

OPTIMASI PENGGUNAAN 'FLY ASH' DENGAN KADAR SEMEN MINIMUM PADA BETON MUTU TINGGI

Mohammad Erfan¹⁾, Sriliani Surbakti²⁾, Nenny Roostrianawaty³⁾

^{1) 2) 3)} Dosen Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang

ABSTRAKSI

Beton merupakan campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, semen, air maupun dengan atau tanpa bahan tambahan yang dicampurkan menjadi satu bagian. Semen dalam campuran beton sendiri memiliki fungsi sebagai bahan perekat agregat dalam suatu campuran beton. Untuk mengurangi pemakaian semen, maka penggunaan fly ash yang merupakan limbah dari hasil pembakaran batu bara sebagai bahan pengganti semen dalam campuran beton merupakan salah satu solusi tepat, sehingga pemanfaatan limbah lebih optimal dalam mengurangi dampak terhadap lingkungan seperti penambangan batu kapur maupun polusi udara dari hasil produksi semen, mengurangi limbah hasil pembakaran batu bara dan menekan biaya pembuatan beton.

Untuk mengetahui pengaruh optimasi penggunaan fly ash dengan kadar semen minimum pada beton mutu tinggi, kadar optimum penggunaan fly ash dan kuat tekan yang dapat tercapai, maka ditentukan variasi kadar campuran fly ash yang digunakan sebesar 30%, 35%, 40%, 45%, 50% dari berat semen yang digunakan, serta mutu beton rencana sebesar $F'c$ 50 MPa. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder (diameter 15cm x 30cm) yang diuji pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari dengan masing-masing variasi sebanyak 15 sampel.

Berdasarkan hasil penelitian optimasi penggunaan fly ash dengan kadar semen minimum didapatkan nilai kuat tekan rata-rata umur 28 hari pada kadar 0% fly ash sebesar 57,21 MPa, 30% fly ash sebesar 58,77 MPa, 35% fly ash sebesar 61,97 MPa, 40% fly ash sebesar 63,75 MPa, 45% fly ash sebesar 62,38 MPa dan 50% fly ash sebesar 57,89 MPa. Adanya pengaruh secara signifikan dari optimasi penggunaan fly ash dengan kadar semen minimum terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan dapat dibuktikan dari hasil pengujian hipotesis dan analisa regresi, dimana $t_{hitung} = 14,897 > t_{tabel} = 3,182$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) = 98,67% perubahan nilai kuat tekan beton dipengaruhi prosentase penggunaan fly ash, kemudian nilai koefisien korelasi (R) atau tingkat hubungan yang sangat kuat antara prosentase fly ash dan kuat tekan beton sebesar 0,9933. Nilai optimum penggunaan fly ash dengan kadar semen minimum pada beton mutu tinggi ($F'c$ 50 MPa) dapat dibuktikan dari kurva hasil pengujian analisa regresi, dimana hasil analisa tersebut menunjukkan nilai prosentase optimum penggunaan fly ash adalah 40% dan kuat tekan beton yang dapat dicapai dengan kadar optimum 40% penggunaan fly ash adalah sebesar 63,60 MPa.

Kata Kunci : *Beton Mutu Tinggi, Semen Minimum, Abu Terbang (Fly Ash)*

PENDAHULUAN

Saat ini campuran beton mulai banyak memanfaatkan limbah sebagai bahan campuran beton, contohnya limbah dari hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), PLTU sangat banyak menghasilkan limbah dari hasil pembakaran batu bara yang biasa disebut abu terbang (fly ash) dalam jumlah besar dan dapat mencemari lingkungan jika tidak ditangani dengan baik. Hal ini dapat menjadi suatu alternatif untuk memanfaatkan limbah yang dihasilkan agar dapat mengurangi tingkat pencemaran yang ada terhadap lingkungan.

Seiring berjalannya waktu, kini beton secara masif semakin banyak digunakan sebagai bahan utama bangunan. Beton tersebut diperoleh dengan cara mencampurkan beberapa material atau bahan seperti semen portland, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil/batu pecah), air dan bahan tambahan lainnya yang mungkin diperlukan dalam proses pembuatan beton. Bahan tambahan lain yang dapat dipakai dan menjadi solusi alternatif salah satunya adalah abu terbang (fly ash). Abu terbang (fly ash) dapat digunakan

sebagai bahan yang dapat mengganti peran dari semen dikarenakan memiliki sifat sementitious dan juga pozzolanik.

