

Uji Lentur Balok Beton Bertulang Memadat Sendiri High Volume Fly Ash 50%

Agus Setiya Budi¹, Endah Safitri² dan Surya Perdana Widya Nurhayati³

^{1),2)} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta

³⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Ketingan Surakarta 57126; Telp. (0271) 634524, Fax 662118

Email: spwidya14@gmail.com

ABSTRACT

Fly ash is a micron-sized coal burning waste that has a potential on polluting environment. The use of water and its fine size, the silica oxide contained in fly ash will react chemically with calcium hydroxide which is formed from the cement hydration process and produces a substance that has a binding ability. To see the behavior of HVFA-SCC concrete on structural components this study has the aim to see the beam flexural behavior by adding 50% fly ash to reinforced concrete beams and normal concrete beams. The experimental research method used a 50% HVFA-SCC reinforced concrete beam and normal concrete beams with 3 beams each, with dimensions of 1500 mm in length, 100 mm in width, and 150 mm in height. Tests are carried out with a four point loading method at a distance of 1/3 span. From the results of the study it was found that 50% HVFA-SCC beams get deflection value 27,41 mm, 30 mm, and 15,14 mm and load values 51,5 kN, 52 kN, and 54 kN and normal concrete get a deflection value 15,72 mm, 17,72 mm, and 18,09 mm, and load value 47,25 kN, 52 kN, and 54,5 kN. With the stiffness index value of 19,706 at the time of cracking and 8,076 at the time of yield for 50% HVFA-SCC beams and 16,723 when cracking and 7,017 at yield for normal concrete beams.

Keywords: fly ash, HVFA-SCC, flextural strength

ABSTRAK

Fly Ash yang merupakan sisa pembakaran batu bara memiliki ukuran butiran yang sangat halus sehingga berpotensi terhadap pencemaran udara. Dengan kehadiran air dan ukurannya yang halus, oksida silika yang dikandung di dalam fly ash akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan yang mengikat. Penggunaan kadar fly ash lebih besar sama dengan 50% dari total powder, serta penambahan super plasticizer agar beton mampu memadat sendiri, beton tersebut dapat disebut High Volume Fly Ash – Self Compacting Concrete (HVFA-SCC). Untuk melihat perilaku beton HVFA-SCC pada komponen struktur penelitian ini mengkaji perilaku lentur balok dengan penambahan 50% fly ash pada balok beton bertulang dan balok beton normal. Metode penelitian eksperimen menggunakan benda uji balok beton bertulang HVFA-SCC 50% dan balok beton normal dengan jumlah masing-masing 3 balok, dengan dimensi panjang 1550 mm, lebar 100 mm, dan tinggi 185 mm. Pengujian dilakukan dengan metode four point loading pada jarak 1/3 bentang. Dari hasil penelitian didapatkan balok HVFA-SCC 50% mendapatkan nilai lendutan sebesar 27,41 mm, 30 mm, dan 15,14 mm dan beban sebesar 51,5 kN, 52 kN, dan 54 kN sedangkan balok beton normal memiliki nilai lendutan maksimum sebesar 15,72 mm, 17,72 mm, dan 18,09 mm, dan beban maksimum sebesar 47,25 kN, 52 kN, dan 54,5 kN. Dengan nilai indeks kekakuan sebesar 19,706 pada saat retak dan 8,076 pada saat leleh untuk balok HVFA-SCC 50% serta 16,723 saat retak dan 7,017 pada saat leleh untuk balok beton normal.

Kata kunci: fly ash, HVFA-SCC, kuat lentur

PENDAHULUAN

Pergembangan industri konstruksi memicu munculnya berbagai metode – metode kerja baru yang dikembangkan. Salah satunya adalah beton *SCC (Self Compacting Concrete)* yaitu beton yang dapat mengeras dengan sendirinya. Beton SCC ini dianggap mampu menjawab permasalahan biaya alat atau tenaga kerja, serta mempersingkat waktu pengerjaan.

