

PEMANFAATAN PASIR MERAPI UNTUK BETON MUTU TINGGI (USAGE OF MERAPI SAND FOR HIGH-GRADE CONCRETE)

Lasino¹⁾, A.Tatang Dachlan²⁾, Rudy Setiadji³⁾

^{1), 3)} Puslitbang Permukiman
Jl. Panyawungan, Cileunyi Wetan, Bandung

²⁾ Puslitbang Jalan dan Jembatan

Jl. A.H. Nasution No. 264 Bandung 40294

e-mail: ¹⁾ lsn_pu@yahoo.com; ²⁾ atatangd@yahoo.com; ³⁾ kolaka_80@yahoo.com

Diterima: 19 Januari 2015; direvisi: 10 Maret 2015; disetujui: 6 April 2015

ABSTRAK

Peristiwa meletusnya Gunung api Merapi di Yogyakarta (2010) sampai saat ini masih terus mengancam wilayah sekitarnya dengan adanya banjir lahar dingin. Kejadian tersebut telah menyebabkan berbagai dampak, baik sosial, ekonomi, transportasi, psikologi masyarakat, dan sebagainya, tetapi di lain pihak, bencana tersebut menyisakan jutaan kubik material vulkanik yang sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia. Material tersebut adalah berupa pasir yang tersebar ke berbagai wilayah sesuai dengan alur sungai dari puncak (hulu) sampai ke hilir sungai dengan jumlah yang sangat besar. Selanjutnya dalam jangka panjang, perlu dikembangkan pemanfaatan pasir tersebut sebagai bahan konstruksi, terutama beton semen. Penelitian ini dimaksudkan untuk memanfaatkan pasir Merapi untuk beton mutu tinggi secara optimal dan tahan terhadap pengaruh lingkungan agresif. Berdasarkan uji laboratorium diperoleh hasil bahwa beton menunjukkan nilai yang sangat baik sesuai dengan standard beton mutu tinggi. Kuat tekan pada umur 28 hari dengan faktor air-semen 0,30 dapat mencapai 50,295 MPa, dengan nilai MOE (Modulus Elastisitas) sebesar $4,31 \times 10^3$ MPa, sedangkan hasil uji lainnya diperoleh data kuat lekat dengan tulangan polos sebesar 7,09 Mpa, dan tulangan deform/sirip sebesar 11,62 MPa, serta hasil uji permeabilitas, seluruh benda uji dapat memenuhi syarat kedekatan/tidak rembes. Hasil ini memberikan indikasi bahwa pasir Merapi dapat dikembangkan sebagai bahan pembuatan beton mutu tinggi, dengan kadar pasir sekitar 35% terhadap berat total agregat.

Kata kunci: Material Merapi, optimalisasi pasir, beton mutu tinggi, bahan konstruksi, kondisi lingkungan

ABSTRACT

The eruption of Volcano Merapi in Yogyakarta (2010) until today still kept threatening the area around it with cold lava flood. This event has been led to a variety of impacts, social, economic, transportation, community psychology, etc, but on the other hand, the disaster left millions cubic meters of volcanic material which is very useful for human life. The material is in the form of sand was scattered some areas according the river-bed from the upstream to lower stream with high total amount of sand. Furthermore, in the long term, the need to develop the use of sand as construction materials, especially cement concrete. This study is intended to take advantage of Merapi sand for concrete optimally high quality and resistant to aggressive environmental influences. Based on laboratory test result showed that the concrete has excellent value in accordance with the standards of high quality concrete. The compressive strength on 28 days with water cement ratio 0,30 are 50.295 MPa with Modulus of Elasticity 4.31×10^3 MPa. The other test result showed the bonding strength with plain reinforcement is 7.09 MPa and deform reinforcement are 11.62 MPa, and all of concrete specimes are permeable. The result indicated that the sand of Merapi can be developed for concrete materials such as high performance concrete with the content of sand is 35 % by total weight of aggregates

Keywords: Materials of Merapi, optimization of sand, high performance concrete, construction materials, environmental condition

PENDAHULUAN

Peristiwa meletusnya Gunung Merapi pada awal Bulan Oktober 2010 telah membawa dampak negatif dan positif, salah satu dampak positifnya adalah tersedianya material berupa abu, pasir dan batuan dengan jumlah yang sangat banyak. Dilihat dari sejarah geologi, material vulkanik Merapi mengandung silika dan alumina. Balai Teknik Kesehatan Lingkungan (BTKL) Yogyakarta pada tahun 1994 telah meneliti kandungan material vulkanik Gunung Merapi, yang mengandung silikon dioksida (SiO_2) 54,56%, aluminium oksida (Al_2O_3) 18,37%, ferri oksida (Fe_2O_3) 18,59%, dan kalsium oksida (CaO) 8,33 (Sudaryo dan Sutjipto 2009; Kusumastuti 2012). Melihat komposisi tersebut dan sifat fisis pasir yang berbutir beragam, keras, dan stabil, memberikan gambaran bahwa material tersebut dapat digunakan sebagai agregat dalam pembuatan beton mutu tinggi.

Keinginan untuk mendapatkan beton mutu tinggi tetapi tetap mudah dikerjakan dan ekonomis masih menjadi harapan bagi para pelaksana di lapangan. Hal ini menjadi tantangan, kenapa sampai saat ini beton mutu tinggi masih menjadi topik yang menarik, dengan berbagai alasan seperti tuntutan mutu konstruksi, jenis struktur dan fungsi bangunan, serta variasi bahan, metode pelaksanaan, kondisi lingkungan, tenaga kerja, dan peralatan. Secara teoritis, salah satu parameter utama yang dapat menentukan kekuatan beton adalah faktor air-semen (*w/c ratio*) (Hansen, T.C. 1978). Untuk kasus tertentu yang juga perlu mendapatkan perhatian adalah kandungan mortar dan *ultra fines*, karena akan berpengaruh terhadap kemudahan pengerjaan, kekompakan dan penyusutan atau kestabilan struktur (Suhartopo 1996).

Beton mutu tinggi dengan kekuatan > 45 MPa umumnya digunakan untuk beton prategang seperti: tiang pancang beton prategang, gelagar beton prategang, pelat beton prategang dan sejenisnya. Beton mutu sedang dengan kekuatan antara 20 MPa dan 45 MPa pada umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar

beton bertulang, diafragma, kereb beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan, perkerasan beton semen, bendungan, pelabuhan, dan bangunan pantai lainnya (Tristante, L. 1984). Beton mutu tinggi relatif sangat padat, sehingga dapat dirancang suatu struktur yang ramping dan relatif ringan, lebih kedap, tahan terhadap serangan zat cair dan gas yang sangat agresif, sehingga lebih awet (Hansen, T.C. 1978).

Saat ini beton mutu tinggi banyak diaplikasikan dalam pekerjaan penting yang sangat strategis seperti jembatan antar pulau (Jembatan Suramadu, Jembatan Bareleng) bangunan maritim (pelabuhan, pemecah gelombang, tanggul pantai) dan bangunan penting lainnya yang secara teknis harus berkualitas baik dan awet. Jenis beton tersebut semakin diperlukan dalam industri konstruksi, namun hal ini perlu didukung dengan ketersediaan bahan pasir bermutu baik, sesuai dengan fungsinya, sehingga dapat memenuhi target umur teknis yang memadai (Kjaer, Ulla dan Aksa, Z. 1980).

