

PROSES REHEATING BILLET DAN THIXOCASTING PADUAN Al-18Si BERSTRUKTUR NON-DENDRITIC

Agus Suprihanto, Djoeli Satrijo¹⁾

Abstract

One of the important steps in semi-solid forming (SSF) especially thixoforming is the reheating process to achieve the required semisolid state of the billet. The reheating process is not only necessary to achieve the required semi-solid state of the billet, but also to control the microstructure of the billet. In the reheating process, billets are heated up to the temperature between the solidus and liquidus of the alloy to obtain accurately controlled solid fraction and spherical particles uniformly dispersed. The process variables such as reheating time, reheating temperature, reheating holding time, and induction heating power have much effects on the quality of the reheated billets. It is difficult to consider all the variables at the same time to predict the billet quality. In this paper, the process variables focused on reheating temperature and reheating holding time to see the correlation relationship between the process variables and the conditions of the billet quantitatively, and then simulate the thixocasting process to know the correlation relationship between the process variables and properties of the materials, which is the flow ability of the billet and the hardness of the thixocasting products. The alloys used in this experiment is non-dendritic Al-18Si alloy which formed used mechanical stirring method.

Keywords : semi-solid forming (SSF), thixoforming (thixocasting), reheating process, reheating temperature, reheating holding time, flow ability, hardness, non-dendritic Al-18Si alloy.

PENDAHULUAN

Proses pembentukan dengan teknologi *semi-solid forming* (SSF) merupakan teknologi yang relatif baru dan berbeda dengan proses pembentukan yang konvensional seperti proses pengecoran biasa atau tempa konvensional. Proses SSF memanipulasi proses pembekuan (*solidification*) untuk menghasilkan logam semisolid (*semisolid metal slurries*), dimana partikel padat *non-dendritic* tersebar dalam matriks cair. Logam semisolid (*semisolid metal slurries*) menunjukkan karakteristik rheologi yang khusus, sifat kondisinya adalah *pseudoplastis*, sedangkan sifat kondisinya adalah *thixotropis*. Proses SSF ini pertama kali ditemukan oleh Prof. Merton C. Fleming di MIT pada awal tahun 1970an dan terus berkembang hingga sekarang. Proses SSF secara umum dibagi menjadi dua jalur, yaitu *rheo-route* dan *thixo-route*. Dalam paper ini proses yang digunakan adalah jalur *thixo-route* atau *thixoforming* dengan paduan yang digunakan adalah paduan Al-18Si, dengan pemberian agitasi berupa *mechanical stirring* untuk menghasilkan *billet* dengan struktur *non-dendritic*, dan memanaskannya kembali pada temperatur semisolidnya, yang kemudian dilanjutkan dengan proses ekstrusi kedalam cetakan.

BATASAN MASALAH

Dalam penyusunan paper ini akan dibatasi oleh :

1. Material bahan baku *billet* yang digunakan adalah paduan Aluminium-Silikon dengan kandungan silikon sekitar 18%.

2. Material *billet* diberi agitasi berupa adukan mekanis (*mechanical stirring*) pada kecepatan putar 1200 rpm dengan variasi waktu pendinginan 12 menit dan 36 menit.
3. Temperatur *reheating* yang digunakan pada proses *thixocasting* berada pada temperatur 594^oC dan 597^oC.
4. Variabel ukuran diameter nosel yang digunakan adalah 8 mm dan 9 mm, digunakan untuk mengetahui derajat kekerasan dan persentase mampu alir paduan Al-18Si pada keadaan semisolidnya.

DASAR TEORI

Proses Semi-Solid Forming Rheologi Larutan Semi-Solid

Semisolid metal dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu: bahan '*liquid like*' yang terdiri dari partikel padat yang terdispersi dan bersifat seperti cairan di bawah pengaruh gaya eksternal. Dan bahan '*solid like*' yang terdiri dari fasa padat yang berkaitan dan bersifat seperti padat, dan memperlihatkan kekuatan luluh yang cukup baik. Logam semisolid dengan fraksi solid kurang dari 0,6 dan berstruktur *globular (non-dendritic)* memperlihatkan dua sifat rheologi yang unik: *thixotropy* dan *pseudoplasticity*.

Fenomena rheologi pada larutan SSF yang diaduk (*stirred*) dibedakan menjadi tiga kategori, yaitu:

1. Sifat pendinginan kontinyu (*continuous cooling behaviour*)
2. Sifat *pseudoplastis (pseudoplasticity behaviour)*
3. Sifat *thixotropy (thixotropic behaviour)*

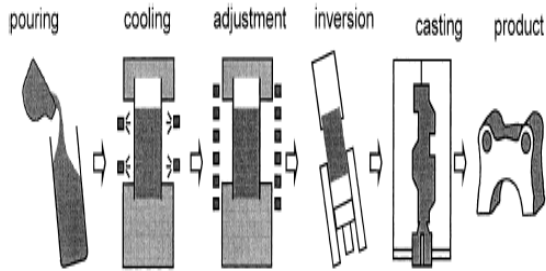
Teknologi Pembentukan Logam Semisolid

1. Rheocasting

Rheocasting merupakan proses pembentukan bahan semisolid berstruktur *non-dendritic* dengan

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

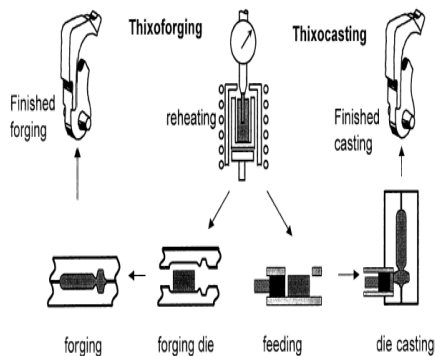
memberikan agitasi berupa tegangan geser saat proses solidifikasi dan memindahkannya secara langsung ke dalam cetakan. Sekarang perkembangan dari proses ini lebih kepada proses 'slurry on demand', dan teknologi 'slurry on demand' yang berkembang saat ini adalah proses *new rheocasting* (NRC). Pada NRC, logam cair dituangkan dan dikontrol temperatur pendinginannya. Lalu bahan *solid like* berbentuk silindris dipanaskan untuk menyeragamkan temperatur bahan sebelum dilakukan proses pembentukan, seperti diperlihatkan pada gambar 2.1. berikut.



Gambar 2.1. Proses Rheocasting.

2. Thixoforming

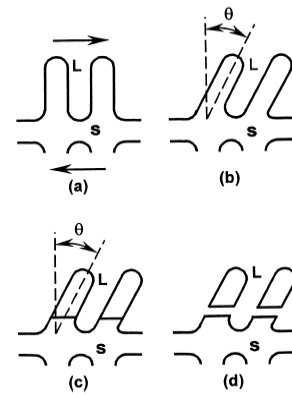
Thixoforming merupakan proses pembentukan dari peleburan sebagian bahan paduan *non-dendritic* di dalam suatu cetakan. Jika proses pembentukan dilakukan pada cetakan tertutup, disebut *thixocasting*. Dan jika sebaliknya dilakukan pada cetakan terbuka, disebut *thixoforging*. Kedua metode ini secara skematik dijelaskan pada gambar 2.2. berikut.



Gambar 2.2. Proses Thixoforming.

