

## ANALISIS VARIASI KOMPOSISI FLY ASH DAN BENTONIT PADA PENGIKAT CETAKAN PASIR TERHADAP PERMEABILITAS, KEKUATAN TEKAN, DAN FLUIDITAS *GREEN SAND MOLD*

Oleh:

Novinda Tegar Herwido, Putut Murdanto, dan Rr. Poppy Puspitasari  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang  
E-mail: novindategar@gmail.com

**Abstrak.** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penggunaan *fly ash* sebagai campuran pengikat terhadap permeabilitas, kekuatan tekan dan fluiditas dengan bentuk *pre-experimental* model *one-shot case study*. Data diperoleh setelah *Green sand mold* diberi *treatment* variasi kadar pengikat berupa *fly ash* dan bentonit. Hasil penelitian ini mencakup (1) pengujian permeabilitas menggunakan *Permeability Tester* untuk mengetahui volume udara yang berhasil dialirkan cetakan tiap menit ( $\text{cm}^3/\text{menit}$ ), (2) pengujian kekuatan tekan menggunakan *Universal Sand Strength* untuk mengetahui kemampuan cetakan menahan tekanan dari aliran logam cair tiap satuan luas ( $\text{N}/\text{cm}^2$ ), (3) **pengujian** fluiditas dengan metode *Birmingham* untuk mengetahui panjang alir lelehan logam (mm) yang dapat mengisi pola cetakan dengan ketebalan berbeda.

**Kata Kunci:** Green Sand Mold, Bentonit, Fly Ash, Permeabilitas, Kekuatan Tekan, Fluiditas

Bidang pengecoran logam memegang peranan penting dalam kemajuan industri di Indonesia. Bidang pengecoran logam tidak terlepas dari proses pengecoran logam itu sendiri. Terdapat beberapa tahapan dalam proses pengecoran logam salah satunya adalah pembuatan cetakan agar hasil pengecoran sesuai dengan pola yang dibuat. *Green Sand Mold* adalah salah satu jenis cetakan dalam pengecoran logam berbahan baku pasir yang diberi pengikat dan memiliki kandungan air. Menurut R.W. Heine (1990:26) “*green molding sand may be defined as a plastic mixture of sand grains, clay, water, and other materials which can be used for molding and casting processes. The sand is called green because of the moisture present and thus distinguished from dry sand*”. Kutipan tersebut dapat diartikan bahwa cetakan pasir basah terdiri dari campuran butir pasir, tanah liat (pengikat), air, dan

material lain yang dapat digunakan untuk proses pencetakan dan pengecoran. Cetakan basah disebut dengan “*green*” karena kelembapan yang berbeda dari cetakan pasir kering atau *dry sand mold*.

Cetakan pasir basah (*green sand mold*) memerlukan pengikat agar membentuk pondasi yang kokoh dalam menahan aliran lelehan logam. Menurut informasi yang dikutip dari *ASM Handbook Committee* (dalam Sutiyoko & Muh. Lukman Effendi, 2012:10) *clay* atau bahan pengikat yang paling banyak digunakan adalah bentonit. Selama ini telah banyak penelitian yang membuktikan bahwa bentonit merupakan pengikat ideal bagi cetakan pasir, tetapi harga bentonit di pasaran bernilai cukup mahal apabila dibandingkan jenis pengikat lain (Soejono Tjitro & Hendri, 2009:196).

Disisi lain produksi limbah abu bekas pembakaran batu bara (*fly ash*) di Indonesia

melimpah membuat harga fly ash lebih ekonomis dan mudah diperoleh. Bentonit dan fly ash dilihat dari senyawa penyusun memiliki kemiripan yaitu kandungan CaO (lempung) hanya saja kandungan CaO pada bentonit lebih banyak dibandingkan pada fly ash (Soejono Tjitro & Hendri, 2009:196). Berdasarkan alasan tersebut maka secara teori, fly ash dapat digunakan sebagai pengikat cetakan pasir.

