

# Pengaruh permeabilitas dan temperatur tuang terhadap kekuatan impak dan struktur mikro hasil coran aluminium silikon (Al-7%Si)

Kadek Indra Adhi Y, I Ketut Gede Sugita, A A I A S Komaladewi

Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Aluminium adalah logam yang luas penggunaannya di bidang industri. Sifat ringan, tahan korosi, dan penghantar panas yang baik menyebabkan aluminium dipilih menjadi salah satu material untuk membuat sebuah komponen mesin seperti velg, piston, dan komponen mesin lainnya. Tingginya angka penggunaan aluminium di industri manufaktur tidak terlepas dari teknologi pengecoran. Hasil coran aluminium masih banyak yang mengalami kerusakan salah satu penyebabnya adalah permeabilitas dan kekuatan cetak yang kurang baik. Penelitian ini diharapkan mampu mengetahui kemampuan produk coran terhadap beban impak dari berbagai temperatur yang diukur dan diharapkan dapat meningkatkan produktifitas hasil coran. Penelitian ini diharapkan mampu mengetahui kemampuan produk pengecoran terhadap beban impak dari berbagai temperatur yang diukur dan diharapkan dapat meningkatkan produktifitas hasil coran. Penelitian ini menggunakan variasi nilai permeabilitas yaitu  $22.29\text{cm}^3/\text{min}$ ,  $27.06\text{cm}^3/\text{min}$ , dan  $31.62\text{cm}^3/\text{min}$ , dan menggunakan variasi temperatur tuang yaitu  $680^\circ\text{C}$ ,  $730^\circ\text{C}$  dan  $780^\circ\text{C}$ . Penelitian ini dilakukan dengan cara mengamati pengaruh permeabilitas dan temperatur tuang terhadap kekuatan impak yang akan dilakukan dengan pengujian impak dan pengamatan struktur mikro dan struktur makro pada hasil pengecoran aluminium silikon dengan menggunakan alat uji mikroskop optik dan alat uji SEM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai permeabilitas dan semakin rendah temperatur penuangan maka semakin besar nilai kekuatan impak yang terjadi demikian sebaliknya. Hasil pengujian impak menunjukkan bahwa nilai kekuatan impak tertinggi diperoleh pada temperatur tuang  $680^\circ\text{C}$  dengan nilai permeabilitas  $31.62\text{cm}^3/\text{min}$  yaitu  $0.048736\text{ Nm/mm}^2$  dan nilai kekuatan impak terendah diperoleh pada temperatur tuang  $780^\circ\text{C}$  dengan nilai permeabilitas  $22.29\text{cm}^3/\text{min}$  yaitu  $0.03813\text{ Nm/mm}^2$ .  
Kata kunci: pengecoran, permeabilitas, temperatur tuang, uji impak

## Abstract

Aluminum is a widely used metal in industry. Lightweight, corrosion resistant, and a good heat conductor cause aluminum is selected to be one of the materials to make a machine component such as wheels, pistons, and other engine components. The high number of aluminum usage in manufacturer industry is inseparable from foundry technology. Aluminum casting results are still many that suffered damage one of the causes is the lack of permeability and print strength. This research is expected to be able to know the capability of casting product to impact load from various temperature which is measured and expected to increase productivity of castings result. This research is expected to know the ability of casting product to impact load from various temperature which is measured and expected to increase productivity of castings.. This research is expected to know the ability of casting products against various conditions that are measured and expected to increase the productivity of castings. This research uses variation of permeability value that is  $22.29\text{cm}^3/\text{min}$ ,  $27.06\text{cm}^3/\text{min}$ , and  $31.62\text{cm}^3/\text{min}$ , and using variation of casting temperature that is  $680^\circ\text{C}$ ,  $730^\circ\text{C}$  and  $780^\circ\text{C}$ . This research was conducted by observing the effect of permeability and pouring temperature on impact strength to be done by impact testing and observation of micro structure and macro structure at silicon aluminum casting result by using optical microscope and SEM test equipment. The results showed that the higher the permeability value and the lower the pouring temperature, the greater the impact strength value so vice versa. The impact test results showed that the highest impact strength value was obtained at  $680^\circ\text{C}$  casting temperature with  $\text{cm}^3/\text{min}$  permeability value of  $0.048736\text{ Nm/mm}^2$  and the lowest impact strength value was obtained at  $780^\circ\text{C}$  casting temperature with  $22.29\text{cm}^3/\text{min}$  permeability value  $0.03813\text{ Nm/mm}^2$ .  
Keywords: casting, permeability, Casting temperature, impact test

## 1. Pendahuluan

Aluminium adalah logam *non ferro* yang sangat luas penggunaannya di bidang industri. Logam aluminium mempunyai sifat-sifat penting diantaranya adalah ringan, tahan korosi, dan penghantar panas yang baik yang menyebabkan aluminium dipilih menjadi salah satu bahan untuk membuat komponen-komponen mesin yang mempunyai sifat yang ringan seperti piston, velg, dan lain sebagainya [1].

