PEMANFAATAN ABU TERBANG *(FLY ASH)* SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEMEN PADA SEBAGIAN SIFAT BETON SEGAR DAN BETON KERAS

Aprizal Panjaitan
Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil S1, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru 28293
email: aprizal.panjaitan@yahoo.com

Zulfikar Djauhari
Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru 28293
email: Zulfkr_dj@yahoo.com

Alex Kurniawandy
Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru 28293
email: alexkurniawandy@gmail.com

ABSTRACT

The research aims to obtain the characteristic of fresh and hard concrete using fly ash as substitute material on normal concrete. It is focused on analyzing the bulk density, workability, setting time, permeability and sulfate resistance. The percentage of fly ash waste that is used are 0% and 30% of the weight of the cement. The results show that using 30% of fly ash decrease the workability and bulk density on concrete. Meanwhile, the setting time with 30% of fly ash substitution is faster compared to 0% fly ash substitution. The use of 30% fly ash also increase the value of permeability on those concrete. At the testing of sulfate resistance, concrete with 0% of fly ash increases the compressive strength at age of 28 and 56 days, then will decrease at the age of 90 days. Meanwhile, for 30 % of fly ash, the compressive strength decreases at the age of 56 and 90 days.

Keywords : fly ash, bulk density, workability, setting time, permeability, sulfate resistance

1. PENDAHULUAN

Penggunaan batubara sebagai bahan bakar akan diiringi dengan timbulnya produk limbah hasil pembakaran dengan jumlah yang cukup besar. Dari pembakaran batubara akan menghasilkan abu batubara *(coal ash)* yang lebih dari 80% kandungannya adalah abu terbang *(fly ash)*. Sedangkan sisanya merupakan jenis abu dasar *(bottom ash).*

Abu terbang (*fly ash*) berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai bahan dasar untuk pembuatan beton. Abu terbang *(fly ash)* sebagai limbah dari batubara merupakan bahan padat yang tidak mudah larut dan tidak menguap. Jika jumlahnya cukup banyak, dan selanjutnya tidak ditangani dengan serius, maka berpotensi menjadi pencemar lingkungan. Oleh karena itu, untuk mencari solusi masalah tersebut, maka perlu dilakukan

tambahan kajian-kajian atau penelitian terkait pemanfaatan abu terbang (*fly ash)*.

Meskipun penelitian dan pemanfaatan bahan-bahan tersebut telah banyak di lakukan, akan tetapi masih perlu dilakukan penelitian dan kajian spesifik terhadap sifat mekanik dari campuran beton untuk abu terbang (*fly ash)* dari sumber tertentu. Hal ini perlu dilakukan dengan alasan :

1. abu terbang (*fly ash)* dari daerah tertentu harus dibuktikan bahwa karakteristiknya bisa bersenyawa dengan baik dalam campuran beton
2. sebagai data base karakteristik abu terbang *(fly ash)* dari daerah tertentu.

Terkait dengan hal tersebut di atas, maka perlu dilakukan penelitian lanjutan terhadap sifat-sifat material abu terbang (*fly ash*) yang berasal dari Dumai tersebut. Kajian lanjutan untuk penelitian ini diarahkan kepada pengaruh pengujian ketahanan asam, berat isi, kelecakan, permeabilitas dan waktu ikat.

Penelitian mengenai sifat fisik dan kimia abu terbang yang berasal dari Dumai telah dilakukan sebelumnya oleh Kusuma (2013). Penelitian ini menggunakan abu terbang (*fly ash)* sebagai substitusi semen dengan variasi 0%, 10%, 20% dan 30% yang mencakup pengujian kuat tekan beton, absorpsi, porositas dan susut beton. Hasil penelitian menunjukkan nilai kuat tekan beton masih termasuk dalam klasifikasi beton mutu normal dengan variasi optimum 30% dari berat semen.

