



ANALISA STRUKTUR MIKRO TERHADAP PADUAN AL-CU HYPEREUTEKTIK

Ismail, Adhi Surya Wijaya

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia
email: ismail@untag-sby.ac.id

ABSTRAK

The cooling rate of the material with a permanent mold of its cooling rate begins on the mold wall towards the inner or middle of the mold. This study analyzes the temperature of casting and mold temperature which must have an effect on the existing structure of the material. Hypereutectic aluminum alloys are aluminum and copper alloys with eutectic phases which have the advantage of melting and pouring (especially around the eutectic region) at 548 ° C. The foundry used is gravity casting using permanent mold that is easy to dismantle. Starting from the process of composition of Aluminum and Copper according to Cu eutectic point of 32.7%, here Copper composition is more dominant than Al-Cu hypoeutectic composition. Pouring temperature 600 ° C, 650 ° C, and 700 ° C as the first variation while room temperature temperature, 100 ° C, and 200 ° C as the second variation. At the time of the process the specimen cut is divided into A, B, and A " codes. The influence of the pouring temperature and the temperature of the mold affects the microstructure formed. The higher the pouring temperature, the more clearly visible the structure, is clearly visible at the pouring temperature of 700 ° C while the smaller the mold temperature the rougher the structure, the more outward the direction of the structure, and it can be said that a dendrite is formed. Codefication B can be called the core or the midpoint of the mold is the furthest point from the cooling rate process, the structure contained in the B-code is clear, bold and coincident.

Keyword : Al-Cu hypereutectic , Pouring temperature, Mold temperature, Microstructure, *dendrite*

1. PENDAHULUAN

Hypereutectic Al-Cu

Daerah *Hypereutektik* Paduan Al-Cu disebut *Hypereutektik* yaitu apabila pada paduan tersebut terdapat kandungan tembaga lebih dari 32,7% sehingga kaya akan kandungan tembaga dengan fasa eutektik sebagai fasa tambahan. Aluminium memiliki kekuatan mekanik yang dapat ditingkatkan dengan penambahan unsur seperti Cu, Mn, Zn, Mg, dan Ni. Penambahan Cu pada paduan Aluminium akan meningkatkan sifat mekanik, yaitu kekerasan maupun kekuatan tariknya namun menurunkan mampu coranya. Aluminium adalah logam yang ringan dengan berat jenis 2.7 gram/cm³. Konduktivitas listriknya 60 % lebih dari tembaga sehingga juga digunakan untuk peralatan listrik. Selain itu juga memiliki

sifat penghantar panas, memiliki sifat pantul sinar yang baik sehingga digunakan pula pada komponen mesin, alat penukar kalor. Aluminium adalah logam reaktif sehingga mudah teroksidasi dengan oksigen membentuk lapisan aluminium oksida, alumina (Al₂O₃) dan membuatnya tahan korosi yang baik. Namun bila kadar Fe, Cu dan Ni ditambahkan akan menurunkan sifat tahan korosi karena kadar alumina menurun. Aluminium bersifat ulet, mudah dimesin dan dibentuk dengan kekuatan tarik sekitar 4 - 5 kgf/mm². Bila diproses penguatan regangan seperti dirol dingin kekuatan bisa mencapai ± 15 kgf/mm². [1]

Aluminium dicampur dengan tembaga menambah kekuatan dan kekerasan, dan meningkatkan kemampuan permesinan sampai kira-kira 12%Cu. Diatas tingkat ini campuran dasar aluminium (Al/Cu) terlalu rapuh untuk

keperluan teknik. Meningkatnya kadar Cu menghasilkan ketahanan rendah terhadap korosi. Cu membentuk eutektik yang benar dengan aluminium pada kadar tembaga sebesar 33%. Paduan berbasis tembaga (Al/Cu) berisi 10-20% Al menunjukkan kekuatan pengecualian, untuk kekerasan dan pemakaian, menyesuaikan yang dari beberapa paduan baja. [2]

Pengujian XRF (*X-ray fluorescence spectrometri*) merupakan Teknik Analisa non-destruktif yang digunakan untuk identifikasi konsentrasi elemen yang ada pada padatan, bubuk, ataupun sample cair. Secara luas XRF digunakan untuk menentukan komposisi unsur suatu material. Keuntungan dari metode ini cepat dan tidak merusak sample.

