C-316 37.52 MPa, umur 7 hari kuat tekan tertinggi Glenium C-316 44.78 MPa dan umur 28 hari kuat tekan tertinggi pada Sikament LN 51.33 MPa.

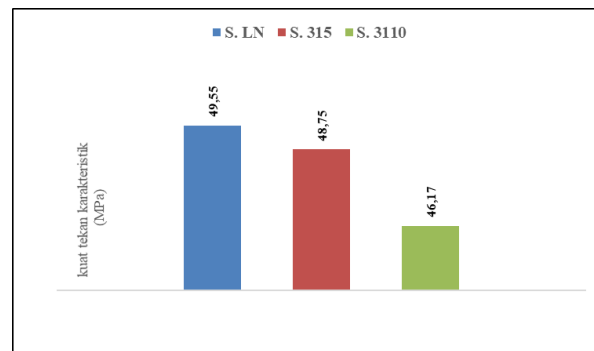


Gbr 4. Kekuatan Tekan Beton Berdasarkan Umur Pengujian

Untuk mempercepat *cycle time* metode *balanced cantilever* dilakukan dengan cara mempersingkat durasi *curing time* beton menjadi 2 hari dengan syarat kuat tekan beton umur 2 hari sudah mencapai  $0.80 f'c$  atau 33.20 MPa, sehingga pekerjaan *prestressing* tendon dapat dilakukan. Dari Gambar 4 menunjukkan, pada umur 2 hari diperoleh campuran beton yang mempunyai kuat tekan rerata  $\geq 0.80 f'c$  atau  $\geq 33.20$  MPa pada campuran beton dengan penambahan *superplastisizer* Glenium C-316 1.2% 37.52 MPa dan ViscoCrete 3110 ID 1.2% 36.40 MPa.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Karakteristik umur 28 hari

Kode Benda Uji	Kuat Tekan Karakteristik (MPa)
S. LN	49.55
S. 315	48.75
S. 3110	46.17



Gbr 5. Kuat tekan karakteristik beton umur 28 hari

Tabel 4 dan Gambar 5 menunjukkan kuat tekan karakteristik beton pada umur 28 hari, kuat tekan tertinggi diperoleh pada campuran beton dengan penambahan *superplastisizer* Sikament LN 1.7%

49.55 Mpa, kemudian Glenium C-316 1.2% 48.75 MPa dan yang paling rendah ViscoCrete 3110 ID 1.2% 46.17 MPa.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

- 1) Dari ketiga sampel campuran beton dengan penambahan *superplastisizer* diperoleh nilai slump  $20 \pm 2$  cm, sehingga beton segar memiliki *workability* yang cukup baik dan bisa diterapkan pada pengecoran *cast in place box girder* metode *balanced cantilever*.
- 2) Kuat tekan rerata tertinggi pada umur beton 1,2 dan 7 hari diperoleh pada campuran beton dengan penambahan *superplastisizer* Glenium C-316 1.2% (26.85 MPa, 37.52 MPa dan 44.78 MPa), sedangkan pada umur 28 hari pada campuran beton *superplastisizer* Sikament LN 1.7% sebesar 51.33 MPa.
- 3) Kuat tekan karakteristik beton umur 28 hari diperoleh pada campuran beton dengan penambahan *superplastisizer* Sikament LN 1.7% sebesar 49.55 MPa.
- 4) Kuat tekan campuran beton dengan penambahan *superplastisizer* Glenium C-316 1.2% sebesar 37.52 MPa dan ViscoCrete 3110 ID 1.2% sebesar 36.40 MPa dapat diaplikasikan pada percepatan *cycle time* konstruksi jembatan *balanced cantilever prestressed box girder* karena pada umur beton 2 hari kuat tekan beton  $\geq 0.80 f'c$  atau  $\geq 33.20$  Mpa.

### B. Saran

- 1) Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk penerapan beton kekuatan awal tinggi, dengan bahan tambah *admixture* yang *update* saat ini dengan tujuan pada saat umur beton < 2 hari diperoleh kekuatan beton yang tinggi sesuai keperluan *stressing tendon* sehingga *cycle time* konstruksi bisa dipersingkat lagi.
- 2) Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh penggunaan *admixture* pada *High Early Strength Concrete* berdasarkan penelitian ini ditinjau dari aspek sifat-sifat beton yang lainnya antara lain rangkai, susut, reaksi terhadap suhu, keawetan dan kekedapan air.

## REFERENSI

- [1] Sauvageot, G. "Segmental Concrete Bridges.", *Bridge Engineering Handbook*, Ed. Wai-Fah Chen and Lian Duan, Boca Raton: CRC Press, 2000.
- [2] G Lucko. (1999), *Chapter 4: The Construction Process of Segmental Bridges*. Diambil dari [https://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-120199.../11lucko\\_chapter4.pdf](https://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-120199.../11lucko_chapter4.pdf).
- [3] Tjokrodimulyo, Kardiyono. *Teknologi Beton*. Biro Penerbit. Yogyakarta, 1992.
- [4] Tjokrodimulyo, Kardiyono. *Teknologi Beton*. Buku Bahan Ajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM. Yogyakarta, 1995.
- [5] Tri Mulyono, *Teknologi Beton*, Andi Offset. Yogyakarta. 2003.
- [6] Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971. Bandung, 1971.
- [7] SNI 03-2834-2002, "Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal", Badan Standarisasi Nasional, 2002.
- [8] SNI 03-2847-2002 "Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung", Badan Standarisasi Nasional, 2002.
- [9] ACI 116R-00, *Cement and Concrete Terminology*.
- [10] National Concrete Ready Mixed Association, NRMCA, "Concrete in Practice", 2003.
- [11] ASTM C39/C39 M – 99, *Standard Test Method for Compressive Strength and Cylindrical Concrete Specimens*.
- [12] ASTM C125 – 03, *Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregate*.
- [13] ASTM C494/C 494 M – 99a, *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*.
- [14] Sika Technical Data Sheet, Edition 3, 2007.
- [15] Sika Technical Data Sheet, Edition 3, 2008.
- [16] BASF Technical Data Sheet, 2009.
- [17] P. Zia, S. H.Ahmad, J.J. Schemmel and R. P. Ellion, "Mechanical Behavior of High Performance Concrete, Volume 4, High Early Strength Concrete," Strategic Highway and Research Program, National Academy of Sciences, Washington DC 1993.
- [18] L.J. Murdock dan K.M. Brook. *Bahan dan Praktek Beton*, Erlangga, Jakarta, 1979.