Pasir adalah bagian dari agregat halus sebagai pasir alam. Erupsi Gunung Merapi yang terjadi pada 26 Oktober 2010 pukul 17.00 WIB yang lalu telah meninggalkan pasir alam yang sangat melimpah dan sampai saat ini banyak digunakan untuk bahan konstruksi. Lokasi pengambilan pasir pada umumnya diambil dari Sungai Gendhol, Kali Putih dan Kali Krasak. Lokasi tersebut merupakan tempat penambangan pasir dengan deposit yang relatif cukup besar dan sampai saat ini dimanfaatkan oleh masyarakat setempat secara besar-besaran (Wikipedia, Gunung Merapi). Secara visual pasir cukup baik, bersih, keras, bebas dari bahan pengotor dan bergradasi baik dengan butir yang beragam. Kadar lumpur < 2%, berat jenis 2,59, kadar organik negatif, dan gradasi masuk dalam zona-2. Lokasi pengambilan pasir Merapi di Sungai Gendhol ditunjukkan pada Gambar 1. Potensi pasir Merapi yang sangat besar dan melimpah akibat letusan terakhir gunung tersebut perlu dimanfaatkan secara optimal sebagai bahan baku untuk pembuatan beton mutu tinggi.



Gambar 1. Pengambilan contoh pasir di Sungai Gendhol

Kajian ini dimaksudkan untuk memanfaatkan pasir Merapi sebagai salah satu bahan mortar beton mutu tinggi yang secara optimal tahan terhadap beban berat dan lingkungan agresif. Dengan dihasilkannya proporsi dan karakteristik beton pasir Merapi ini diharapkan akan membantu kegiatan industri konstruksi terutama beton yang memerlukan persyaratan tinggi. Dengan demikian akan diperoleh data karakteristik material dan proporsi yang tepat. Untuk menghasilkan beton mutu tinggi yang memenuhi kekuatan, keawetan dan stabilitas yang baik, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi campuran, faktor air-semen, dan kemudahan dalam pengerjaan beton.

Hasil yang diperoleh berupa optimalisasi penggunaan pasir, proporsi campuran, faktor air-semen yang sesuai, kadar air bebas, serta sifat-sifat beton yang dihasilkan seperti *slump*, kadar udara, faktor pemadatan, berat jenis, kuat tekan, kuat rekat dan kekedapan air, yang dapat digunakan sebagai acuan dalam perencanaan dan pelaksanaan di lapangan. Dengan dikembangkannya beton mutu tinggi dari pasir Merapi ini diharapkan

dapat membantu dalam penyediaan bahan konstruksi secara efisien, sehingga dapat mempercepat pembangunan infrastruktur seperti bangunan gedung, jalan, jembatan, keairan, dan sebagainya.

KAJIAN PUSTAKA

Agregat

Agregat sebagai bahan dalam beton mempunyai peranan penting karena beberapa fungsi yang dimiliki diantaranya adalah untuk menambah kekuatan, mengurangi penyusutan, dan mengurangi penggunaan semen. Agregat dibedakan atas agregat kasar dan agregat halus, yang dapat diperoleh berupa kerikil alam atau hasil mesin pemecah batu (*stone crusher*). Mutu agregat sangat menentukan kualitas beton yang dihasilkan, oleh karena itu perlu pemenuhan persyaratan dengan melakukan uji mutu bahan (*testing of materials*) sebelum digunakan. Hal ini untuk mendapatkan jaminan mutu (*quality assurance*) terhadap beton yang akan dihasilkan. Ketentuan agregat meliputi:

1. Agregat yang digunakan harus bersih, keras, kuat yang diperoleh dari pemecahan batu atau koral, atau dari penyaringan dan pencucian (jika perlu) kerikil dan pasir sungai.
2. Agregat harus bebas dari bahan organik seperti yang ditunjukkan oleh pengujian SNI 03-2816 (Indonesia 2002) tentang Metode uji kotoran organik dalam pasir untuk campuran mortar dan beton, dan harus memenuhi sifat-sifat lainnya yang diberikan dalam Tabel 1 dan gradasi memenuhi ketentuan dalam Tabel 2 (Indonesia 2010).

Tabel 1. Ketentuan mutu agregat

Sifat-sifat	Cara uji	Batas maksimum yang diizinkan untuk agregat	
		Halus	Kasar
Keausan agregat dengan mesin Los Angeles	SNI 2417:2008	-	40%
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan Natrium Sulfat atau Magnesium Sulfat	SNI 3407:2008	10% - Natrium	12% - Natrium
		15% - Magnesium	18% - Magnesium
Gumpalan lempung dan partikel yang mudah pecah	SNI 03-4141	3%	2%
Bahan yang lolos saringan No. 200	SNI 03-4142	5% untuk kondisi umum	1%
		3% untuk kondisi permukaan terabrasi	

Tabel 2. Ketentuan gradasi agregat untuk beton

Ukuran Ayakan		Persen berat yang lolos untuk agregat						
Inci (in)	Standar (mm)	Halus	Ukuran nominal maksimum					
			Kasar			Gabungan		
			1 ½ in (40 mm)	¾ in (20 mm)	⅜ in (10 mm)	1 ½ in (40 mm)	¾ in (20 mm)	⅜ in (10 mm)
2	50,0		100		-	100		-
1½	37,5		85 - 100	100	-	95 - 100	100	-
¾	20,0		0 - 25	85 - 100	-	45 - 80	95 - 100	-
½	14,0		-	-	100	-	-	100
⅜	10,0	100	0 - 5	0 - 70	85 - 100	-	-	95 - 100
⅜	5,0	89-100		0 - 25	0 - 5	25 - 50	35 - 55	30 - 65
No. 8	2,36	60 - 100		0 - 5	0 - 5	-	-	20 - 50
No. 16	1,18	30-100				-	-	15 - 40
No. 30	0,6	15 - 100				8 - 30	10-35	10 - 30
No. 50	0,3	5 - 70				-	-	5 - 15
No. 100	0,15	0-15				0 - 8*)	0 - 8*)	0 - 8*)

*Dinaikkan menjadi 10% untuk agregat halus pecah

*Sumber: Indonesia 2008a; 2008b; 2008c

Pasir

Ketentuan pasir atau agregat halus dapat mengikuti ketentuan dalam Tabel 1 dan Tabel 2. Dalam penelitian ini pasir diambil dari sungai Gendhol, Yogyakarta, yang lokasinya diambil dari dua tempat berbeda, yaitu masing-masing berjarak sekitar 2 Km dan yang berjarak 5 Km dari puncak Gunung Merapi. Pasir lainnya diambil pula dari Kali Putih dan Kali Krasak, maksudnya adalah untuk melengkapi data karakteristik pasir Merapi dan sebagai pembandingan terhadap pasir yang diambil dari Kali Gendhol untuk pembuatan beton. Proses pengambilan pasir di lapangan dilakukan secara manual dibantu dengan alat berat yang dimiliki para penambang. Proses tersebut memenuhi kaidah sampling, sehingga memenuhi syarat cara pengambilan contoh untuk pengujian laboratorium (Watson, DA. 1972).

Kerikil

Kerikil yang digunakan dapat berupa kerikil pecah hasil pemecahan batu alam. Dalam penelitian ini batu kerikil diambil dari daerah Banjarn – Kabupaten Bandung, yang berjarak kira-kira 10 Km dari kota Bandung. Kerikil cukup baik, keras, kadar lumpur < 1% dan bentuk butiran kubikal, ukuran butir masuk dalam gradasi antara 4,8 mm dan 20,0 mm, sehingga dapat memenuhi persyaratan dalam SNI 03-1750 (Indonesia 2004a) tentang spesifikasi agregat untuk beton. Karena fungsi

kerikil dalam beton sangat penting untuk meningkatkan kekuatan, mencegah penyusutan dan menjaga stabilitas bentuk dari elemen struktur, maka jumlah kerikil dalam beton harus terukur agar dapat menjamin sifat-sifat beton yang diinginkan, terutama workabilitas dan homogenitas. Sifat-sifat bahan yang demikian dapat menghasilkan beton yang kuat, awet dan stabil.