Pengecoran merupakan proses penuangan cetakan untuk pembuatan produk, coran, atau barang menggunakan cairan logam dan cetakan untuk menghasilkan bentuk yang mendekati akhir produk jadi. Logam cair yang dituangkan atau ditekan ke dalam cetakan yang memiliki rongga cetak (*cavity*) sesuai dengan bentuk atau desain yang diinginkan. Setelah logam cair memenuhi rongga cetak dan tersolidifikasi, selanjutnya cetakan dibongkar dan hasil cor dapat digunakan untuk proses selanjutnya. Keuntungan pembentukan dengan pengecoran adalah dapat mencetak bentuk yang rumit sehingga cairan dapat masuk ke rongga terkecil atau pun yang terdalam, dapat mencetak berat produk yang sangat besar, dapat digunakan berbagai macam logam, metodenya dapat digunakan untuk produksi secara massal. Adapun kerugiannya adalah porositas, ketelitian coran kurang akurat, permukaan kurang halus, penanganan B3. Prosesnya dimulai dari persiapan alat dan bahan Memanaskan tungku peleburan sampai dengan temperatur 400°C. Memasukkan aluminium semua 2,9 kg kedalam tungku peleburan. Memanaskan kembali tungku peleburan sampai dengan temperatur 600°C, 650°C, 700°C (sesuai variasi Suhu Hypereutektik Al-Cu). Masukkan Cu semua sesuai variasi 34 % dari 500 = 170 x 9 = 1,53 gram Cu. aduk dengan pengaduk. Menyiapkan cetakan yang sudah dipanaskan sesuai variasi temperatur cetakan temperature kamar, 100

°C, 200 °C. Mengambil logam cair dari kowi dengan cawang tuang untuk proses penuangan kedalam cetakan. Sebelum dituangkan, Tembak / pastikan temperatur penuangannya sesuai variasi dimulai dari 700 °C, 650 °C, 600 °C. Memulai proses penuangan logam cair kedalam cetakan. Setelah logam pengecoran mengeras, bongkar cetakan logam dan ambil benda hasil pengecoran [3]

Cetakan permanen adalah cetakan yang dapat digunakan secara berkelanjutan atau terus menerus. yang biasanya bahan cetakan terbuat dari logam. Cetakan permanen banyak memiliki keuntungan, antara lain: mempunyai hasil akhir permukaan yang bagus dan detail yang tajam. Diperoleh keseragaman hasil dengan berat 1 ons sampai 50 pound. Toleransinya berkisar dari 0,0025 inci sampai 0,010 inci. Cara mengikat cetakan biasanya menggunakan kawat atau dibuat klem untuk pengikat antara dinding cetakan agar mudah saat membongkar coran dari cetakan. Aplikasi cetakan permanen biasa digunakan untuk mencetak piston, connecting rod, gear pada mesin cuci, bagian-bagian pada *vacuum cleaner*, tutup kipas angin, bagian untuk alat-alat portable, perlengkapan lampu luar ruangan, dan lain-lain. [4]

Pengujian Metalografi merupakan metode untuk meneliti struktur logam dengan menggunakan mikroskop optik dan mikroskop elektron. Sedangkan struktur yang terlihat pada mikroskop tersebut tersebut disebut mikrostruktur. Pengamatan tersebut dilakukan terhadap spesimen yang telah diproses sehingga bisa diamati dengan pembesaran tertentu. Untuk memunculkan struktur mikro ada tahapan-tahapan antara lain: proses pemesinan coran untuk dijadikan spesimen, gosok spesimen berulang kali menggunakan kertas gosok dengan grade tertinggi- terendah 300-5000, setelah agak mengkilap atau serat Aluminium tidak terlihat, gosok spesimen menggunakan kain bludruh. Oleskan Autosol untuk mengkilapkan permukaan yang akan mau diuji (Pemolesan). Persiapkan Etsa yang sudah ditakar dan tuangkan pada cawan. Etsa yang digunakan Aquades (45ml), HNO₃ (25ml), Hcl (1,5ml) dan Hf (1ml), lakukan