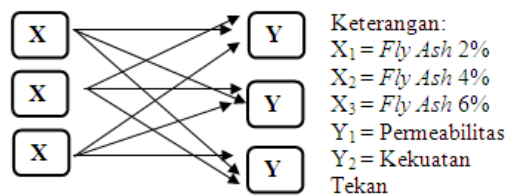
Menurut ASTM C.618 fly ash diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu fly ash kelas C dan fly ash kelas F. Fly ash kelas C merupakan hasil pembakaran batubara jenis lignite atau batu bara tua. Kelas C ini kebanyakan mengandung lebih dari 10% hingga 15% berat CaO. Kelas C sangat sedikit mengandung karbon yang tidak terbakar dengan LOI (Loss On Ignition) kurang dari 1% berat. Fase kristalnya berupa anhydrite (CaSO<sub>4</sub>), tricalcium aluminate (Ca<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>6</sub>), lime (CaO), quartz (SiO<sub>2</sub>), periclase (MgO), mullite (Al<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>13</sub>), merwinite (Ca<sub>3</sub>Mg(SiO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>) dan ferrite ((Mg,Fe)(Fe<sub>3</sub>Al)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>). Fly ash kelas F merupakan hasil pembakaran batubara jenis anthracite atau batu bara muda. Kelas ini mengandung oksida kalsium kurang dari 6% berat, merupakan abu dengan kadar kalsium rendah. Abu ini mengandung lebih dari 2% berat karbon yang tidak terbakar pada uji LOI. Fase kristal utamanya adalah quartz (SiO<sub>2</sub>), mullite (Al<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>13</sub>) dan hematite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (Yusuf Umardani & Erwin Sudrajat, 2007:11).

Penelitian ini menggunakan fly ash kelas F sebagai campuran pengikat cetakan pasir. Penggunaan fly ash kelas F didasarkan pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Soejono Tjitro & Hendri. Hasil dari penelitian tersebut menyatakan bahwa semakin tinggi kandungan CaO pada pengikat

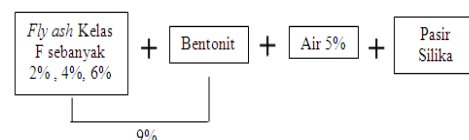
akan menurunkan kuat tekan cetakan pasir. Oleh karena itu pada penelitian ini menggunakan jenis fly ash dari kelas F dengan kandungan CaO kurang dari 6%.

**METODE**

Penelitian ini termasuk kedalam jenis penelitian kuantitatif menggunakan metode pre-experimental dengan model one-shot case study. Treatment berupa manipulasi kadar bentonit dan fly ash kelas F (X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>) yang diberikan pada objek penelitian yaitu green sand mold untuk selanjutnya dampak treatment diobservasi hasilnya kedalam tiga parameter yaitu permeabilitas, kekuatan tekan dan fluiditas (Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>, Y<sub>3</sub>) seperti yang tercantum pada gambar 1 dibawah ini.



**Gambar 1. Bagan Desain Penelitian yang Digunakan**



**Gambar 2. Komposisi Green Sand Mold**

Teknik analisis data yang dipakai dalam penelitian ini menggunakan analisis deskriptif kuantitatif. Analisis deskriptif meliputi penjelasan untuk memetakan penyebaran data tanpa menarik hubungan diantara variabel penelitian yang meliputi hasil uji permeabilitas, kekuatan tekan dan fluiditas green sand mold. Data yang sudah analisis selanjutnya dirata-rata dari setiap hasil penelitian dan untuk mempermudah

pembacaan data maka dibuat sebuah grafik dari hasil analisis penelitian dengan menggunakan *Microsoft Office Excel*.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Uji Komposisi**

Uji komposisi pada penelitian ini diberikan pada *fly ash* kelas F menggunakan SEM-EDX atau *Scanning Electron Microscope* dengan metode EDX (*Energy Dispersive X-Ray*). SEM-EDX merupakan metode uji komposisi untuk mengetahui morfologi, topografi dan *elemental mapping* dari sampel *fly ash* yang diuji. Hasil pengujian menggunakan metode tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 1. Hasil Uji SEM-EDX Fly Ash kelas F**