Metode Pembentukan Struktur Non-dendritic

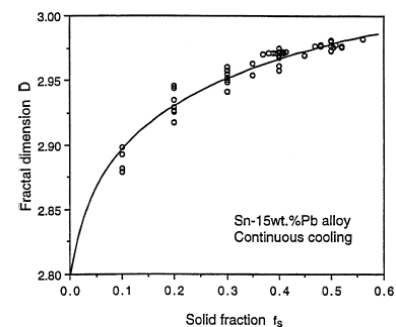
Metode pembentukan dengan menggunakan *stirring* merupakan proses pemberian agitasi atau gangguan berupa tegangan geser yang timbul dalam logam cair yang berada pada kondisi semisolid. Hal ini diharapkan akan menghasilkan struktur yang *non-dendritic* melalui proses pengintian yang lebih seragam, yang disebabkan oleh lebih seragamnya temperatur cairan dan tersebarnya *heterogenous nucleation agent*, serta terjadi pemutusan pertumbuhan dendrit yang terbentuk. Mekanisme pemutusan dendrit diatas dapat dijelaskan pada gambar 2.3. dibawah ini.



Gambar 2.3. Mekanisme pemutusan dendrit

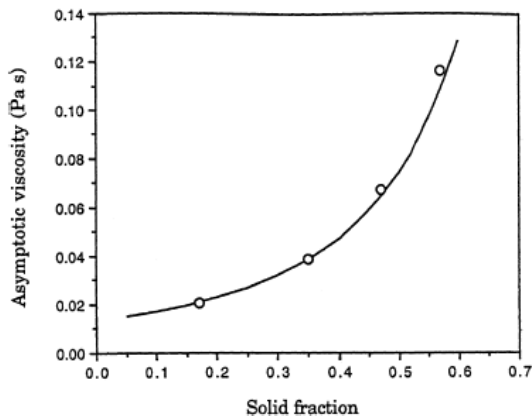
Proses Reheating

Proses *reheating* (pemanasan kembali) untuk mencapai keadaan semisolid merupakan tahapan yang penting dalam proses *thixoforming*. Hal ini dilakukan untuk menyediakan bahan semisolid yang memiliki fraksi solid terkontrol secara akurat dan partikel speris yang tersebar secara merata dalam matrik liquid pada titik lebur yang rendah. Untuk mendapatkan mikrostruktur semisolid seperti ini, parameter proses yang penting saat proses *reheating* adalah akurasi dan keseragaman dari temperatur *reheating* serta waktu pemanasan. Temperatur *reheating* merupakan hal yang menentukan fraksi solid dari bahan. Temperatur *reheating* yang terlalu tinggi mengakibatkan ketidakstabilan pada bahan yang mengakibatkan kesulitan dalam *handling* bahan. Sementara temperatur *reheating* yang terlalu rendah menyebabkan *unmelted, coalesced, fasa polyhedral silicon* pada bahan, dan pada paduan coran aluminium *hypoeutectic* mempengaruhi sifat rheologi saat proses pemindahan ke cetakan dan produk akhirnya menjadi *ductile*. Sedikit perubahan pada temperatur dapat menyebabkan perubahan yang cukup besar pada fraksi solid. Pada temperatur *reheating* yang lebih tinggi akan menghasilkan *fraksi solid* yang lebih kecil, sedangkan pada temperatur *reheating* yang lebih rendah akan menghasilkan *fraksi solid* yang lebih besar. Banyak-sedikitnya *fraksi solid* larutan menunjukkan besar-kecilnya ukuran butir dari fraksi padat larutan tersebut. Hal ini telah diteliti oleh Fan dan Chen pada paduan Sn-15Pb yang ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Hubungan fraksi solid dan diameter butir pada paduan Sn-15Pb.

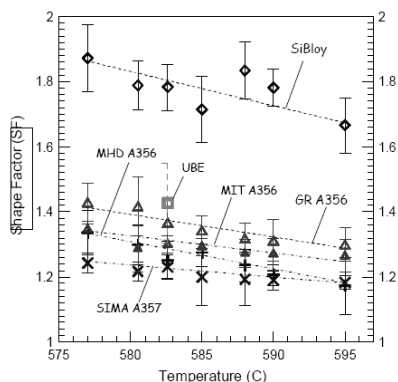
Jumlah *fraksi solid* pada larutan akan mempengaruhi besarnya viskositas larutan, dimana semakin besar *fraksi solid* larutan maka viskositasnya juga akan semakin besar atau larutan lebih kental dan mendekati fasa padat. Gambar 2.5. menunjukkan hasil yang didapat dari penelitian yang dilakukan oleh Turng dan Wang pada paduan A356.



Gambar 2.5. Hubungan *fraksi solid* dan viskositas larutan pada paduan A356.

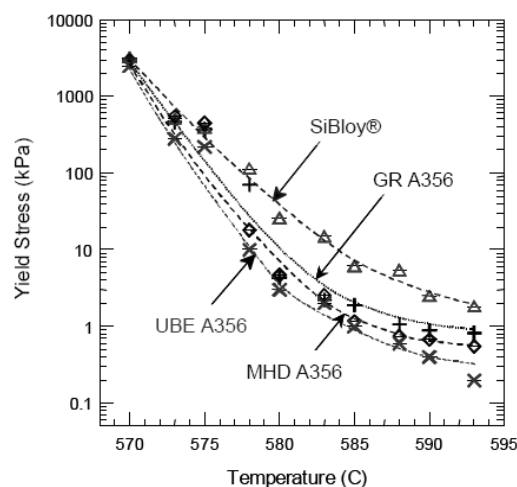
Oleh sebab itu, pada temperatur *reheating* yang lebih tinggi akan memiliki *fraksi solid* dan ukuran butir yang lebih kecil sehingga viskositas larutan rendah dan menyebabkan material mudah mengalir dibandingkan pada temperatur *reheating* yang lebih rendah. Ketepatan temperatur mempengaruhi keseimbangan dari proses pembentukan dan konsistensi kualitas produk.

Selain menentukan *fraksi solid* larutan, temperatur *reheating* juga berpengaruh terhadap bentuk dari inti butiran. Hasil penelitian yang dilakukan oleh D Apelian dan M Makhlof pada paduan A356 memperlihatkan bahwa semakin tinggi temperatur *reheating* maka bentuk butiran akan semakin bulat seperti terlihat pada Gambar 2.6. Apabila nilai bentuk butir mendekati satu berarti bentuk butiran semakin mendekati bulat, sedangkan bila nilai bentuk butir semakin jauh dari satu maka bentuk butir semakin jauh dari bentuk bulat.



Gambar 2.6. Hubungan temperatur *reheating* dan bentuk butir pada paduan A356 untuk beberapa variasi pembuatan *billet*.

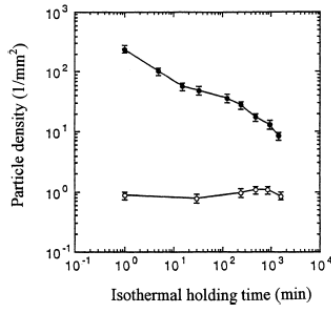
Selain berpengaruh terhadap *fraksi solid* dan bentuk butir, temperatur *reheating* juga berpengaruh pada tegangan luluh dari material yang dipanasi. Tegangan luluh pada temperatur *semisolid* jauh lebih kecil daripada tegangan luluh pada temperatur kamar. Hal ini yang menjadi satu keuntungan proses SSF dimana tekanan kerjanya jauh lebih kecil daripada proses *forging* biasa. Hasil penelitian yang dilakukan oleh D Apelian dan M Makhlof tentang tegangan luluh pada paduan A356 dapat menjelaskan bahwa terdapat perbedaan yang cukup jauh antara tegangan luluh pada temperatur *semisolid* dan tegangan luluh pada temperatur padatnya, seperti terlihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Temperatur vs Tegangan luluh pada paduan A356 untuk beberapa variasi pembuatan *billet*.