Material yang digunakan adalah agregat kasar asal Danau Bingkuang kabupaten Kampar dan agregat halus asal muara takus kabupaten Kampar, Riau. Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah sedangkan agregat halus yang digunakan adalah pasir alam. Adapun jenis pemeriksaan yang dilakukan tertera pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Pengujian Material

No	Jenis Pemeriksaan	Standar
1	Kadar lumpur (%)	ASTM C-142
2	Berat jenis (gr/cm3)	SNI 03-1969-1990 dan SNI 03-1970-1990
3	Kadar air (%)	SNI 03-1971-1990
4	Modulus kehalusan	SNI 03-1968-1990
5	Berat volume (gr/cm3)	SNI 03-4804-1998
6	Ketahanan aus (%)	SNI 03-2417-1991
7	Kandungan organik	SNI 03-2816-1992

Penelitian kimia dari abu terbang dilakukan di Laboratorium PT. Sucofindo Cibitung dapat dilihat pada Tabel 2 dan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanis abu terbang dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Fakultas Teknik Universitas Riau.

Tabel 2. Pengujian Material

Senyawa kimia	Persentase kadar (%)
SiO2	53,49
Al2O3	18,29
Fe	11,87
CaO	4,08
Mg	1,37

Sumber: *Laboratorium PT. Sucifindo Cibitung, 2013*

Desain campuran (*mix design*) beton pada penelitian ini mengikuti langkah perhitungan metode SNI 03-2834-1993 yang mengadopsi metode ACI 211.1-9: *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. Mutu beton yang direncanakan pada penelitian ini adalah beton dengan kuat

tekan rencana 250 kg/cm². Penelitian ini menggunakan substitusi abu terbang yaitu 30% dari berat semen. Komposisi campuran yang didapat tertera pada berikut ini.

Semen	:282,80 kg/m^3
Air	:189,58 kg/m^3
Agregat Kasar	: 988,40 kg/m^3
Agregat Halus	: 692,73 kg/m^3
Abu Terbang	:121,20 kg/m^3

2. METODE PENELITIAN

2.1. Benda Uji

Perencanaan jumlah benda uji yang akan dibuat pada penelitian ini adalah 48 benda uji. Benda uji berbentuk silinder dengan dimensi diameter 10 cm, tinggi 20 cm sebanyak 36 sampel yang digunakan untuk pengujian ketahanan terhadap sulfat dan berat isi. Benda uji berbentuk kubus 15 x 15 x 15 cm sebanyak 4 sampel yang akan digunakan untuk pengujian permeabilitas. Selanjutnya benda uji sebanyak 8 sampel digunakan untuk pengujian waktu ikat dan kelecakan.

2.2. Pengujian Beton

Pengujian sifat mekanis beton pada penelitian ini berupa pengujian kelecakan, berat isi, permeabilitas, ketahanan terhadap sulfat dan waktu ikat. Pengujian kelecakan dan berat isi dilakukan berdasarkan SNI 03-1972-1990 dan SNI 03-1973-1990.

Pada pengujian ketahanan terhadap sulfat digunakan dua jenis air untuk perendaman benda uji yaitu, asam sulfat dan air biasa sebagai kontrol penelitian. Nilai derajat keasaman (pH) dari rendaman asam sulfat adalah 4,00. Sebelum benda uji dimasukkan ke dalam rendaman asam, terlebih dahulu benda uji berada pada rendaman air biasa selama 28 hari. Setelah masa perawatan pada air biasa selama 28 hari selesai, dilanjutkan pada rendaman asam dan air biasa sebagai pengontrol pada umur 56 dan 90 hari. Pengujian kuat tekan dilakukan berdasarkan SNI 03-1974-1990,

Pengujian permeabilitas dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari. Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI-S-36-1990-03 dan DIN 1048.

Pengujian waktu ikat semen dilakukan terhitung dari mulai semen bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen hingga pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan. Pengujian waktu ikat semen mengacu pada SNI 15-2049-2004 yang dapat dilihat pada Gambar 1

Gambar 1. Pengujian waktu ikat

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang dapat dibahas meliputi hasil pengujian karakteristik material , hasil pengujian kelecakan beton, hasil pengujian berat isi beton, hasil pengujian hasil permeabilitas beton, hasil pengujian ketahanan terhadap sulfat dan hasil pengujian waktu ikat semen.

