

Kajian Kuat Tarik Belah Dan Modulus of Rupture Beton Normal Dengan Bahan Tambah Abu Vulkanik Dan Serat Aluminium

A Mediyanto¹⁾, Supardi²⁾, Arditiya Pratama S³⁾

^{1),2)} Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

³⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jln Ir. Sutami 36 A, Surakarta 57126

Email : ar_dht@yahoo.co.id

ABSTRACT

Recently, the research on building material has become more attractive. The research is not only related to determine of proper material composition but also seeking the alternative component to substitute the other components. Chemical reaction between cement and water produces hydration product and releases the heat. The thermal gradient during concrete hardening process may swell and shrink concrete matrix and cause concrete cracks. One of the methods to solve the problem was by adding the volcanic ash and aluminum fibre on concrete. The aim of the research is to determine the influence of volcanic ash and aluminum fibre on tensile strength and modulus of rupture of concrete

The research was conducted at the experimental laboratory of Civil Engineering of Sebelas Maret University. The tensile strength test used cylinder with the diameter 5 cm and height 30 cm. The modulus of rupture test used block with the length 50 cm, width 10 cm and height 10 cm with the addition of volcanic ash as much as 0% and 20% and the aluminium fibre as much as 0%, 0.5%, 1% and 1.5% respectively. The process of tests involved material test, tensile strength test and modulus of rupture test.

The result showed the maximum amount of aluminium fibre and volcanic ash added were 1.10% and 20% respectively with the tensile strength 2.59 Mpa. The value of the modulus of rupture was 3.409 MPa with the number of aluminium fibre and volcanic ash respectively 1.15% and 20%.

.Keywords: tensile strength, modulus of rupture, normal concrete, volcanic ash, aluminum fiber

ABSTRAK

Pada saat ini perkembangan zaman dan teknologi menuntut kemajuan tak terkecuali dalam bidang material bangunan. Penelitian material tersebut tidak hanya pada penentuan komposisi campuran material yang tepat, tetapi juga mencari berbagai alternatif lain seperti penambahan bahan tertentu dan penggantian suatu komponen dengan komponen lainnya. Reaksi kimia antara semen dan air menghasilkan produk hidrasi yang disertai pelepasan panas. Kondisi ini mengandung resiko besar terhadap penyusutan beton yang berakibat pada keretakan beton, sehingga perlu adanya perbaikan salah satunya dengan penambahan abu vulkanik dan serat aluminium. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan serat aluminium sebesar 0%; 0,5%; 1%; dan 1,5% dari volume beton dan abu vulkanik sebesar 0% dan 20% dari berat semen terhadap kapasitas kuat tarik belah dan modulus of rupture beton yang dihasilkan dengan variasi campuran yang telah ditentukan.

Penelitian dilakukan dengan penelitian eksperimental laboratorium. Dalam penelitian ini menggunakan benda uji berupa silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk uji kuat tarik belah dan balok dengan ukuran panjang 50 cm, lebar 10 cm, dan tinggi 10 cm untuk uji modulus of rupture dengan masing-masing kadar penambahan abu vulkanik sebesar 0 % dan 20 % dan serat aluminium sebesar 0%; 0,5%; 1%; dan 1,5%. Proses pengujian meliputi uji bahan, uji kuat tarik belah, dan uji modulus of rupture.

Hasil pengujian beton yaitu sebagai berikut dimana nilai kuat tarik belah beton normal dengan bahan tambah serat aluminium dan abu vulkanik pada penelitian ini mencapai nilai tertinggi pada kadar serat aluminium 1,10% dan abu vulkanik 20% dengan dengan kuat tarik belah sebesar 2,59 MPa. Kemudian untuk pengujian modulus of rupture mencapai nilai tertinggi pada kadar serat aluminium 1,15% dan abu vulkanik 20% dengan modulus of rupture sebesar 3,409 MPa.