Semen

Semen yang digunakan untuk membuat beton mutu tinggi adalah semen Portland Tipe I, *ordinary portland cement type-I* (OPC tipe-I). Semen tersebut saat ini jarang ditemukan di pasaran, tetapi dapat didatangkan langsung dari pabrik semen dalam bentuk *jumbo bag* (kantong jumbo), sehingga kondisi dan mutu semen masih sangat baik. Mutu semen sesuai dengan ketentuan dalam SNI 15-2049-2004 (Indonesia 2004b), diantaranya meliputi kehalusan minimum 280 m²/kg, kuat tekan umur 28 hari 280 kg/cm², waktu pengikatan awal minimum 45 menit, pengikatan akhir maksimum 375 menit, kadar SO₃ maksimum 3,0% dan hilang pijar maksimum 3,0%. Pemilihan penggunaan jenis Tipe I ini dengan alasan agar diperoleh data yang dapat digunakan sebagai acuan dalam penerapan struktur beton, mengingat sampai saat ini jenis semen Portland komposit (PCC dan PPC)

belum masuk dalam suatu standar perencanaan struktur beton.

Air

Persyaratan air yang digunakan untuk campuran, perawatan, atau pemakaian lainnya harus bersih, dan bebas dari bahan yang merugikan seperti minyak, garam, asam, basa, gula atau organik. Air harus diuji sesuai dengan dan harus memenuhi ketentuan dalam SNI 03-6817-2002 (Indonesia 2002) tentang Metode pengujian mutu air untuk digunakan dalam beton. Apabila timbul keragu-raguan atas mutu air yang diusulkan dan karena sesuatu sebab pengujian air seperti di atas tidak dapat dilakukan, maka harus diadakan perbandingan pengujian kuat tekan mortar semen dan pasir standar dengan memakai air yang diusulkan dan dengan memakai air murni hasil sulingan. Air yang diusulkan dapat digunakan apabila kuat tekan mortar dengan air tersebut pada umur 7 (tujuh) hari dan 28 (dua puluh delapan) hari mempunyai kuat tekan minimum 90% dari kuat tekan mortar dengan air suling untuk periode umur yang sama. Air yang diketahui dapat diminum dapat digunakan.

Beton mutu tinggi

Beton mutu tinggi merupakan sebuah tipe beton performa tinggi yang secara umum memiliki kuat tekan 6000 psi (40 MPa) atau lebih. Ukuran kuat tekannya diperoleh dari silinder beton 150 mm – 300 mm pada umur 28 hari. Produksi *high strength concrete* membutuhkan perhatian yang lebih baik daripada beton konvensional. Beton didefinisikan sebagai “*high-strength*” semata-mata berdasarkan kuat tekan pada umur tertentu. Pada tahun 1970-an, sebelum ditemukan *superplasticizer*, campuran beton dengan kuat tekan 40 MPa atau lebih pada umur 28 hari disebut sebagai *high strength concrete*. Saat ini, setelah campuran beton dengan kuat tekan 60 MPa – 120 MPa tersedia di pasaran, pada ACI *Committee* 2002 tentang *High Strength Concrete* merevisi definisinya menjadi “dengan kuat tekan desain spesifikasi 55 MPa atau lebih” (Aprizon, A. dan Pramudiyanto 2008).

Mengapa kita membutuhkan *high strength concrete*, beberapa alasan yang dapat diberikan di sini antara lain:

1. Untuk menempatkan beton pada masa layannya pada umur yang lebih awal, sebagai contoh pada perkerasan jalan pada umur 3 hari.
2. Untuk bangunan-bangunan tinggi dengan mereduksi ukuran kolom dan meningkatkan luasan ruang yang tersedia.
3. Untuk membangun struktur bagian atas dari jembatan-jembatan bentang panjang dan untuk mengembangkan durabilitas lantai-lantai jembatan.
4. Untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan khusus dari aplikasi tertentu seperti durabilitas, modulus elastisitas dan kekuatan lentur. Beberapa dari aplikasi ini termasuk dam, atap-atap tribun, pondasi-pondasi pelabuhan, tempat parkir, dan lantai-lantai *heavy duty* pada area industri.

Pada penelitian perbandingan nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton yang menggunakan pasir Merapi dan pasir Lumajang dengan fas (*w/cratio*) 0,40 diperoleh kuat tekan masing-masing, yaitu pasir Merapi 31,89 MPa dan pasir Lumajang 30,86 MPa, pasir Merapi relatif lebih tinggi sekitar 3,25%. Sedangkan nilai MOE masing-masing yaitu pasir Merapi $2,654 \times 10^3$ MPa dan pasir Lumajang $2,610 \times 10^3$ MPa. Pasir Merapi relatif lebih tinggi 1,64% dari pada pasir Lumajang (Susanti, E. 2012).

Pasir merapi juga dapat digunakan untuk agregat dalam pembuatan beton mutu tinggi, dengan bahan tambahan *silica fumedan superplasticizer*, dapat menghasilkan kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 65 MPa (Solikun, A. 2013).

Dalam penelitian lain yang dilakukan di Universitas Islam Indonesia (UII), beton menggunakan pasir Merapi dan bahan tambahan abu terbang diperoleh kuat tekan beton maksimum sebesar 45 MPa.

Hasil uji laboratorium untuk uji coba skala penuh perkerasan jalan beton pracetak menggunakan pasir Merapi di Buntu-Kebumen (Dachlan, A. T. 2010) dapat menghasilkan beton dengan nilai kuat tekan rata-rata lebih dari 40 MPa.

HIPOTESIS

Pasir Merapi dengan unsur utama silikon dioksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan ferri oksida (Fe_2O_3) yang tinggi

serta berat volume padat yang sangat tinggi dapat digunakan untuk beton mutu tinggi.

METODOLOGI

Metode penelitian yang dilakukan adalah percobaan laboratorium, yaitu dengan membuat benda uji atau spesimen beton berbentuk silinder, kubus dan balok. Dari benda uji tersebut dapat ditentukan kuat tekan, modulus elastisitas, permeabilitas, dan kuat lekat antara beton dan baja tulangan.

Variasi mutu beton terdiri atas 3 kelas berdasarkan rasio air-semen, yaitu masing-masing untuk fas (*w/c ratio*) 0,30, 0,35 dan 0,40.

Dua variasi jenis pasir Merapi (dari Kali Gendhol) diambil masing-masing pada radius 2 Km dan 5 Km dari puncak Merapi. Pengujian pasir juga dilakukan dari Kali Krasak dan Kali Putih sebagai pembandingan terhadap mutu agregat yang bersumber dari Gunung Merapi.

Dua hal yang ingin dicapai dari penelitian ini, yaitu optimalisasi proporsi campuran beton dan karakteristik beton yang dihasilkan dari berbagai variasi campuran, baik beton segar maupun beton keras.

Pemeriksaan bahan dan beton

Pemeriksaan agregat dimaksudkan untuk mengetahui sifat-sifat fisik dan kimia, sebelum digunakan untuk beton. Dengan demikian dapat diketahui mutu bahan dasar yang dapat digunakan sebagai dasar dalam evaluasi mutu beton yang dihasilkan (Lasino 1997). Selanjutnya dilakukan pemeriksaan sifat fisik dari agregat, dan penentuan proporsi bahan dalam campuran beton berdasarkan SNI

No. 7656:2012 (Indonesia 2012) dengan rancangan percobaan sebagai berikut:

1. Variabel rancangan percobaan
 - a. Lokasi pasir (Kali Gendhol): 2 variasi (radius 2 km dan radius 5 km dari puncak Merapi)
 - b. Mutu beton: 3 variasi (*w/c ratio*: 0,30, 0,35, dan 0,40)
 - c. Keleccakan beton: 1 variasi *slump* (60 – 120 mm)
2. Variabel pengujian
 - a. Pengujian beton segar: *slump*, suhu, berat jenis dan faktor pemadatan
 - b. Pengujian beton keras: kuat tekan, kuat lekat, permeabilitas dan MOE

Hasil perhitungan proporsi campuran disajikan dalam Tabel 2. Analisis beda nyata dilakukan berdasarkan hasil uji kuat lekat (SNI 03-4809-1998) dan kuat tekan (SNI 1974:2011) (Indonesia 2011) umur 28 hari.

