

# Analisa Proses Perpindahan Panas pada Pengecoran Paduan Al-12%Si dengan Metode Elemen Hingga

Muhammad Bahtiyar Firdaus, Mas Irfan P. Hidayat, Dian Mughni Fellicia  
Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
*e-mail: irfan@mat-eng.its.ac.id*

**Abstrak**—Piston merupakan salah satu komponen yang sangat penting bagi sebuah kendaraan. Di dalam sebuah industri, pembuatan piston dilakukan dengan cara pengecoran atau casting. Dalam proses pengecoran terdapat banyak fenomena umum yang tidak dapat dikontrol secara langsung seperti distribusi temperatur, tegangan termal, penyusutan serta deformasi cetakan. Oleh karena itu digunakan ANSYS Mechanical APDL yang berbasis metode elemen hingga untuk memprediksi fenomena dalam proses pengecoran. Digunakan pasir silika sebagai cetakan pasir dan SS304 sebagai permanent mold. Bahan *coran* yang digunakan adalah AL-12%Si. Ukuran piston Ninja 250R dijadikan referensi pada simulasi ini dimana memiliki dimensi bore dan stroke sebesar 62 mm dan 41.2 mm. Di dalam penelitian ini didapatkan pola distribusi temperatur serta tegangan termal dan juga *shrinkage* yang terjadi selama proses pengecoran dari kedua cetakan tersebut. Didapatkan nilai tegangan termal maksimum serta *shrinkage* sebesar  $3.89E+09$  Pa dan  $31135.5$  mm<sup>3</sup> pada keseluruhan cetakan SS304 sedangkan pada keseluruhan cetakan pasir adalah  $2.35E+08$  Pa dan  $600$  mm<sup>3</sup>. Untuk bagian *coran* nilai tegangan termal maksimum dan *shrinkage* pada cetakan SS304 adalah  $65228892.2$  Pa dengan *shrinkage* sebesar  $6.9457$  mm<sup>3</sup> dan pada cetakan pasir sebesar  $258718.871$  Pa dan  $0.0245$  mm<sup>3</sup>.

**Kata Kunci**—Al-12%Si, analisa elemen hingga, distribusi temperatur, pengecoran, *shrinkage*, tegangan termal

## I. PENDAHULUAN

TERDAPAT beberapa kesulitan untuk mengontrol hasil pengecoran pada piston karena sangat bergantung pada karakteristik lelehan logam yang sangat berhubungan dengan sifat-sifat termal serta struktur dari logam dan paduan yang digunakan. Dan juga banyak faktor lain seperti kelarutan gas, material dan bentuk dari cetakan (*mold*) itu sendiri yang akan berpengaruh pada munculnya fenomena-fenomena yang terjadi di dalam pengecoran [1].

Salah satu fenomena yang terjadi di dalam pengecoran adalah tegangan termal yang merupakan tegangan yang berada di dalam suatu benda sebagai akibat dari perubahan temperatur. Tegangan termal ini dapat menyebabkan patahan serta deformasi plastis di dalam suatu benda. Dimisalkan saja suatu batang solid yang homogen serta isotropi, ketika dipanaskan ataupun didinginkan maka panas yang terjadi akan merata ke seluruh bidang sehingga tidak terjadi gradien temperatur [2].

Kemudian fenomena lainnya di dalam proses pengecoran adalah *shrinkage* yang muncul selama proses solidifikasi

dikarenakan perbedaan volumetrik antara fasa *solid* dengan *liquid*. Di dalam paduan aluminium, *shrinkage* yang muncul selama proses solidifikasi memiliki rentang sekitar 3.5 sampai 8.5%. Kecenderungan untuk terbentuknya *shrinkage* berhubungan dengan fraksi volume pada akhir solidifikasi dan rentang temperatur solidifikasi dari paduan itu sendiri [3].