3.1. Hasil Pengujian Karakteristik Material

Pengujian karakteristik material menghasilkan data–data yang digunakan dalam perencanaan campuran (*mix design*) beton. Hasil Pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian karakteristik material

Jenis Pemeriksaan	Hasil Agregat Halus	Hasil Agregat Kasar	Standar Spesifikasi
Kadar Lumpur (%)	4,36	-	<5
Berat Jenis (gr/cm^3)			
a. *Apparent specific gravity*	2,66	2,74	2,58-2,83
b. *Bulk specific gravity on dry*	2,63	2,57	2,58-2,83
c. *Bulk specipy gravity on SSD*	2,64	2,63	2,58-2,83
d. *Absorption* (%)	0,44	2,38	2-7
Kadar air (%)	3,82	2,99	3-5
Modulus kehalusan	3,94	6,91	1,5-3,8
Kandungan zat organik	No.3	-	No.3
Keausan (%)	-	29,20	27-40
Berat Volume			
a. Kondisi padat	1,83	1,46	>1,2
b. Kondisi lepas	1,68	1,32	>1,2

3.2 Hasil Pengujian Kelecakan Beton

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan *(workability).* Kemudahan pengerjaan dapat dilihat dari nilai slump, yang identik dengan tingkat keplastisan beton. Semakin plastis beton, semakin mudah pengerjaannya (Tri Mulyono, 2004). Pada penelitian ini untuk menjaga tingkat *workability* dilakukan dengan penambahan air pada campuran. Tingkat *workability* beton segar ditentukan dari nilai slump, pada penelitian ini nilai slump yang direncanakan berkisar antara 70-100 mm. Penambahan air mengakibatkan perubahan nilai FAS pada campuran. Hasil pengujian slump dasar dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut

Hasil pengujian slump pada variasi 0% diperoleh nilai 75 mm dengan penambahan air 22,52 kg, sedangkan pada variasi 30% diperoleh nilai slump 75 mm dengan penambahan air 56,98 kg. Dari masing-masing pengujian tersebut dapat dilihat bahwa dengan nilai slump sama yaitu 70 mm, variasi abu terbang 30% membutuhkan penambahan air yang lebih banyak dibanding variasi abu terbang 0%. Hasil tersebut menunjukkan penggunaan abu terbang cenderung meningkatkan kebutuhan air pada campuran beton. Peningkatan tersebut dikarenakan penyerapan (*absorption*) abu terbang yang tinggi. Penyerapan abu terbang yang tinggi mengakibatkan jumlah air yang diserap pada proses pencampuran akan meningkat. Sehingga hal ini mengakibatkan beton dengan variasi abu terbang 30% memiliki tingkat kelecakan yang lebih rendah dibanding beton variasi abu terbang 0%.

3.3 Hasil Pengujian Berat Isi Beton

Pengujian ini dilakukan terhadap contoh beton segar yang mewakili suatu campuran beton. Tujuan pengujian ini memperoleh angka yang benar dari berat isi beton. Maksud metode ini adalah sebagai pegangan dalam pengujian untuk menentukan berat isi (*unit weight*) beton segar (*fresh concrete*) serta banyaknya semen per meter kubik beton. Pada pengujian ini digunakan cetakan silinder dengan

diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Hasil pengujian berat isi dapat dilihat pada tabel berikut.

Hasil pengujian berat isi pada beton variasi abu terbang 0% yaitu 2760 kg/m^3 sedangkan pada variasi abu terbang 30% yaitu 2738 kg/m^3. Dari tabel hasil pengujian dapat dilihat bahwa penggunaan variasi abu terbang 30% cenderung menurunkan nilai berat isi pada beton. Hal tersebut dikarenakan berat isi pada beton berbanding lurus dengan berat jenis pada material penyusun beton. Berdasarkan hasil pemeriksaan sifat fisik di laboratorium, abu terbang memiliki berat jenis yang lebih rendah dibanding semen yaitu 2,22 gr/cm^3. Semakin banyak penggunaan abu terbang pada beton maka semakin menurunkan berat isi pada beton tersebut. Hal ini mengakibatkan beton dengan menggunakan substitusi abu terbang memiliki berat isi beton yang lebih rendah dibanding beton tanpa substitusi abu terbang.