Dalam prakteknya, penggunaan beton SCC dapat menekan biaya alat dan tenaga kerja, mempersingkat waktu pengerjaan, namun dengan tetap menjaga mutu perkerjaan dengan baik seperti yang diharapkan. Dengan tidak lagi dibutuhkannya pemadatan, maka dapat mengurangi tenaga kerja dan peralatan yang dibutuhkan, keuntungan lainnya seperti keamanan tenaga kerja, mengurangi polusi suara, dan penghematan waktu dapat ditingkatkan. Sedangkan dalam segi mutu *Self Compacting Concrete (SCC)* mempunyai banyak keunggulan yaitu dapat mengurangi permeabilitas dari beton sehingga permukaan beton menjadi lebih halus dan homogen. (Kukun Rusyandi, 2012).

Penggunaan *powder* dengan jumlah yang cukup tinggi sebenarnya akan menimbulkan masalah dikarenakan produksi semen portland memberi dampak yang cukup buruk karena melepaskan sejumlah CO₂ ke atmosfer, dan karena gas ini merupakan kontributor utama efek rumah kaca dan pemanasan global, beberapa negara telah mengeluarkan peraturan untuk membatasi emisi CO₂. Akan tetapi dikarenakan pembangunan yang harus terus berkelanjutan, maka dirasa penting untuk mencari bahan tambahan yang digunakan untuk pengganti semen dalam industri beton. *Fly Ash* adalah produk sampingan terutama dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) bertenaga batu bara. Pada penelitian ini fokus masalah akan dilakukan pada pengujian besar kapasitas lentur HVFA-SCC pada balok beton bertulang dengan kandungan kadar fly ash sebesar 50%. Dengan sampel pembandingan berupa balok beton normal.

LANDASAN TEORI

Self Compacting Concrete (SCC)

Dalam Tjaronge et.al (2006) dan Hartono, et.al (2007), SCC adalah suatu beton yang ketika masih berbentuk beton segar mampu mengalir melalui tulangan (kriteria passing ability) dan memenuhi seluruh ruang yang ada di dalam cetakan secara padat tanpa memerlukan proses pemadatan manual atau getaran mekanik (kriteria filling ability).

Untuk memperoleh beton yang mampu mengalir tanpa terjadi pemisahan material (kriteria segregation resistance), maka digunakan high range water reducer atau “Superplasticizer”. Superplasticizer meningkatkan konsistensi pasta semen dan membuat pasta semen menyelimuti dan mengikat agregat dengan kuat, sehingga beton mampu mengalir tanpa mengalami segregasi material. Segregasi adalah terpisahnya agregat kasar dengan komponen agregat halus dan pasta semen yang akan menyebabkan sarang kerikil dan berakibat keropos pada beton keras (Marini, dkk, 2009).

Disamping berbagai kelebihan-kelebihan yang diberikan oleh SCC, terdapat pula beberapa kelemahan seperti yang telah dijelaskan oleh EFNARC *Spesification and Guidelines for Self – Compacting Concrete*, 2002, efek dari tingginya *powder* yang digunakan, beton SCC cenderung menunjukkan lebih banyak susut plastis atau *creep*, dari pada campuran beton konvensional. Karena itu dalam perancangannya perlu mempertimbangkan aspek-aspek tersebut.

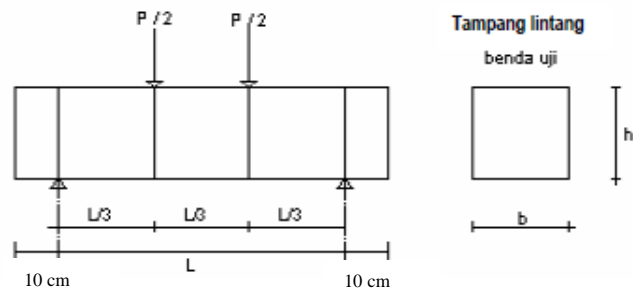
High Volume Fly Ash (HVFA)

High volume fly ash concrete (HVFA) adalah salah satu teknologi yang memanfaatkan abu terbang untuk mengurangi secara signifikan penggunaan semen dalam pembuatan beton dan menggunakan cara produksi yang identik dengan pembuatan beton normal. HVFA menggunakan setidaknya 50% jumlah semen sebagai bahan pengikat digantikan *fly ash* baik berupa kelas F maupun kelas C *fly ash* (Malhotra and Mehta, 2005). Meskipun pemakaian *fly ash* tidak memberikan kekuatan awal beton, namun dengan masih berlangsungnya reaksi *pozzolanic*, maka kekuatan beton akan meningkat dalam jangka waktu yang lama (Bilodeau and Malhotra, 2000, Nawy, 1996).