Gambar Hasil Uji SEM Pembesaran 5000x		Hasil Uji EDX	
No	Element	Concentration	Unit (%)
1	CK	5.425	
2	OK	41.215	
3	NaK	1.305	
4	MgK	2.145	
5	AlK	15.64	
6	SiK	21.55	
7	KK	2.47	
8	CaK	3.805	
9	TiK	0.815	
10	FeK	5.63	

Berdasarkan hasil uji SEM-EDX yang telah dilakukan pada sampel *fly ash* dapat diketahui secara morfologi. Partikel penyusun *fly ash* kelas F berupa butiran dengan ukuran heterogen. Sedangkan untuk unsur penyusun yang dimiliki *fly ash* kelas F didominasi oleh *O* dan *Si*.

**Analisis Uji Permeabilitas pada Fly Ash Kelas F dengan persentase 2%, 4% dan 6%**

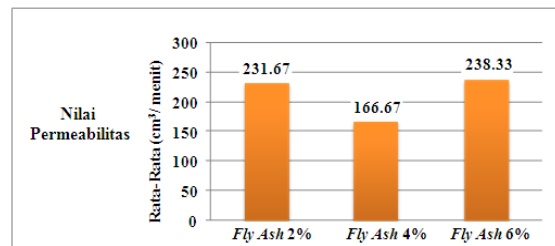
Cetakan pasir basah memiliki beberapa karakteristik yang dapat mempengaruhi kualitas produk hasil coran. Salah satu

karakteristik tersebut adalah permeabilitas pasir cetak. Permeabilitas adalah kemampuan pasir cetak untuk mengalirkan dan dialiri fluida berupa gas melalui celah atau pori-pori yang ada pada cetakan. Nilai permeabilitas dari spesimen cetakan dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 3.

**Tabel 2. Lembar Observasi Permeabilitas**

Nilai Kekuatan Tekan Spesimen	Komposisi Pengikat Fly Ash		
	Fly Ash 2%	Fly Ash 4%	Fly Ash 6%
Spesimen 1	230.00	170.00	250.00
Spesimen 2	230.00	165.00	240.00
Spesimen 3	235.00	165.00	225.00
	231.67	166.67	238.33

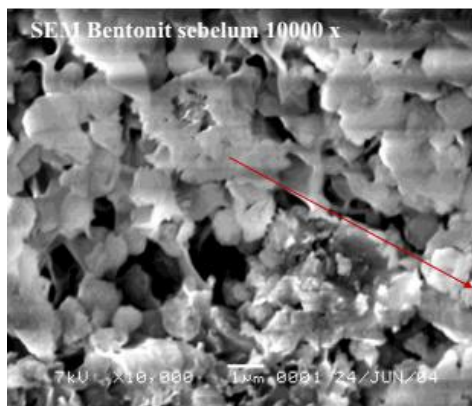
Catatan: nilai permeabilitas dalam satuan cm<sup>3</sup>/menit



**Gambar 3. Hasil Uji Permeabilitas**

Penelitian ini menggunakan kadar pengikat cetakan dengan persentase yang sama sebesar 9%, tetapi menghasilkan nilai permeabilitas yang berbeda. Hal ini dapat disebabkan karena penggunaan dua jenis pengikat yang dicampurkan kedalam cetakan. Dwi Hartono, dkk., (2012) mengungkapkan “tingkat permeabilitas pada cetakan dipengaruhi oleh bahan pengikat”. Hal ini disebabkan karena masing-masing bahan pengikat memiliki sifat-sifat yang berbeda sewaktu dicampurkan kedalam campuran komposisi cetakan pasir. Apabila dilihat dari keadaan mikrostruktur dari dua jenis bahan pengikat yang digunakan. Bentonit dan *fly ash* memiliki keadaan mikrostruktur berbeda. Pada tabel 1 terlihat mikrostruktur *fly ash* kelas F yang terdiri dari butiran

heterogen. Sedangkan mikrostruktur bentonit berupa *bulk* material berongga atau porous dengan celah yang beragam (gambar 4).