Penggunaan semen dalam jumlah besar sering diterapkan pada proses pembuatan beton mutu tinggi dikarenakan fungsi semen sebagai pengikat yang dapat mempengaruhi maupun menentukan nilai kuat tekan beton. Oleh karena itu, untuk dapat menghasilkan suatu beton dengan mutu tinggi tanpa harus menggunakan semen dalam jumlah besar, maka perlu merencanakan suatu campuran beton mutu tinggi dengan menggunakan semen seminimum mungkin dan menggunakan fly ash sebagai bahan pengganti semen yang akan membantu semen dalam proses pengerasan sehingga beton dengan mutu yang diinginkan. Di Indonesia, konsep pemakaian fly ash dan penggunaan kadar semen yang rendah dalam campuran beton mutu tinggi untuk struktur bangunan konstruksi teknik sipil masih belum banyak dikenal dan belum banyak diaplikasikan. Hal ini dikarenakan beton mutu tinggi lebih mudah tercapai dengan menggunakan semen dalam jumlah besar namun tidak memiliki nilai ekonomis yang baik dalam suatu campuran beton.

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Terdahulu

Pada tahun 2014 Alfian Hendri Umbah dkk, melakukan penelitian memanfaatkan limbah abu terbang (Fly ash) yang bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggantian semen dengan abu terbang (fly ash) terhadap kuat tekan beton mutu normal. Untuk tipe abu terbang yang digunakan yaitu kelas C. Komposisi variasi penambahan abu terbang (fly ash) sebanyak 0%, 30%, 40%, 50%, 60%, dan 70% dari berat semen. Benda uji yang digunakan adalah berbentuk selinder, yang diuji pada umur 7, 14, 21, 28 hari dan masing-masing variasi sebanyak 16 sampel.

Berdasarkan hasil pengujian, penambahan persentase abu terbang (fly ash) sebesar 30%, 40%, 50%, 60%, 70% memiliki nilai kuat tekan tertinggi pada persentase abu terbang (fly ash) 30% yaitu sebesar 24,18 Mpa untuk beton umur 28 hari dan nilai kuat tekan terendah pada persentase abu terbang (fly ash) 70% yaitu sebesar 3,645 MPa untuk umur beton 7 hari.

Pada tahun 2010 Heri Suprpto dan Mardiono melakukan penelitian Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (fly ash) Dalam Beton Mutu Tinggi yang bertujuan untuk untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggantian semen dengan abu terbang (fly ash) terhadap mutu kuat tekan beton. Komposisi penggantian semen dengan abu terbang (fly ash) sebanyak 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40% dari berat semen, dengan penambahan Superplasticizer Sika Viscocrete 10 sebanyak 1% dan faktor air semen ditentukan sama pada semua variasi campuran. Sampel yang digunakan adalah berbentuk kubus (15cm X 15cm X 15cm), mutu beton yang direncanakan 40 Mpa pada umur 28 hari. Dari penelitian dipeoleh bahwa kuat tekan beton yang tertinggi terdapat pada campuran beton penggantian semen dengan Fly Ash 10% (B10), yaitu sebesar 41,57 Mpa dan kuat tekan beton yang terendah terdapat pada campuran beton dengan Fly Ash 40% (B40), yaitu sebesar 33,91 MPa.