Tingginya penggunaan logam aluminium di industri *manufacture* tidak lepas dari teknologi pengecoran yaitu membentuk suatu material logam dengan cara mencairkan logam dan menuangkan ke

rongga cetak yang berbentuk sesuai material logam yang diinginkan [2]. Pengecoran yang paling banyak digunakan di *home industry* adalah pengecoran cetakan pasir (*sand casting*) [3]. Pengecoran dengan teknik ini menggunakan cetakan yang terbuat dari pasir dan pasir yang sudah dipakai dapat dibentuk lagi menjadi cetakan.

Hasil coran aluminium yang digunakan pada komponen mesin, masih banyak yang mengalami kerusakan salah satunya disebabkan oleh cacat hasil coran. Terlihatnya cacat hasil coran tersebut dipengaruhi beberapa hal diantaranya kemampuan alir gas (permeabilitas) dan kekuatan cetak [4]. Adapun

penelitian ini difokuskan untuk memahami pengaruh permeabilitas dan temperatur tuang terhadap sifat impak melalui uji ketangguhan dan struktur mikro pada hasil coran (Al-7%Si) dengan menggunakan metode *sand casting*.

Dalam hal ini ada beberapa permasalahan yang akan dikaji, yaitu:

1. Bagaimanakah pengaruh permeabilitas dan temperatur tuang terhadap kekuatan impak hasil coran Aluminium silikon (Al-7%Si).
2. Bagaimanakah pengaruh permeabilitas dan temperatur tuang terhadap struktur mikro hasil coran Aluminium silikon (Al-7%Si).

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Pengecoran

Pengecoran merupakan salah satu proses manufaktur yang dimana pada proses awal logam dipanaskan di dalam tungku peleburan lalu dituangkan kedalam cetakan dimana bentuk dan pola cetakan sudah dibuat sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Setelah itu dibiarkan membeku dan terbentuk suatu produk sesuai dengan pola cetakan yang dibuat.

### 2.2 Metode Pengecoran

Teknik pengecoran mempunyai beberapa metode dan salah satunya adalah metode cetakan pasir (*sand casting*). Pengecoran dengan metode ini masih banyak dipakai karena memiliki banyak keuntungan salah satunya biaya yang relatif lebih murah dan dapat memproduksi dengan kapasitas yang banyak.

### 2.3 Jenis-Jenis Cetakan Pasir

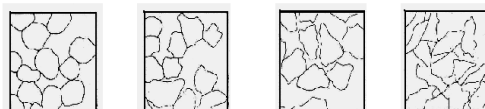
Cetakan pasir menurut jenisnya dibagi menjadi dua yaitu [2] :

- a. Cetakan pasir basah, dalam proses pembuatannya yaitu dengan mencampur pasir dan tanah liat dengan presentase tertentu, kualitas yang paling bagus didapat ketika tanah liat dengan kualitas baik ditambahkan pada pasir murni dengan mencampur 2% sampai 3% air. Kata basah dalam cetakan pasir jenis ini berarti pasir yang digunakan dalam cetakan masih mengandung cukup air ketika logam cair dituangkan ke dalam cetakan.
- b. Cetakan pasir kering, dalam proses pembuatannya yaitu menggunakan bahan tanah liat sebagai bahan pengikatnya, setelah itu pasir cetak akan dikeringkan di sebuah oven sehingga cetakan benar-benar dalam keadaan kering. Pengeringan dilakukan agar dapat menguatkan dan memperkeras cetakan. Cetakan jenis ini mampu menghasilkan produk yang sangat bersih dan sedikit gas yang terperangkap dalam produk.