Dengan banyaknya fenomena yang terjadi di dalam pengecoran, maka diperlukan sebuah pemodelan untuk menganalisa fenomena yang terjadi di dalam pengecoran. Software yang berbasis metode elemen hingga dapat meneliti fenomena yang ada selama pengecoran. Seperti Pariona dkk yang meneliti tentang simulasi numerik perpindahan panas selama solidifikasi dari besi murni dengan cetakan berbahan pasir serta berbahan *mullite* [4]. Kemudian Sunanda dkk yang melakukan penelitian tentang analisa desain dari pengecoran besi murni dengan bahan cetakan yang berbeda yaitu cetakan berbahan pasir silika, berbahan *mullite* dan cetakan berbahan komposit pasir silika dengan *mullite* [1].

Untuk menyempurnakan penelitian di atas maka dilakukan penelitian lanjutan yang bertujuan untuk membandingkan dua jenis cetakan pengecoran dengan bahan SS304 serta pasir silika. Kemudian menganalisa fenomena yang ada seperti distribusi temperatur, tegangan termal serta *shrinkage* yang terjadi selama proses pengecoran yang berhubungan dengan ketahanan cetakan serta hasil dari pengecoran itu sendiri dengan pemodelan secara 3 dimensi.

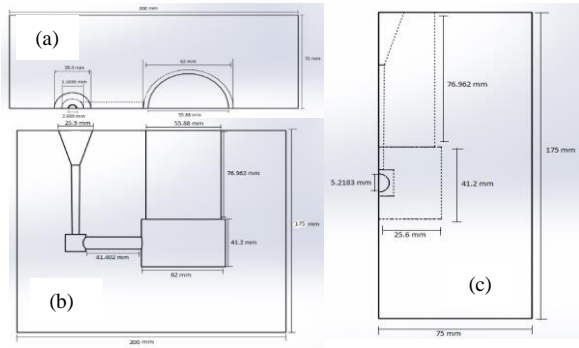
## II. METODE PENELITIAN

Al-12%Si digunakan sebagai material *coran* dikarenakan paduan Al-Si ini memiliki sifat mampu cor dan mampu alir yang sangat baik, mempunyai permukaan yang bagus, memiliki ketahanan korosi yang baik, berat jenisnya ringan, serta pada titik eutektik 850K, paduan Al-12%Si memiliki titik cair yang rendah sehingga cocok untuk dijadikan sebagai paduan tuang [5].

Kemudian untuk jenis cetakan dibedakan menjadi dua jenis yaitu cetakan SS304 yang berbahan SS304 serta cetakan pasir dengan bahan pasir silika.

Digunakan satu buah geometri yaitu gabungan antara material *coran* dengan cetakan. Untuk material *coran* sendiri mengacu pada dimensi dari piston sepeda motor Ninja 250R dengan panjang piston 6,2 cm dan lebar sebesar 41,2 cm [6] yang dibuat dengan aplikasi *SolidWorks* 2014 x64 Edition yang kemudian dimasukkan ke dalam ANSYS Mechanical APDL

17.0 menggunakan format parasolid. Gambar geometri dapat dilihat pada gambar 1.

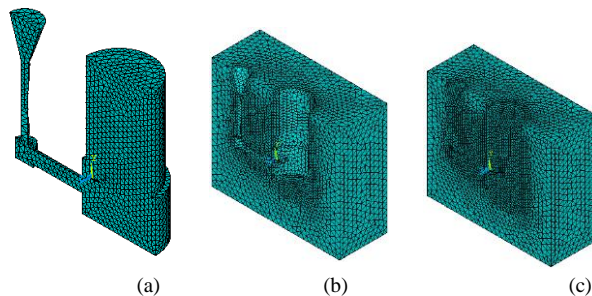


Gambar 1. Geometri Cetakan dan Material *Coran* (a) tampak depan (b) tampak atas (c) tampak samping

Tipe elemen yang digunakan pada penelitian ini adalah SOLID278 (brick 8node 278) untuk analisa termal dikarenakan tipe elemen ini memiliki kapabilitas di dalam konduksi termal tiga dimensi. Elemen ini memiliki 8 nodal dengan 1 buah derajat kebebasan dan temperatur setiap nodal.