Fly Ash dan Silica Fume merupakan bahan posolan yang banyak dipakai pada beton mutu tinggi, sedangkan pasir kwarsa oleh karena ukuran partikelnya sangat kecil maka diharapkan dapat mengisi rongga-rongga didalam beton. kadar silica fume dan pasir kwarsa yang ditambahkan dibuat konstan sebanyak 10% dari berat semen dan kadar superplasticizer yang ditambahkan sebesar 2% dari berat semen. Sedangkan flyash yang digunakan bervariasi yaitu sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% terhadap berat semen. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan menggunakan benda uji silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat beton berumur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Sedangkan pengujian modulus elastisitas dilakukan pada saat beton berumur 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan rerata

beton mutu tinggi pada umur 28 hari dengan variasi fly ash 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% berturut-turut adalah 37,69 MPa, 75,06 MPa, 64,30 MPa, 60,92 MPa, 58,32 MPa, dan 66,11 MPa. Kuat tekan beton maksimum terjadi pada penambahan fly ash sebesar 5% yang dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 99,15% dari beton tanpa fly ash. Sedangkan nilai modulus elastisitas rerata beton mutu tinggi pada umur 28 hari dengan variasi fly ash yang sama berturut-turut adalah 32.059,9294 MPa, 36.204,1322 MPa, 35.510,8152 MPa, 34.969,4492 MPa, 33.276,9639 MPa, dan 36.893,6286 MPa. Modulus elastisitas tertinggi terjadi pada penambahan fly ash sebesar 25% yang dapat meningkatkan modulus elastisitas beton sebesar 15,08% dari beton tanpa fly ash. (Marsianus Danasi, dkk., 2014)

Landasan Teori

Penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan suatu beton mutu tinggi tanpa menggunakan jumlah semen sangat besar dengan cara mengecikan kadar air bebas atau jumlah air pencampur sehingga dapat menurunkan jumlah semen lebih kecil, serta memanfaatkan limbah pembakaran batu bara (fly ash) sebagai bahan pengganti semen. Selain itu untuk ukuran agregat digunakan, agregat dengan diameter maksimum 20 mm, perbandingan agregat halus dibuat lebih besar dari agregat kasar agar dapat menghasilkan suatu beton dengan nilai slump yang flow untuk mempermudah proses pengerjaan.

Beton Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi (high strength concrete) menurut SNI 03-6468-2000 didefinisikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan yang disyaratkan Material penyusun pada beton mutu tinggi sebenarnya tidaklah jauh berbeda dengan material penyusun beton pada umumnya, yaitu terdiri dari semen, agregat halus, agregat kasar, dan air.

Semen Portland

Semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambah berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Agregat

Agregat kasar yang mempunyai bentuk butiran yang bulat memudahkan proses pemadatan tetapi rendah stabilitasnya, sedangkan yang berbentuk menyudut angular sulit dipadatkan tetapi mempunyai stabilitas tinggi. Agregat kasar harus mempunyai ketahanan terhadap abrasi bila digunakan sebagai campuran wearing course, untuk itu nilai los angles abrasion test harus dipenuhi.

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih kecil dari saringan no.8 (2,36 mm). Agregat dapat meningkatkan stabilitas campuran

dengan penguncian antara butiran, agregat halus juga mengisi ruang antar butir. Bahan ini dapat terdiri dari butir – butir batu pecah atau pasir alam atau campuran dari keduanya.

Air

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa berbahaya, tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan.

Abu Terbang (Fly Ash)

Abu terbang (*Fly Ash*) adalah residu halus yang dihasilkan dari pembakaran atau pembubukan batu bara dan ditransportasikan oleh aliran udara panas. (SNI 2460-2014). Menurut Paul Nugraha dan Antoni (2007), mutu Fly Ash tergantung pada kesempurnaan proses pembakarannya. Abu terbang (*Fly Ash*) mempunyai kadar semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolanik. Kandungan Fly Ash sebagian besar terdiri dari silikat oksida (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3), dan kalsium (CaO), serta potasium, sodium, titanium, dan sulfur dalam jumlah yang lebih sedikit.

Kandungan kimia yang terdapat didalam fly ash dapat mempengaruhi kekuatan beton jika fly ash tersebut digunakan sebagai bahan campuran pembuatan beton. Fly ash jika dilihat secara visual terdapat beberapa perbedaan warna, contohnya ada fly ash yang berwarna coklat dan juga ada yang berwarna lebih kehitaman atau abu-abu.

Bahan Tambahan (Admixture)

Admixture adalah bahan-bahan yang ditambahkan kedalam campuran beton pada saat atau selama pencampuran berlangsung. Fungsi dari bahan ini adalah untuk mengubah sifat-sifat dari beton agar menjadi lebih cocok untuk pekerjaan tertentu, atau untuk menghemat biaya. Mulyono (2003).