Waktu penahanan (*holding time*) juga merupakan hal yang penting dalam proses *reheating* karena berpengaruh pada keseragaman temperatur. Apabila distribusi temperatur tidak seragam, maka dapat menyebabkan fluktuasi pada *fraksi solid* dan merusak karakteristik *rheologi*, menyebabkan pemisahan fasa *solid* dan *liquid* yang menyebabkan kesulitan saat diinjeksikan ke dalam cetakan. Selain itu waktu penahanan yang terlalu cepat akan menyebabkan partikel *solid* tidak berbentuk *spheris* sempurna. Jika waktu penahanannya terlalu lama akan menyebabkan *struktural coarsening* (pengkasaran struktur) dan pertumbuhan inti baru dari fasa cairnya.

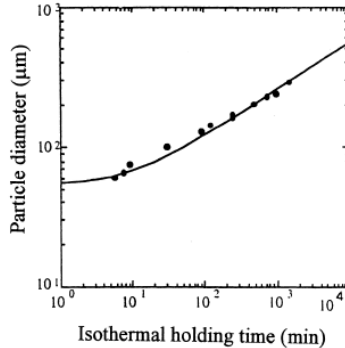
Hasil penelitian yang dilakukan oleh Loue dan Suery pada paduan Sn-15Pb yang ditunjukkan pada gambar 2.8. menjelaskan bahwa pengkasaran struktur pada struktur *non-dendritic* akan menyebabkan densitas larutan menurun seiring penambahan waktu penahanan. Hal ini dapat mengakibatkan menurunnya kualitas produk akhir dari proses SSF. Sedangkan pada struktur *dendritic*, penambahan *holding time* tidak terlalu berpengaruh terhadap densitas larutan.



Gambar 2.8. Pengaruh lama waktu penahanan terhadap densitas larutan pada paduan Sn-15Pb.
 (●) struktur *non-dendritic*, (○) struktur *dendritic*.

Ketidakteragaman distribusi temperatur pada bahan akan menyebabkan fluktuasi pada fraksi solid dan karakteristik rheologinya. Dan akhirnya, waktu pemanasan harus dioptimalkan, waktu yang terlalu lama akan mengakibatkan pengkasaran struktur, sementara waktu yang terlalu cepat akan menyebabkan partikel solid tidak berbentuk spheris sempurna.

Waktu penahanan juga berpengaruh terhadap besarnya butiran dari fraksi padat. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Hong pada paduan Sn-15Pb yang ditunjukkan pada gambar 2.9. menjelaskan bahwa semakin lama waktu penahanan (*holding time*) maka besar butiran akan semakin membesar. Hal ini terjadi karena penyatuan butiran (*coalescence*) dan pertumbuhan inti baru dari fasa cairnya.



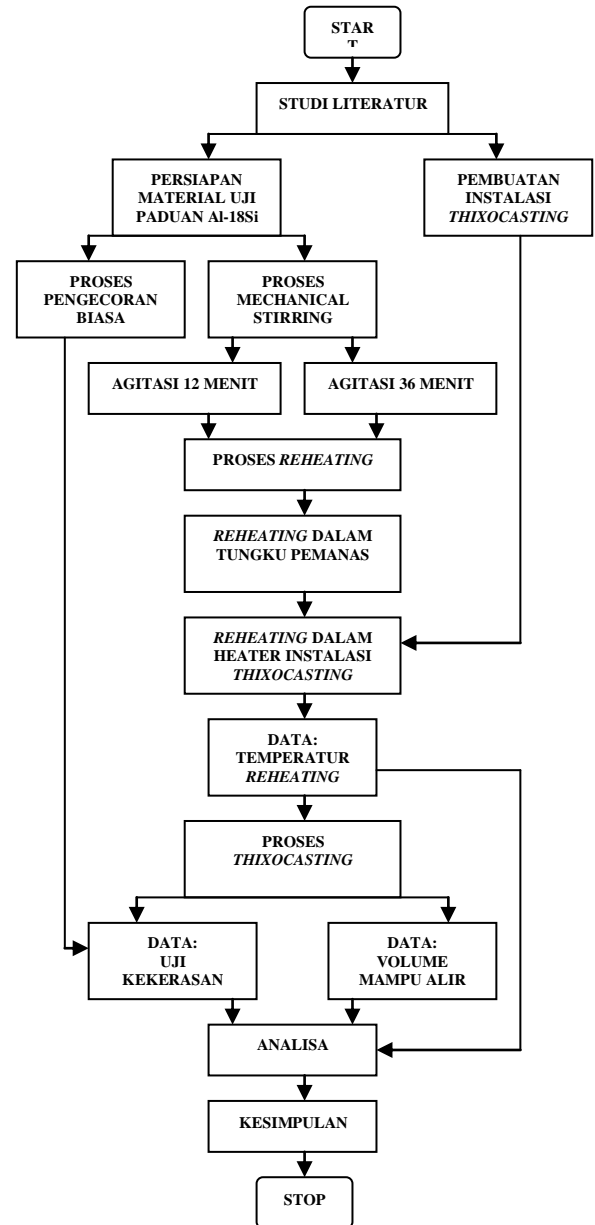
Gambar 2.9. Pengaruh lama waktu penahanan terhadap besar butir pada paduan Sn-15Pb.

Proses *reheating* pada *thixoforming* tidak hanya bertujuan untuk memenuhi jumlah fraksi liquid, tetapi juga untuk memastikan perubahan fasa solid menjadi bentuk morfologi *spherical* dengan ukuran partikel yang baik. Untuk mencapai hal tersebut faktor utamanya adalah pengurangan energi batas antara fasa solid dan fasa liquid yang merupakan proses kontrol difusi. Waktu penahanan (*holding time*) harus cukup lama untuk menyempurnakan perubahan morfologi dari bentuk dendrit (atau *rosette*) menjadi spheris, tetapi waktu penahanan juga tidak boleh terlalu lama untuk menghindari pertumbuhan inti yang berlebihan, yang dapat merusak sifat mekanis dari produk *thixoforming*. Oleh sebab itu, proses *reheating* harus optimal untuk memperoleh karakteristik bahan yang diinginkan.

METODOLOGI DAN PELAKSANAAN PENELITIAN

Metodologi Penelitian

Diagram alir percobaan proses *reheating* dan *thixocasting billet* paduan Al-18Si berstruktur *non-dendritic* diperlihatkan pada gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1. Diagram alir percobaan proses *reheating* dan *thixocasting billet* paduan Al-18Si berstruktur *non-dendritic*

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan penting. Tahapan-tahapan tersebut adalah :

1. Persiapan material penelitian.

Membentuk *billet* paduan Al-18Si dengan struktur *non-dendritic* menggunakan metode *mechanical stirring*.

2. Penentuan parameter percobaan.

Penelitian kali ini difokuskan pada proses *reheating billet* untuk mencapai keadaan semisolidnya, hal ini dilakukan untuk mengetahui temperatur *reheating* dan lamanya waktu penahanan (*holding time*). Dan juga diharapkan *billet* dapat diproses lebih lanjut, dengan mengekstrusi *billet* masuk kedalam cetakan.

Tabel 3.1 dibawah ini menunjukkan kodefikasi jenis perlakuan yang diberikan.