Kemudian untuk menganalisa struktural, digunakan elemen SOLID227 dikarenakan elemen ini dapat digunakan dalam analisa *couple-field* dari termal ke struktural. Elemen ini memiliki 8 nodal dengan 7 derajat kebebasan.

Setelah menentukan elemen, langkah selanjutnya adalah melakukan *meshing* dengan ukuran 0.004 untuk material *coran* serta ukuran 0.008 untuk material cetakan.



Gambar 2. a. *Meshing* dari Material *Coran* Al-12%Si b. *Meshing* dari Material Cetakan (Cetakan Pasir & SS304) c. *Meshing* Gabungan Antara Cetakan dengan Al-12%Si

Hasil dari *meshing* dapat dilihat pada gambar 2 dimana pada gambar a menunjukkan *meshing* dari material *coran* Al-12%Si, b menunjukkan *meshing* dari cetakan dan c menunjukkan gabungan *meshing* dari material *coran* dengan cetakannya.

*Boundary condition* yang digunakan dalam penelitian ini adalah konveksi yang diletakkan pada bagian luar cetakan dimana akan berpengaruh kepada distribusi temperatur. Kemudian dianggap tidak ada inklusi benda asing di dalam rongga cetak, material cetakan serta material *coran* dianggap homogen, bagian dasar cetakan dianggap menyentuh tanah sehingga tidak terjadi konveksi serta pengamatan berfokus pada fenomena yang terjadi pada *riser* dan rongga cetak.

Kemudian, pembebanan dilakukan ke dalam geometri yang telah di-*meshing*. Dengan pengaturan seperti pada tabel 1.

Tabel 1.  
Pengaturan pada pengecoran

Total Waktu Simulasi	5400 detik atau 1.5 jam
<i>Time Step</i>	60 detik
Temperatur awal <i>coran</i>	963K
Temperatur awal cetakan	303K
Nilai konveksi	11.45 W/m <sup>2</sup> K

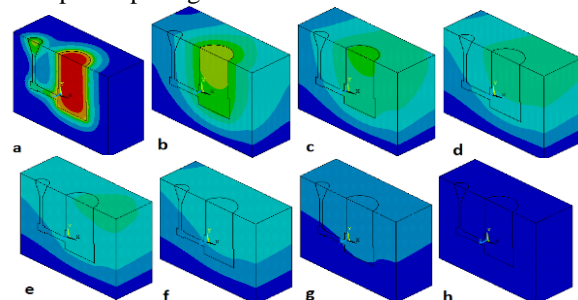
Waktu pendinginan yang ditentukan adalah 1.5 jam atau 5400 detik dengan *time step* per 60 detik yang berarti ANSYS akan mencatat hasil analisa setiap 60 detik. Temperatur awal *coran* ditentukan sebesar 963K sesuai dengan penelitian yang dilakukan Xin-Ping pada tahun 2011 yang meneliti tentang efek dari *selftempering* di dekat titik eutektik Al-Si dengan ketebalan dinding berbeda di dalam cetakan permanen. Dan untuk nilai konveksi diambil dari penelitian yang dilakukan oleh Pariona pada tahun 2005. Temperatur awal ditentukan sebesar 303K yang merupakan temperatur kamar.

Temperatur sebesar 963K diaplikasikan ke dalam geometri *coran*. Dan temperatur sebesar 303K diaplikasikan ke dalam cetakan.

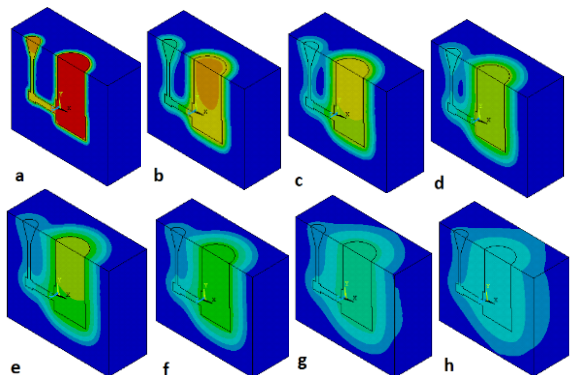
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Distribusi Temperatur

Model yang ditampilkan pada penelitian ini merupakan setengah cetakan agar mempermudah proses analisa fenomena yang terjadi selama pengecoran. Hasil dari distribusi temperatur pada cetakan SS304 ditampilkan pada gambar 3. Sedangkan untuk hasil dari distribusi temperatur pada cetakan pasir ditampilkan pada gambar 4.