METODE PENELITIAN

Melakukan pengamatan dan pengujian pada beton dengan optimasi penggunaan *fly ash* dan kadar semen minimum terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan. Hasil yang diperoleh kemudian dilakukan analisa, evaluasi dan disimpulkan. Adapun langkah-langkah penelitian pada studi eksperimen secara garis besar adalah sebagai berikut :

- a) Pengujian berat isi.

- b) Analisa agregat kasar dan agregat halus.
- c) Pengujian bahan lewat saringan No.200.
- d) Pengujian kadar organik agregat halus.
- e) Pengujian kadar lumpur agregat halus.
- f) Pengujian kadar air agregat kasar dan agregat halus.
- g) Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar.
- h) Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus.
- i) Pengujian berat jenis semen
- j) Pengujian berat jenis fly ash dan pengujian kimia fly ash
- k) Pengujian keausan agregat kasar (abrasi test) dengan menggunakan alat Los Angeles.
- l) Perencanaan campuran beton.
- m) Pencampuran beton.
- n) Pengujian slump.
- o) Pembuatan benda uji.
- p) Perawatan benda uji.
- q) Pengujian benda uji.

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain yaitu :

- 1) Semen : Semen Gresik (OPC) Tipe I
- 2) Agregat Halus (pasir) : Pasir Lumajang
- 3) Agregat Kasar (batu pecah) : Batu pecah dengan ukuran 5 mm x 10 mm dan 10 mm x 20 mm (Quarry PT. BATU KALI WELANG AMPUH / PT. ETIKA)
- 4) Abu Terbang (fly ash) : PLTU Paiton
- 5) Superplasticizer (SP) : MasterGlenium ACE 8580 (BASF Indonesia)
- 6) Air : Air PDAM

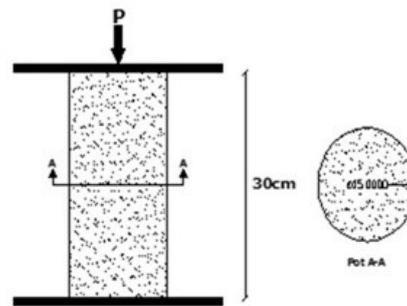
Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain adalah :

1. Kerucut Abrams dengan diameter bagian bawah 20 cm, bagian atas 10 cm dan tinggi 30 cm beserta talem dan tongkat besi, untuk pengujian kelecakan adukan beton (nilai slump).
2. Selinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebagai bekisting atau tempat pembuatan benda uji.
3. Mesin molen, sebagai mixer atau mesin pengaduk campuran beton.
4. Alat uji tekan beton (Compression Testing Machine), untuk menguji kuat tekan benda uji.
5. Timbangan, untuk menimbang berat benda uji dan bahan untuk pencampuran beton.