Kuat Lentur Balok

Pada tahap pengujian ini dilakukan di Laboratorium Material dan Bahan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta. Pengujian kapasitas lentur balok dilakukan dengan metode *four point loading* yaitu meletakkan benda uji di atas 2 tumpuan dan 2 beban, dimana titik tumpuan dan beban tersebut dilapisi dengan plat baja. Benda uji memiliki dimensi 10 cm x 155 cm, dengan tinggi 18,5 cm dengan umur beton uji 28 hari.

Benda uji yang sudah siap diuji ditempatkan pada *loading frame* yang kuat dan ditumpu sendi rol pada kedua ujungnya. Benda uji menerima beban yang terbagi dua di 1/3 bentang seperti pada gambar berikut :



Gambar 1. Garis – Garis Perletakan dan Pembebanan

Keterangan gambar :
 L adalah jarak antara dua garis perletakan
 b adalah lebar tampak lintang benda uji
 h adalah tinggi tampak lintang benda uji
 P adalah beban tertinggi yang ditunjukkan mesin uji

Kekakuan

Kekakuan merupakan gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu lendutan sebesar satu satuan. Indeks kekakuan adalah nilai yang menunjukkan besarnya kekakuan itu sendiri seperti ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$K = \frac{P}{\delta} \dots\dots\dots (1)$$

dengan:

- K = kekakuan lentur (N/mm)
- P = beban (N)
- δ = lendutan pada balok (mm)

Momen Nominal

Momen nominal dihitung dengan berdasarkan distribusi tegangan dan regangan pada penampang beton.

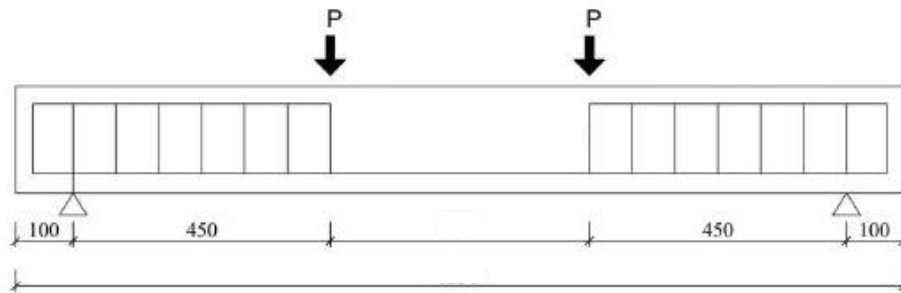
$$M_n = T \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

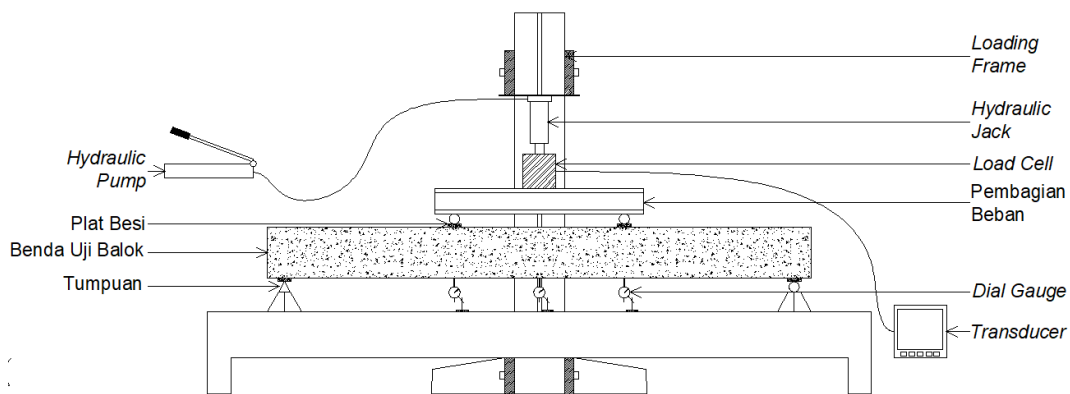
- M_n = momen nominal (kNm)
- T = gaya tarik (kN)
- d = jarak titik berat tulangan ke selimut atas (m)
- a = jarak selimut atas ke garis netral/ tinggi blok tekan (m)