3.4 Hasil Pengujian Permeabilitas Beton

Pengujian permeabilitas dilakukan pada benda uji dengan campuran abu terbang yang maksimum (30%) saat berumur 28 hari. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui angka permeabilitas dari beton dengan subtitusi abu terbang 30% dari berat semen terhadap beton normal (0%).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan abu terbang 30% memiliki angka permeabilitas lebih tinggi dibanding variasi abu terbang 0%. Hal tersebut dikarenakan penyerapan abu terbang yang tinggi cenderung meningkatkan faktor air semen pada campuran beton. Semakin tinggi faktor air semen maka akan semakin banyak pula pori-pori yang saling berhubungan sehingga beton mempunyai permeabilitas yang tinggi. Dengan faktor air semen yang tinggi dalam pembuatan beton berarti ada kelebihan air dalam campuran beton. Air ini berguna untuk menambah kelecakan beton sehingga mudah dicetak. Sedangkan air yang diperlukan untuk hidrasi adalah sangat sedikit sehingga sisanya akan menguap. Pada saat air ini menguap dan keluar dari beton maka akan timbul pori-pori yang saling berhubungan hingga mencapai permukaan beton. Pori-pori inilah yang akan menjadi jalan atau kanal bagi gas ataupun zat cair dari luar untuk masuk ke dalam beton. Karena itu beton dengan penyerapan yang tinggi akan meningkatkan angka permeabilitas dari beton tersebut. Hasil pengujian permeabilitas dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan 4.2.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian permeabilitas beton variasi abu terbang 30%

No. Sampel	Tipe/Ukuran Benda Uji	Permeabilitas	Rerata
1	Kubus 15x15x15	4.871	4.329
2	Kubus 15x15x15	3.786	

Tabel 4.2 Hasil pengujian permeabilitas beton variasi abu terbang 0%

No. Sampel	Tipe/Ukuran Benda Uji	Permeabilitas	Rerata
1	Kubus 15x15x15	3.914	4.125
2	Kubus 15x15x15	4.336	

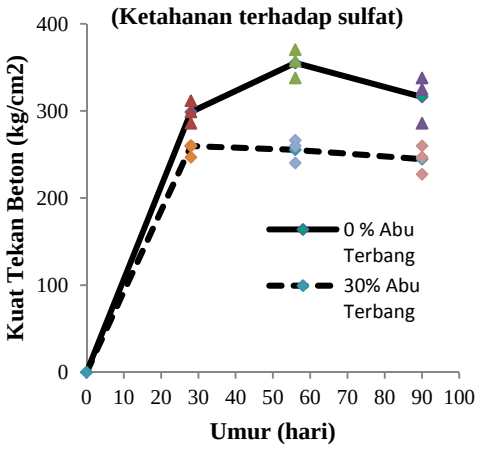
3.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Terhadap Sulfat

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan beton di lingkungan asam terhadap beton dengan substitusi abu terbang ditinjau dari umur beton. Sebelum benda uji dimasukkan ke dalam rendaman asam, terlebih dahulu benda uji berada pada rendaman air biasa selama 28 hari. Setelah masa perawatan pada air biasa selama 28 hari selesai, lalu dilanjutkan pada rendaman asam sulfat dan air biasa sebagai pengontrol pada umur 56 dan 90 hari.

Selanjutnya hasil pengujian kuat tekan beton terhadap sulfat pada beton dengan variasi abu terbang 0% dan 30% dapat dilihat pada tabel 5. dibawah ini.