Pembuatan contoh beton dilakukan dengan cara mencampurkan bahan-bahan dasar seperti semen, pasir dan kerikil diaduk secara kering dengan mesin pengaduk (*mixer*), selanjutnya ditambahkan air sedikit demi sedikit hingga jumlah air yang diperlukan tercampur seluruhnya dalam adukan yang sempurna/homogen. Benda uji beton dicetak dalam cetakan berbentuk silinder, kubus dan balok sesuai dengan jenis pengujian yang diperlukan (Puskim 2008). Beton dipadatkan dengan alat tongkat getar (*vibrator spud*) sampai mencapai kepadatan yang sempurna. Selanjutnya benda uji dirawat dengan merendam dalam air atau menutupi benda uji dengan bahan yang lembab sampai mencapai umur 3 hari, 7 hari, dan 28 hari.

Tabel 2. Proporsi campuran beton

No	Kode	Faktor air-semen	Bahan (kg)				Keterangan
			Semen	Pasir	Kerikil	Air	
PASIR – 1^{a)}							
1	I-a	0,30	683,0	512,0	984	205	<i>Slump</i> = (60 – 120) mm
2	I-b	0,35	586,0	540,0	1.039	205	
3	I-c	0,40	512,5	561,0	1.079	205	
PASIR – 2^{b)}							
4	II-a	0,30	683,0	510,0	984	205	<i>Slump</i> = (60 – 120) mm
5	II-b	0,35	586,0	538,0	1.039	205	
6	II-c	0,40	512,5	561,0	1.079	205	

Keterangan: ^{a)} Pasir-1: Radius 2 Km dari puncak Merapi

^{b)} Pasir-2: Radius 5 Km dari puncak Merapi

Pengujian kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat lekat dilakukan menggunakan mesin uji *Universal Testing Machine (UTM)* kapasitas 200 ton, sedangkan pengujian permeabilitas menggunakan alat uji permeabilitas (*permeability testing apparatus*) pada tekanan 7 bar.

Analisis yang digunakan untuk mengetahui pengaruh penggunaan Pasir 1 (radius sekitar 2 Km) dan Pasir 2 (radius sekitar 5 Km) dari puncak Merapi, terhadap kuat lekat antara beton dan baja tulangan yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 2 faktorial. Faktor α bertaraf 2, yaitu jenis pasir (Pasir-1 dan Pasir-2) dan faktor α bertaraf 2 yaitu jenis tulangan polos dan tulangan ulir (*deform*).

Setiap benda uji menggunakan tiga kali ulangan, dan respon yang diamati adalah kuat lekat antara beton dan baja tulangan, sehingga analisis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$$i = 1,2$$

$$j = 1,2$$

$$k = 1,2,3$$

Keterangan:

$$Y_{ij} = \text{nilai respon yang mendapat pengaruh perlakuan jenis pasir ke-}i, \text{ jenis tulangan ke-}j, \text{ pada ulangan ke-}k$$

$$\mu = \text{rata-rata umum dari respon yang diukur}$$

$$\alpha_i = \text{pengaruh jenis pasir taraf ke-}i$$

$$\beta_j = \text{pengaruh jenis tulangan taraf ke-}j$$

$$(\alpha\beta)_{ij} = \text{pengaruh interaksi antara jenis pasir ke-}i \text{ dan jenis tulangan taraf ke-}j$$

ε_{ijk} = faktor kesalahan percobaan karena pengaruh jenis pasir taraf ke- i , jenis tulangan taraf ke- j , serta ulangan ke- k (galat percobaan).

Pengujian statistik dilakukan pada selang kepercayaan 95% yaitu kriteria α 0,05. Pengolahan data ini dilakukan menggunakan SPSS 16.0 for Windows.

HASIL DAN ANALISIS

Hasil pengujian pasir

Hasil pengujian sifat fisik pasir Merapi yang diambil dari Sungai Gendhol disajikan dalam Tabel 3. Sebagai pembandingan mutu pasir dari Gunung Merapi ke berbagai wilayah, maka dilakukan sampling dan pengujian di dua lokasi lain yaitu di Kali Putih (arah ke Klaten) dan di Kali Krasak (arah ke Magelang). Pasir di dua lokasi tersebut juga banyak digunakan oleh masyarakat untuk bahan konstruksi dan dikirimkan ke berbagai wilayah bahkan sampai ke Jawa Timur. Hasil pengujian pasir dari Kali Putih dan Kali Krasak disajikan dalam Tabel 4. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sifat fisik dari pasir cukup baik, bersih, keras dan gradasi memenuhi batas zona 2, sehingga dapat digunakan untuk agregat beton. Hasil analisis kimia dari abu pasir Merapi disajikan dalam Tabel 5.

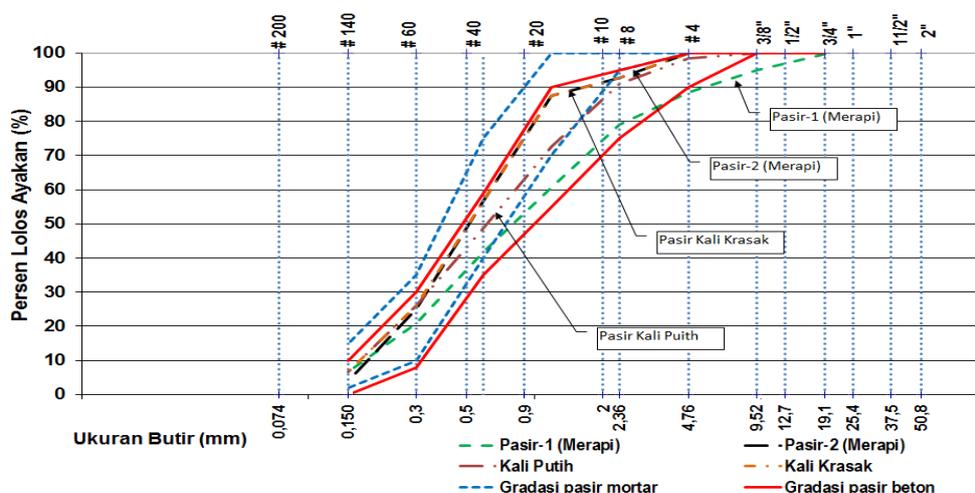
Gambar grafik pembagian butir hasil analisis saringan empat contoh pasir tersebut ditunjukkan dalam Gambar 2 dan Gambar 3.

Tabel 3. Hasil pengujian sifat fisik pasir Merapi (Kali Gendhol)