Kata kunci : kuat tarik belah, *modulus of rupture*, beton normal, abu vulkanik, serat almunium

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan zaman dan teknologi menuntut kemajuan tak terkecuali dalam bidang material bangunan. Banyak sekali penelitian yang telah dilakukan tentang material bangunan. Penelitian material tersebut tidak hanya pada penentuan komposisi campuran material yang tepat, tetapi juga mencari berbagai alternatif lain seperti penambahan bahan tertentu untuk mendapatkan sifat beton yang dapat memenuhi kebutuhan konstruksi pada saat ini.

Pekerjaan beton berperan sangat penting dalam bidang industri konstruksi. Dapat dikatakan hampir pada setiap bangunan yang didirikan seperti gedung bertingkat, perumahan, jalan, jembatan, bendungan, dan saluran irigasi serta bangunan lainnya selalu memerlukan pekerjaan beton, baik sebagai kebutuhan utama maupun sebagai unsur bahan penunjang.

Proses hidrasi semen menghasilkan senyawa Calsium Silikat Hidrat, Calsium Alumina Hidrat dan Calsium Aluminoferit. Selain itu juga menghasilkan kapur bebas (Ca(OH)_2) yang bersifat dan disertai dengan perubahan volume, dimana volumenya lebih besar dari asalnya. Inilah yang membahayakan, karena jika semen tersebut sudah menjadi struktur beton, maka struktur beton tersebut akan mengembang, sehingga dalam struktur tersebut timbul tegangan tarik yang mengakibatkan retak atau pecah. Hidrasi semen juga menyebabkan terbentuknya senyawa kotor. Senyawa ini antara lain monosulfate ($\text{C}_4\text{ASH}_{12}$), Ettringite ($\text{C}_6\text{AS}_3\text{H}_{32}$), Calcium Aluminate dan Calcium Sulfoaluminates. Senyawa-senyawa tersebut merupakan produk dari hidrasi semen yang tidak memiliki kontribusi pada kekuatan beton dan cenderung menurunkan kekuatan beton. Selain itu juga terbentuknya *wall effect* pada *Interfacial Transition Zone*. *Wall effect* terjadi di daerah antara agregat dan pasta semen. Hal ini menyebabkan rongga (dinding) di daerah tersebut sehingga menurunkan kekuatan beton.

Abu vulkanik merupakan bahan material vulkanik yang disemburkan ke udara saat terjadi letusan gunung berapi. Abu vulkanik mengandung Silika, Oksigen, serta zat-zat lainnya seperti Besi, Mangan, Silikat, Aluminium, Kalsium, Kalium, dan Fosfor. Di Indonesia khususnya pulau Jawa terdapat gunung yang masih aktif. Sebagai contoh Gunung Kelud yang terletak di Jawa Timur. Gunung tersebut terakhir meletus Tanggal 13 Februari 2014. Abu vulkanik yang keluar akibat letusan dari Gunung Kelud menjadi limbah yang sangat banyak. Pada saat itu, abu vulkanik tersebut belum dimanfaatkan dan dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan serta membahayakan kesehatan manusia. Apabila abu tersebut dibuang ke sungai akan menyebabkan sedimentasi sungai mengalami kenaikan. Maka dalam beberapa tahun ini abu vulkanik diteliti sebagai salah satu bahan tambahan dalam pembuatan beton karena banyak mengandung *silica*.

Penambahan abu vulkanik 5-20 % dari berat semen menunjukkan peningkatan dalam kekuatan beton. Peningkatan kekuatan itu mungkin karena pembentukan *tobermorite*, yang dibentuk oleh reaksi kimia antara abu vulkanik dan kapur pada suhu tinggi (Nasser dan Marzouk,1979).