peng-etsaan dengan cara menyelupkan permukaan spesimen yang telah dipoles tadi selama 8-15 detik, keringkan spesimen, amati struktur mikro dengan mikroskop optik sesuai kodefikasi, analisa hasil foto struktur mikro sesuai variasi temperatur penuangan dan temperatur cetakan [5]

Temperatur penuangan adalah temperatur cairan saat akan dituangkan ke dalam cetakan. Sedangkan temperatur cetakan adalah temperatur cetakan sebelum dan sesudah dipanasi yang akan dimasuki oleh cairan logam, Bahwa pengaruh variasi temperatur penuangan berpengaruh terhadap panjang struktur mikro. Semakin tinggi temperatur penuangan bentuk strukturnya memanjang sedangkan temperatur rendah membuat bentuk struktur tidak teratur ini dikarenakan laju pendinginan yang cepat sehingga bentuk struktur tidak terbentuk secara sempurna. [6]

Proses pembekuan logam cair pertama yang bersentuhan adalah dengan dinding cetakan., yaitu ketika panas dari logam cair dibongkar dari cetakan sehingga bagian logam yang bersentuhan dengan cetakan itu mendingin sampai titik beku. Selama proses pembekuan berlangsung, inti-inti Kristal tumbuh. Bagian dalam coran mendingin lebih lambat daripada bagian luarnya sehingga Kristal-kristal tumbuh dari inti asal mengarah kebagian dalam coran dan buti-butir Kristal tersebut membentuk Panjang panjang seperti kolom . Struktur ini muncul dengan jelas apabila gradien temperatur yang besar terjadi pada permukaan coran besar. Akibat adanya perbedaan kecepatan pembekuan, terbentuklah arah pembekuan yang disebut dendritik. Hasil coran yang permukaannya halus merupakan efek dari logam yang mempunyai daerah beku yang sempit, sedangkan permukaan logam hasil cor yang kasar merupakan efek dari logam yang mempunyai daerah beku yang lebar. Cetakan logam akan menghasilkan hasil coran dengan permukaan yang lebih halus dibandingkan dengan cetakan pasir. Aluminium murni membeku pada temperatur tetap, tetapi panas pembekuan yang dibebaskan pada waktu membeku begitu besar sehingga permukaan bagian dalam menjadi kasar apabila dicor pada cetakan pasir, sedangkan pada baja karbon dengan kadar karbon rendah mempunyai daerah beku

yang sempit. Hasil pengujian metalografi menunjukkan banyaknya pertumbuhan *dendride* yang ada pada variasi temperatur penuangan maupun temperatur cetakan. *Dendride* ini adalah struktur *Dendrite arm spacing* (DAS) atau jarak lengan *dendrite* banyak terdapat fasa Si eutektik. Pada mikrostruktur paduan aluminium tuang umumnya memiliki 1-10mm, nilai DAS bervariasi dari 10-150 um, dan Si eutektik memiliki Panjang 2mm atau dalam bentuk bulatan memiliki diameter kurang dari 1 um.

kebanyakan paduan logam ringan yang lain, secara normal akan memiliki struktur butir yang kasar, yaitu butir kristal *equiaxed* dan *columnar* selama proses pembekuan. Tingkat kekasaran atau Panjang dari kristal *columnar* tergantung dari temperature penuangan. Paduan yang memiliki kelarutan tinggi dalam aluminium (Cu, Mg, Zn) secara alami membentuk fasa padat yang halus, yaitu butir dengan struktur *equiaxed* yang berukuran kecil, dibandingkan dengan paduan yang memiliki kelarutan kurang seperti Si. Jadi paduan aluminium Al-Cu (A2xx.x) lebih mudah membentuk butir yang halus dari pada aluminium yang mengandung Si dalam jumlah yang banyak. [7]