### 2.4 Susunan Pasir Cetak

Pasir cetak yang biasanya digunakan adalah pasir gunung berwarna cenderung hitam, pasir pantai berwarna coklat kehitaman, pasir sungai yang berwarna kehitaman, dan pasir silika yang berasal dari alam dengan warna kekuningan. Pasir yang bagus untuk dijadikan bahan untuk cetakan pasir yaitu pasir dengan butiran yang bulat baik karena diperlukan bahan pengikat yang sedikit untuk menghasilkan *permeabilitas* dan kekuatan tertentu serta memiliki sifat alir yang baik.

Lihat bentuk-bentuk butir pada gambar 1.



Gambar 1 Bentuk butir-butir pasir cetak

### 2.5 Permeabilitas

*Permeabilitas* atau kemampuan alir gas adalah suatu sifat yang mempunyai peranan penting untuk hasil produk coran. Pasir pada cetakan yang telah disiapkan harus dapat mengalirkan uap atau gas-gas hasil penuangan logam cair. Apabila cetakan pasir tidak dapat mengalirkan gas-gas keluar dari cetakannya maka akan menyebabkan cacat coran yang berupa seperti lubang-lubang atau rongga pada produk hasil pengecoran.

### 2.6 Aluminium

Aluminium adalah salah satu logam yang terkenal ringan dan memiliki sifat-sifat yang penting seperti, sifat ringan, dan cenderung memiliki ketahanan korosi, Kekuatan tarik yang cukup tinggi, dan mempunyai sifat penghantar panas yang cukup baik menjadi alasan aluminium dipakai di berbagai industri.

### 2.7 Sifat Fisik Aluminium

Aluminium mempunyai sifat fisik yaitu hantaran listrik yang tinggi. Jika dibandingkan dengan tembaga aluminium memiliki 65% dari hantaran listrik tembaga, akan tetapi massa jenis aluminium kira-kira sepertiga dari silikon ini memungkinkan untuk memperluas penampangnya, oleh karena itu aluminium boleh digunakan untuk kabel tembaga. Adapun sifat fisik lainnya dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 sifat fisik Aluminium

Sifat fisik	
Wujud	Padat
Massa jenis	2,70 g/cm <sup>3</sup>
Massa jenis wujud cair	2,373 g/cm <sup>3</sup>
Titik lebur	933,47 °K, 660,32 °C
Titik didih	2792 °K, 2519 °C, 4566 °F
Kalor jenis (25 °C)	24,2 J/mol K
Resistansi listrik	28,2 n m
Konduktivitas Termal (300K)	237 W/m K
Pemuaian termal (25 °C)	23,1 µm/m K
Modulus young	70 Gpa
Modulus Geser	26 Gpa
Poisson ratio	0,35
Kekerasan skala Brinell	245 Mpa
Kekerasan skala Vickers	167 Mpa

## 2.8 Silikon

Silikon adalah unsur kimia yang berada dalam tabel periodik yang mempunyai lambang Si dengan nomor atom 14. Senyawa yang dihasilkan memiliki bentuk yang bersifat paramagnetik

Silikon berbentuk padat, dengan mempunyai titik lebur dan titik didih masing-masing 1400 dan 2800 °C. Silikon memiliki konduktivitas thermal yang tinggi yaitu 149 W/m K.

### 2.10 Pengujian Spesimen

Pengujian material yang dilakukan meliputi pengujian mekanik dan *Metallography*, pengujian mekanik dilakukan dengan pengujian dampak dan pengujian *Metallography* material dilakukan dengan uji struktur mikro.

#### 2.10.1 Uji Impak

Pengujian dampak dilaksanakan untuk melihat seberapa besar kekuatan suatu material terhadap beban yang dijatuhkan dengan tiba-tiba persatuan luas bidang material uji. Untuk menghitungnya besarnya kekuatan material tersebut dilakukan dengan mengukur energi potensial yang diserap dari beban yang dijatuhkan secara tiba-tiba. Pengujian dampak memiliki satuan  $Nm/mm^2$ . Salah satu jenis metode pengujian dampak adalah

- a). Metode Charpy. Pada pengujian jenis ini benda yang akan diuji diletakkan kearah mendatar pada tumpuan lalu badul pada alat uji dampak akan memukul benda uji tepat dibelakang takikan. Selisih antara energi awal dengan energi akhir adalah energi total yang dibutuhkan untuk membuat benda uji patah.

Penggunaan pengujian dampak metode Charpy mempunyai ukuran 10 x 10 x 55 mm dan mempunyai bentuk takikan berbentuk V dengan sudut 45° dan mempunyai kedalaman kedalaman 2mm.

Pengujian dampak ini didasarkan pada ASTM E-23.