Gambar 4. SEM Bentonit Perbesaran 10000x

Dua jenis pengikat dengan pembagian kadar berbeda saling mengisi celah antar butir pasir membuat struktur cetakan pasir saling tumpang tindih. Terdapat dua kemungkinan yang terjadi pada permeabilitas cetakan pasir. Kemungkinan pertama, udara lebih mudah mengalir sehingga nilai permeabilitas cetakan tinggi dan kemungkinan kedua, udara sulit mengalir sehingga membuat nilai permeabilitas cetakan rendah.

Berdasarkan gambar 3 spesimen dengan kadar *fly ash* 4% memiliki nilai rata-rata permeabilitas paling rendah dibandingkan kedua spesimen yang lain yaitu sebesar  $166,67 \text{ cm}^3/\text{menit}$ . Hal ini dapat disebabkan selisih kadar bentonit dan *fly ash* yang hampir sama pada cetakan ini membuat dominasi kedua pengikat tersebut seimbang. Celah antar butir pasir ditempati oleh kedua jenis pengikat. Partikel bentonit yang berporous dengan ukuran berbeda ditempati oleh partikel butir *fly ash* dengan ukuran yang berbeda pula. Hal ini membuat celah antar butir pasir yang ditempati oleh bentonit dan celah yang terdapat pada bentonit ditempati oleh partikel *fly ash* atau sebaliknya. Celah butir pasir yang menjadi jalur

udara diisi oleh bentonit dan *fly ash* sehingga menurunkan nilai permeabilitas

Sedangkan komposisi *fly ash* kelas F sebesar 2% dan 6% mempunyai nilai rata-rata permeabilitas yang tidak terlalu jauh yaitu sebesar  $6,66 \text{ cm}^3/\text{menit}$ . Nilai rata-rata permeabilitas pada spesimen dengan kadar *fly ash* 6% sebesar  $328,33 \text{ cm}^3/\text{menit}$ . Sedangkan nilai rata-rata permeabilitas pada spesimen dengan kadar *fly ash* 2% sebesar  $231,67 \text{ cm}^3/\text{menit}$ . Hal ini disebabkan karena persentase dari bentonit dan *fly ash* pada cetakan ini memiliki selisih yang besar dibandingkan pada cetakan dengan *fly ash* 4%. Dominasi pengisian celah antar butir pasir diisi oleh partikel bentonit atau *fly ash* saja. Kedua partikel tersebut tidak saling tumpang tindih dalam mengisi celah antar butir pasir. Sehingga membuat udara masih dapat mengalir dan menghasilkan nilai permeabilitas tinggi.

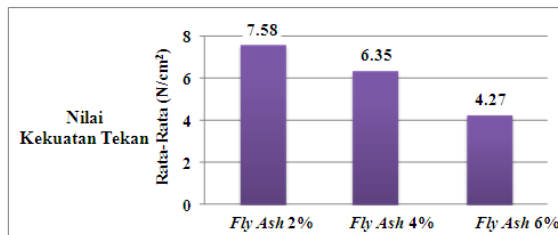
#### Analisis Uji Kekuatan Tekan pada *Fly Ash* Kelas F dengan persentase 2%, 4% dan 6%

Selain permeabilitas, karakteristik lain yang tidak kalah penting adalah kekuatan tekan cetakan pasir. Kekuatan tekan cetakan pasir adalah kemampuan cetakan pasir untuk menahan aliran logam cair yang mempunyai tekanan pada waktu masih panas yang bisa menyebabkan cetakan pasir itu mengalami perubahan bentuk atau kerontokan pada cetakan. Kekuatan tekan yang dimiliki oleh cetakan pasir berhubungan dengan pondasi yang dimiliki oleh cetakan tersebut. Semakin kuat pondasi yang dibentuk oleh komposisi penyusun cetakan pasir, membuat semakin tinggi pula kekuatan tekan cetakan tersebut.