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di awal, maka dapat dirumuskan permasalahan yang ingin dibahas yaitu :

1. Seberapa pengaruh penambahan serat almunium sebesar 0%; 0,5%; 1%; 1,5 % dari volume beton dan abu vulkanik Gunung Kelud sebesar 0% dan 20% dari berat semen terhadap kuat tarik belah beton.
2. Seberapa pengaruh penambahan serat almunium sebesar 0%; 0,5%; 1%; 1,5 % dari volume beton dan abu vulkanik Gunung Kelud sebesar 0% dan 20% dari berat semen terhadap *modulus of rupture* beton.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh akibat penambahan serat almunium sebesar 0%; 0,5%; 1%; 1,5 % dari volume beton dan abu vulkanik Gunung Kelud sebesar 0% dan 20% dari berat semen terhadap kuat tarik belah beton dan *modulus of rupture* beton.

LANDASAN TEORI

Tinjauan Pustaka

Penggunaan beton sangat banyak dipakai secara luas sebagai bahan bangunan. Beton diperoleh dengan cara mencampurkan semen, air, dan agregat (dan kadang-kadang bahan tambah, yang sangat bervariasi mulai dari bahan kimia tambahan, serat, sampai bahan bangunan non-kimia) pada perbandingan tertentu. Campuran tersebut bila dituang dalam cetakan kemudian dibiarkan maka akan mengeras seperti batuan (Kardiyono Tjoekrodimuljo, 1996).

Bahan tambah ialah bahan selain unsur pokok beton (air, semen, dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton, sebelum, segera atau selama pengadukan beton. Tujuannya ialah mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras, misalnya mempercepat pengerasan, menambah encer adukan, menambah kuat tekan, menambah daktilitas mengurangi sifat getas, mengurangi retak-retak pengerasan dan sebagainya (Kardiyono Tjoekrodimuljo, 1996)

Menurut Widodo (2008) "Zona transisi (interface antara pasta semen dan agregat) adalah bagian terlemah dalam mortar. Dari analisa struktur mikro nampak bahwa pada zona transisi lebih banyak mengandung *ettringite* dan Ca(OH)_2 strukturnya lebih berpori-pori dibandingkan dengan struktur pasta semen di daerah sekitarnya. Selama mortar dipanaskan, porositas akan meningkat, sebagai akibat reaksi fisik dan kimia. Terjadi dekomposisi dan transformasi pada mortar. Selain itu, terjadi perbedaaan dilatasi termal antara pasta semen dan agregat. Dengan adanya perbedaaan dilatasi termal tersebut, maka di alur zona transisi akan terjadi tegangan tarik. Bila tegangan tarik lebih besar dari daya lekat maka terjadi keretakan pada zona transisi tersebut".

Penelitian yang dilakukan oleh Ahmad Baihaqi (2007) dengan judul "Penggunaan Abu Vulkanik sebagai Bahan Campuran Pembuatan Beton f_c' 30 MPa dengan persentase 0%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Serta *setting time* yang terjadi semakin lama. Persentase Abu Vulkanik yang ditambahkan didapatkan penggunaan optimum terjadi pada persentase 15%, karena kuat tekan beton yang dihasilkan pada umur 28 hari sebesar 31,903 MPa, persentase optimum ini juga terjadi pada mortar ataupun uji pasta.

Dasar Teori

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan diperoleh bahwa penambahan fiber kedalam adukan akan menurunkan kelecakan (*workability*) secara cepat sejalan dengan pertambahan konsentrasi fiber dan aspek rasio fiber. Untuk mendapatkan hasil yang optimal ada dua hal yang harus diperhatikan dengan seksama yaitu (1) *Fiber aspect ratio*, yaitu rasio antara panjang fiber (l) dan diameter fiber (d), dan (2) *Fiber volume fraction* (V_f), yaitu persentase volume fiber yang ditambahkan pada setiap satuan volume beton. (Suhendro, 1990).