Tabel 3.1. Kode spesimen dan jenis perlakuan

Kode Spesimen	Jenis perlakuan
A.7.594	<i>Thixocasting billet</i> dengan agitasi 12 menit, diameter nosel 7 mm dan temperatur <i>reheating</i> 594°C
A.7.597	<i>Thixocasting billet</i> dengan agitasi 12 menit, diameter nosel 7 mm dan temperatur <i>reheating</i> 597°C
A.8.594	<i>Thixocasting billet</i> dengan agitasi 12 menit, diameter nosel 8 mm dan temperatur <i>reheating</i> 594°C
A.8.597	<i>Thixocasting billet</i> dengan agitasi 12 menit, diameter nosel 8 mm dan temperatur <i>reheating</i> 597°C
A.9.594	<i>Thixocasting billet</i> dengan agitasi 12 menit, diameter nosel 9 mm dan temperatur <i>reheating</i> 594°C
A.9.597	<i>Thixocasting billet</i> dengan agitasi 12 menit, diameter nosel 9 mm dan temperatur <i>reheating</i> 597°C
B.7.594	<i>Thixocasting billet</i> dengan agitasi 36 menit, diameter nosel 7 mm dan temperatur <i>reheating</i> 594°C
B.7.597	<i>Thixocasting billet</i> dengan agitasi 36 menit, diameter nosel 7 mm dan temperatur <i>reheating</i> 597°C
B.8.594	<i>Thixocasting billet</i> dengan agitasi 36 menit, diameter nosel 8 mm dan temperatur <i>reheating</i> 594°C
B.8.597	<i>Thixocasting billet</i> dengan agitasi 36 menit, diameter nosel 8 mm dan temperatur <i>reheating</i> 597°C
B.9.594	<i>Thixocasting billet</i> dengan agitasi 36 menit, diameter nosel 9 mm dan temperatur <i>reheating</i> 594°C
B.9.597	<i>Thixocasting billet</i> dengan agitasi 36 menit, diameter nosel 9 mm dan temperatur <i>reheating</i> 597°C

3. Melakukan percobaan.

Percobaan dilakukan dengan parameter-parameter yang telah ditentukan dan mencatat hasil data yang diperoleh.

4. Melakukan pengukuran dan pengujian spesimen.

Pengukuran volum spesimen dilakukan untuk mengetahui sifat mampu alir *billet*. Pengujian spesimen dilakukan untuk mengetahui apakah proses yang dilakukan mempengaruhi sifat mekanis dari bahan yang diwakili oleh nilai kekerasannya.

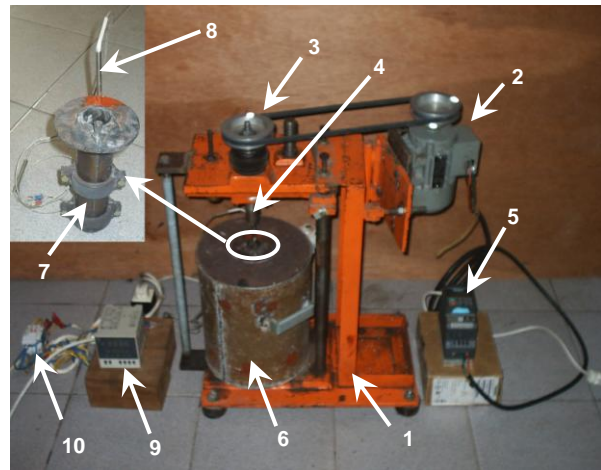
5. Analisa data dan kesimpulan.

Menganalisa semua data-data yang diperoleh, sehingga dapat diketahui kecenderungan hubungan yang terjadi pada setiap perlakuan.

Instalasi stirring casting

Instalasi *stirring casting* merupakan media untuk memperlakukan material uji sewaktu ditahan pada suhu range pendinginan, yaitu dengan memberikan agitasi berupa *mechanical stirring*. Instalasi *stirring casting* tersusun dari beberapa komponen, yaitu :

1. Rangka.
2. Motor Listrik.
3. Sabuk dan transmisi roda gigi.
4. Poros.
5. Inverter.
6. Heater.
7. Cetakan.
8. Termokopel.
9. Termokontrol.
10. Kontaktor.

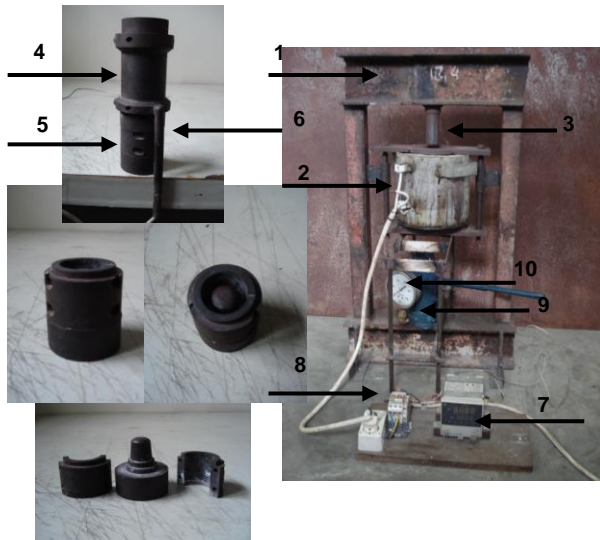


Gambar 3.2. Instalasi *stirring casting* dengan agitasi berupa *mechanical stirring*

Instalasi thixocasting

Instalasi *thixocasting* merupakan media untuk memproses *billet* berstruktur *non-dendritic* yang sebelumnya dipanaskan kembali pada range temperatur semisolidnya. Instalasi *thixocasting* terdiri dari beberapa komponen, yaitu:

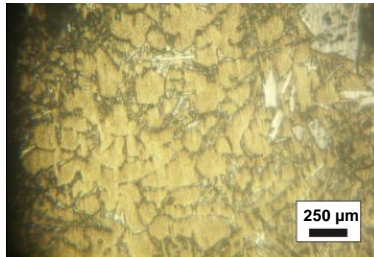
1. Rangka.
2. Heater.
3. Ram
4. Dies
5. Cetakan.
6. Termokopel.
7. Termokontrol.
8. Kontaktor.
9. Dongkrak Hidrolik
10. Pressure Gauge



Gambar 3.3. Instalasi *thixocasting*

3.1. Proses Persiapan *Billet*

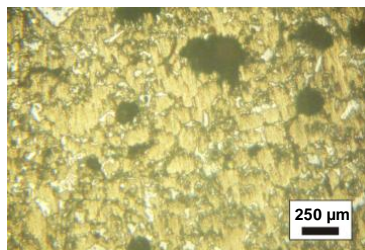
billet A



Gambar 3.4. Struktur mikro *billet* dengan agitasi 12 menit pada $T_{\text{range}} = 600\text{-}570\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan putaran 1200 rpm

Struktur ini memiliki struktur fasa β yang menjadi lebih membesar, dan lebih banyak. Selain itu juga fasa eutektiknya masih mempunyai kecenderungan untuk berkelompok serta Si primer yang berbentuk lempengan telah mengalami pemecahan menjadi bentuk yang lebih kecil. Struktur butir berukuran besar dan berbentuk tidak lingkaran sempurna. Derajat kekerasan sebesar $61,13 \pm 1,78$ HBN.

billet B



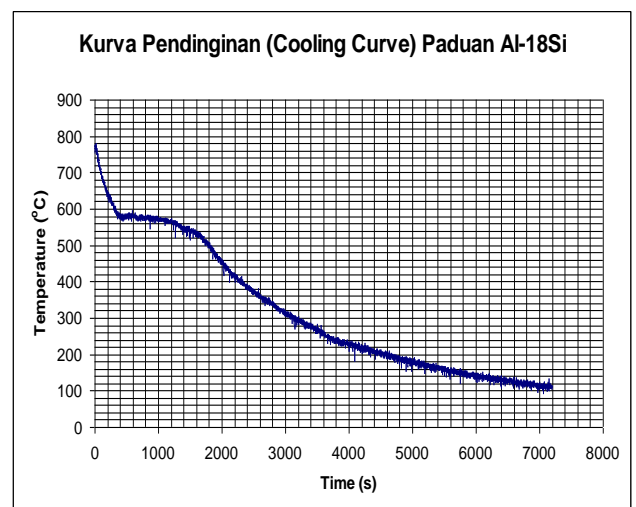
Gambar 3.5. Struktur mikro *billet* dengan agitasi 36 menit pada $T_{\text{range}} = 600\text{-}570\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan putaran 1200 rpm

Struktur ini memiliki struktur yang lebih kecil untuk fasa β dan sudah lebih membulat. Dan distribusi

primernya telah mengalami pemecahan dan pendistribusian yang lebih seragam. Perubahan diatas juga dialami oleh fasa eutektik yang telah terdistribusi lebih seragam. Struktur butir berukuran kecil dan bentuknya mendekati lingkaran sempurna. Dan memiliki derajat kekerasan sebesar $73,83 \pm 5$ HBN.