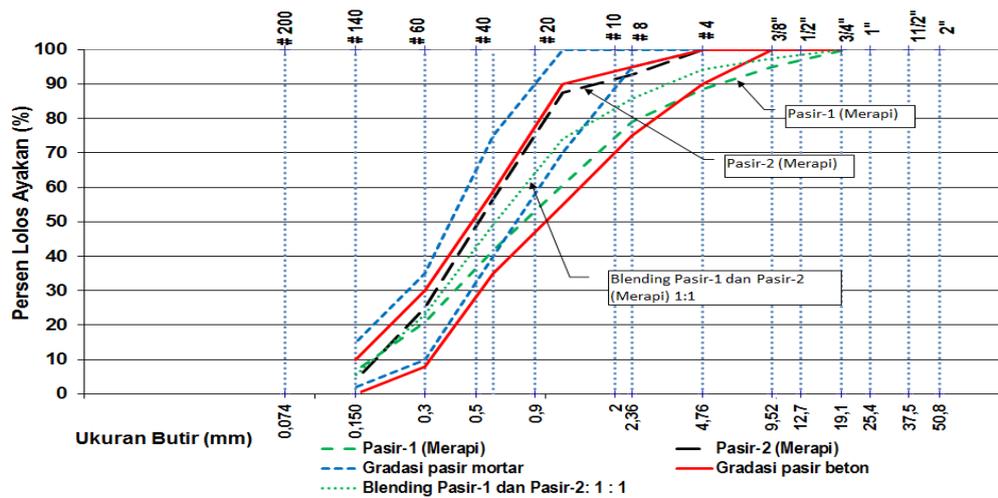
No.	Jenis Pengujian	Cara Uji	Hasil Pengujian		Persyaratan Pasir SNI 03-1750	
			Pasir-1	Pasir-2	Untuk beton	Untuk mortar
1	Kadar air, %	SNI 1965 : 2008	3,24	4,58	-	-
2	Kadar lumpur, %	SNI 03-4428	4,78	1,51	Maks. 5,0	Maks. 5,0
3	Penyerapan air, %	SNI 1970 : 2008	2,99	2,45	-	-
4	Berat jenis, gr/cc	SNI 1969 : 2008	2,60	2,59	-	-
5	Kadar zat organik, +/-	SNI 03-2816	Negatif (-)	Negatif (-)	Negatif (-)	Negatif (-)
6	Bobot isi,	SNI 03-4804				
	- Gembur, gr/ltr		1.530	1.470	-	-
	- Padat, gr/ltr		1.710	1.670	-	-
7	Gradasi				Zone-2	
	19,0 mm, %		99,62		-	
	9,6 mm, %		95,07		100	
	4,8 mm, %		88,51	100,00	90 - 100	100
	2,4 mm, %	ASTM C136-2012	78,93	92,72	75 - 95	95 - 100
	1,2 mm, %		60,58	87,38	55 - 90	70 - 100
	0,6 mm, %		41,74	56,76	35 - 59	40 - 75
	0,3 mm, %		20,95	24,99	8 - 30	10 - 35
	0,15 mm, %		6,75	4,06	0 - 10	2 - 15
	0,0 mm, %		0,00	0,00	0,00	0,00

Tabel 4. Hasil pengujian sifat fisik pasir Merapi (Kali Putih dan Kali Krasak)

No.	Jenis Pengujian	Cara uji	Hasil Pengujian		Persyaratan Pasir SNI 03-1750	
			Kali Putih	Kali Krasak	Utk beton	Utk mortar
1	Kadar air, %	SNI 1965 : 2008	3,29	3,51	-	-
2	Kadar lumpur, %	SNI 03-4428	2,98	3,24	Maks. 5,0	Maks. 5,0
3	Penyerapan air, %	SNI 1970 : 2008	3,78	3,95	-	-
4	Berat jenis, gr/cc	SNI 1969 : 2008	2,58	2,60	-	-
5	Kadar zat organik, +/-	SNI 03-2816	Negatif	Negatif	Negatif (-)	-
6	Bobot isi,	SNI 03-4804				
	- Gembur, gr/ltr		1.480	1.495	-	-
	- Padat, gr/ltr		1.674	1.688	-	-
7	Gradasi				Zona-2	
	19,0 mm, %		100,00		-	
	9,6 mm, %		100,00		100	
	4,8 mm, %	ASTM C136-2012	98,51	100,00	90-100	100
	2,4 mm, %		90,93	92,72	75-95	95 - 100
	1,2 mm, %		72,50	87,38	55 - 90	70 - 100
	0,6 mm, %		48,70	56,76	35 - 59	40 - 75
	0,3 mm, %		26,15	26,10	8 - 30	10 - 35
	0,15 mm, %		6,70	6,65	0-10	2 - 15



Gambar2. Hasil gradasi pasir Merapi (Pasir-1, Pasir-2) dari Kali Gendhol, Kali Putih dan Kali Krasak



Gambar 3. Hasil penggabungan antara Pasir-1 dan Pasir-2 (dari Kali Gendhol) untuk beton

Dalam Gambar 2 ditunjukkan gradasi Pasir-1 dan Pasir-2 dari Kali Gendhol, pasir Kali Krasak dan pasir Kali Putih terhadap ketentuan gradasi pasir untuk beton dan mortar. Pasir-2 relatif sama dengan pasir Kali Krasak. Dalam gambar tersebut terlihat bahwa Pasir-1 lebih kasar dari pada contoh pasir lainnya dan fraksi No. 4 keluar dari batas gradasi pasir untuk beton, sehingga apabila Pasir-1 akan digunakan memerlukan bahan yang relatif lebih halus untuk menjamin kemudahan pengerjaan, kepadatan dan stabilitas beton. Untuk Pasir-2 memiliki susunan butir yang relatif lebih baik dari pada Pasir-1 dan masuk dalam batas gradasi pasir untuk beton walaupun relatif lebih halus. Dalam praktek, untuk mendapatkan gradasi yang baik, dapat dilakukan penggabungan dari berbagai lokasi pasir, sehingga akan diperoleh gradasi agregat yang mendekati ideal. Contoh penggabungan antara Pasir-1 dan Pasir-2 untuk memenuhi gradasi pasir untuk beton ditunjukkan dalam Gambar 3. Sedangkan Pasir Kali Putih memenuhi ketentuan gradasi pasir untuk beton, dan Pasir tersebut dapat digunakan untuk mortar dengan terlebih dahulu dilakukan penyaringan dengan ayakan No. 4 agar diperoleh gradasi pasir yang ideal.

Tabel 5. Hasil analisis kimia pasir Merapi (contoh Kali Gendhol radius sekitar 2 km)

No	Uraian Uji/Unsur	Hasil Uji	Syarat
1	SiO ₂ , %	63,90	-
2	Al ₂ O ₃ , %	17,67	-
3	Fe ₂ O ₃ , %	1,75	-
4	CaO, %	7,10	-
5	MgO, %	2,96	-
6	K ₂ O, %	2,66	-
7	Na ₂ O ₃ , %	3,27	-
8	SO ₃ , %	0,07	-
9	HP, %	0,62	-

Unsur kimia yang terkandung dalam contoh pasir Merapi didominasi oleh silika dan alumina, sehingga sangat baik untuk agregat beton. Hal penting lainnya adalah bagian hilang pijar sangat kecil, yang mengindikasikan bahwa bahan organik sangat rendah termasuk unsur sulfur yang dapat mengganggu pengikatan semen, keawetan beton dan korosi pada tulangan.

Hasil pengujian kerikil

Contoh bahan diambil dari Banjarn, Kabupaten Bandung, yang terdiri atas 2 lokasi pengambilan yaitu contoh Kerikil-1 dan contoh Kerikil-2. Hasil pengujian sifat fisik kerikil disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengujian sifat fisik kerikil

No.	Jenis Pengujian	Standar Uji	Hasil Pengujian		Persyaratan Pasir SNI 03-1750	
			Kerikil - 1	Kerikil - 2	Untuk beton	Untuk mortar
1	Kadar air, %	SNI 1965 : 2008	1,34	1,48	-	-
2	Kadar lumpur, %	SNI 03-4428	0,16	0,51	Maks. 1,0	-
3	Penyerapan air, %	SNI 1970 : 2008	1,43	1,45	-	-
4	Berat jenis, gr/cc	SNI 1969 : 2008	2,69	2,65	-	-
5	Kadar zat organik,+/- Bobot isi,	SNI 03-2816				
	- Gembur, gr/ltr	SNI 03-4804	1.560	1.540	-	-
6	Kekerasan - <i>Rudell of</i> , %		-	-		
			12	11	Maks. 16	Untuk beton
7	Gradasi				4,8 – 19 mm	mutu tinggi
	38,0 mm, %				100	-
	19,0 mm, %	ASTM C136-2012	100,00	100,00	95 – 100	-
	9,6 mm, %		34,12	52,63	30 – 60	-
	4,8 mm, %		4,20	5,12	0 - 10	-

Hasil pengujian kerikil pada Tabel 6 menunjukkan bahwa sifat fisik dari kedua contoh kerikil pecah cukup baik, bersih, padat dan gradasi memenuhi batas agregat (4,8 – 19,0 mm), sehingga dapat digunakan untuk agregat beton.