Gambar 3. Distribusi Temperatur Cetakan SS304 pada (a) 60 detik (b) 360 detik (c) 660 detik (d) 960 detik (e) 1260 detik (f) 1800 detik (g) 3600 detik (h) 5400 detik

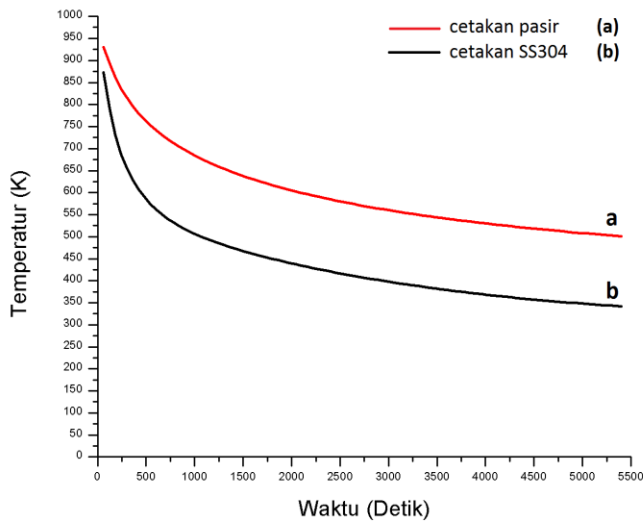


Gambar 4. Distribusi Temperatur Cetakan Pasir pada (a) 60 detik (b) 360 detik (c) 660 detik (d) 960 detik (e) 1260 detik (f) 1800 detik (g) 3600 detik (h) 5400 detik

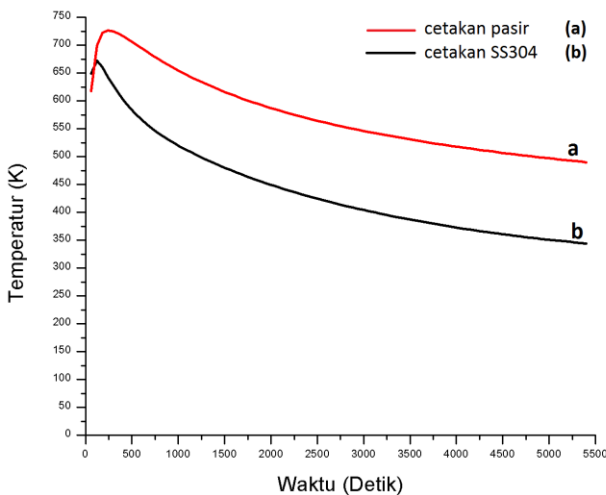
Dapat dilihat bahwa temperatur akan lebih mudah menyebar pada cetakan SS304. Perbedaan distribusi temperatur yang signifikan ini disebabkan oleh sifat dari material cetakan. Cetakan SS304 memiliki konduktifitas termal yang lebih tinggi, oleh karena itu cetakan SS304 memiliki kemampuan yang lebih baik untuk menyebarkan panas sehingga panas dari *coran* dapat dengan cepat menyebar ke dalam cetakan sebelum semuanya akan keluar menuju lingkungan sehingga dapat disimpulkan bahwa kecepatan pendinginan dari pengecoran dengan cetakan SS304 lebih besar daripada cetakan pasir.

Hal lain yang menyebabkan perbedaan distribusi temperatur ini adalah kapasitas panas dari cetakan. Diketahui bahwa kapasitas panas spesifik dari cetakan pasir jauh lebih besar dari cetakan SS304 yang menyebabkan peningkatan temperatur pada cetakan pasir relatif kecil. Dan juga cetakan pasir akan lebih sulit untuk menyerap panas dari *coran*.