Abu vulkanik merupakan mineral batuan vulkanik termasuk material *glass* yang memiliki ukuran sebesar pasir dan kerikil dengan diameter kurang lebih 2 mm yang merupakan hasil erupsi gunung berapi. Partikel abu sangat kecil tersebut dapat memiliki penampang lebih kecil dari 0,001 mm (1/25,000th of an inch). Abu vulkanik bukan merupakan produk pembakaran seperti abu terbang yang lunak dan halus seperti hasil pembakaran kayu, daun atau kertas. Abu vulkanik memiliki sifat sangat keras dan tidak larut dalam air sehingga seringkali sangat abrasif dan sedikit korosif serta mampu menghantarkan listrik ketika dalam keadaan basah (Bayuseno, 2010)

Kuat tarik belah adalah kuat tarik beton yang ditentukan berdasarkan kuat tekan belah dari silinder beton yang ditekan pada sisi panjangnya (SK SNI-T-15-1991-03). Menurut Dipohusodo (1994:10). diperhitungkan dengan Persamaan :

$$f_{st} = \frac{P}{L \cdot D}$$

dengan, f_{st} = kuat tarik belah (N/mm^2)

P = beban pada waktu beton terbelah (N)

L = Panjang benda uji silinder (mm)

D = diameter benda uji silinder (mm)

Modulus of Rupture merupakan kuat tarik maksimum yang secara teoritis dicapai pada serat bagian bawah dari sebuah balok uji (Neville, 1997). Nilai dari *modulus of rupture* bergantung pada dimensi dari balok uji dan susunan beban. Untuk memperoleh nilai *modulus of rupture* digunakan metode *third point loading*.

Modulus of rupture diukur dengan menguji balok polos berpenampang bujur sangkar $10 \times 10 \times 50 \text{ cm}^3$ dan dibebani di titik-titik sepertiga bentang hingga gagal. *modulus of rupture* mempunyai nilai yang lebih tinggi dibanding kuat belah. Balok uji patah pada bagian tengah dan patahnya diakibatkan oleh momen maksimum. Besarnya *modulus of rupture* dapat dihitung berdasarkan rumus

$$f'_{lt} = \frac{P.L}{bh^2}$$

Dengan, f'_{lt} = Modulus of Rupture

P = Beban Maksimum pada balok benda uji (Newton)

L = Panjang Bentang (mm)

b = Lebar balok benda uji (mm)

h = Tinggi balok benda uji (mm)

METODE PENELITIAN

Tempat Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret. Tahap awal, dilakukan pengujian terhadap bahan-bahan yang akan digunakan untuk membuat benda uji beton normal dengan metode SNI. Setelah pengujian bahan yang dilakukan memenuhi standar persyaratan, maka dilanjutkan dengan membuat benda uji. Benda uji akan diuji tarik belah dan *modulus of rupture*.

Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini variabel yang digunakan adalah variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu serat almunium dan abu vulkanik Gunung Kelud. Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu agregat lainnya seperti semen, pasir, kerikil dan air.

Benda Uji Penelitian

Benda uji akan diuji dengan uji kuat tarik belah dan *modulus of rupture*. Pengujian kuat tarik belah menggunakan benda uji berbentuk silinder yang berukuran 15 cm x 30 cm dan pengujian *modulus of rupture* menggunakan balok ukuran 10 cm x 10 cm x 50 cm, dengan masing-masing variasi persentase serat almunium (0%; 0,50%; 1% dan 1,5%) terhadap volume beton dan abu vulkanik (0% dan 20 %) terhadap berat semen. Perincian sampel benda uji dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan 3.2

Pengujian dilakukan setelah beton berumur 28 hari, dengan menggunakan alat CTM (*Compression Testing Machine*) dan alat *frame loading* di Laboratorium, data yang didapat dianalisis statistik menggunakan program *Microsoft Excel*