Hasil pengujian beton segar

Untuk mengetahui sifat-sifat beton segar yang dihasilkan apakah telah memenuhi syarat sesuai dengan rencana atau belum, maka dilakukan pengujian beton segar yang terdiri atas *slump*, berat jenis, suhu dan faktor pemadatan. Hasil pengujian beton segar disajikan dalam Tabel 7.

Hasil pengujian dalam Tabel 7 menunjukkan bahwa sifat beton segar yang dihasilkan cukup baik dan memenuhi syarat sesuai dengan rencana dan persyaratan yang

ditetapkan, baik dalam hal kemudahan pengerjaan, faktor pemadatan suhu dan berat jenis dari beton tersebut. Semakin tinggi faktor air-semen pada beton menghasilkan berat jenis yang semakin rendah, hal ini disebabkan semakin berkurangnya kandungan semen pada beton sehingga kepadatannya pun semakin kurang. Selain itu berat jenis semen yang lebih besar dari pada agregat dan air memberikan kontribusi nilai berat jenis pada beton. Untuk nilai suhu dan faktor pemadatan terjadi sedikit perbedaan namun tidak signifikan.

Hasil pengujian beton keras

Hasil pengujian beton keras yang meliputi kuat tekan, modulus elastisitas, kuat lekat dan permeabilitas disajikan dalam Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 7. Hasil pengujian beton segar

No	Kode	fas.	Hasil uji beton segar			
			<i>Slump</i> , (mm)	Berat jenis	Suhu, °C	Faktor Pemadatan, (%)
Pasir - 1						
1	I-a	0,30	80	2.380	29	98
2	I-b	0,35	78	2.372	28	97
3	I-c	0,40	82	2.364	28	97
Pasir - 2						
4	II-a	0,30	82	2.383	30	98
5	II-b	0,35	86	2.374	29	98
6	II-c	0,40	80	2.368	28	97

Tabel 8. Hasil pengujian kuat tekan

No	Kode	Faktor air-semen	Kuat tekan rata-rata (MPa) pada Umur			Keterangan
			3 hari	7 hari	28 hari	
PASIR - 1						
1	I-a	0,30	31,93	40,05	49,82	Umur 28 hari: SD =1,82 MPa CV = 3,73 % $f' = 45,9$
2			30,18	41,90	48,97	
3			31,71	42,84	47,71	
4			30,73	42,25	46,88	
5			32,28	43,80	48,99	
6			32,81	40,94	50,79	
		Rata-rata	31,61	41,59	48,86	
1	I-b	0,35	30,91	37,37	43,48	Umur 28 hari: SD =1,27 MPa CV =2,94 % $f' = 41,25$
2			30,80	38,78	44,05	
3			31,14	38,90	40,46	
4			30,81	37,67	45,18	
5			30,70	38,28	44,25	
6			31,34	39,00	42,36	
		Rata-rata	30,95	38,35	43,34	
1	I-c	0,40	25,59	38,27	41,16	Umur 28 hari: SD = 1,82 MPa CV = 4,47 % $f' = 37,58$
2			26,04	36,80	40,54	
3			25,65	36,63	39,97	
4			25,99	38,07	41,36	
5			26,24	36,90	38,64	
6			25,85	36,73	42,57	
		Rata-rata	25,76	37,26	40,56	

Tabel 9. Hasil pengujian kuat tekan

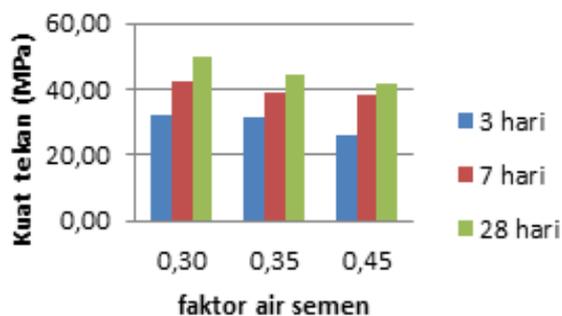
No	Kode	Faktor air-semen	Kuat tekan rata-rata (MPa) pada Umur			Keterangan
			3 hari	7 hari	28 hari	
PASIR - 2						
1	II-a	0,30	35,39	39,97	49,82	Umur 28 hari: SD =1,96 MPa CV =6,44 % $f' = 47,09$
2			35,67	44,16	48,67	
3			34,99	43,59	49,38	
4			35,39	39,77	49,92	
5			35,67	44,06	52,37	
6			34,99	43,29	51,58	
		Rata-rata	35,35	42,57	50,30	
1	II-b	0,35	33,91	38,95	49,13	Umur 28 hari: SD =3,03 MPa CV =6,19 % $f' = 43,99$
2			33,86	43,26	50,56	
3			34,82	42,24	45,26	
4			34,21	39,35	48,53	
5			33,76	43,46	51,16	
6			34,62	42,34	49,36	
		Rata-rata	34,20	41,48	48,97	
1	II-c	0,40	27,18	38,50	40,48	Umur 28 hari: SD = 1,18 MPa CV = 2,83 % $f' = 39,65$
2			26,61	38,61	42,46	
3			28,59	38,39	41,67	
4			27,38	38,60	39,88	
5			26,91	38,41	43,06	
6			28,09	38,49	41,71	
		Rata-rata	27,46	38,50	41,58	

Keterangan: SD = Standar deviasi; CV = Coefisien variasi; f' = Kuat tekan karakteristik

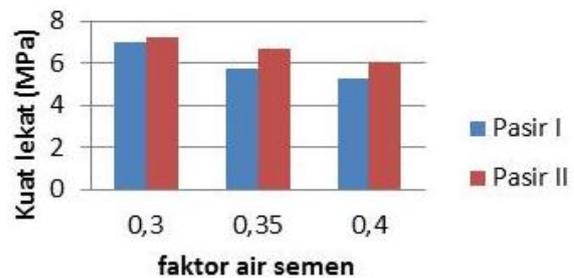
Tabel 10. Hasil pengujian kuat lekat, permeabilitas dan MOE

No	Kode	Faktor air-Semen	Hasil Pengujian			
			Kuat Lekat (MPa) SNI 03-4809-1998		Permeabilitas ^{o)} SNI 03-6433-2000	MOE (MPa) SNI 03-4169-1996
Pasir- 1			polos	<i>deform</i>		
1	I-a	0,30	6,89	10,84	Kedap/tdk rembes	4,18x 10 ³
2			7,15	11,62	Kedap/tdk rembes	4,30x 10 ³
3			6,50	11,14	Kedap/tdk rembes	4,21x 10 ⁴³
		Rata-rata	6,85	11,20	Kedap/tdk rembes	4,23x 10³
1	I-b	0,35	5,46	9,84	Kedap/tdk rembes	4,20 x 10 ³
2			5,90	10,86	Kedap/tdk rembes	4,16 x 10 ³
3			5,49	11,13	Kedap/tdk rembes	4,09 x 10 ³
		Rata-rata	5,62	10,61	Kedap/tdk rembes	4,15 x 10³
1	I-c	0,40	5,33	9,65	Kedap/tdk rembes	3,92 x 10 ³
2			5,25	9,26	Kedap/tdk rembes	3,76 x 10 ³
3			4,95	8,78	Kedap/tdk rembes	3,78 x 10 ³
		Rata-rata	5,18	9,23	Kedap/tdk rembes	3,82 x 10³
Pasir- 2			polos	<i>deform</i>		
1	II-a	0,30	6,89	11,98	Kedap/tdk rembes	4,51 x 10 ³
2			7,15	10,24	Kedap/tdk rembes	4,28 x 10 ³
3			7,24	12,64	Kedap/tdk rembes	4,26 x 10 ³
		Rata-rata	7,09	11,62	Kedap/tdk rembes	4,31 x 10³
1	II-b	0,35	6,23	10,24	Kedap/tdk rembes	4,12 x 10 ³
2			6,57	11,02	Kedap/tdk rembes	4,37 x 10 ³
3			6,93	10,81	Kedap/tdk rembes	4,23 x 10 ³
		Rata-rata	6,58	10,69	Kedap/tdk rembes	4,24 x 10³
1	II-c	0,40	5,50	9,42	Kedap/tdk rembes	3,78 x 10 ³
2			6,31	10,04	Kedap/tdk rembes	3,96 x 10 ³
3			5,89	9,25	Kedap/tdk rembes	4,05 x 10 ³
		Rata-rata	5,90	9,57	Kedap/tdk rembes	3,93 x 10³