Tabel 5. Kuat tekan beton terhadap sulfat

Variasi	Kuat Tekan Beton (Kg/cm2)		
	Rendaman Air Biasa	Rendaman Asam Sulfat	
	28 Hari	56 Hari	90 Hari
Abu Terbang 0%	298.771	355.062	316.092
Abu Terbang 30%	259.800	255.471	244.646



Gambar 2. Grafik kuat tekan terhadap umur beton

Dari grafik dapat dilihat beton dengan menggunakan abu terbang 0% mengalami peningkatan kuat tekan beton pada umur 28 hari dan 56 hari, selanjutnya beton mengalami penurunan kuat tekan pada umur 90 hari. Kenaikan kekuatan beton dari umur 28 hari sampai umur 56 hari adalah sebesar 18,84%, sedangkan penurunan kekuatan beton dari umur 56 hari sampai umur 90 hari adalah sebesar 10,98%. Hal tersebut mengindikasikan bahwa proses hidrasi berjalan dengan baik pada rendaman air biasa. Air biasa dengan pH netral tidak terdapat kandungan asam yang bisa merusak beton. Sehingga proses hidrasi tidak terganggu oleh asam dan berjalan dengan baik. Proses hidrasi beton tetap bereaksi sesuai dengan terjaganya kelembaban beton oleh rendaman air biasa. Pada rendaman asam sulfat juga terjadi peningkatan kuat tekan beton sampai umur 56 hari seperti yang terlihat pada Tabel 5. Hal tersebut menunjukkan tingkat perusakan beton oleh asam sulfat belum sebanding dengan laju peningkatan kuat tekan beton seiring dengan pertambahan umur beton sampai umur beton 56 hari. Akan tetapi, sejalan pertambahan umur beton, asam sulfat dengan pH = 4,00 terus menyerang ikatan struktur beton mulai dari tepi permukaan beton sampai masuk ke inti beton sehingga lambat laun akan melemahkan ikatan antar partikel di dalam beton dan mempengaruhi kekuatan beton. Hal ini yang menyebabkan terjadinya penurunan kuat tekan beton pada umur 90 hari.

Pada beton dengan menggunakan variasi abu terbang 30%

mengalami peningkatan kuat tekan pada umur 28 hari, selanjutnya pada rendaman asam sulfat mengalami penurunan pada umur 56 hari dan 90 hari seperti yang terlihat pada Gambar 4.11 . Persentase penurunan kekuatan beton dari umur 28 hari sampai 56 hari adalah sebesar 1,67%, sedangkan dari umur 56 hari sampai 90 hari adalah sebesar 4,24%. Penurunan kuat tekan yang drastis ini dikarenakan beton dengan menggunakan variasi abu terbang 30% memiliki angka permeabilitas yang lebih tinggi dibanding beton variasi abu terbang 0% sehingga serangan asam dengan mudah bisa masuk ke pori pori beton dan terus merusak produk hidrasi beton sampai ke inti beton. Hal ini yang menyebabkan terjadinya penuruan kuat tekan beton hingga umur 90 hari. Penurunan kuat tekan beton terus berlanjut seiring bertambahnya umur beton.

Berdasarkan DIN EN 206-1 tentang klasifikasi daya serang asam ditinjau dari nilai pH menyebutkan bahwa nilai pH antara 4,00 – 4,50 termasuk daya serang kuat (Beddoe & Dorner, 2005). Hal ini juga mendukung alasan di atas dikarenakan daya serang kuat tidak sangat berpengaruh terhadap kuat tekan beton.