Kemudian untuk melihat proses pendinginan pada *coran* diambil satu titik di dalam bagian *coran* baik pada cetakan SS304 serta cetakan pasir yang kemudian dibuat kurva yang dapat dilihat pada gambar 5 dan gambar 6.



Gambar 5. Kurva perbandingan penurunan temperatur di dalam *coran* selama pendinginan pada cetakan SS304 serta cetakan pasir



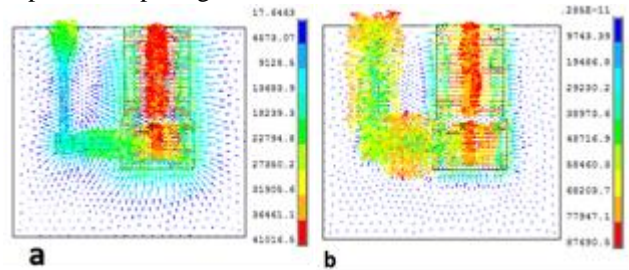
Gambar 6. Kurva perbandingan penurunan temperatur di dalam cetakan selama pendinginan pada cetakan SS304 serta cetakan pasir

Pada gambar tersebut diketahui bahwa kemiringan atau gradien kurva pendinginan dari cetakan pasir lebih landai dibandingkan cetakan SS304 yang berarti pendinginan pada cetakan pasir lebih lambat dibandingkan dengan cetakan SS304.

Yang menarik di sini adalah kurva pada daerah cetakan dimana bahwa temperatur dari cetakan naik sampai waktu dan temperatur tertentu yang disebabkan perambatan panas dari material *coran*. Suatu cetakan masih akan mengalami pertambahan panas apabila masih ada panas berlebih dari *coran*. Kemudian akan mulai turun ketika temperatur antara *coran* dengan cetakan sama yang kemudian temperatur turun setelah tidak ada input panas dari *coran* dimana pada saat itu panas yang berada di dalam cetakan akan disebar ke luar lingkungan.

**B. Gradien Temperatur**

Gradien temperatur adalah rentang perubahan temperatur di dalam suatu sistem. Di dalam simulasi ini, gradien temperatur yang terbentuk menggambarkan arah mulainya pendinginan dan dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Gradien temperatur pada (a) dengan cetakan SS304 (b) dengan cetakan pasir pada detik ke 60

Dapat diketahui bahwa arah gradien temperatur mengarah ke atas menuju material *coran* yang berarti arah pendinginan juga menuju material *coran* sama seperti yang telah kita bahas pada distribusi temperatur.

**C. Tegangan Termal**

Tegangan termal merupakan tegangan yang terjadi dikarenakan perubahan temperatur di dalam suatu material. Tegangan ini dipengaruhi oleh beberapa sifat material yaitu modulus elastisitas suatu material, koefisien ekspansi termal serta perbedaan temperatur pada suatu material [2].

Nilai tegangan termal yang didapat pada pemodelan ini ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Nilai Tegangan Termal antara Cetakan SS304 dengan Cetakan Pasir di Berbagai Waktu

Waktu (Detik)	Jenis Cetakan			
	SS304	Pasir	Coran SS304	Coran Pasir
60	2.28E+09 Pa	1.2E+08 Pa	19922796.3 Pa	39317.8775Pa
960	3.38E+09 Pa	1.79E+08 Pa	83539696.3Pa	71006.3619Pa
1860	3.54E+09 Pa	1.99E+08 Pa	75799079.5 Pa	105314.74 Pa
2760	3.66E+09 Pa	2.12E+08 Pa	70636066.7Pa	144057.54 Pa
3660	3.76E+09 Pa	2.21E+08 Pa	67639227 Pa	183336.46 Pa
4560	3.84E+09 Pa	2.29E+08 Pa	66012923.5 Pa	222457.658Pa
5400	3.89E+09 Pa	2.35E+08 Pa	65228892.2Pa	258718.871Pa

Dapat disimpulkan bahwa nilai dari tegangan termal pada cetakan SS304 lebih tinggi daripada cetakan pasir.