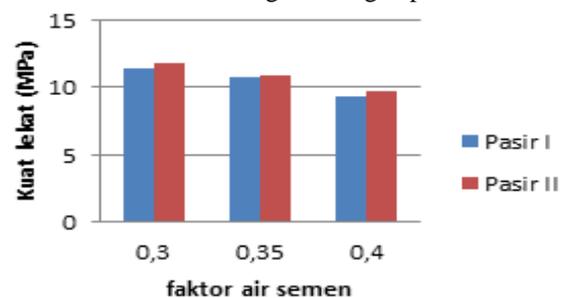
Secara umum Pasir-1 yang diambil dari lokasi dengan radius sekitar 2 Km dari puncak Gunung Merapi menghasilkan beton dengan kekuatan yang lebih rendah dari pada Pasir-2 yang diambil dari lokasi dengan radius sekitar 5 Km. Hal ini mungkin disebabkan oleh faktor fisik Pasir-1 yang memiliki kadar abu yang lebih tinggi dari pada Pasir-2 serta gradasi yang kurang baik, sehingga beton yang dihasilkan kurang kompak. Secara grafis, hasil uji kuat tekan dari beberapa variasi faktor air-semen dan umur pengujian disajikan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan kuat tekan dan faktor air-semen



Gambar 5. Hubungan kuat lekat dan faktor air-semen dengan tulangan polos



Gambar 6. Hubungan kuat lekat dan faktor air-semen dengan tulangan *deform*

Tabel 11. Kuat lekat tulangan polos

Nilai	ANOVA				
	<i>Sum of squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	F	Sig.
<i>Corrected model</i>	8.507	5	1.701	19.360	0.000
<i>Intercept</i>	692.292	1	692.292	7.878	0.000
Jenis_pasir	1.862	1	1.862	21.194	0.001
Faktor air semen (fas)	6.248	2	3.124	35.551	0.000
Jenis_pasir*fas	0.396	2	0.198	2.253	0.148
<i>Error</i>	1.055	12	0.088		
<i>Total</i>	701.853	18			
<i>Corrected total</i>	0.561	17			

Tabel 12. Kuat lekat tulangan ulir/deform

Nilai	ANOVA				
	<i>Sum of squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	F	Sig.
<i>Corrected model</i>	12.080	5	2.562	5.734	0.006
<i>Intercept</i>	1979.463	1	1979.463	4.431	0.000
Jenis_pasir	0.353	1	0.353	0.790	0.392
Faktor air semen (fas)	12.360	2	6.180	13.833	0.001
Jenis_pasir*fas	0.095	2	0.047	0.106	0.900
<i>Error</i>	5.36	12	0.447		
<i>Total</i>	1997.6321	18			
<i>Corrected total</i>	18.169	17			

Dari hasil uji kuat lekat, permeabilitas dan modulus elastisitas, terlihat bahwa beton dengan Pasir-1 (radius sekitar 2 km dari puncak gunung) memiliki kekuatan yang relatif lebih rendah dibanding Pasir-2 (radius sekitar 5 km dari puncak gunung). Terlihat pula, bahwa semakin tinggi faktor air-semen menghasilkan kekuatan yang semakin rendah, namun seluruh beton memiliki kekedapan yang sangat baik. Secara grafis, hasil uji kuat lekat dengan baja tulangan polos dari berbagai faktor air-semen dan jenis pasir disajikan masing-masing dalam Gambar 5 dan Gambar 6.

Analisis beda nyata dari pengujian kuat lekat

Untuk mengetahui apakah penggunaan Pasir-1 dan Pasir-2 cukup memiliki perbedaan yang signifikan terhadap kuat lekat dan kuat tekan dari beton yang dihasilkan, maka dilakukan analisis beda nyata.

Berdasarkan ANOVA untuk kuat lekat tulangan polos dan tulangan ulir, dapat dilihat masing-masing dalam Tabel 11 dan Tabel 12. Keputusan yang diambil untuk kuat lekat tulangan polos dari Tabel 11 adalah bahwa nilai Sig. = 0,148 > 0,05, sehingga antara Pasir-1 dan Pasir-2 tidak berbeda secara statistik. Keputusan yang diambil untuk tulangan ulir dari Tabel 10 adalah bahwa nilai Sig. = 0,900 > 0,05, sehingga antara Pasir-1 dan Pasir-2 tidak

berbeda secara statistik. Dari analisis beda nyata terhadap hasil pengujian kuat lekat tersebut, ternyata antara Pasir-1 dan Pasir-2 tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan, sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua pasir tersebut memiliki karakteristik kuat lekat yang sama untuk agregat beton.

Analisis beda nyata dari pengujian kuat tekan pada umur 28 hari

Untuk mengetahui apakah penggunaan Pasir-1 dan Pasir-2 cukup memiliki perbedaan yang signifikan terhadap seluruh kuat tekan dari beton yang dihasilkan, maka dilakukan analisis beda nyata dari seluruh data.

Berdasarkan ANOVA untuk kuat tekan, masing-masing untuk faktor air-semen 0,30, faktor air-semen 0,35, dan faktor air-semen 0,35 ditunjukkan dalam Tabel 13, Tabel 14 dan Tabel 15.

Keputusan yang diambil untuk faktor air-semen 0,30, faktor air-semen 0,35, dan faktor air-semen 0,40 dalam Tabel 13, Tabel 14 dan Tabel 15, masing-masing dengan nilai Sig. = 0,108 > 0,05 tidak berbeda secara statistik, Sig. = 0,000 < 0,05 berbeda secara statistik, dan Sig. = 0,279 > 0,05 tidak berbeda secara statistik. Kesimpulannya antara Pasir-1 dan Pasir-2 untuk variasi faktor air-semen 0,30 dan 0,40 adalah tidak berbeda secara statistik, tetapi untuk faktor air-semen 0,35 dan data

keseluruhan dengan Sig. = 0,000 ternyata berbeda secara statistik. Jadi keputusan yang diambil untuk seluruh data dengan tiga variasi faktor air-semen adalah nilai Sig. = 0,000 < 0,05, bahwa Pasir-1 dan Pasir-2 secara statistik adalah berbeda nyata.

Dari analisis beda nyata terhadap hasil pengujian kuat tekan dengan berbagai faktor air-semen, baik dari setiap nilai faktor air-semen dan keseluruhan data dalam Tabel 16, ternyata antara Pasir-1 dan Pasir-2 memiliki perbedaan yang cukup signifikan, sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua pasir tersebut memiliki karakteristik yang berbeda penggunaannya untuk bahan beton.

PEMBAHASAN

Persediaan material di Sungai Gendhol paling banyak tersedia di dua lokasi, yaitu pada jarak sekitar 2 km dan 5 km dari puncak gunung.

Hasil pengujian karakteristik fisik pasir yang diambil pada lokasi yang berjarak sekitar 2 km atau disebut Pasir-2, yang berjarak sekitar 5 km dari puncak Merapi menunjukkan adanya perbedaan gradasi. Semakin jauh dari puncak Gunung Merapi memiliki gradasi yang semakin halus. Dalam penggunaan untuk beton berdasarkan kuat tekannya terjadi perbedaan yang nyata atau signifikan.