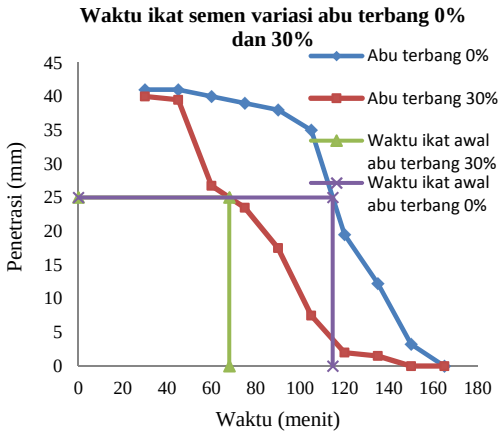
3.6 Hasil Pengujian Konsistensi Normal Semen

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai jumlah / persentase air yang akan diperlukan untuk pengujian waktu ikat pada semen variasi abu terbang 0% dengan semen variasi abu terbang 30%. Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Semen PCC dari produk PT. Semen Padang. Dari hasil penelitian didapat nilai jumlah air yang digunakan pada semen variasi abu terbang 0% untuk pengujian konsistensi normal adalah 25,077% (163 ml) dengan penetrasi 11 mm, sedangkan pada semen variasi abu terbang 30% didapat jumlah air 31,846% (207 ml) dengan penetrasi yang didapat adalah 11 mm. Konsistensi normal pasta tercapai apabila batang peluncur menembus sampai batas (10 ± 1) mm di bawah permukaan pasta dalam waktu 30 detik setelah dilepaskan (SNI 15-2049-2004).

3.7 Hasil Pengujian waktu ikat Semen

Pengujian dilakukan untuk mengetahui waktu ikat pada Semen variasi abu terbang 0% dengan semen variasi abu terbang 30%. Dari hasil pengujian diperoleh rata-rata waktu ikat awal *(initial Setting)* untuk variasi abu terbang 0% yaitu 114,68 menit. Untuk waktu ikat akhirnya *(final setting)* adalah 165 menit.

Pada pengujian waktu ikat dengan penggunaan abu terbang 30% diperoleh waktu ikat awal *(initial Setting)* yaitu 68,08 menit. Untuk waktu ikat akhirnya *(final setting)* adalah 150 menit. Nilai waktu ikat awal dan waktu ikat akhir yang didapat masih masuk standar yang disyaratkan SNI yaitu untuk waktu ikat awal harus >45 menit dan waktu ikat akhir tidak boleh >375 menit



Gambar 2. Grafik waktu ikat semen

Dari hasil pengujian terhadap kedua semen tersebut terdapat perbedaan antara semen variasi abu terbang 0% dengan semen variasi abu terbang 30%. Pada semen variasi abu terbang 30% terjadi proses pengikatan yang lebih cepat dibanding semen variasi abu terbang 0%. Hal ini terjadi karena reaksi antara air dengan semen hanya 70% sehingga waktu yang dibutuhkan untuk bereaksi lebih sedikit dibanding semen 100%. Sementara penggunaan abu terbang dengan variasi 30% pada campuran tidak lagi sebagai *pozzolan* yang dapat bereaksi membentuk senyawa akan tetapi fungsinya menjadi agregat halus. Hal tersebut dikarenakan pemakaian abu terbang yang berlebihan menyebabkan limbah abu terbang tidak habis bereaksi dengan air. Sisa limbah abu terbang yang tidak habis ini merupakan bahan kapur tohor (Cao) yang tidak aktif dari limbah abu terbang (Kusuma, 2013). Semakin tinggi kemurnian kapur semakin besar reaksinya terhadap air (Mulyono, 2003).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan mengenai penggunaan abu terbang sebagai substitusi semen pada campuran beton, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil Pengujian waktu ikat dengan menggunakan alat Vicat terhadap semen tanpa substitusi abu terbang dan dengan substitusi abu terbang 30% didapat perbedaan antara kedua semen tersebut. Semen dengan substitusi abu terbang 0% waktu ikat awalnya yaitu 114,68 menit dan waktu ikat akhirnya yaitu 165 menit. Sedangkan semen dengan substitusi abu terbang 30% waktu ikat awalnya yaitu 68,08 menit dan waktu ikat akhirnya yaitu 150 menit.
2. Penggunaan abu terbang pada campuran beton cenderung mengurangi tingkat *workability* pada beton segar sehingga membutuhkan penambahan air untuk mencapai standar *workability* yang direncanakan. Hal tersebut dapat dilihat dengan nilai slump sama yaitu 75 mm, campuran beton dengan menggunakan substitusi abu terbang membutuhkan penambahan air yang lebih banyak yaitu 56,98 kg dibanding campuran beton tanpa substitusi abu terbang yaitu 22,52 kg dari jumlah air pada perencanaan campuran *(mix design).*
3. Hasil pengujian berat isi pada beton tanpa menggunakan substitusi abu terbang yaitu 2760 kg/m^3 sedangkan pada substitusi abu terbang 30% yaitu 2738 kg/m^3. Hal tersebut menunjukkan semakin banyak penggunaan abu terbang pada campuran beton cenderung mengurangi berat isi pada beton tersebut.
4. Beton yang direndam dalam rendaman asam sulfat dengan pH 4,0 cenderung menurunkan kekuatan beton. Penurunan kekutatan beton sejalan dengan pertambahan umur beton. Semakin rendah pH rendaman maka semakin tinggi daya serang terhadap beton demikian pula sebaliknya.
5. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan pada rendaman sulfat, beton dengan substitusi abu terbang 30% memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah bila dibandingkan dengan beton tanpa substitusi abu terbang. Hal ini juga sejalan