Tabel 1. Jumlah dan Kode Benda Uji Kuat Tarik Belah

Bentuk Sampel	Kode Sampel	Variasi Kadar Abu Vulkanik (%)*	Variasi Kadar Serat Almunium (%)**	Jumlah Sampel
Silinder φ 15 cm Tinggi 30 cm	Silinder Beton (SB)	0%	0%	3 buah
	Silinder Almunium (SA)	0%	0,5%	3 buah
			1%	3 buah
			1,5%	3 buah
	Silinder Almunium Vulkanik (SAV)	20%	0%	3 buah
			0,5%	3 buah
			1%	3 buah
				1,5%

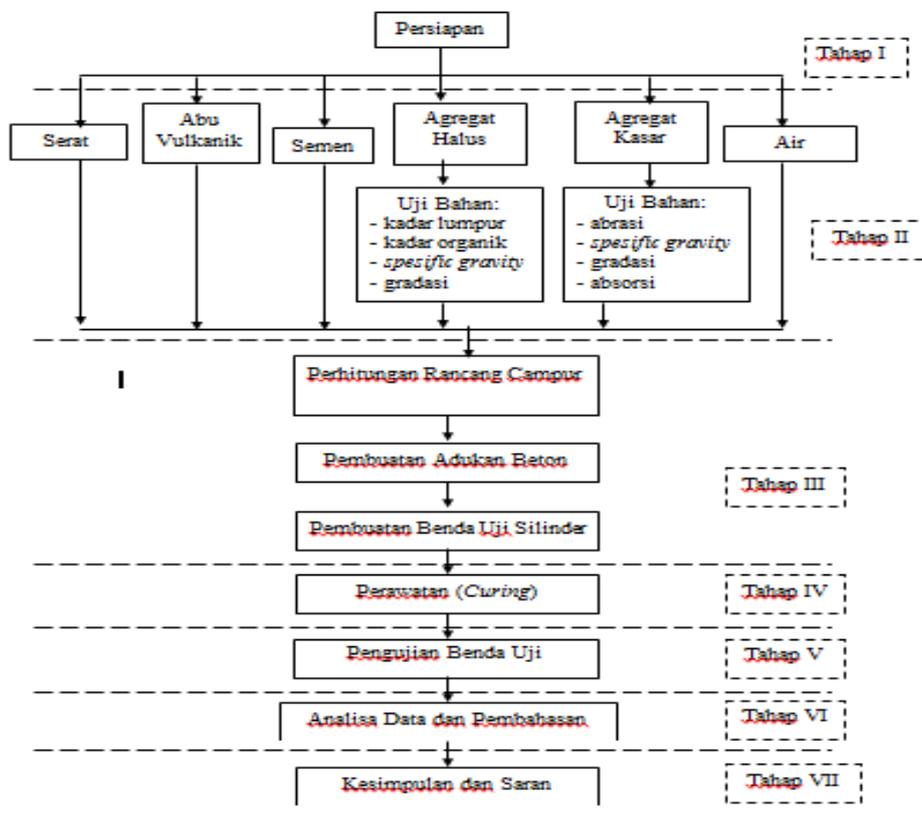
Tabel 2. Jumlah dan Kode Benda Uji *Modulus of Rupture*

Bentuk Sampel	Kode Sampel	Variasi Kadar Abu Vulkanik (%)*	Variasi Kadar Serat Almunium (%)**	Jumlah Sampel
Balok Panjang 50 cm, Lebar 10cm, dan Tinggi 10 cm.	Balok Beton (BB)	0%	0%	3 buah
	Balok Almunium (BA)	0%	0,5%	3 buah
			1%	3 buah
			1,5%	3 buah
	Balok Almunium Vulkanik (BAV)	20%	0%	3 buah
			0,5%	3 buah
			1%	3 buah
			1,5%	3 buah

*merupakan % dari berat semen

**merupakan % dari volume beton

Tahapan penelitian ini dapat dilihat secara skematis dalam bentuk bagan alir pada Gambar 1 sebagai berikut



Gambar 1. Bagan Alir Tahap Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian kuat tarik belah beton pada benda uji silinder pada umur 28 hari selengkapnya disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