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium seri 2xxx dan Cu dengan komposisi kimia pada tabel dibawah ini

% Unsur						
Al	Si	Mn	Ni	Zn	Pb	Fe
99,8	0,04	<0,0	0,00	<0,0	0,00	0,1
	7	005	17	010	07	40

Tabel 1 . Uji Komposisi Aluminium

Compound	Cone (%)	Metode
P	0,2	XRF
Ca	0,13	
Sc	0,051	
Cr	0,038	
Fe	0,13	
Cu	98,93	
As	0,05	
Cs	0,17	
Ba	0,09	
Pb	0,2	

Tabel 2 . Uji Komposisi Cu

Komposisi campuran paduan Al-Cu hypereutektik 34 % Cu pada proses pengecoran Komposisi Al-Cu paduan 500 gram dengan tembaga (Cu) 34%. Diambil dari perhitungan massa cetakan yang didapat dari ukuran $p \times l \times t = 70 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$

1. Aluminium murni : $330 \text{ gram} \times 9 = 2,970 \text{ kg}$
2. Tembaga (Cu) : $170 \text{ gram} \times 9 = 1,530 \text{ Kg}$

Jadi spesimen Coran yang dihasilkan 9 coran dan spesimen (coran yang sudah diproses pemesinan) untuk uji struktur mikro berjumlah 27 spesimen.

2.2. Proses Pengecoran

1. Persiapan alat dan bahan.
2. Memanaskan tungku peleburan.
3. Memasukan aluminium semua 2,9 kg kedalam tungku peleburan
4. Memanaskan kembali tungku peleburan sampai dengan temperatur 600°C , 650°C , 700°C (sesuai variasi Suhu Hypereutektik Al-Cu)
5. Masukan Cu semua sesuai variasi 34 % dari $500 = 170 \times 9 = 1,53 \text{ gram}$ Cu.aduk dengan pengaduk
6. Menyiapkan cetakan yang sudah dipanaskan sesuai variasi temperature cetakan temperature kamar, 100°C , 200°C
7. Mengambil logam cair dari tungku peleburan dengan cawang tuang untuk proses penuangan kedalam cetakan
8. Sebelum dituangkan , Tembaga / pastikan temperatur penuangannya sesuai variasi dimulai dari 700°C , 650°C , 600°C
9. Memulai proses penuangan logam cair kedalam cetakan
10. Setelah logam pengecoran mengeras, bongkar cetakan logam dan ambil benda hasil pengecoran

Alat yang digunakan adalah antara lain yaitu cetakan permanen dan coran akan dibentuk spesimen sesuai kodefikasi sebagai berikut.

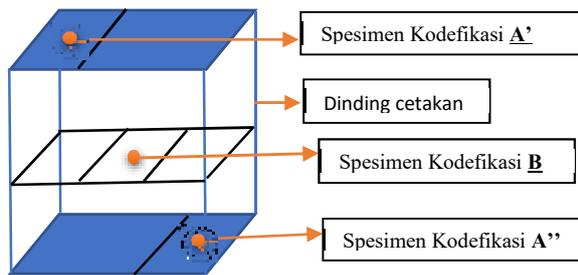


Gambar 3. Cetakan Alumunium



Gambar 4. Proses pemanasan cetakan dan mengukur temperature cetakan.

Gambar 3 adalah cetakan yang digunakan untuk menampung cairan coran. Cetakan tersebut memiliki tiga variasi yaitu tanpa dipanasi atau suhu kamar, dipanasi 100°C , dan terakhir dipanasi 200°C . Struktur mikro yang dihasilkan dari tiga variasi yang berbeda akan memiliki struktur yg berbeda pula dikarenakan oleh laju pendinginan. Laju pendinginan tersebut berawal dari dinding cetakan.menuju ke tengah atau inti coran. Gambar 4 adalah proses dimana cetakan dipanaskan diatas tungku peleburan kurang lebih 30 detik untuk memanasi cetakan sampek temperatur 100°C dan 200°C . Ukur atau tembak cetakan menggunakan thermometer infrared untuk memastikan temperature cetakan yang ditentukan. Tuangkan cairan Al-Cu kedalam cetakan ,biarkan membeku sesaat dan bongkar cetakan .