**Tabel 3. Lembar Observasi Kekuatan Tekan**

Nilai Permeabilitas Spesimen	Komposisi Pengikat Fly Ash		
	Fly Ash 2%	Fly Ash 4%	Fly Ash 6%
Spesimen 1	7.80	6.15	4.2
Spesimen 2	7.50	6.35	4.3
Spesimen 3	7.45	6.55	4.3
Rata-rata	7.58	6.35	4.27

Catatan: nilai permeabilitas dalam satuan  $N/cm^2$



**Gambar 5. Hasil Uji Kekuatan Tekan**

Komposisi *fly ash* kelas F sebesar 2% mempunyai rata-rata kekuatan tekan paling tinggi diantara dua perlakuan lain (gambar 5). Nilai rata-rata kekuatan tekan pada spesimen dengan kadar *fly ash* 2% sebesar  $7,58 N/cm^2$ . Sedangkan nilai rata-rata kekuatan tekan pada spesimen dengan kadar *fly ash* 4% sebesar  $6,35 N/cm^2$ . Lalu pada *fly ash* dengan komposisi 6% menghasilkan nilai rata-rata sebesar  $4,27 N/cm^2$ . Berdasarkan nilai rata-rata kekuatan tekan yang tercantum pada gambar 5 dapat diketahui bahwa semakin banyak campuran *fly ash* kelas F yang diberikan pada komposisi cetakan pasir membuat nilai kekuatan tekan semakin turun.

Hal ini disebabkan karena pada spesimen cetakan pasir dengan komposisi *fly ash* 2% memiliki kandungan *CaO* pada rerata lebih seimbang dibandingkan kandungan *CaO* pada komposisi spesimen cetakan pasir *fly ash* 4% maupun *fly ash* 6%. Penelitian Soejono Tjitro & Hendri (2009) yang mengatakan bahwa “semakin sedikit jumlah *CaO* berdampak pada kalsium karbonat ( $CaCO_3$ ) yang dihasilkan dari reaksi karbonasi semakin sedikit. Hal ini mengakibatkan

reaksi *pozzolanik* dapat berlangsung dengan sempurna dan menghasilkan *cementing agent* dalam jumlah yang cukup”. Berdasarkan pendapat tersebut dapat diartikan bahwa kekuatan tekan yang dihasilkan oleh spesimen cetakan berhubungan dengan kandungan *CaO* yang terkandung didalam komposisi cetakan. Semakin tinggi kadungan *CaO* pada cetakan justru akan menurunkan kekuatan tekan. Kandungan *CaO* berhubungan dengan pembentukan *cementing agent* yang membuat cetakan dapat mengeras.

Kandungan *CaO* yang besar justru menghalangi sempurnanya pembentukan *cementing agent*. Semakin sempurnanya pembentukan *cementing agent* membuat cetakan semakin keras. Cetakan yang makin keras akan menaikkan nilai kekuatan tekan yang dimiliki cetakan tersebut. Oleh karena itu pada grafik terlihat bahwa semakin banyak persentase *fly ash* yang dicampurkan pada pengikat akan menurunkan kekuatan tekan cetakan pasir.

**Analisis Uji Fluiditas pada Fly Ash Kelas F dengan persentase 2%, 4% dan 6%**

Fluiditas adalah kemampuan lelehan logam mengalir mengikuti pola pada cetakan. Pengujian fluiditas pada penelitian ini menggunakan metode *Birmingham*. Metode ini dipilih karena dalam satu spesimen pola *Birmingham* dapat diketahui panjang, lebar dan tebal yang berbeda-beda dari benda cor yang berhasil mengalir dalam sekali pengecoran. Pola *Birmingham* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6.

Berdasarkan Tabel 5 diperoleh hasil penelitian berupa nilai total panjang, lebar, dan tebal hasil pengecoran yang berbeda-beda.