KODE BENDA	f_{st}	PERUBAHAN
UJI	(MPa)	(%)
SB	2,10	0
SA 0,5 %	2,19	4,49
SA 1 %	2,26	7,87
SA 1,5 %	2,01	-4,49
SAV	2,24	6,74
SAV 0,5 %	2,31	10,11
SAV 1 %	2,41	14,61
SAV 1,5 %	2,22	5,62

Hasil pengujian Modulus of Rupture beton pada benda uji balok pada umur 28 hari selengkapnya disajikan dalam Tabel 4.

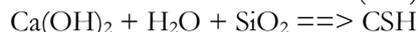
Tabel 4. Hasil Pengujian Modulus of Rupture

KODE BENDA	f_{lt}	PERUBAHAN
UJI	(MPa)	(%)
BB 0%	2,72	0
BA 0,5 %	2,78	2,32
BA 1 %	2,97	9,30
BA 1,5 %	2,65	-2,32
BAV 0%	2,84	4,65
BAV 0,5 %	2,90	6,97
BAV 1 %	3,16	16,27
BAV 1,5 %	2,72	0

Mekanisme Penambahan Abu Vulkanik

Abu Vulkanik mempunyai unsur utama yang mendominasi yaitu SiO₂ dan Al₂O₃. Penambahan abu Vulkanik ini mengakibatkan terjadinya reaksi antara Kalsium hidroksida (3Ca(OH)₂) dan silika (SiO₂) sehingga mempunyai sifat pozzoland, sehingga berakibat pada perbaikannya sifat beton tersebut.

Abu Vulkanik masuk *fly ash* kelas N yaitu pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah diatomic, opaline chert, tuff dan abu vulkanik. Fly ash kelas N dikenal mempunyai sifat pozzolan yang baik. Menurut Kimberley Kurtis (2013), sifat pozzolan adalah sifat yang dimiliki bahan-bahan yang mengandung senyawa silika. Sebenarnya bahan tersebut tidak memiliki sifat seperti semen. Namun apabila bahan tersebut dicampur dengan semen dan kemudian bereaksi dengan air maka akan membentuk senyawa CSH tiruan. Sehingga bahan pozzolan tersebut akan mempunyai sifat seperti semen. Reaksinya yaitu senyawa silika dan alumina akan mengikat senyawa Ca(OH)₂ untuk membentuk senyawa CSH tiruan :



Dapat disimpulkan bahwa abu vulkanik dapat memperbaiki mutu beton karena pada saat proses hidrasi semen akan menghasilkan senyawa sisa kalsium hidroksida yang tidak mempunyai sifat seperti semen yaitu mengeras sehingga menyebabkan pori-pori yang terisi kalsium hidroksida yang tidak dapat mengeras.

Mekanisme Kerja Serat dalam Beton

Menurut Suhendro (2000), terletak pada adanya *dowel action* (aksi lekatan antar muka pada serat dengan beton) yang merupakan kombinasi dari pull-out resistance dan bending resistance. Dalam hal ini pull out resistance diartikan sebagai ketahanan tarik yang dimiliki oleh lekatan serat terhadap matrik beton sehingga memungkinkan terjadinya perpindahan tegangan (*stress transfer*) dari matrik beton ke serat atau dari serat ke beton, sedangkan bending resistance berkaitan dengan kelenturan dan keliatan serat sebagai tulangan mikro beton yang membantu menahan tegangan-tegangan dalam yang terjadi (tegangan normal dan regangan geser). Dengan adanya mekanisme *dowel action* dalam beton telah terbukti secara efektif menunda terjadinya retakan-retakan mikro beton pada akhirnya mampu meningkatkan secara signifikan berbagai sifat mekanik beton.