Gambar 2 Spesimen uji dampak (ASTM E 23)

#### 2.10.2 Uji Struktur Mikro

Dalam domain “*Materi Science*” pengamatan struktur mikronya adalah didasarkan pada refleksi dari sinar datang permukaan benda uji yang menghasilkan gambar – gambar yang ditangkap oleh mata melalui “*oculaire*” dari mikroskop ( gambar gelap- terang – agak terang).

Kemampuan beresolusi dari mikroskop optik, seperti halnya mata telanjang juga terbatas, yang tergantung dari panjang gelombang sinar yang digunakan, yang paling baik saat ini ialah sekitar 0,2 um, yang artinya mempunyai pembesaran maksimum sekitar 1500 x

## 3. Metode Penelitian

Adapun penelitian dan pengujian ini mempergunakan bahan dan alat penelitian sebagai berikut:

### 3.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan untuk proses pengecoran yaitu pasir silika yang digunakan untuk pasir cetak, bentonite atau tanah lempung yang dipakai sebagai bahan pengikat, aluminium yang digunakan sebagai bahan utama yang nantinya akan dipadukan dengan 7% silikon.

### 3.2 Alat penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini dibagi menjadi 2 yaitu:

#### 3.2.1 Alat Pengecoran Spesimen

Alat pengecoran yang dipakai pada penelitian ini yaitu dapur peleburan sebagai tempat peleburan logam, blower sebagai alat untuk menyuplai udara ke dalam burner, *thermocouple* untuk mengukur suhu tuang, dan kowi yang digunakan sebagai tempat untuk melebur, mencampur, dan menuang coran.

#### 3.2.2 Alat Uji Spesimen Hasil Pengecoran

Alat yang dipakai saat dilakukan pengujian yaitu timbangan digital yang digunakan untuk menentukan berat spesimen basah maupun kering, vernier caliper untuk mengukur spesimen, gergaji tangan untuk membuat bentuk benda uji seperti yang diinginkan, amplas digunakan saat uji struktur mikro untuk merontokan kotoran, autosol untuk menghaluskan permukaan benda uji, kain beludru untuk proses *polishing* setelah di amplas, alat uji dampak untuk pengujian dampak benda uji, dan mikroskop optik untuk pengujian struktur mikro.

### 3.3 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini memiliki dua tahap pembuatan yaitu pembuatan dan pengujian spesimen, dan dijelaskan sebagai berikut:

#### 3.3.1 Proses Pembuatan Spesimen

Proses pengecoran ini bertujuan untuk memadukan aluminium dengan silikon menjadi spesimen yang siap untuk diuji, adapun langkah-langkah dalam pembuatannya yang pertama adalah mempersiapkan alat dan bahan guna untuk mempermudah dalam proses pembuatan spesimen, setelah itu pembuatan cetakan dengan pola atau bentuk seperti yang diinginkan, setelah itu masuk kedalam proses peleburan logam lalu dituangkan kedalam cetakan yang sudah dipersiapkan. Logam yang dituangkan kedalam cetakan dibiarkan membeku dengan media pendingin menggunakan suhu kamar, setelah membeku dilakukan pembongkaran dan pemeriksaan hasil coran.

#### 3.3.2 Proses Pengujian Spesimen

Proses pembuatan spesimen untuk pengujian, setelah spesimen hasil pengecoran dilakukan pemeriksaan maka dilakukan proses pengujian. Untuk itu dipersiapkan beberapa langkah untuk menyiapkan spesimen uji adapun langkah-langkah yang pertama adalah pemotongan dan pembuatan

takikan sesuai dengan ASTM E-23, setelah itu dilakukan pengujian dampak dan struktur mikro

### 3.4.1 Pengujian Impact

Rumus *Impact strength* adalah :

$$I_s = E/A \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana :

- $I_s$  = Impact Strength (Nm/mm<sup>2</sup>)
- $E$  = energi yang diserap (Nm)
- $A$  = Luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

Dimana :

$$E = E_1 - E_0 \dots \dots \dots (3.2)$$

- $E$  = energi yang diserap (Nm)
- $E_1$  = energi akhir (Nm)
- $E_0$  = energi awal (Nm)