Gambar 6. Pola Cetakan Metode *Birmingham*

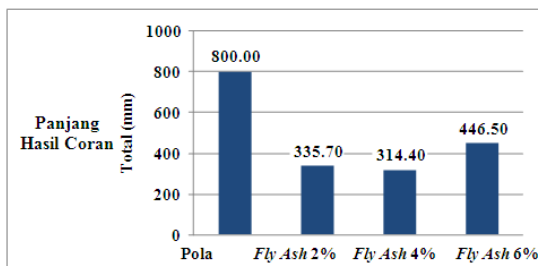
Tabel 4 Ukuran Pola yang Digunakan pada Pengujian Fluiditas

No.	Ukuran Pola		
	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)
1	200	20	8
2	200	20	2
3	200	20	5
4	200	20	3

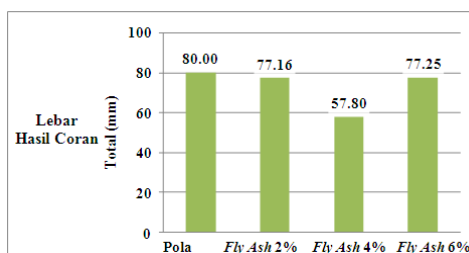
Sumber: Lab. Pengecoran Logam FT UM

Tabel 5 Lembar Observasi Perbandingan Ukuran Total Fluiditas

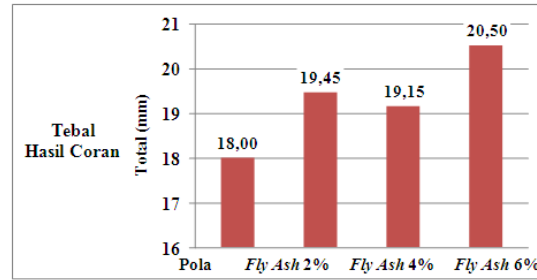
Spesimen / Dimensi	Pola	Fly Ash 2%	Fly Ash 4%	Fly Ash 6%
	Panjang Total (mm)	800	330.70	314.40
Lebar Total (mm)	80	77.16	57.80	77.25
Tebal total (mm)	18	19.45	19.15	20.50



Gambar 6. Perbandingan Panjang Hasil Uji Fluiditas



Gambar 7 Perbandingan Lebar Hasil Uji Fluiditas



Gambar 8. Perbandingan Tebal Hasil Uji Fluiditas

Pada gambar 5 dan gambar 6 diperoleh informasi bahwa ukuran panjang dan lebar total dari hasil pengecoran berbagai variasi cetakan mengalami penyusutan. Sedangkan sesuai gambar 8 menunjukkan bahwa ukuran tebal total dari hasil coran melebihi pola cetakan. Oleh karena itu berdasarkan data yang diperoleh dari tabel dan grafik tersebut fluiditas hasil pengecoran dari semua variasi cetakan dalam penelitian ini menunjukkan tidak ada hasil pengecoran yang sesuai dengan pola yang telah dibuat.

Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan penyusutan terjadi pada pola hasil uji Fluiditas. Menurut Tata Surdia (2000:11) “aliran logam cair dipengaruhi terutama oleh kekentalan logam cair dan kekasaran permukaan cetakan”. Semakin rendah temperatur penuangan membuat tingkat kekentalan logam naik sehingga lelehan logam sulit mengalir melalui pola. Naiknya kekentalan logam juga menjadi penyebab terjadinya sumbat dingin dan salah alir pada hasil uji fluiditas. Sumbat dingin menyebabkan lelehan logam tidak dapat mengalir dengan sempurna karena tertutup oleh sumbatan dari lelehan logam yang terlebih dulu mengalami pendinginan.