**D. Shrinkage**

*Shrinkage* merupakan penyusutan volume di selama proses pengecoran. Hal ini menyebabkan volume dari suatu benda akan menyusut setelah dilakukan pendinginan sehingga benda yang dihasilkan tidak sesuai dimensinya dengan yang diharapkan [8].

Setelah dilakukan simulasi, baik material *coran* dengan cetakan mengalami deformasi yaitu berupa penyusutan. Hal ini mengakibatkan volume dari cetakan maupun *coran* menjadi berkurang. Hal ini disebabkan oleh tegangan termal yang ada di dalam suatu proses pengecoran yang telah kita bahas sebelumnya. Karena tegangan termal tersebut, akan terjadi *shrinkage* di dalam *coran*.

Untuk menghitung *shrinkage* yang terjadi selama simulasi, maka dicari terlebih dahulu nilai deformasi pada setiap sumbu. Kemudian geometri awal dikurangi dengan deformasi yang ada sesuai sumbunya. Setelah itu dilanjutkan dengan menghitung volume akhir dari geometri tersebut. Dengan mengurangi volume awal dengan volume akhir yang telah dihitung tadi. Sehingga nilai *shrinkage* yang telah dihitung dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3.

*Shrinkage* maksimum yang terjadi selama proses pengecoran

Material	<i>Shrinkage</i> yang terjadi (mm <sup>3</sup> )
Keseluruhan cetakan SS304	31135.5 mm <sup>3</sup>
Keseluruhan cetakan pasir	600 mm <sup>3</sup>
<i>Coran</i> pada cetakan SS304	6.9457 mm <sup>3</sup>
<i>Coran</i> pada cetakan pasir	0.0245 mm <sup>3</sup>

**E. Massa Jenis**

Untuk membuktikan adanya penyusutan juga dapat dilakukan dengan membandingkan massa jenis dengan volumenya. Selama pengecoran massa dari material *coran* dianggap tetap. Kemudian seiring dengan berjalannya waktu yaitu proses pendinginan, maka volume akan menyusut. Diketahui bahwa massa jenis adalah massa per volume. Sehingga secara teori apabila volume semakin menyusut maka massa jenis akan naik dikarenakan massa yang tetap. Massa di dalam *coran* didapat dengan merata-rata massa jenis yang telah diperoleh kemudian mengalikannya dengan volume *coran* yang ada. Massa yang didapat dijadikan sebagai patokan di dalam penelitian ini. Di dalam penelitian ini, massa Al-12%Si yang didapat sebesar 0.84 kg.

Berikut dapat dilihat pada tabel 4 beberapa data yang diperoleh selama simulasi pengecoran ini yang dibagi setiap 1080 detik agar dapat melihat *shrinkage* yang terjadi secara merata.

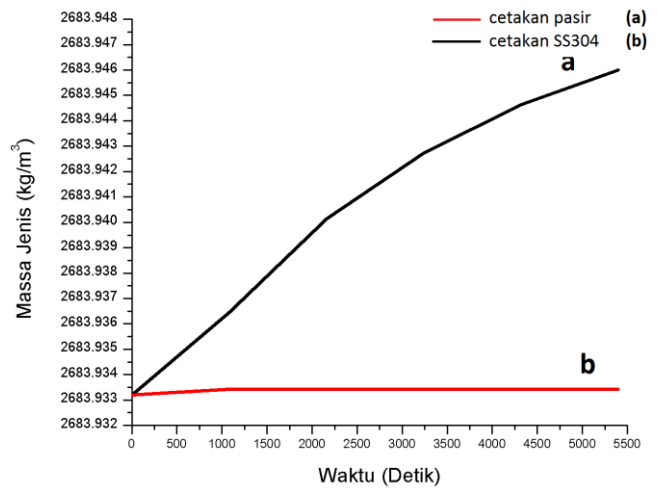
Tabel 4.