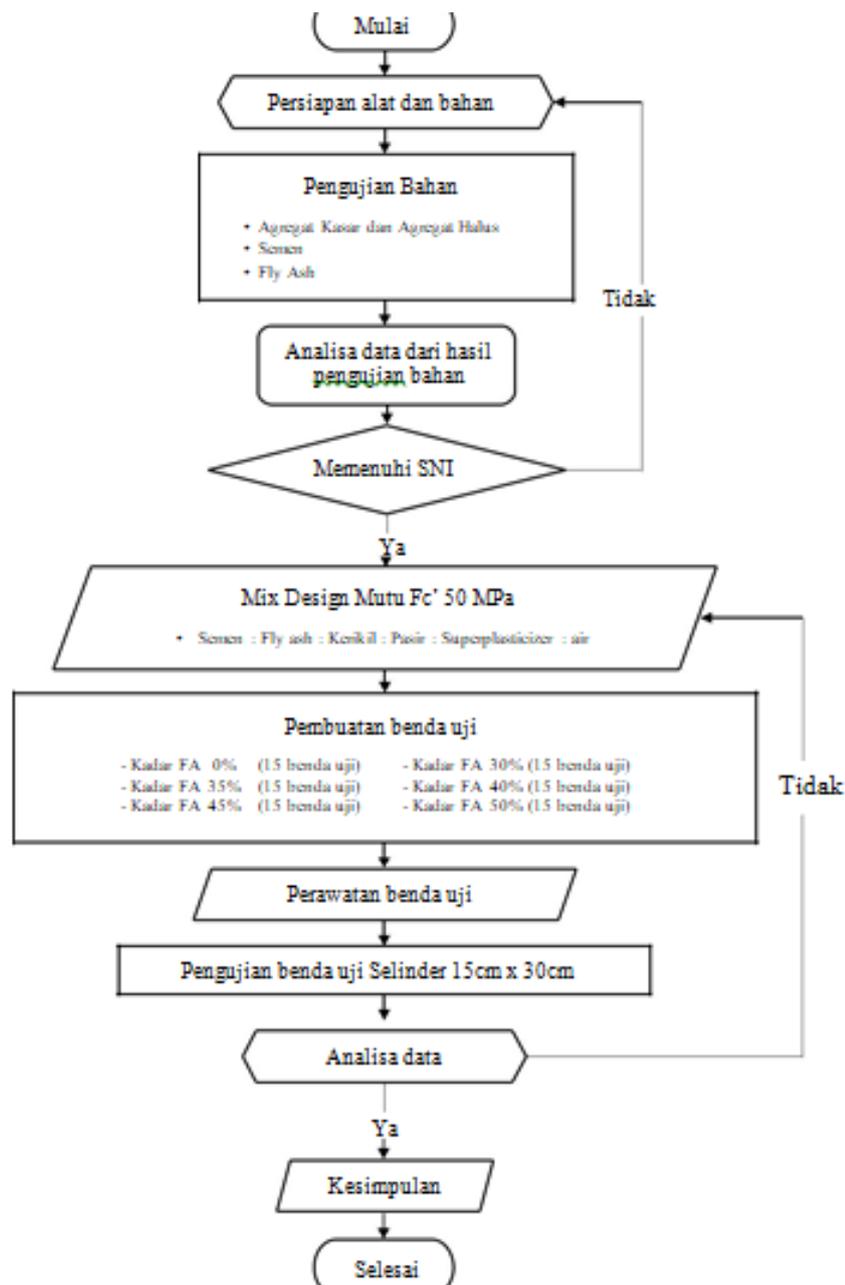
Metode yang digunakan untuk mengumpulkan data pada penelitian ini adalah pengujian kuat tekan beton dari setiap benda uji. Tujuannya untuk menentukan kekuatan tekan beton yang dibuat dan dirawat (*cured*) di laboratorium.



Gambar 1. Mesin Uji Kuat Tekan Beton Sumber : Hasil foto di laboratorium beton kampus ITN 1



Gambar 2. Pengujian Kuat Tekan



Gambar 3. Bagain Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan Hasil Pengujian Material Campuran Beton

Dari hasil pengujian material di laboratorium bahan konstruksi Institut Teknologi Nasional

Malang diketahui bahwa material campuran beton telah memenuhi dan sesuai dengan Standart Nasional Indonesia untuk digunakan sebagai material campuran beton seperti dalam tabel berikut ini :