## 4. Hasil dan Pembahasan

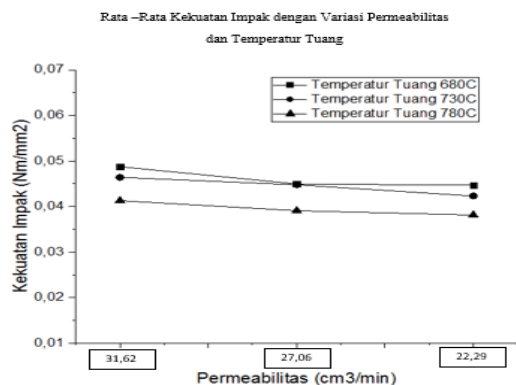
### 4.1. Data hasil Permeabilitas

Pasir yang digunakan untuk pengecoran spesimen uji adalah pasir silika. Pasir yang digunakan untuk percobaan ini mempunyai ukuran 0,180, 0,250 dan 0,315. Data Pemeabilitas pasir sudah didapatkan pada penelitian sebelumnya dan diperoleh data sebagai berikut[6]:

Tabel 2 hasil pengukuran permeabilitas pasir.

No	Permeabilitas Test				
	Ukuran Pasir silika	Jumlah pasir %	Jumlah Bentonite %	Jumlah Air %	Hasil cm <sup>3</sup> /min
1	0,315	85	10	5	31,62
2	0,250	85	10	5	27,06
3	0,180	85	10	5	22,29

### 4.2. Data Hasil Uji Impact



Gambar 3 Rata-rata Kekuatan Impact Terhadap Variasi Permeabilitas dan Temperatur Tuang







Berdasarkan hasil uji impact menunjukkan rata-rata kekuatan impact pada benda uji dengan variasi permeabilitas P1 atau dengan nilai permeabilitasnya 31.62 cm<sup>3</sup>/min dan temperatur tuang 680°C yaitu 0.048736 Nm/mm<sup>2</sup>, dan pada temperatur tuang 730°C yaitu 0.046423 Nm/mm<sup>2</sup>, dan pada temperatur tuang 780°C yaitu 0.04129 Nm/mm<sup>2</sup>. Jika dilihat dari variasi permeabilitas lainnya pada hasil pengujian didapati hasil bahwa semakin besar angka permeabilitasnya maka semakin besar angka kekuatan impactnya ini dipengaruhi oleh udara atau gas-gas yang terperangkap dalam cetakan bisa lebih mudah dialiri pada variasi permeabilitas 31,62 cm<sup>3</sup>/min sehingga akan mengurangi tingkat kecacatan dan angka kekuatan material. Terlihat gambar 3 mempunyai kesimpulan bahwa temperatur tuang berpengaruh terhadap penurunan angka kekuatan impact.

### 4.4 Data Struktur Mikro Spesimen Uji Impact

Dalam pengujian ini, struktur mikro yang dilihat dari spesimen paduan aluminium silicon (Al-7%Si) dengan variasi temperatur tuang 680, 730, dan 780°C dan variasi permeabilitas.

Gambar 4 memperlihatkan hasil dari uji struktur mikro yang dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 200x.

No	Spesimen	Foto Struktur Mikro
1	Variasi Permeabilitas 31,62 cm <sup>3</sup> /min dengan temperatur tuang 680°C	
2	Variasi Permeabilitas 27,06 cm <sup>3</sup> /min dengan temperatur tuang 680°C	
3	Variasi Permeabilitas 22,29 cm <sup>3</sup> /min dengan temperatur tuang 680°C	

4	Variasi Permeabilitas 1 dengan temperatur tuang 730°C	
5	Variasi Permeabilitas 2 dengan temperatur tuang 730°C	
6	Variasi Permeabilitas 3 dengan temperatur tuang 730°C	
7	Variasi Permeabilitas 1 dengan temperatur tuang 780°C	
8	Variasi Permeabilitas 2 dengan temperatur tuang 780°C	
9	Variasi Permeabilitas 3 dengan temperatur tuang 780°C	

Gambar 4 Struktur mikro spesimen dengan masing-masing variasi permeabilitas dan temperatur tuang

Terlihat pada gambar 5 perbedaan variasi temperatur menyebabkan terjadinya perbedaan bentuk butir, batas butir, ukuran butir, dan jarak butir pada paduan aluminium silikon. Gambar struktur mikro dari gambar 5 menampilkan struktur mikro dari material Aluminium Silikon (Al-7%Si), material ini dibuat melalui proses pengecoran dengan metode cetakan pasir. Gambar struktur mikro pada gambar 4 dengan temperatur tuang 680°C menunjukkan terdapat banyak fase  $\alpha$  dengan batas butir yang kecil, sehingga

jarak antar butir menjadi sangat dekat. Struktur mikro berturut-turut gambar 5 dari temperatur tuang 680, 730, dan 780°C terlihat semakin tinggi temperatur tuang bentuk dendrit terlihat pipih dan cenderung kecil, jarak antar dendrit yang melebar dan terlihat besar. cacat yang terlihat adalah jenis cacat *blow hole / gas porosity* yang disebabkan udara yang masih didalam benda uji pada saat pengecoran produk.