Proses *Reheating*

Percobaan dilakukan pada range solidus dan liquidus paduan Al-18Si berdasarkan data kurva pendinginan paduan Al-18Si yang diambil dari penelitian sebelumnya, yang dilakukan oleh Seno Zaenal M dan Heru Tri P tentang pembentukan struktur *globular* paduan Al-18Si, diperoleh data kurva pendinginan (*cooling curve*) dari paduan tersebut, seperti diperlihatkan pada gambar 3.6. berikut:



Gambar 3.6. Kurva pendinginan paduan Al-18Si hipereutektik

Dari hasil kurva pendinginan paduan Al-18Si yang didapat, menyatakan bahwa temperatur lebur material uji sebesar $586\text{ }^{\circ}\text{C}$, dan temperatur bekunya sebesar $532\text{ }^{\circ}\text{C}$. Berarti perubahan fasa dari paduan Al-18Si terjadi pada range temperatur $532\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $586\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Penentuan *holding time* dilakukan dengan melihat kecenderungan *holding time* terhadap *heating time* (waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur *reheating* sebelum ditahan) dari penelitian-penelitian yang telah ada. Dimana kecenderungan yang didapat adalah waktu penahanan (*holding time*) sebesar 1,2-1,4 lebih lama dari waktu pemanasannya.

Untuk mencapai temperatur $570\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $580\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan dengan asumsi bahwa temperatur lingkungan sebesar $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ maka dibutuhkan waktu pemanasan selama 72 menit dengan kecepatan pemanasan $450\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{jam}$. Selanjutnya dipilih waktu penahanan 1,2 lebih lama dari waktu pemanasannya yaitu sebesar 87 menit. Agar temperatur *billet* lebih seragam maka waktu penahanan ditentukan sebesar 90 menit.

Percobaan dilakukan dalam dua tahap, yaitu proses *reheating* yang dilakukan dengan menggunakan tungku pemanas Hofmann yang terdapat di Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro dan proses *reheating* yang dilakukan didalam instalasi *thixocasting* yang dilengkapi dengan *heater*. Prosedur yang dilakukan untuk proses percobaan *reheating* didalam tungku Hofmann maupun *heater*, sama saja yaitu dengan memanaskan *billet* pada temperatur tertentu kemudian membelah *billet* tersebut dengan menggunakan sebilah pisau untuk mengetahui apakah *billet* berada pada range temperatur semisolidnya dan memiliki fraksi solid yang cukup.



Gambar 3.7. Proses memotong *billet* pada keadaan semisolidnya dengan menggunakan tungku Hofmann



Gambar 3.8. Proses memotong *billet* pada keadaan semisolidnya dengan menggunakan *heater thixocasting*

Proses Thixocasting

Proses *thixocasting* dilakukan untuk membentuk produk SSF berupa *prototype* piston dari *billet* yang memiliki struktur *non-dendritic* dengan menggunakan instalasi *thixocasting* yang sederhana. Pada proses *thixocasting* *billet* yang telah mencapai keadaan semisolidnya diekstrusikan kedalam cetakan untuk membentuk produk yang diinginkan.



Gambar 3.9. Mengekstrusikan *billet*

DATA DAN ANALISA HASIL PENELITIAN

Data Percobaan Proses Reheating Reheating Didalam Tungku Pemanas

Billet tipe A



Gambar 4.1. Percobaan dengan temperatur $T = 570\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan *holding time* $t = 120$ menit



Gambar 4.2. Percobaan dengan temperatur $T = 572\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan *holding time* $t = 120$ menit



Gambar 4.3. Percobaan dengan temperatur $T = 572\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan *holding time* $t = 240$ menit



Gambar 4.4. Percobaan dengan temperatur $T = 575\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan *holding time* $t = 120$ menit



Gambar 4.9. Percobaan dengan temperatur $T = 575\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan *holding time* $t = 120$ menit

Billet tipe B

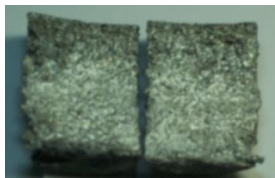


Gambar 4.5. Percobaan dengan temperatur $T = 570\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan *holding time* $t = 90$ menit



Gambar 4.10. Percobaan dengan temperatur $T = 580\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan *holding time* $t = 90$ menit

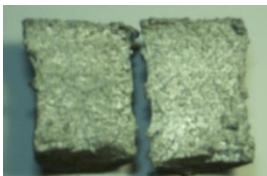
Reheating Didalam Instalasi Thixocasting



Gambar 4.6. Percobaan dengan temperatur $T = 570\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan *holding time* $t = 120$ menit



Gambar 4.11. Percobaan dengan temperatur $T = 580\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan *holding time* $t = 120$ menit



Gambar 4.7. Percobaan dengan temperatur $T = 572\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan *holding time* $t = 120$ menit



Gambar 4.12. Percobaan dengan temperatur $T = 590\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan *holding time* $t = 120$ menit



Gambar 4.8. Percobaan dengan temperatur $T = 572\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan *holding time* $t = 240$ menit



Gambar 4.13. Percobaan dengan temperatur $T = 594\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan *holding time* $t = 120$ menit



Gambar 4.14. Percobaan dengan temperatur $T = 597\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan *holding time* $t = 120$ menit



Gambar 4.15. Percobaan dengan temperatur $T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan *holding time* $t = 120$ menit

Data Operasi Proses *Thixocasting* Proses ekstrusi tahap 1

Tabel 4.1. Data operasi proses *thixocasting* pada ekstrusi tahap pertama

No	Spesimen	S0(mm)	S1(mm)	$\Delta S1$ (mm)
1	A.8.594	30,7	18,3	12,4
2	A.8.597	29,4	17,7	11,7
3	A.9.594	29,3	17,5	11,8
4	A.9.597	27,8	15	12,8
5	B.8.594	28,6	15,7	12,9
6	B.8.597	32,6	17,2	15,4
7	B.9.594	28,4	12,6	15,8
8	B.9.597	28,5	17,8	10,7

No	Spesimen	t1(s)	v1(mm/s)	P1(kg/cm ²)	F1(kg)
1	A.8.594	7,7	1,61	320	4019,20
2	A.8.597	6,6	1,77	280	3516,80
3	A.9.594	6,5	1,82	240	3014,40
4	A.9.597	6,2	2,06	300	3768,00
5	B.8.594	5,7	2,26	300	3768,00
6	B.8.597	6,2	2,48	260	3265,60
7	B.9.594	6,2	2,55	260	3265,60
8	B.9.597	5	2,14	300	3768,00