METODE

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah balok beton bertulang dengan dimensi 1,8 x 10 x 155 cm dan memiliki tulangan baja polos fy 280 dengan diameter 10 mm. Benda uji terdiri dari 3 buah beton normal dan 3 buah beton tipe HVFA-SCC dengan kadar *fly ash* 50%. Model benda uji dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar 2 Model Benda Uji Lentur



Gambar 3. Setting Up Alat Pengujian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Material

Pengujian agregat halus meliputi pengujian kadar lumpur, kandungan zat organik, *specific gravity*, gradasi agregat dan berat jenis. Hasil-hasil pengujian tersebut disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
1	<i>Absorbtion</i>	3,093 %	-	-
2	<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,594 gr/cm ³	-	-
3	<i>Bulk Specific Gravity</i>	2,401 gr/cm ³	-	-
4	Kandungan Zat Organik	Kuning Muda	Kuning Muda	Memenuhi syarat
5	Kandungan Lumpur	0,6 %	Maksimal 5 %	Memenuhi syarat
6	<i>Bulk Specific SSD</i>	2,564 gr/cm ³	2,5 – 2,7 gr/cm ³	Memenuhi syarat
7	Modulus Halus	2,475	2,4 – 2,6	Memenuhi syarat

Pengujian terhadap agregat kasar meliputi pengujian berat jenis (*specific gravity*), keausan (*abrasi*) dan gradasi agregat kasar. Hasil pengujian agregat kasar disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
1	Absorbtion	0,733 %	-	-
2	Apparent Specific Gravity	2,752 gr/cm ³	-	-
3	Bulk Specific Gravity	2,698 gr/cm ³	-	-
4	Bulk Specific SSD	2,7 gr/cm ³	2,5 – 2,7 gr/cm ³	Memenuhi syarat
5	Keausan Agregat	26,925	< 50 %	Memenuhi syarat

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PLTU Jepara. Pengujian *fly ash* sendiri dilakukan di Laboratorium Teknologi Proses Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA) Batan untuk mengetahui kandungan kimia. Dari hasil uji kandungan kimia, *fly ash* dari PLTU Jepara tergolong dalam tipe F. Hasil pengujian *fly ash* berdasarkan parameter yang diteliti

Pengujian kuat tarik baja pada penelitian ini dilakukan di Laboratrium Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret dengan menggunakan mesin UTM (*Universal Testing Machine*). Benda uji yang digunakan merupakan potongan tulangan baja yang digunakan pada pembuatan benda uji balok beton bertuang dengan dimensi tulangan Ø10 mm untuk tulangan lentur dan Ø8 mm untuk sengkang. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

Kode Benda Uji	D (mm)	A (mm)	P leleh (N)	P maks	Kuat Tarik Leleh (MPa)	Kuat Tarik Maksimum (MPa)
A	10	78,54	44375	58512	564,9	745
1	8	50,2857	21874	28914	435	575

Rancang Campur (*Mix Design*)

Rancang campur (*mix design*) untuk 1m³ pada penelitian HVFA-SCC dan beton normal adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Rekap *mix design* HVFA-SCC dan beton normal

Kode	Presentase Fly Ash	Semen (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Air (lt/m ³)	Sp (lt/m ³)
A	50 %	232,5	232,5	761,01	941,13	139,5	9,3
1	-	442,23	0	938	765,39	232,4	-