#### 4.5 Pembahasan

Berdasarkan pengujian impak yang telah dilakukan didapati hasil bahwa semakin besar angka permeabilitas dan semakin rendah temperatur tuangnya maka semakin besar angka kekuatan impaknya ini dipengaruhi oleh udara atau gas-gas yang terperangkap dalam cetakan bisa lebih mudah dialiri pada variasi permeabilitas 31.62 cm<sup>3</sup>/min karena ukuran butir pasirnya yang lebih besar akan mengurangi terjadinya cacat porositas. Berdasarkan pengujian struktur mikro pada material paduan Aluminium Silikon (Al-7%Si) terlihat mengalami perubahan dengan perbedaan temperatur tuang. Pada struktur mikro didominasi oleh dendrit  $\alpha$  dimana semakin tinggi temperatur tuang dan semakin rendah permeabilitasnya, menyebabkan bentuk dendrit  $\alpha$  semakin terlihat memipih, memanjang, dan meruncing. Hal ini juga sejalan dengan hasil pengamatan foto makro yang menunjukkan Ketanguhan suatu material dapat juga dilihat dari bentuk perpatahannya dimana hasil dari pengujian impak terlihat benda uji semakin halus dan datar permukaan perpatahannya, maka material tersebut semakin getas dan rapuh.

#### 5. Kesimpulan

Berdasarkan pada pengujian dan analisa data sebelumnya dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Semakin kecil nilai permeabilitas dan semakin tinggi temperatur tuang pengecoran maka spesimen semakin rendah kekuatan impaknya. Hasil uji impak memperlihatkan bahwa nilai impak tertinggi diperoleh pada temperatur tuang 680°C dengan nilai permeabilitas 31.62 cm<sup>3</sup>/min yaitu 0.048736 Nm/mm<sup>2</sup> dan nilai kekuatan impak terendah diperoleh pada temperatur tuang 780°C dengan nilai permeabilitas 22,29 cm<sup>3</sup>/min yaitu 0.03813 Nm/mm<sup>2</sup>.

2. Bentuk permukaan patahan material cenderung semakin getas akibat dari perlakuan temperatur tuang yang semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan hasil dari pengujian struktur mikro yang menunjukkan hasil yang paling pada temperatur tuang 680°C dimana gambar yang terlihat begitu jelas, dengan bentuk butiran yang rapat dan bergaris-garis serta memanjang dan terlihat tebal.

### Daftar Pustaka

- [1] Khoirrudin, Sinun, Harjanto, Budi, dan Suharno. (2014). *Pengaruh Variasi Jumlah Saluran Masuk Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, dan Ketangguhan Pengecoran Pulley Paduan Aluminium Al-Si Menggunakan Cetakan Pasir*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
- [2] Akuan, A. (2010). *Teknik Pengecoran & Peleburan Logam (Modul Praktikum)*. Bandung: Hermawan, dkk. *Analisa Pengaruh Variasi Temperatur Tuang pada Pengecoran*, 2003.
- [3] Suhardi. (1992). *Teknologi Mekanik III (Proses Pengecoran Logam)*. Surakarta: UNS Pres.
- [4] Astika I Made, Negara, D.N.K.P., dan Susantika, Made Agus. (2010). *Pengaruh Jenis Pasir Cetakan dengan Zat Pengikat Bentonit terhadap Sifat Permeabilitas dan Kekuatan Tekan Basah Cetakan (Sand Casting)*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Universitas Udayana
- [5] Wibowo, Agung Dwi. (2011). *Pengaruh Variasi Jenis Cetakan dan Penambahan Serbuk Dry Cell Bekas Terhadap Porositas Hasil Remelting Al-9%Si Berbasis Piston Bekas*. Skripsi. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- [6] Kohar, A. (2016). *Pengaruh Permeabilitas dan Temperatur Tuang Terhadap Cacat dan Densitas Hasil Pengecoran Aluminium Silikom (Al-Si) Menggunakan Sand Casting*. Bali.