dengan pertambahan umur beton yang direndam dalam rendaman sulfat.

6. Pada substitusi abu terbang 30% diperoleh angka permeabilitas yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan tanpa substitusi abu terbang. Semakin meningkat penggunaan abu terbang, maka semakin meningkat angka permeabilitas pada beton.

4.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, perlu beberapa saran untuk ditindaklanjuti yaitu sebagai berikut:

1. Sebaiknya sebelum dilakukan pembuatan sampel beton diuji kadar air agregat, karena dapat mempengaruhi FAS rencana
2. Untuk proses pembuatan benda uji disarankan untuk melakukan perlakuan yang sama terhadap setiap benda uji agar tidak terjadi perbedaan sifat mekanik antar beton
3. Kontrol terhadap nilai derajat keasaman (pH) rendaman harus lebih diperhatikan sebagai indikator utama pengujian.
4. Untuk semua jenis pengujian yang berhubungan dengan suhu ruangan, harus dikontrol agar suhu ruangan tetap ketika proses pengujian.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada semua pihak yang telah membantu selama penelitian.

6. DAFTAR PUSTAKA

American Concrete Institute (ACI) Committee 209. (1992). *Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures*. Journal ACI Committee 209.

American Concrete Institute (ACI) Committee 211.1. (1991). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. Journal ACI Committee 201.1.

ASTM C 142 – 97. 2004. *Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates.* United States: ASTM.

Dorner, H.W. & Beddoe, R. E. 2005. *Modelling acid attack on concrete: Part I. The essential mechanisms.* Germany: Technische Universität München

Kusuma. (2013). *pemanfaatan abu terbang (fly ash) sebagai bahan substitusi semen pada beton mutu normal*. Skripsi Jurusan Teknik.

Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit Andi.

Pradita,S. (2013). *pemanfaatan abu dasar (bottom ash) sebagai bahan substitusi pasir pada beton mutu normal*. Skripsi Jurusan Teknik. Pekanbaru: Universitas Riau

SNI 03-1968-1990. (1990). *Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar.* Bandung: Badan Standardisasi Nasional.

SNI 03-1969-1990. (1990). *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.

SNI 03-1970-1990. (1990). *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.

SNI 03-1971-1990. (1990). *Metode Pengujian Kadar Air Agregat*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.

SNI 03-1972-1990. (1990). *Metode Pengujian Slump Beton*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.

SNI 03-1974-1990. (1990). *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.

SNI 03-2417-1991. (1991). *Metode pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi los angeles.*bandung*:* Badan Standardisasi Nasional.

SNI 03-2816-1992. (1992). *Metode pengujian kotoran organik dalam pasir untuk campuran mortar atau beton.* bandung*:* Badan Standardisasi Nasional.

SNI 03-2847-2002. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.

SNI 15-2049-2004. (2004). *Semen Portland*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.