Hasil Pengujian Beton Segar

Pengujian HVFA-SCC terdiri dari Flow Table Test, L-Box Test, dan V-funnel Test, sedangkan beton normal dilakukan pengujian *slump*. Hasil pengujian tersebut disajikan dalam Tabel 5

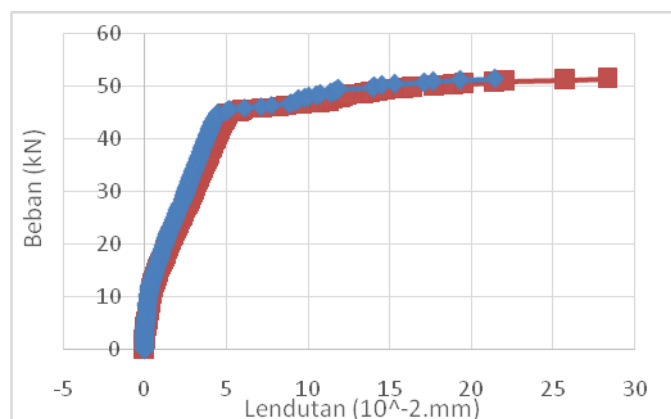
Tabel 5 Hasil Pengujian Beton Segar HVFA-SCC

Jenis Pengujian	Parameter	Hasil Pengujian Beton Segar Kadar Fly Ash 50%	Persyaratan Beton SCC (EFNARC 2002)
Flow Table	Diameter (mm)	662,5	550-800 mm
	T ₅₀ (detik)	3	2 – 5 detik
L-Box	h ₂ /h ₁	1	0,8 – 1,0
V-Funnel	T (detik)	6	6 – 12 detik

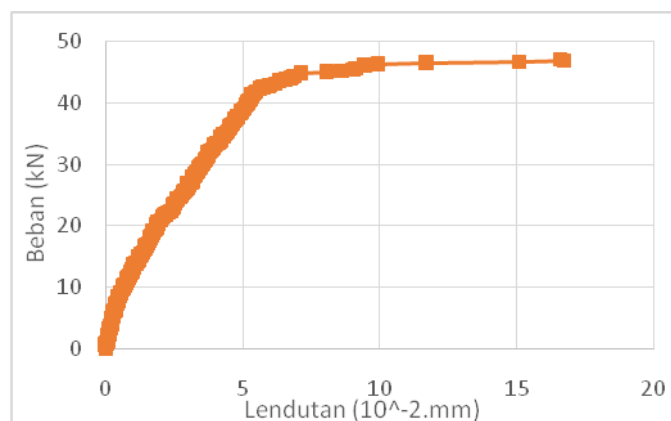
Nilai slump yang didapat pada pengujian beton normal adalah 10 cm.

Hasil Pengujian Lentur Balok

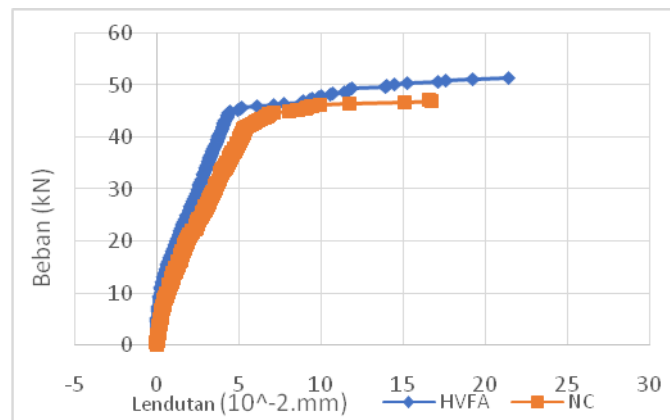
Data – data yang diambil pada pengujian lentur balok beton bertulang meliputi data lendutan yang diperoleh dari pembacaan dial load yang dipasang pada tengah bentang dan dibawah beban untuk setiap interval pembebanan 0,25 kN. Dan di plot menjadi grafik hubungan beban dengan lendutan rata-rata pada titik beban seperti dibawah.