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Pengujian Material

No.	Pengujian	Standar Acuan	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1.	Berat isi agregat kasar 5/10mm (gr/cm ³) • Gembur • Padat	SNI 03-4804-1998	-	1,34 1,45	-
2.	Berat isi agregat kasar 10/20mm (gr/cm ³) • Gembur • Padat	SNI 03-4804-1998	-	1,43 1,56	-
3.	Berat isi agregat halus (gr/cm ³) • Gembur • Padat	SNI 03-4804-1998	-	1,53 1,64	-
4.	Berat isi semen (gr/cm ³) • Gembur • Padat	SNI 03-4804-1998	-	1,22 1,35	-
5.	Berat isi <i>fly ash</i> (gr/cm ³) • Gembur • Padat	SNI 03-4804-1998	-	1,37 1,50	-
6.	Analisa saringan agregat halus	SNI 03-1968-1990	-	Zone 2	-
7.	Analisa saringan agregat kasar 5/10mm	SNI 03-1968-1990	-	Maks. 10 mm	-
8.	Analisa saringan agregat kasar 10/20mm	SNI 03-1968-1990	-	Maks. 20 mm	-
9.	Bahan lolos saringan No.200 agregat halus (%)	SNI 03-4142-1996	Maks. 5	0,45	Memenuhi
10.	Bahan lolos saringan No.200 agregat kasar 5/10mm (%)	SNI 03-4142-1996	Maks. 5	3,42	Memenuhi
11.	Bahan lolos saringan No.200 agregat kasar 10/20mm (%)	SNI 03-4142-1996	Maks. 5	0,10	Memenuhi
12.	Pengujian kimia <i>fly ash</i> kelas C • CaO (%) • SiO ₂ + AlO ₃ + Fe ₂ O ₃ (%) • SO ₃ (%) • Kadar air (%)	SNI 2460-2014	> 10% Min. 50 Maks. 5 Maks. 3	31,70 60,50 2,20 0,14	Memenuhi Memenuhi Memenuhi Memenuhi
13.	Kadar lumpur agregat halus (%)	SNI 03-4428-1997	Maks. 5	0,19	Memenuhi
14.	Kadar zat organik agregat halus	SNI 2816:2014	-	Warna cairan bening	-
15.	Kadar air asli agregat (%) • Agregat halus • Agregat kasar 5/10mm • Agregat kasar 10/20mm	SNI 03-1971-1990	-	6,07 0,91 0,70	-

16.	Kadar air <i>ssd</i> agregat (%) • Agregat halus • Agregat kasar 5/10mm • Agregat kasar 10mm/20mm	SNI 03-1971-1990	-	0,35 1,63 0,87	-
17.	Bj <i>bulk</i> agregat halus Bj <i>ssd</i> agregat halus Bj <i>apparent</i> agregat halus Penyerapan agregat halus (%)	SNI 1970:2008	Min. 2,5 - - Maks. 3	2,72 2,73 2,75 0,38	Memenuhi - - Memenuhi
18.	Bj <i>bulk</i> agregat kasar 5/10mm Bj <i>ssd</i> agregat kasar 5/10mm Bj <i>apparent</i> agregat kasar 5/10mm Penyerapan agregat kasar 5/10 mm (%)	SNI 1969:2008	Min. 2,5 - - Maks. 3	2,69 2,72 2,79 1,37	Memenuhi - - Memenuhi
19.	Bj <i>bulk</i> agregat kasar 10/20mm Bj <i>ssd</i> agregat kasar 10/20mm Bj <i>apparent</i> agregat kasar 10/20mm Penyerapan agregat kasar 10/20 mm (%)	SNI 1969:2008	Min. 2,5 - - Maks. 3	2,70 2,73 2,79 1,19	Memenuhi - - Memenuhi
20.	Bj semen portland	SNI 03-2531-1991	-	3,12	-
21.	Bj fly ash	SNI 03-2531-1991	-	3,01	-
22.	Konsistensi dan Waktu ikat semen •Waktu ikat awal (menit) •Waktu ikat akhir (menit)	SNI 15-2049-2004	Min. 45 Maks. 375	202 300	Memenuhi Memenuhi
23.	Abrasi (<i>los angeles</i>) %	SNI 2417:2008	Maks. 40	13,17	Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan

Perhitungan Kebutuhan Fly Ash dan Superplasticizer

Perhitungan jumlah fly ash dan superplasticizer menggunakan persentase terhadap berat semen sehingga terdapat pengurangan bahan semen agar tidak menambah berat beton semula. Tetapi untuk menentukan jumlah superplasticizer tidak perlu melakukan pengurangan terhadap bahan semen. Berikut ini merupakan kebutuhan berat campuran dari fly ash dan superplasticizer :

Contoh perhitungan :

Variasi fly ash 30 %

$$= 30 \% \times \text{berat semen per m}^3$$

$$= 0,30 \times 481,01$$

$$= 144,30 \text{ kg/m}^3$$

Superplasticizer 0,43 %

$$= 0,43\% \times \text{berat semen per m}^3$$

$$= 0,043 \times 481,01$$

$$= 2,08 \text{ kg/m}^3$$

Untuk perhitungan variasi selanjutnya seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 2. Perhitungan Komposisi Campuran per m³