Faktor lain yang menjadi penyebab penyusutan pada hasil uji fluiditas dalam penelitian ini adalah ketebalan pola yang dibuat. Pada metode *Birmingham* ketebalan

pola berbeda-beda meskipun panjangnya sama. Menurut John Campbell & Richard A. H. (1994:13) “*clearly they all extrapolate backwards to a critical thickness 0.63 mm which just will not fill*”. Berdasarkan pendapat tersebut dapat diartikan bahwa lelehan logam dapat mengalir pada pola dengan ketebalan minimal 0,63 mm. Semakin tipis pola membuat pola tersebut semakin sulit dialiri oleh lelehan logam.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Nilai permeabilitas menunjukkan kemampuan cetakan untuk melepaskan gas-gas yang terjebak di dalam cetakan sewaktu proses pengecoran berlangsung. Semakin tinggi nilai permeabilitas maka kemampuan cetakan melepaskan gas juga semakin baik. Nilai permeabilitas pada penambahan bentonit 5% dan *fly ash* 4% merupakan yang terendah dari dua perlakuan lain. Hal ini disebabkan karena kadar bentonit dan *fly ash* lebih seimbang sehingga pengisian celah antar butir pasir dilakukan oleh partikel kedua cetakan tersebut.

Nilai kekuatan tekan menunjukkan kemampuan cetakan untuk menahan aliran lelehan logam agar tidak terjadi kerontokan. Semakin tinggi nilai kekuatan tekan maka kemampuan cetakan menahan aliran lelehan logam juga semakin baik. Nilai kekuatan tekan pada penambahan bentonit 7% dan *fly ash* 2% merupakan yang tertinggi dari dua perlakuan lain. Selain itu nilai kekuatan tekan pada penelitian ini memiliki kecenderungan semakin menurun seiring penambahan *fly ash*. Hal ini disebabkan karena kandungan *CaO* pada rerata lebih seimbang untuk kesempurnaan reaksi *pozzolanik* dan menghasilkan *cementing agent* dalam

jumlah yang cukup dibandingkan dua perlakuan lain.

Nilai fluiditas menunjukkan lelehan logam yang mengalir mengikuti pola yang telah dibuat. Semakin sesuai hasil coran dengan pola maka fluiditasnya juga semakin baik. Ukuran total fluiditas dari masing-masing cetakan tidak sesuai pola yang menunjukkan bahwa fluiditas hasil coran rendah. Ukuran panjang dan lebar total hasil coran mengalami penyusutan dan ukuran tebal total hasil coran melebihi ukuran pola. Hal ini disebabkan karena temperatur penuangan yang terlalu rendah sehingga berpengaruh pada kekentalan logam, salah alir, dan sumbat dingin cairan.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, campuran pengikat cetakan yang memenuhi karakteristik cetakan ideal sesuai modul Program PPG Teknik Mesin Teknik Pengecoran Logam dari sisi permeabilitas ( $50-170 \text{ cm}^3/\text{menit}$ ) dan dari sisi kekuatan tekan ( $0-1,0 \text{ kg/cm}^2$ ) adalah cetakan dengan komposisi campuran pengikat dengan penambahan bentonit 5% dan *fly ash* 4%. Sedangkan untuk fluiditas cetakan pasir pada penambahan bentonit 5% dan *fly ash* 4% mengalami penyusutan yang dapat diatasi dengan memperhatikan faktor-faktor penentu fluiditas cetakan yaitu kemampuan operator dalam membuat cetakan, karakteristik logam yang dituang dan temperatur penuangan. Selain itu terdapat beberapa parameter tambahan cetakan pasir yang harus diperhatikan agar cetakan ideal antara lain bentuk, ukuran dan distribusi besar butir pasir.

### Saran

Terdapat beberapa saran yang dapat digunakan sebagai tindak lanjut dari kesimpulan yang telah dijabarkan di atas. Saran

pertama diberikan kepada Akademisi (a) perlu adanya penelitian lanjutan mengenai pasangan variasi yang cocok antara jenis *fly ash* dan jenis bentonit agar menghasilkan permeabilitas dan kekuatan tekan yang ideal bagi cetakan pasir dengan memperhatikan bentuk butir, ukuran butir dan distribusi besar butir pasir, (b) perlu adanya penelitian lanjutan mengenai penggunaan *fly ash* sebagai campuran pengikat cetakan pasir kering (*dry sand mold*) dengan memperhatikan bentuk butir, ukuran butir dan distribusi besar butir pasir yang selanjutnya dapat dibandingkan hasil penelitian tersebut dengan penelitian ini, (c) perlu adanya penelitian lanjutan mengenai penyesuaian antara karakteristik cetakan dengan karakteristik logam yang digunakan untuk pengecoran agar menghasilkan fluiditas yang baik dengan memperhatikan bentuk butir, ukuran butir dan distribusi besar butir pasir.