Gambar 5. Kodefikasi spesimen

Kodefikasi disini adalah tanda tiap spesimen yang telah diproses pemesinan untuk mengetahui perbedaan struktur mikro tiap-tiap kodefikasi .

2.3. Proses Pengujian Metalografi

Struktur mikro adalah gambaran dari kumpulan fasa-fasa yang dapat diamati melalui teknik metalografi. Struktur mikro suatu logam dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Mikroskop yang dapat digunakan yaitu mikroskop optik dan mikroskop elektron. Sebelum dilihat dengan mikroskop, permukaan logam harus dibersihkan terlebih dahulu, kemudian reaksikan dengan reagen kimia untuk mempermudah pengamatan. Proses ini dinamakan *etching*.

Dan dari struktur mikro kita dapat melihat :

- Ukuran dan bentuk butir
- Distribusi fasa yang terdapat dalam material khususnya logam
- Pengotor yang terdapat dalam material

Dari struktur mikro kita juga dapat memprediksi sifat mekanik dari suatu material sesuai dengan yang kita inginkan.

2.3.1. Langkah-langkahnya peng-etsaan :

- Persiapkan spesimen yang sudah diproses pemesinan menjadi kodefikasi yang sesuai **A' , B , A''**
- Gosok spesimen berulang kali menggunakan kertas gosok dengan grade tertinggi- terendah 300-5000
- Setelah agak mengkilap atau serat Aluminium tidak terlihat, gosok spesimen menggunakan kain bludruh . Oleskan Autosol untuk mengkilapkan permukaan yang akan mau diuji (Pemolesan)

- Persiapkan Etsa yang sudah ditakar dan tuangkan pada cawan. Etsa yang digunakan Aquades (45ml), HNO_3 (25ml), Hcl (1,5ml) dan Hf (1ml)
- Lakukan peng-etsaan dengan cara menyelupkan permukaan spesimen yang telah dipoles tadi selama 8-15 detik . Keringkan spesimen
- Amati stuktur mikro dengan mikroskop optik sesuai kodefikasi
- Analisa hasil foto struktur mikro sesuai variasi temperatur penuangan dan temperatur cetakan.



Gambar 6. Cairan Etsa



Gambar 7. Spesimen yg akan dietsa

(d) Foto spesimen uji temperatur penuangan 600 °C (e) Foto spesimen uji temperatur penuangan 650 °C (f) Foto spesimen uji temperatur penuangan 700 °C dengan temperatur suhu kamar posisi **B**

2.4. Hasil dan Pembahasan

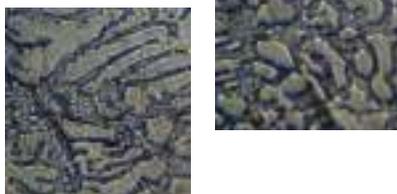


Gambar 8. Proses pengamatan

2.4.1. Pengaruh variasi temperatur penguangan terhadap struktur mikro



Gambar 9 (a) Foto spesimen uji temperatur penguangan 600 °C (b) Foto spesimen uji temperatur penguangan 650 °C (c) Foto spesimen uji temperatur penguangan 700 °C



Pembahasan :

Pada foto struktur mikro temperatur penguangan 600 °C kodefikasi A' sampai temperatur penguangan 700 °C kodefikasi A' dengan temperatur cetakan suhu kamar memiliki struktur kasar dan bentuknya cenderung semakin memanjang, dikarenakan laju pendinginan yang cepat.