Proses ekstrusi tahap 2

Tabel 4.2. Data operasi proses *thixocasting* pada ekstrusi tahap pertama

No	Spesimen	S1(mm)	S2(mm)	$\Delta S2$ (mm)
1	A.8.594	18,3	8,8	9,5
2	A.8.597	17,7	5	12,7
3	A.9.594	17,5	9,7	7,8
4	A.9.597	15	4,1	10,9
5	B.8.594	15,7	8,1	7,6
6	B.8.597	17,2	9,9	7,3

7	B.9.594	12,6	7,1	5,5
8	B.9.597	17,8	10,4	7,4

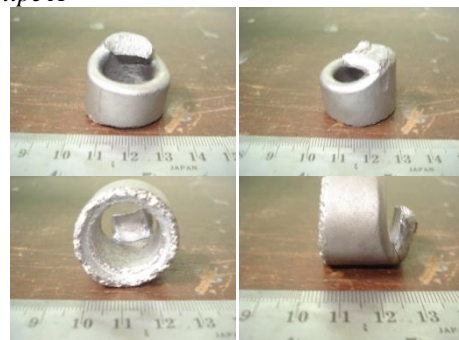
No	Spesimen	t2(s)	v2(mm/s)	P2(kg/cm ²)	F2(kg)
1	A.8.594	6,1	1,56	320	4019,20
2	A.8.597	5,9	2,15	300	3768,00
3	A.9.594	9,6	0,81	260	3265,60
4	A.9.597	5	2,18	300	3768,00
5	B.8.594	4,5	1,69	300	3768,00
6	B.8.597	5,5	1,33	280	3516,80
7	B.9.594	5	1,10	340	4270,40
8	B.9.597	5	1,48	360	4521,60

Data Volume *Billet* Dalam Cetakan

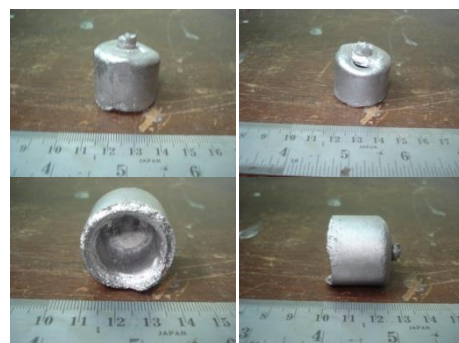
Tabel 4.3. Data volume *billet*

NO	Spesimen	Volume Produk (cm ³)	Persentase Mampu Alir (%)
1	A.8.594	7	56,45
2	A.8.597	10	80,65
3	A.9.594	5,5	44,35
4	A.9.597	8,5	68,55
5	B.8.594	5	40,32
6	B.8.597	6	48,39
7	B.9.594	3,5	28,23
8	B.9.597	4	32,26

Billet tipe A



Gambar 4.16. Produk *thixocasting* dengan temperatur *reheating* $594\text{ }^{\circ}\text{C}$ *holding time* 120 menit dan ukuran nosel 8 mm



Gambar 4.17. Produk *thixocasting* dengan temperatur *reheating* $597\text{ }^{\circ}\text{C}$ *holding time* 120 menit dan ukuran nosel 8 mm



Gambar 4.18. Produk *thixocasting* dengan temperatur *reheating* 594 °C *holding time* 120 menit dan ukuran nosel 9 mm



Gambar 4.19. Produk *thixocasting* dengan temperatur *reheating* 597 °C *holding time* 120 menit dan ukuran nosel 9 mm

Billet tipe B



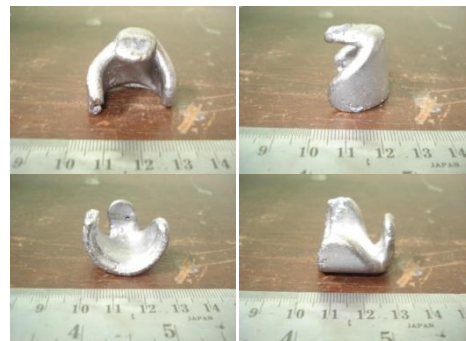
Gambar 4.20. Produk *thixocasting* dengan temperatur *reheating* 594 °C *holding time* 120 menit dan ukuran nosel 8 mm



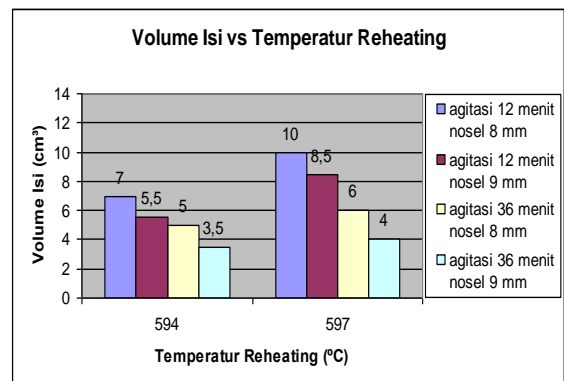
Gambar 4.21. Produk *thixocasting* dengan temperatur *reheating* 597 °C *holding time* 120 menit dan ukuran nosel 8 mm



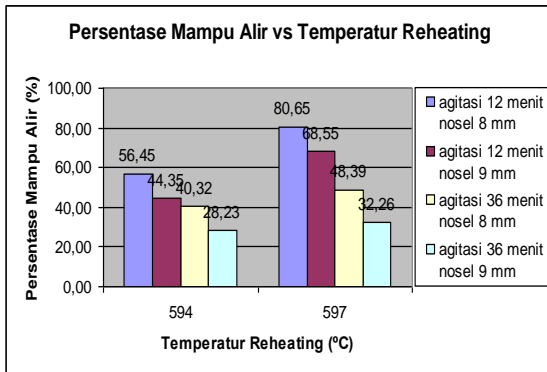
Gambar 4. 22. Produk *thixocasting* dengan temperatur *reheating* 594 °C *holding time* 120 menit dan ukuran nosel 9 mm



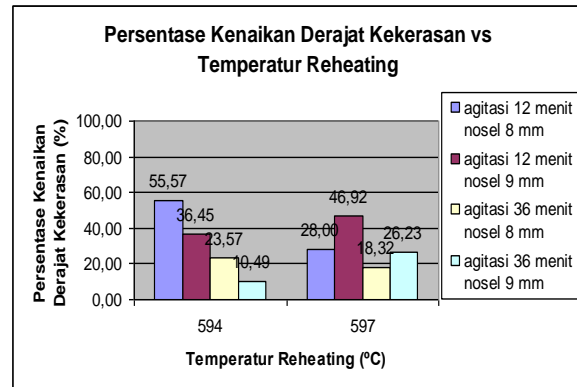
Gambar 4.23. Produk *thixocasting* dengan temperatur *reheating* 597 °C *holding time* 120 menit dan ukuran nosel 9 mm



Gambar 4.24. Grafik volume isi vs temperatur *reheating*



Gambar 4.25. Grafik persentase mampu alir vs temperatur reheating



Gambar 4.27. Grafik Hubungan Persentase Kenaikan Derajat Kekerasan vs Temperatur reheating

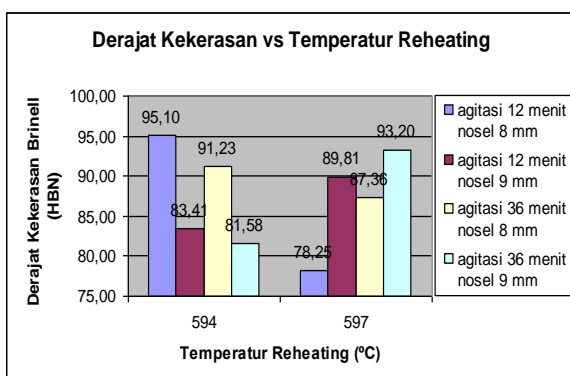
Data Pengujian kekerasan

Tabel 4.4. Data derajat kekerasan Al-18Si as cast billet A dan billet B

Tipe Billet	HBN
Al-18Si as Cast	62,58
billet agitasi 12 menit	61,13
billet agitasi 36 menit	73,83