Hasil Penelitian

- a. Kandungan zat organik berwarna kuning muda. Standar pengujian berwarna jernih atau kuning muda. Jadi kandungan zat organik memenuhi syarat.
- b. Kandungan lumpur sebesar 3%. Standar pengujian maksimal 5 %, kandungan lumpur memenuhi syarat.
- c. *Bulk specific gravity* agregat halus sebesar 2,54.
- d. *Bulk specific SSD* agregat halus sebesar 2,55. Standar pengujian 2,5 - 2,7, *Bulk specific SSD* agregat halus memenuhi syarat.
- e. *Apparent specific gravity* agregat halus sebesar 2,57.
- f. *Absorbition* agregat halus sebesar 0,4 %.
- g. Modulus halus sebesar 2,42. Standar pengujian 2,3 – 3,1 , modulus halus memenuhi syarat.
- h. *Bulk specific gravity* agregat kasar sebesar 2,4.
- i. *Bulk specific SSD* agregat kasar sebesar 2,55. Standar pengujian 2,5 - 2,7 , *Bulk specific SSD* agregat kasar memenuhi syarat.
- j. *Apparent specific gravity* agregat kasar sebesar 2,57.
- k. *Absorbition* agregat kasar sebesar 0,4 %.
- l. Abrasi sebesar 38,667 %. Standar pengujian maksimal 50 %, abrasi memenuhi syarat.
- m. Modulus halus butir 6,18. Standar pengujian 5 – 8, modulus halus butir memenuhi syarat.
- n. Dari hasil pengujian nilai slump pada beton akan turun seiring penambahan serat almunium dan juga penambahan abu vulkanik. Hal tersebut menunjukkan bahwa kemudahan pengerjaan (*workability*) pada beton normal (tanpa penambahan serat atau abu vulkanik) lebih tinggi dari beton dengan semen penambahan serat ataupun abu vulkanik. Hal ini dikarenakan dengan adanya serat pada beton segar maka agregat tertahan oleh adanya serat tersebut sehingga keruntuhan pada pengujian slump berkurang. Penambahan abu vulkanik yang mempunyai sifat dapat menyerap air sehingga berakibat air yang seharusnya digunakan untuk pasta akan lebih banyak berkurang. Keadaan demikian menyebabkan *workability* adukan beton menurun dan nilai slump juga rendah.
- o. Nilai optimum kuat tarik belah pada beton terjadi pada penambahan serat almunium sebesar 1,1 % dan abu vulkanik 20% menghasilkan kuat tarik belah sebesar 2,59. Peningkatan ini terjadi karena adanya penambahan serat almunium yang meningkatkan kekakuan matrik secara keseluruhan dan menghasilkan pengaruh yang lebih baik terhadap aksi komposit beton. Penambahan abu vulkanik dan serat almunium menghasilkan pengaruh terhadap aksi komposit yang lebih baik, yaitu tegangan lekat (*bond strength*) yang lebih besar. Mekanisme kerja yang diharapkan yaitu tegangan kerja yang terjadi pada beton akan ditahan oleh retakan antara serat dengan massa betonnya.
- p. Nilai optimum *modulus of rupture* pada beton terjadi pada kadar penambahan serat almunium sebesar 1,15 % dan abu vulkanik 20 % menghasilkan nilai modulus of rupture 3,409 MPa. Peningkatan ini terjadi karena penambahan serat almunium yang meningkatkan kekakuan matrik secara keseluruhan dan menghasilkan pengaruh yang lebih baik terhadap aksi komposit beton. Adanya penambahan abu vulkanik dan serat almunium menghasilkan pengaruh terhadap komposit yang lebih baik.
- q. Dari hasil pengujian diketahui bahwa peningkatan dan penurunan kuat tarik belah diikuti pula dengan peningkatan dan penurunan *modulus of rupture*.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan tentang kuat tarik belah dan *modulus of rupture* beton normal dengan bahan tambah abu vulkanik dan serat almunium, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Nilai kuat tarik belah beton normal dengan bahan tambah serat almunium dan abu vulkanik pada penelitian ini mencapai nilai tertinggi pada kadar serat almunium 1,10% dan abu vulkanik 20% dengan dengan kuat tarik belah sebesar 2,59 MPa
- b. Nilai *modulus of rupture* beton normal dengan bahan tambah serat almunium dan abu vulkanik pada penelitian ini mencapai nilai tertinggi pada kadar serat almunium 1,15% dan abu vulkanik 20% dengan *modulus of rupture* sebesar 3,409 MPa.