Pembahasan :

Struktur yang muncul dari temperatur penguangan 600 °C, 650 °C ,700 °C dengan variasi suhu kamar berbentuk

memanjang,masih ada struktur yang belum terbentuk sempurna ,jarak antar struktur saling berhimpitan.



Pembahasan :

Foto yang dihasilkan dari temperatur penguangan 600 °C dan temperatur 650 °C variasi temperatur cetakan suhu kamar dengan kodefikasi A'' adalah berbentuk memanjang dan masih ada dendrit yang belum terbentuk sempurna. Hasil strukturnya tidak jauh berbeda dengan kodefikasi A'

karena (g) (h) (i)

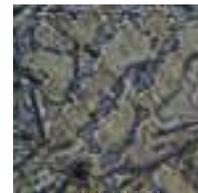
Gambar 11. (g) Foto spesimen uji temperatur penguangan 600 °C (h) Foto spesimen uji temperatur penguangan 650 °C (i) Foto spesimen uji temperatur penguangan 700 °C dengan temperatur suhu kamar posisi A''

bersinggungan langsung dengan cetakan. Tapi seiring tinggi temperature penguangan semakin berhimpitan ini terlihat pada temperature 700 °C.

2.4.2. Pengaruh variasi temperatur cetakan terhadap struktur mikro

Pembahasan :

Struktur diatas dengan variasi temperatur cetakan sangat mempengaruhi struktur mikronya. Pada



(a) (b) (c)

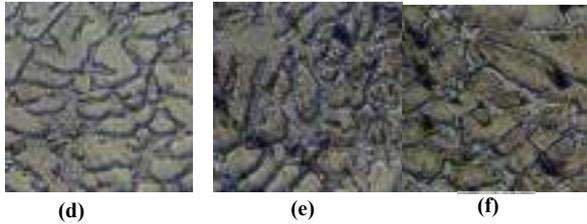
Gambar 12. (a) Foto spesimen uji temperatur cetakan suhu kamar (b) Foto spesimen uji temperatur cetakan 100 °C (c) Foto spesimen uji temperatur cetakan 200 °C dengan temperatur penguangan 600 °C pada kodefikasi posisi A'

temperatur 600 °C dan 650 °C masih banyak dendrit masih tumbuh, ini menandakan laju pendinginan yang cepat. Bentuknya kasar dan



jarak antar struktur renggang. Sedangkan pada

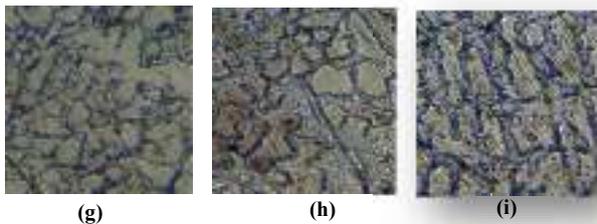
temperatur 700 °C dapat dilihat strukturnya berbentuk memanjang dan masih ada pertumbuhan dendrit.



Gambar 13. (d) Foto spesimen uji temperatur cetakan suhu kamar (e) Foto spesimen uji temperatur cetakan 100 °C (f) Foto spesimen uji temperatur cetakan 200 °C dengan temperatur penuangan 650 °C pada kodefikasi posisi **B**

Pembahasan :

Struktur mikro diatas terdapat pada kodefikasi **B** yang terletak pada tengah cetakan yang secara jelas menjadi titik laju pendinginan yang jauh, sehingga ada waktu untuk terbentuk dendrit secara sempurna. Bentuknya berhimpitan dan dendrit Panjang-panjang ini terlihat pada foto struktur mikro temperatur penuangan 600 °C 650 °C, dan 700 °C dengan variasi temperatur cetakan suhu kamar .



Pembahasan :
Struktur yang dihasilkan oleh spesimen kodefikasi **A''** pada temperatur penuangan 700 °C dengan variasi temperatur cetakan suhu kamar, 100 °C, 200 °C terbentuk dendrit memanjang tapi masih ada yang belum sempurna dikarenakan kodefikasi **A''** terletak pada dinding cetakan

2.5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil foto struktur mikro yang di dapat pada pengujian, maka dalam penelitian ini dapat diketahui pengaruh temperature penuangan dan temperature cetakan pada masing-masing spesimen sesuai kodefikasi.