Jumlah Bahan Per m ³	Variasi Kadar (%)					
	0	30	35	40	45	50
Semen (Kg)	481,01	336,71	312,66	288,61	264,56	240,51
Fly Ash (Kg)	-	144,30	168,35	192,41	216,46	240,51
Agregat Halus (Kg)	749,19	749,19	749,19	749,19	749,19	749,19
Agregat Kasar 5/10 mm (Kg)	423,43	423,43	423,43	423,43	423,43	423,43
Agregat Kasar 10/120 (Kg)	634,98	634,98	634,98	634,98	634,98	634,98
Air (Kg)	152,00	152,00	152,00	152,00	152,00	152,00
Air Lapangan (Kg)	116,78	116,78	116,78	116,78	116,78	116,78
Superplasticizer (kg)	2,63	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08

Sumber : Hasil Perhitungan

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, pengujian dan perhitungan yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Adanya pengaruh secara signifikan dari optimasi penggunaan fly ash dengan kadar semen minimum terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan, hal ini dapat dibuktikan dari hasil pengujian hipotesis dan analisa regresi, dimana $t_{hitung} = 14,897 > t_{tabel} = 3,182$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) = 98,67% dan koefisien korelasi (R) sebesar 0,9933. Maka hipotesis H_a diterima dan H_0 ditolak.
2. Untuk nilai optimum penggunaan fly ash dengan kadar semen minimum pada beton mutu tinggi ($F'c$ 50 MPa) dapat dibuktikan dari kurva hasil pengujian analisa regresi, dimana hasil analisa tersebut menunjukkan nilai prosentase optimum penggunaan fly ash adalah 40%.
3. Kuat tekan beton yang dapat dicapai dengan kadar optimum 40% penggunaan fly ash adalah sebesar 63,60 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim (2000). Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi Dengan Semen Portland Dengan Abu Terbang (SNI 03-6468-2000), Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim (2000). Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-2000), Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim (2002). Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-2002), Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim (2003). Panduan Praktikum Teknologi Bahan Konstruksi, Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Institut Teknologi Nasional, Malang.
- Anonim (2011). Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder (SNI 1974-2011), Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim (2014). Spesifikasi Abu Terbang Batu Bara dan Pozolan Alam Mentah atau Yang Telah Dikalsinasi Untuk Digunakan Dalam Beton (SNI 2460-2014), Badan Standarisasi Nasional.
- Antoni dan Paul Nugraha. 2007. Teknologi Beton. Penerbit C.V Andi Offset, Yogyakarta.
- Danasi, Marsianus dan Ade Lisantono. 2014. Pengaruh Penambahan Fly Ash Pada Beton Mutu Tinggi Dengan Silica Fume Dan Filler Pasir Kwarsa, Jurnal Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya, Yogyakarta.
- Fredoriko Rival Ola. 2017. Studi Penelitian "Pengaruh Penambahan Rumput Alang-Alang Pada Lapisan Tengah Terhadap Sifat Mekanis Dari Panel Dinding Beton Dengan Tebal 6 cm". Skripsi Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Malang.
- Leonardo Ubu Ngedo Lero. 2017. Studi Penelitian "Pengaruh Penambahan Limbah Kawat Dengan Panjang 2 cm Sebagai Peningkatan Terhadap Sifat Mekanis Beton Berserat (Fiber Concrete) Pada Panel Dinding". Skripsi Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Malang.
- Mochamad Solikin. 2012. Upaya Meningkatkan Performa High Volume Fly Ash Concrete Sebagai Bahan Konstruksi Ramah Lingkungan, Jurnal Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah, Surakarta.
- Mulyono, Tri. 2003. Teknologi Beton. Penerbit C.V Andi Offset, Yogyakarta.
- Suprpto, Heri dan Mardiono. 2010. Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) Dalam Beton Mutu Tinggi, Jurnal Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gunadarma, Jakarta.
- Tavio dan Lasino. 2015. Teknologi Beton. Penerbit C.V Cipta Dea Pustaka, Bandung.
- Umboh, Hendri Alvian dkk. 2014. Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) dari PLTU II Sulawesi Utara Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton, Jurnal Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi, Manado.