SARAN

Untuk memperdalam kajian dari penelitian yang sudah dilakukan, maka perlu dilakukan penelitian lanjutan yang merupakan pengembangan tema maupun metodologi. Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

- a. Perlu dilakukan penelitian dengan penggunaan variasi lain penambahan abu Vulkanik.
- b. Perlu dilakukan penelitian terkait rasio (l/d) serat almunium.
- c. Perlu dilakukan penelitian terhadap penambahan material lain atau pozzolan lain yang dapat meningkatkan kuat tarik belah dan *modulus of rupture* beton.
- d. Perlu dilakukan penelitian dengan rancangan *mix design* yang berbeda, misalkan untuk beton mutu tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Rohman Anshory. 2015 .Pemanfaatan Abu Vulkanik Gunung Kelud sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus pada Beton Normal sebagai Pendukung Bahan Ajar Mata Kuliah Teknologi Beton (Pada Mahasiswa PTB, JPTK, UNS).
- Ahmad Baihaqi. 2007. Penggunaan Abu Vulkanik sebagai Bahan Campuran Pembuatan Beton . Teknik Sipil. Universitas Indonesia, Jakarta
- Balaguru, P.N., Shah, S.P. (1992). *Fiber Reinforced Cement Composites*, McGraw-Hill International Edition, Singapore.
- Candra Kurniawan, Perdamean Sebayang dan Mulyadi (2011) yang berjudul “Pembuatan Beton High-Strength Berbasis Mikrosilika dari Abu Vulkanik Gunung Merapi. Teknik Sipil. Universitas Indonesia
- Cement & Concrete Institute. (2001). *Fibre Reinforced Concrete*, Cement & Concrete Institute, Midrand.
- Dewi Ratna Setyawati. 2010. Kajian Kuat Tarik Belah Dan Modulus Of Rupture Beton Normal Dengan Bahan Tambah Metakaolim Dan Serat Aluminium. Teknik Sipil. Universitas Sebelas Maret, Surakarta
- Gambhir, M. L. 1986. *Concrete Technology*. Tata Mc Grow Hill Publishing Company Limited. New Delhi.
- Gere, J.M., Timoshenko, S.P., 1996. Mekanika Bahan, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Hossain K.M.A., Lachemi M., *Strength, durability and micro-structural aspects of high performance Volcanic ash concrete*, Cement and Concrete Research, 2007, 37(1), p. 759-766.
- Kurtis, Kimberley. 2013 . *Portland Cement Hydration*. Georgia : Georgia Institute of Technology .
- Kurtis, Kimberley. 2013 . *Structure of the Hydrated Cement Paste*. Georgia : Georgia Institute of Technology .
- Kurtis, Kimberley. 2013 . *Supplementary Cementing Material*. Georgia : Georgia Institute of Technology .
- Nassir and Marzouk. 1979. Blended cement using volcanic ash and pumice, Cem.Concr. Res. 33 (10) (2003) 1601–1605
- Neville, A.M. 1975. *Properties of Concrete*. London: The English Language Book Society and Pitman Publishing.

Ogi Soeherman .2015. Aplikasi Abu Vulkanik Gunung Kelud untuk Ashcrete Dengan Metode Fluidizing. Yogyakarta. Universitas Gajah Mada.

Tjokrodimulyo, K. 1996. *Teknologi Beton*, Nafitri. Yogyakarta.