Tabel 4.5. Data uji kekerasan produk thixocasting

NO	Spesimen	HRF	HVN	HBN
1	A.8.594	89,00	100	95,10
2	A.8.597	80,17	82,28	78,25
3	A.9.594	83,33	87,71	83,41
4	A.9.597	86,50	94,44	89,81
5	B.8.594	87,17	95,93	91,23
6	B.8.597	85,33	91,86	87,36
7	B.9.594	83,17	85,78	81,58
8	B.9.597	88,00	98	93,20



Gambar 4.26. Grafik Hubungan Derajat Kekerasan vs Temperatur reheating

Korelasi Kecenderungan Hasil Penelitian

Dari data percobaan yang diperoleh diatas didapatkan korelasi kecenderungan antara perlakuan yang diberikan saat pembuatan billet paduan Al-18Si berstruktur *non dendritic* terhadap proses reheating billet, dan juga korelasi kecenderungan proses reheating itu sendiri dengan proses pembentukan billet menjadi sebuah produk dengan menggunakan instalasi thixocasting yang sederhana.

Korelasi hubungan kecenderungan hasil percobaan antara temperatur reheating dengan fraksi solid billet dimana kenaikan temperatur reheating akan menurunkan fraksi solid billet atau billet akan cenderung menyerupai keadaan cairnya seiring dengan kenaikan temperatur reheating. Hal ini disebabkan karena kenaikan temperatur akan menyebabkan terjadinya *partial remelting* yang berawal dari batas inti, yang diikuti dengan penurunan proporsi fasa eutektiknya. Oleh sebab itu semakin tinggi temperaturnya maka proporsi fasa eutektik akan semakin kecil. Sehingga fraksi liquid dari billet akan semakin besar. Hal ini sesuai dengan hipotesa yang ada, yang dilakukan oleh M. Modigell dan J. Koke yang menggunakan metode Scheil dengan pendekatan Thermodynamical pada paduan Sn-15Pb, dimana fraksi solid akan berada pada tingkat yang rendah saat temperatur mendekati titik liquidusnya, dan sebaliknya fraksi solid berada pada tingkat yang tinggi saat temperatur mendekati titik solidusnya.

Holding time dari proses reheating akan mempengaruhi rheologi billet dimana billet akan mengalami fluktuasi fraksi solid seiring perpanjangan waktu holding time. Hal ini membuktikan hipotesa yang ada, yang dilakukan oleh Loue dan Suery pada paduan A357 (Al-7Si-0,6Mg) dimana perpanjangan waktu holding time akan menyebabkan densitas dari partikel akan menurun yang diakibatkan oleh pengkasaran partikel dan penggabungan antar partikel. Sehingga holding time yang terlalu panjang akan menyebabkan fluktuasi fraksi solid pada billet sehingga terjadi ketidakseragaman keadaan.

Hasil percobaan proses reheating dengan dua variasi billet, yaitu billet tipe A dan billet tipe B memperlihatkan korelasi hubungan antara mikrostruktur billet dengan parameter proses

reheating. Dimana *billet* tipe A akan memiliki fraksi solid yang lebih rendah jika dibandingkan dengan fraksi solid *billet* tipe B pada temperatur *reheating* dan *holding time* yang sama. Perbedaan ini dikarenakan pada *billet* tipe A memiliki batas butir yang lebih luas dan proporsi fasa eutektiknya pun lebih besar jika dibandingkan dengan *billet* tipe B, maka *billet* tipe A memiliki kecenderungan batas butirnya akan lebih banyak yang mencair dan proporsi fasa eutektik yang mencair juga lebih besar.

Sedangkan untuk variasi *holding time* kecenderungan antara *billet* A dan *billet* B adalah pada dua jenis *billet* tersebut hasil percobaan menunjukkan bahwa perpanjangan waktu *holding time* akan menyebabkan perubahan keadaan pada *billet*. Hasil percobaan pada *billet* A memperlihatkan perubahan keadaan yang tidak jauh berbeda antara *holding time* 120 dan 240 menit, sedangkan pada *billet* B memperlihatkan perubahan keadaan yang cukup mencolok seiring perpanjangan waktu *holding time* dimana *billet* mengalami fenomena *elephant foot* walaupun *billet* sebelumnya berada pada keadaan yang cukup baik. Perbedaan ini disebabkan karena struktur dari *billet* A masih memiliki kecenderungan seperti struktur *dendritic* sedangkan struktur *billet* B sudah memiliki karakteristik rheologi dari struktur *non dendritic*. Berdasarkan hipotesa hasil percobaan Loue dan Suery, perpanjangan waktu *holding time* tidak akan banyak mempengaruhi densitas partikel yang memiliki kecenderungan struktur *dendritic*, sehingga fluktuasi fraksi solid tidak terjadi pada *billet* tipe A.

Dari data hasil percobaan proses *thixocasting* didapatkan kecenderungan persentase mampu alir. Untuk variasi tipe *billet*, *billet* A akan memiliki kecenderungan persentase mampu alir yang lebih baik jika dibandingkan dengan *billet* B. Hal ini dikarenakan pada *billet* tipe A memiliki ukuran butir yang lebih besar dan memiliki proporsi fasa eutektik yang lebih banyak jika dibandingkan dengan *billet* tipe B yang strukturnya berukuran kecil dan proporsi fasa eutektiknya lebih sedikit, dengan begitu fraksi solid *billet* tipe A memiliki kecenderungan lebih kecil dibandingkan fraksi solid yang dimiliki oleh *billet* tipe B karena pada range temperatur tertentu *billet* A mengalami *partial remelting* pada batas butir yang lebih besar dan pengurangan proporsi fasa eutektik yang lebih besar pula jika dibandingkan dengan *billet* B, sehingga *billet* tipe A akan lebih cair dibandingkan *billet* tipe B dan *billet* tipe A akan lebih mudah untuk mengisi cetakan.

Dan kecenderungan yang lain adalah persentase mampu alir akan lebih baik ketika proses *thixocasting* dilakukan dengan menggunakan nosel ukuran 8 mm dibandingkan dengan menggunakan nosel ukuran 9 mm. Ini disebabkan pada nosel ukuran 8 mm, memiliki rasio reduksi penampang yang lebih besar dibandingkan dengan nosel ukuran 9 mm, ini menyebabkan volume *billet* yang masuk kedalam cetakan dengan menggunakan nosel ukuran 8 mm akan lebih cepat jika dibandingkan dengan nosel ukuran 9

mm, sehingga pada range waktu tertentu volume *billet* yang masuk kedalam cetakan akan lebih banyak saat proses mennggunakan nosel ukuran 8 mm.

Dari percobaan yang dilakukan tidak ada produk yang mengisi secara sempurna, volume terbesar adalah sebesar 10 cm³ dengan persentase sebesar 80,65 %. Hal ini dikarenakan proses tidak dapat mengejar kehilangan panas *billet* ke sistem. Sehingga ketika transien panas terjadi *billet* tidak lagi berada pada keadaan *semisolidnya* atau dengan kata lain *billet* telah kembali ke keadaan solid.