Gambar 4. Grafik Hubungan Beban Lendutan Beton HVFA 50%



Gambar 5. Grafik Hubungan Beban Lendutan Beton Normal



Gambar 6. Grafik Perbandingan Beban Lendutan Balok Beton HVFA-SCC 50% dan NC

Berdasarkan grafik hubungan beban dan lendutan secara garis besar pada balok beton normal dan balok beton HVFA-SCC 50% diatas terlihat bahwa nilai lendutan akan meningkat seiring dengan penambahan beban. Pada awal pembebanan grafik menunjukkan hubungan linier antara beban dan lendutan, artinya besarnya nilai pertambahan lendutan selalu proporsional untuk setiap penambahan beban. Hingga pada saat mengalami crack pertama balok mengalami sedikit perubahan penambahan lendutan yang sedikit lebih besar namun tetap dalam kondisi linier hingga pada beban tertentu grafik mengalami perubahan. Pertambahan nilai lendutan tidak lagi proporsional untuk setiap penambahan beban sehingga grafik menjadi tidak linier dan landai. Perubahan hubungan ini terjadi karena tulangan baja pada balok mulai mengalami leleh pertama, sehingga nilai lendutan akan semakin besar seiring bertambahnya beban hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan.

Dari hasil pengujian tersebut balok beton bertulang HVFA-SCC 50% yang diuji pada umur 28 hari memiliki nilai lendutan maksimum dan beban maksimum yang lebih besar dibandingkan balok normal. Dengan nilai rata-rata 52,5 kN untuk beban maksimum dan 24,18 mm untuk lendutan maksimum balok HVFA-SCC 50%, serta nilai rata 47,92 kN untuk beban maksimum dan 17,175 mm untuk lendutan maksimum balok NC.

Indeks Kekakuan Balok

Hasil perhitungan nilai indek kekakuan balok dapat dilihat pada tabel 6 berikut :

Tabel 6. Perbandingan Indeks Kekakuan Balok Bertulang

Sampel	Saat Retak Pertama	Saat Leleh
NC	16,723	7,616
HVFA	19,706	8,386

Momen Ultimit

Momen Ultimit hasil perhitungan dihitung dengan asumsi $M_u = M_n$, akan dibandingkan dengan momen ultimit hasil pengujian, dapat dilihat pada tabel 7. berikut ini :

Tabel 7. Hasil Momen Ultimit Rata – rata Analitis dan Pengujian

Sampel	Analitis (kNm)	Pengujian (kNm)
NC	12,378	12,086

HVFA	13,562	13,242
------	--------	--------

SIMPULAN

Dari hasil pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa :

1. Balok beton bertulang HVFA - SCC 50% yang diuji pada umur 28 hari memiliki nilai lendutan maksimum rata-rata sebesar 24,18 mm dan beban maksimum rata-rata sebesar 52,5kN sedangkan beton normal nilai lendutan sebesar 17,175 mm dan beban maksimum 47,92 kN.
2. Pada perhitungan nilai daktilitas saat leleh dan saat ultimit yang dilihat dari grafik hubungan beban lendutan balok, balok beton HVFA-SCC 50% mempunyai nilai sebesar 4,44 dan beton normal sebesar 2,73.
3. Pada perhitungan indek kekakuan yang dilihat dari grafik hubungan beban lendutan balok, balok beton HVFA-SCC 50% mempunyai nilai sebesar 19,71 saat *crack* pertama dan 8,39 saat leleh dan beton normal sebesar 16,72 saat *crack* dan 7,62 saat leleh .
4. Momen ultimit balok beton bertulang HVFA-SCC 50% memiliki nilai sebesar 13,24 kNm dan beton normal sebesar 12,09 kNm.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Agus Setiya Budi, S.T., M.T. dan Dr. Endah Safitri, S.T., M.T. selaku pembimbing yang dengan penuh kesabaran dan keikhlasan telah memberi koreksi dan arahan sehingga menyempurnakan hasil karya tulis penyusunan. Rasa terima kasih penulis sampaikan kepada tim skripsi OTW Rektorat yang telah menyurahkan keringatnya untuk menggapai kelulusan bersama.