Volume Material *Coran* pada Berbagai Waktu

Waktu (detik)	Volume Akhir (mm <sup>3</sup> )	
	Cetakan SS304	Cetakan Pasir
0	312973.5112	312973.5112
1080	312973.1331	312973.4867
2160	312972.7017	312973.4867

3240	312972.4015	312973.4867
4320	312972.1798	312973.4867
5400	312972.0199	312973.4867

Kemudian dibuat kurva seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Kurva Kenaikan Massa Jenis pada *Coran*

Dapat dilihat pada tabel beserta kurva tersebut, bahwa penyusutan volume di dalam *coran* pada cetakan SS304 semakin besar sesuai dengan bertambahnya waktu. Hal ini juga dialami oleh *coran* pada cetakan pasir. Namun, selisih penyusutan tiap waktu pada cetakan pasir sangatlah sedikit. Sehingga penyusutan tidak dapat dilihat di dalam kurva maupun tabel.

Dapat dilihat juga nilai penyusutan volume di dalam *coran* pada cetakan SS304 lebih tinggi dibandingkan dengan cetakan pasir. Hal ini berarti pada cetakan SS304 *shrinkage* yang terjadi lebih besar jika dibandingkan dengan *shrinkage* yang terjadi pada *coran* dengan cetakan pasir.

**F. Kualitas Cetakan**

Kualitas suatu cetakan sendiri tidak jauh dari efisiensi cetakan yang ada. Untuk melihat efisiensi serta kualitas dari suatu cetakan dapat menggunakan yield. Di dalam proses pengecoran, yield merupakan presentase dari massa atau volume *coran* yang baik dari semua logam yang dimasukkan. Dengan nilai yield yang tinggi maka logam yang harus dicairkan kembali akan lebih sedikit sehingga biaya untuk sebuah pengecoran menjadi lebih sedikit.

Berikut adalah formula untuk mencari nilai dari kualitas cetakan yang dapat dilihat dalam tabel 5.

Tabel 5.

Formula Kualitas Cetakan Pengecoran [7][8]

Jenis	Formula
<i>Quality</i>	$\frac{\text{volume coran yang bebas dari shrinkage}}{\text{volume cetakan}}$
<i>Feeding Yield</i>	$\frac{\text{volume riser} + \text{volume riser}}{\text{volume shrinkage}}$
<i>Feeding Efficiency</i>	$\text{volume riser}$

<i>Gating Yield</i>	$\frac{\text{berat cetakan}}{\text{berat cetakan} + \text{berat gating}}$
<i>Casting Yield</i>	$\frac{\text{Berat Cetakan}}{\text{Berat Cetakan} + \text{Berat Riser} + \text{Berat Gating}}$

Kemudian, sesuai dengan cetakan di dalam simulasi ini didapatkan nilai seperti ditampilkan pada tabel 6.

Tabel 6.  
Formula Kualitas Cetakan Pengecoran

Variabel	Jenis Cetakan	
	SS304	Cetakan Pasir
<i>Quality</i>	99.9%	99.9%
<i>Casting Yield</i>	39.6%	39.6%
<i>Gating Yield</i>	99%	99%
<i>Feeding Efficiency</i>	16.5%	0.3%
<i>Feeding Yield</i>	39.7%	39.7%

Dapat dilihat bahwa kualitas dari hasil *coran* baik pada cetakan pasir serta cetakan SS304 sebesar 99.9%. Hal ini dapat diartikan bahwa cetakan tersebut memiliki kualitas yang sangat bagus, namun bukan berarti cetakan ini memiliki nilai efisiensi yang tinggi.

Dapat dikatakan bahwa daerah *feeding* serta daerah *casting* masih perlu dioptimisasi supaya lebih efisien dikarenakan nilai dari *casting yield* serta *feeding yield* yang masih rendah. Namun untuk *gating yield*, nilainya telah mencapai 99% yang berarti *gating system* yang ada sudah bagus.

Kemudian *feeding* efisiensi dari cetakan SS304 masih berkisar 16.5% dan untuk cetakan pasir sebesar 0.3%. Hal ini berarti *riser* yang ada hanya dapat mengisi sebesar 16.5% kekosongan yang disebabkan oleh *shrinkage* pada cetakan SS304 serta mengisi 0.3% kekosongan yang disebabkan oleh *shrinkage* pada cetakan pasir.