Data persentase kenaikan derajat kekerasan menunjukkan untuk variasi tipe *billet*, *billet* A memiliki persentase kenaikan derajat kekerasan lebih tinggi dibandingkan *billet* B pada semua variasi ukuran nosel saat *reheating* dilakukan dengan temperatur 594 °C. Tetapi kecenderungan tersebut berkebalikan saat *reheating* dilakukan dengan temperatur 597 °C. Hal ini disebabkan karena pada temperatur 594 °C struktur dari *billet* B tidak mengalami pertumbuhan inti baru atau terjadi pertumbuhan dari inti baru tetapi jumlahnya sedikit sehingga tidak menurunkan kerapatan dari inti-inti butir dan pengaruhnya terhadap kenaikan derajat kekerasan pun relatif kecil. Sementara pada *billet* A saat temperatur 594 °C keadaanya lebih cair atau memiliki fraksi solid yang relatif kecil dimana saat terjadi proses pemampatan yang diakibatkan oleh reduksi penampang, butir-butir yang ada akan lebih rapat, sehingga persentase kenaikannya pun lebih besar. Dan saat temperatur 597 °C kedua tipe *billet* mengalami kelebihan fraksi liquid, tetapi pada *billet* B fraksi liquid yang dimiliki tidak sebesar fraksi liquid *billet* A sehingga pada *billet* B proses pemampatan yang terjadi menyebabkan struktur *billet* menjadi lebih rapat, sedangkan pada *billet* A proses tidak berjalan dengan baik karena *billet* terlalu cair atau densitas dari *billet* menjadi kecil sebagai akibat dari pertumbuhan inti-inti baru yang bentuk dan ukurannya tidak seragam.

Kecenderungan lain yang dapat dilihat adalah variasi ukuran nosel 8 mm akan memberikan derajat kekerasan lebih tinggi dibandingkan nosel 9 mm pada semua tipe *billet* saat proses *reheating* dilakukan dengan temperatur 594 °C. tetapi kecenderungan tersebut akan berkebalikan saat *reheating* dilakukan dengan temperatur 597 °C. Saat proses dilakukan pada temperatur 594 °C proses pemampatan yang diakibatkan oleh reduksi penampang yang dimiliki oleh nosel ukuran 8 mm akan lebih besar dibandingkan nosel ukuran 9 mm karena rasio reduksi penampang nosel 8 mm lebih besar jika dibandingkan 9 mm. Sedangkan pada temperatur 597 °C kedua *billet* memiliki fraksi solid yang relatif lebih kecil dibandingkan fraksi liquidnya, sehingga efek reduksi penampang lebih cenderung kepada kecepatan alir dari *billet* bukan pada pemampatan struktur *billet*

Secara keseluruhan terlihat bahwa hasil yang diperoleh saat proses *thixocasting* dipengaruhi oleh tingkat keadaan *billet*, baik ketika proses pembuatan *billet* maupun saat proses *reheating*. Dimana saat

proses pembuatan *billet*, *billet* yang dihasilkan memiliki karakteristik struktur yang berbeda akan memberikan pengaruh yang berbeda pula saat proses *reheating* dilakukan pada temperatur *reheating* dan *holding time* tertentu dan hasil dari produk *thixocasting* itu sendiri. Tingkat keadaan yang dibuat saat proses *reheating* juga akan mempengaruhi hasil produk, baik sifat mampu alirnya maupun derajat kekerasan dari produk tersebut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari penelitian tentang proses *reheating billet* dan *thixocasting* paduan Al-18Si berstruktur *non-dendritic* yang diagitasi dengan menggunakan *mechanical stirring* didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik struktur *billet* mempengaruhi tingkat keadaan *billet* saat proses *reheating* berlangsung.
2. Temperatur *reheating* dan *holding time* mempengaruhi tingkat keadaan *billet* saat proses *reheating* berlangsung.
3. Keberhasilan proses *thixocasting* sangat bergantung terhadap pencapaian tingkat keadaan yang optimal saat proses *reheating* berlangsung dan tingkat keadaan tersebut dapat dijaga dengan baik artinya tidak terjadi perubahan selama proses berlangsung.
4. Hasil pengukuran volume produk yang masuk kedalam cetakan akan meningkat pada temperatur *reheating* 597 °C dibanding pada temperatur *reheating* 594 °C. Dan pada *billet* dengan agitasi 12 menit memberikan persentase volume produk rata-rata diatas 50 %, sedangkan *billet* dengan agitasi 36 menit memberikan persentase volume rata-rata dibawah 50 %.
5. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan persentase kenaikan derajat kekerasan pada produk *thixocasting* memberikan kecendrungan yang saling berkebalikan antara nosel 8 mm dengan nosel 9 mm. Dimana pada nosel 8 mm derajat kekerasan akan turun pada temperatur *reheating* 597°C. Sedangkan pada nosel 9 mm derajat kekerasan akan naik pada temperatur *reheating* 597°C.

SARAN

Pada penelitian ini terdapat beberapa kekurangan, agar penelitian selanjutnya dapat berjalan dengan lebih baik lagi, maka penulis menyarankan beberapa hal yaitu:

1. Sistem isolasi panas pada *heater* dibuat lebih baik lagi, untuk menghindari hilangnya panas yang terlalu cepat pada *billet* ketika proses ekstrusi berlangsung.
2. Mengganti sistem hidrolis yang ada dengan sistem pneumatik untuk menghasilkan proses ekstrusi yang memiliki kecepatan tinggi. Untuk menyiasati cepatnya kehilangan panas pada *billet* ketika proses ekstrusi berlangsung.

3. Melakukan uji mikrografi terhadap *billet* setelah *billet direheating*, untuk mengetahui bentuk dan perubahan struktur yang terjadi setelah *billet direheating*.
4. Menggunakan data *thermodynamic* untuk mengetahui fraksi solid yang ada secara tepat, agar hubungan dan pengaruh dari fraksi solid terhadap parameter-parameter percobaan menjadi lebih jelas.

DAFTAR PUSTAKA

1. Dieter, G. E, *Metalurgi Mekanik*, Jilid I dan II, terjemahan Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta, 1992
2. John, Vernon, *Testing of Materials*, Machillan, Hongkong, 1992
3. Gruzleski, John.E, Closset, Bernard. *Mthe, Treatment of Liquid Alumunium-Silicon Alloys*, The American foundrymen's Sociaty, inc, Des Plaines, Illinois, 1990
4. Fan, Z, *Semisolid Metal Processing*, International Materials Review Vol. 47 No. 2, 2002
5. Tzimas, E, Zavaliangos, A, Evaluation of volume fraction of solid in alloys formed by semisolid processing, *Journal of Materials Science*, Drexel University, Philadelphia, 2000
6. Findon, Matthew M, *Semisolid slurry formation via liquid metal mixing*, Worcester Polytechnic Institute, 2003
7. Buynacek, C. J, Winterbottom, W. L, High volume semisolid forming of Aluminum master Cylinders, SAE 2000 World Congress, Detroit, Michigan, March 2000
8. Fan, Z, Chen, J. Y, Modelling of rheological behaviour of semisolid metal slurries, *Materials Science and Technology* Vol 18, 2002
9. Apelian, D, Makhlof, M, *Semisolid Processing*, NADCA R&D Committee Meeting, October, 2002
10. Van Vlack, Lawrence H, *Ilmu Dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam Dan Bukan Logam)*, alih bahasa Ir. Sriati Djaprie, M.E., M. Met, Penerbit Erlangga, 1992
11. Kalpakjian, Serope, *Manufacturing Engineering And Technology*, Addison-Wesley Publishing Company Inc
12. M. Shehata, E. Essadiqi, Loong, Chee-Ang, *Semi-Solid Forming of Al and Mg Alloys for Transportation Applications*, MTL/CANMET Natural Resources, Canada, June 2001
13. F. Dughiero, M. Forzan, S. Lupi, *Reheating 150 mm Billets of A356 Alloy for Thixo-Processing*, International Scientific Colloquium, Hannover, March 2003