Saran kedua diberikan kepada praktisi ilmu logam yang ingin menggunakan fly ash

sebagai tambahan pengikat cetakan pasir antara lain (a) penambahan *fly ash* sebagai campuran pengikat cetakan pasir diatur kadarnya seimbang dengan bentonit agar menghasilkan permeabilitas ideal ( $50 - 170 \text{ cm}^3/\text{menit}$ ), (b) penambahan *fly ash* sebagai campuran pengikat cetakan pasir dapat meningkatkan kekuatan tekan tetapi seiring dengan penambahan *fly ash*, kekuatan tekan yang dihasilkan semakin menurun. Penambahan kadar *fly ash*  $< 2\%$  akan menaikkan kekuatan tekan cetakan pasir. Penambahan *fly ash* masih diijinkan selama penurunan kekuatan tekan tidak kurang dari standar kekuatan tekan ideal ( $0 - 1,0 \text{ kg/cm}^2$ ), (c) pada proses pengecoran, terdapat dua hal yang perlu diperhatikan. *Pertama*, keahlian operator pengecoran logam dalam membuat cetakan. *Kedua*, saat penuangan lelehan logam kedalam cetakan perlu diperhatikan temperatur logam untuk memperkecil kemungkinan lelehan logam mengalami sumbat dingin.

## DAFTAR RUJUKAN

- Campbell, John & Harding, Richard A. 1994. *The Fluidity of Molten Metals*, (Online), (<http://core.materials.ac.uk/repository/eaa/talat/3205.pdf>), diakses 12 Mei 2016
- Hartono, Dwi., Budi H., & Herman S. 2012. Pengaruh Variasi Jenis Bentonit Terhadap Tingkat Permeabilitas Dan Kekuatan Tekan Pada Cetakan Pasir Green Sand. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Mesin*, 1 (2). (Online), (<http://www.jurnal.fkip.uns.ac.id>), diakses 28 Maret 2015.
- Heine, Richard W., dkk. 1990. *Principles of Metal Casting*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd.
- Naswir, Muhammad., dkk. 2013. Characterization of Bentonite by XRD and SEM-EDS and Use to Increase PH and Color Removal, Fe and Organic Substances in Peat Water. *Journal of Clean Energy Technologies*, 1 (4), (Online), (<http://www.sciencepublishinggroup.com/j/sjc>), diakses 16 April 2015.
- Surdia, Tata. 2000. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Sutiyoko & Effendi, Muh. Lukman. 2012. Studi Kasus Komposisi Pasir Cetak Green Sand terhadap Kekasaran Permukaan Benda Cor. *Jurnal Foundry*, 2 (1): 9-13. (Online), (<http://www.jurnal.fkip.uns.ac.id>), diakses 28 Maret 2015.



- Tjitro, Soejono & Hendri. 2009. *Pengaruh Fly Ash Terhadap Kekuatan Tekan dan Kekerasan Cetakan Pasir*. Artikel yang disajikan dalam seminar nasional teknik mesin 4, Surabaya, 30 Juni.
- Umardani, Yusuf & Sudrajat, Erwin. 2007. *Analisa Penggunaan Fly Ash Sebagai Material Dasar Pengganti Cetakan Pasir pada Pengecoran Besi Cor ditinjau dari Komposisi Campuran Cetakan*. *Jurnal Rotasi*, 9 (3). (online), (<http://www.jurnal.undip.ac.id>), diakses 16 April 2015.
- Universitas Negeri Malang. 2010. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah: Skripsi, Tesis, Disertasi, Artikel, Makalah, Tugas Akhir, Laporan Penelitian*. Edisi Kelima. Malang: Universitas Negeri Malang.