Adapaun kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Struktur mikro tiap kodefikasi bentuknya berbeda-beda.
2. Semakin ke dalam laju pendinginan mulai dari dinding cetakan struktur mikronya akan perlahan berubah. Struktur yang pertama terbentuk berbentuk kasar dan tidak berarah. Hal ini cenderung terjadi pada temperatur penuangan 600 °C dan temperature cetakan Suhu kamar.
3. Semakin tinggi temperatur penuangan , bentuk struktur semakin jelas, bentuk cenderung memanjang dan saling berhimpitan .
4. Semakin tinggi temperatur cetakan bentuk strukturnya halus dan terbentuk dendrit secara sempurna
5. Bahwa struktur Al-Cu hypoeutektik dan Al-Cu hypereutektik memiliki bentuk struktur yang tidak jauh berbeda hanya saja Al-Cu hypoeutektik bentuk strukturnya cenderung bulat teratur sedangkan Al-Cu hyperutektik memanjang .

2.6. Saran

1. Alangkah baiknya penelitian selanjutnya ditambah pengujian yang lain untuk menunjang hasil analisisnya sehingga memperoleh data kekuatan bahan yang akan berguna dalam pengaplikasian material di dunia industri.
2. Untuk memperoleh hasil yang

Gambar 14. (g) Foto spesimen uji temperatur cetakan suhu kamar (h) Foto spesimen uji temperatur cetakan 100 °C (i) Foto spesimen uji temperatur cetakan 200 °C dengan temperatur penuangan 700 °C pada kodefikasi posisi **A''**

akurat peneliti harus lebih teliti dan sistematis dalam mengerjakan laporan.

Daftar Pustaka

Tata Surdia, Kenji Chijiwa. 1980. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pradya Paramita.

Ir. Drs Budiyanoto *Pengaruh Temperatur Penuangan Paduan Al-Si (Seri 4032) Terhadap Hasil Pengecoran* Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang tahun 2008.

Mohammad Tofa Wijaya, Zubaidi, Wijoyo *Pengaruh Variasi Temperatur tuang terhadap Ketangguhan impak dan Struktur Mikro pada Pengecoran Aluminium* Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Universitas Surakarta tahun 2017.

Teguh Raharjo, Wayan Sujana *Analisis Pengaruh Temperatur Penuangan dan Temperatur Cetakan terhadap Sifat Mekanis bahan Paduan Al-Zn* Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang tahun 2010 .

Lukfawan Trijati *Mekanisme Fading* , Fakultas Teknik Universitas Indonesia tahun 2008 .

[https://hapli.wordpress.com/non_ferro/pedoman-peleburan-alal paduan/#comment-6662](https://hapli.wordpress.com/non_ferro/pedoman-peleburan-alal-paduan/#comment-6662)

<http://www.tf.uni->

[kiel.de/matwis/amat/iss/kap_8/illustr/i8_2_1.htm](http://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap_8/illustr/i8_2_1.htm)

1

ASTM International e407 07. *Standart Practice for Microetching Metals and Alloys* tahun 2012 .

LAMET, Hubert I. Aaronson. *ASM Handbook Volume 9 Metallography And Microstructures* tahun 1992

Jeong Tae Kim, SeungWan Lee, Sung Hwang Hong, Hae Jing Park, Jun-Young Park, Naesung Lee, Yongho Seo, Wei-Min

Wang, Jin Man Park, Ki Buem Kim. ScienceDirect, *Understanding the relationship between microstructure and mechanical properties of Al-Cu-Si ultrafine eutectic compopsites . tahun 2015*

N Srivastava , G.P. Chaudhari, M . Qian. *Grain refinement of binary Al-Si, Al-Cu, and Al-Ni alloys by ultrasonication* tahun 2017