REFERENSI

Anonim. 1996. "Metode Pengujian Kuat Lentur Beton dengan Balok Uji Sederhana yang Dibebani Terpusat Langsung SNI 03-4154-1996."

Anonim. 2000. "Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal SNI 03-2834-2000". Puslitbang Teknologi Permukiman. Jakarta.

Anonim. 2001. "Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of fine aggregate"(ASTM, C. 2001. 128-01.). United States: ASTM International.

Anonim. 2002."136, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates". Annual Book of Standards, 4(02). (ASTM, C. 2002.)

Anonim. 2002. "Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete". The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems (EFNARC).

Anonim. 2003. "Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing"(ASTM, C. 2003. 117.). Annual Book of ASTM Standards, 4.

Anonim. 2004. "Semen Portland SNI 15-2049-2004". Bandung

Anonim. 2005. "The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use". The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems (EFNARC).

Anonim. 2007. "Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate."(ASTM, C. 1272007)

Anonim. 2011. "Tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium SNI 2943-2011". Jakarta. Puslitbang Teknologi Permukiman.

Anonim. 2014. "Standard test method for slump flow of self-consolidating concrete"(ASTM, C. 2014. 1611.), ASTM Int, 1-6.

- Djiwantoro. 2001. *“Abu Terbang Solusi Pencemaran Semen”* Sinar Harapan. Jakarta
- Jagadish Vengala, Ranganath RV. 2003. *“Effect of fly ash on long term strength in high performance self-compacting concrete”*. In: Proceedings of the INCONTEST 2003, Coimbatore: Kumaraguru College of Technology
- Kukun Rusyandi, dkk. 2012. *“Perancangan Beton Self Compacting Concrete (Beton Memadat Sendiri) Dengan Penambahan Fly Ash dan Structuro”*. Garut.
- Mehta, P. Kumar., Monterio, Paulo J. M., 2005 *“Concrete Microstructure, Properties, and Materials”*
- Nawy, E. G., Surjaman, T., & Suryoatmono, B. 1990. *“Beton Bertulang: Suatu Pendekatan Dasar”*. PT. Eresco, Bandung.
- Nawy, E. G., 1995, *“Reinforced Concrete – A Fundamental Approach, 3rd edition, Prentice Hall”*, New Jersey.
- Nugraha, P. dan Antoni. 2007. *“Teknologi Beton”*. Penerbit ANDI. Yogyakarta.
- PBI NI-2. 1997. *“Peraturan Beton Bertulang Indonesia. Bandung :Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan”*, Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik.
- Soetjipto, Ismoyo. 1987. *“Konstruksi Beton Bertulang 1”* Jakarta.
- Siddique, R. .2004. *“Performance Characteristics of High-Volume Class F Fly Ash Concrete”*. Cement and Concrete Research, 34, 487-493
- Sukumar, B., Nagamani, K., & Raghavan, R. S. 2008. *“Evaluation of strength at early ages of self-compacting concrete with high volume fly ash”*. Construction and Building Materials, 22(7), 1394-1401.
- Tjaronge, M.W., Djamaluddin, A. R., Lemba, N. R., & Kalesaran, I. 2006. *“Influence of Water to Cement Ratio (W/C) on Slump Flow and Compressive Strength of Self Compacting Concrete (SCC) Containing Portland Pozzolan Cement”* Jurnal Komunikasi Teknik Sipil, Vol.14 No. 1, pp. 106-111
- Tjokrodinuljo, Kardiyono. 1996. *“Teknologi Beton”*. Yogyakarta. Biro Penerbit KMTS FT UGM.
- Tomlinson Douglas, Amir Fam. 2015. *“Performance of Concrete Beams Reinforced with Basalt FRP for Flexure and Shear”*
- Umum, D. P. 2011. *“Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan SNI 4431-2011”*. Badan Standarisasi Nasional.