### G. Perbandingan Data

Setelah melihat data di atas, kita dapat membandingkan bagaimana hasil dari pengecoran dengan cetakan SS304 serta cetakan pasir yang ditampilkan pada tabel 7.

Tabel 7.  
Perbandingan Data

Jenis Cetakan	Keseluruhan Cetakan		Bagian <i>Coran</i>	
	<i>Shrinkage</i>	Tegangan Termal Maksimum	<i>Shrinkage</i>	Tegangan Termal Maksimum
SS304	31135.5 mm <sup>3</sup>	3.89E+09 Pa	6.9457 mm <sup>3</sup>	65228892.2 Pa
Pasir	600 mm <sup>3</sup>	2.35E+08 Pa	0.0245 mm <sup>3</sup>	258718.871 Pa

Dari data di atas, dapat diketahui kekurangan dan kelebihan masing-masing cetakan. Cetakan SS304 memiliki kelebihan proses pendinginan yang lebih cepat dibandingkan cetakan pasir. Namun, cetakan SS304 ini memiliki kekurangan yaitu memiliki tegangan termal serta *shrinkage* yang lebih besar daripada cetakan pasir. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa cetakan pasir lebih cocok untuk mendapatkan hasil *coran* yang lebih bagus. Namun, apabila menginginkan

kecepatan pendinginan yang cepat dapat digunakan cetakan SS304 sebagai pilihannya.

## IV. KESIMPULAN

Dapat disimpulkan bahwa pada cetakan SS304, temperatur lebih cepat menyebar daripada cetakan pasir. Sehingga menyebabkan pendinginan di dalam cetakan SS304 berlangsung lebih cepat. Pada daerah *coran* dengan cetakan SS304 didapatkan bahwa pada rentang 60 detik sampai 1260 detik terjadi penurunan temperatur dari 873K menjadi 484K sedangkan pada cetakan pasir sebesar 929K menjadi 658K. Tegangan termal di dalam cetakan SS304 juga lebih besar daripada cetakan pasir dengan nilai 3.89E+09 Pa. Lebih besar daripada cetakan pasir yang sebesar 2.35E+08 Pa sehingga dapat disimpulkan bahwa distribusi temperatur sangat berpengaruh terhadap tegangan termal. Dengan kecepatan penyebaran yang tinggi maka tegangan termal juga semakin tinggi. Semakin tingginya tegangan termal maka *shrinkage* yang terjadi akan semakin besar. Dan untuk itu cetakan pasir lebih cocok dibandingkan cetakan SS304 dikarenakan *shrinkage* yang terjadi lebih kecil jika dibandingkan dengan cetakan SS304 sehingga dapat menghasilkan ceoran yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Das, Sunanda, dan Rakesh L. Himte. 2013. "Design & Analysis of Pure Iron Casting with Different Moulds". International Journal of Modern Engineering Research (IJMER) 3, 5: 2875-2887.
- [2] Callister, William D., David G. Rethwisch. 2009. Materials Science and Engineering an Introduction Eight Edition. US: John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Campbell, John. 2003. The New Metallurgy of Cast Metals Castings Second Edition. UK: University of Birmingham.
- [4] Pariona, M. M., dan A. C. Mossi. 2005. "Numerical Simulation of Heat Transfer During the Solidification of Pure Iron in Sand and Mullite Molds". J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng 27, 4:399-406.
- [5] Zamani, Mohammadreza. 2015. "Al-Si Cast Alloys -Microstructure and Mechanical Properties at Ambient and Elevated Temperature". Jönköping : School of Engineering, Jönköping University Department of Materials and Manufacturing.
- [6] www.kawasaki.ca/12ninja250r
- [7] Choudari. 2014. "Methoding and Simulation of LM 6 Sand Casting for Defect Minimization with its Experimental Validation". 12th Global Congress on Manufacturing and Management 97:1145 – 1154.
- [8] Nimbalkar, Sachin L, Rajendra S Dalu. 2016. "Design optimization of gating and feedingsystem through simulation technique for sand casting of wear plate". Perspectives in Science. Pp 44.