Kandungan kimia dalam contoh pasir yang diambil dari Kali Gendhol cukup baik dan memenuhi syarat sebagai agregat beton.

Berdasarkan kehalusan atau gradasi agregat, perbandingan campuran yang paling ideal antara pasir dan kerikil dalam campuran beton diperoleh sebesar 35% pasir dan 65% kerikil.

Proporsi campuran untuk setiap mutu beton berdasarkan nilai faktor air-semen diperoleh jumlah bahan yang bervariasi, baik semen, pasir, atau kerikil, sedangkan banyaknya air adalah tetap yang didasarkan atas nilai *slump* yang ingin dicapai.

Tabel 13. Kuat tekan dengan faktor air-semen 0,30

Nilai	ANOVA				
	Sum of squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected model	6.135	1	6.135	3.111	0.108
Intercept	29492.168	1	29491.168	1.496	0.000
Jenis_pasir	6.135	1	8.135	3.111	0.108
Error	19.719	10	1.972		
Total	29518.021	12			
Corrected total	25.854	11			

Tabel 14. Kuat tekan dengan faktor air-semen 0,35

Nilai	ANOVA				
	Sum of squares	df	Mean Square	F	Significant
Corrected model	109.324	1	109.324	52.287	0.000
Intercept	25740.951	1	25740.951	1.231	0.000
Jenis_pasir	109.324	1	109.324	52.287	0.000
Error	20.908	10	2.091		
Total	25871.183	12			
Corrected total	130.232	11			

Tabel 15. Kuat tekan dengan faktor air-semen 0,40

Nilai	ANOVA				
	Sum of squares	df	Mean Square	F	Significant
Corrected model	2.100	1	2.100	1.310	0.279
Intercept	20295.187	1	20295.187	1.266	0.000
Jenis_pasir	2.100	1	2.100	1.310	0.279
Error	16.028	10	1.603		
Total	20313.315	12			
Corrected total	18.128	11			

Tabel 16. Kuat tekan keseluruhan

Nilai	ANOVA				
	Sum of squares	df	Mean Square	F	Sig
Corrected model	553.424	5	110.685	58.610	0.000
Intercept	75092.441	1	75092.441	3.976	0.000
Jenis_pasir	68.945	1	68.945	36.508	0.000
Faktor air semen (fas)	435.865	2	217.932	115.399	0.000
Jenis_pasir*fas	48.613	2	24.307	12.871	0.000
Error	56.655	30	1.889		
Total	75702.520	36			
Corrected total	610.079	35			

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan data survei lapangan dan hasil pengujian laboratorium, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Karakteristik pasir yang diambil dari Sungai Gendhol baik pada radius 2 km (kasar) dan radius 5 km (halus) cukup baik dan dapat digunakan untuk beton mutu tinggi.
2. Dari analisis beda nyata terhadap hasil uji kuat lekat menunjukkan bahwa antara Pasir-1 dan Pasir-2 tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan, tetapi terhadap kuat tekan memiliki perbedaan yang signifikan, sehingga kedua pasir tersebut memiliki karakteristik yang berbeda sebagai agregat halus untuk beton.
3. Hasil uji beton segar menunjukkan nilai yang sangat baik, seluruh benda uji beton memenuhi syarat atau target yang diinginkan atau yang ditetapkan.
4. Kuat tekan pada umur 28 hari dengan faktor air-semen 0,30 dapat mencapai 50,30 MPa, kuat tekan target rata-rata dengan f_c 47,1 MPa, dan nilai modulus elastisitas beton $4,31 \times 10^3$ MPa, sehingga dapat dikategorikan sebagai beton mutu tinggi.
5. Uji permeabilitas beton untuk seluruh benda uji memenuhi syarat kedap, karena penetrasi air < 50 mm dan tidak tembus (tidak menetes).

Saran

1. Bila digunakan pasir yang bersumber dari Gunung Merapi, disarankan agar dilakukan penggabungan, sehingga diperoleh gradasi pasir yang disyaratkan.
2. Pasir Merapi perlu dikaji lebih lanjut penggunaannya sebagai bahan jalan dan

jembatan untuk memperoleh beton mutu tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aprizon, Andidan Pramudiyanto. 2008. *High Strength Concrete*, <http://pramudiyanto.wordpress.com/2008/08/06/beton-mutu-tinggi/>.
- Dachlan, A. T. 2010. *Kajian dan pengawasan Uji coba skala penuh Teknologi perkerasan jalan beton semen dengan metode pracetak*. Laporan Penelitian. Bandung: Pusat Litbang Jalan dan Jembatan.
- Indonesia. 1998. *Metode pengujian kuat lekat*. SNI 03-4809-1998. Jakarta: BSN
- _____. 2002. *Metode uji kotoran organik dalam pasir untuk campuran mortar dan beton*. SNI 03-2816. Jakarta: BSN
- _____. 2004. *Spesifikasi agregat untuk beton*, SNI No 03-1750, Jakarta: BSN
- _____. 2002. *Metode pengujian mutu air untuk digunakan dalam beton*. SNI 03-6817-2002. Jakarta: BSN
- _____. 2002. *Metode pengujian kadar zat organik agregat halus*. SNI 03-2816-2002. Jakarta: BSN
- _____. 2002. *Metode pengujian bobot isi agregat*. SNI 03-4804-2002. Jakarta: BSN
- _____. 2002. *Metode pengujian kadar lumpur agregat*. SNI 03-4428-2002. Jakarta: BSN
- _____. 2008. *Metode pengujian penyerapan air agregat*. SNI 1970-2008. Jakarta: BSN
- _____. 2008. *Metode pengujian berat jenis agregat*. SNI 1969-2008. Jakarta: BSN
- _____. 2008. *Metode pengujian kadar air agregat*. SNI 1965-2008/ Jakarta: BSN
- _____. 2010. *Spesifikasi Umum Pekerjaan Jalan dan Jembatan*. Revisi-3. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- _____. 2012. *Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa*. SNI No. 7656-2012. Jakarta: BSN

- _____. 2011. *Metode pengujian kuat tekan beton*. SNI 1974-2011. Jakarta: BSN
- Hansen, T.C. 1978. *Manual on Concrete Mix Design and Quality Controls. Technical Report No. 21*. Bandung: Puslitbang Permukiman.
- Kusumastuti, E. 2012. *Pemanfaatan Abu Vulkanik Gunung Merapi Sebagai Geopolimer (Suatu Polimer Anorganik Aluminosilikat)*. Jurnal MIPA. Universitas Negeri Semarang.
- Kjaer, Ulla dan Z. Aksa. 1980. *Pemeriksaan Mutu Beton dan Mutu Pelaksanaan selama Pekerjaan Beton*. Bandung.
- Lasino. 1997. *Quality Control of Concrete Work*. Bandung: Puslitbang Permukiman.
- Lasino. 2011. *Karakteristik pasir dan abu Merapi sebagai bahan konstruksi*. Yogyakarta, Seminar PPIS-UGM.
- Pujianto, As'at dkk. 2013. *Beton mutu tinggi dengan admixture superplastiziser dan additive silica fume*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Puslitbang Permukiman. 2008. *Pengujian Beton Keras di Laboratorium*. Bandung.
- Suhartopo. 1996. *Pengaruh Mortar dan Ultra Fines dalam Beton*. PT. Beton Cilegon Agung, Cilegon
- Susanti, Eka. 2012. *Studi perbandingan nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton yang menggunakan pasir Merapi dan pasir Lumajang*. Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah 18 Juni 2014, Surabaya.
- Tristanto, Lanneke. 1984. *Buku Petunjuk Pelaksanaan Beton, Perencanaan dan Pengendalian Adukan Beton*. Bandung: Puslitbang Jalan dan Jembatan.
- Watson DA. 1972. *Construction Materials and Processes*. Mc. Graw Hill Book Company