

## PENGARUH TEMPERATUR CETAKAN PADA PENGECORAN *SQUEEZE* TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS ALMINIUM DAUR ULANG (Al-6,4%Si-1,93%Fe)

Helmy Purwanto<sup>1)</sup>, Suyitno<sup>2)</sup> dan Prio Tri Iswanto<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Mesin Universitas Wahid Hasyim Semarang  
Jl. Menoreh Tengah X/22 Sampangan Semarang 50236

<sup>2)</sup>Jurusan Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada Yogyakarta  
Jl. Grafika No. 2 Bulaksumur Jogjakarta

e-mail : helmy\_uwh@yahoo.co.id; suyitno@ugm.ac.id; priyotri@yahoo.com

### Abstrak

Aluminium merupakan logam yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Untuk menghasilkan produk cor yang unggul dengan menggunakan bahan daur ulang dapat dilakukan dengan metode pengecoran *squeeze*. Pengecoran *squeeze* adalah pengecoran dengan pengaruh tekanan pada saat pembekuan logam cair dan merupakan penggabungan antara pengecoran dan penempaan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh temperatur cetakan terhadap struktur mikro dan kekerasan hasil pengecoran *squeeze* (*squeeze casting*) pada paduan Al-6,4%Si-1,93%Fe. Paduan dilebur pada dapur krusibel dan dituang pada temperatur 700°C pada cetakan yang berbentuk *die-punch* yang dipanaskan pada temperatur 300, 400, 500°C dan dengan tekanan *squeeze* 0 (tuang) dan 100 MPa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengecoran *squeeze* akan menurunkan dan meratakan ukuran struktur silikon dan meningkatkan kekerasan. Semakin tinggi temperatur cetakan, SDAS (*Secondary Dendrite Arm Spacing*) semakin besar dan harga kekerasan *brinell* semakin rendah.

**Kata kunci:** pengecoran *squeeze*, temperatur cetakan, struktur mikro, kekerasan.

### PENDAHULUAN

Aluminium merupakan logam yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi meliputi peralatan rumah tangga, konstruksi, komponen otomotif dan pesawat terbang (*aerospace*). Pemakaian aluminium diperkirakan pada masa mendatang masih terbuka luas baik sebagai material utama maupun material pendukung dengan ketersediaan biji aluminium di bumi yang melimpah. Aluminium disamping mempunyai massa jenis kecil, tahan terhadap korosi, daya hantar listrik yang baik, jika dipadu dengan unsur dan diproses dengan metode tertentu akan mempunyai sifat fisis dan mekanis yang unggul. Komponen otomotif sebagian besar menggunakan paduan aluminium silikon (Al-Si) yang proses produksinya menggunakan proses pengecoran. Silikon (Si) merupakan salah satu unsur yang jika dipadu dengan aluminium mampu meningkatkan sifat mekanis, mampu cor (*castability*), mampu mesin (Brown, 1999).

Pengecoran *squeeze* adalah pengecoran bertekanan dengan menggunakan cetakan berbentuk *die-punch* di mana tekanan langsung diberikan pada logam cair pada saat terjadi pembekuan. Pengecoran ini pertama kali diperkenalkan oleh Chernov pada tahun 1878 di Russia (Tjitro dan Firdaus, 2001). Dengan menggunakan cetakan logam dan pengaruh tekanan maka akan terjadi perpindahan panas yang relatif cepat dan mengurangi cacat porositas serta penyusutan. Pengecoran *squeeze* juga disebut *squeeze forging* atau penempaan logam cair adalah proses pengecoran dengan memberikan tekanan eksternal saat pembekuan dan merupakan penggabungan keunggulan proses tempa (*forging*) dan cor (*casting*). Proses *squeeze*, mampu meningkatkan sifat fisis dan mekanis terutama pada material dengan paduan dasar Aluminium dan Magnesium (Ghomashchi dkk., 1998). *Squeeze* pada paduan dasar aluminium mampu menghasilkan coran yang mempunyai propertis seperti hasil tempa (Yue, 1997).

Berdasarkan mekanisme pengisian logam cair kedalam cetakan, pengecoran *squeeze* dibagi menjadi dua kelompok yaitu *direct squeeze casting (DSC)*, dan *in-direct squeeze casting (ISC)* (Yue et.al.,1996).

Industri pengecoran aluminium lokal terutama industri kecil menengah, disamping menggunakan proses pengecoran tuang (*gravity casting*) material yang digunakan adalah Al-Si daur ulang dan dalam proses peleburan banyak menggunakan peralatan dari besi (mengandung unsur Fe) sehingga dalam proses unsur Fe akan bertambah pada paduan. Fe dalam paduan Al-Si merupakan unsur pengotor yang menyebabkan turunnya kekuatan dan ketahanan terhadap korosi

(Smith, 1993), Fe lebih dari 2% pada Al-Si akan memicu terbentuknya fase intermetalik  $\beta$ AlSiFe yang dapat mengurangi kekuatan tarik (Fang, dkk., 2000), dan ini merupakan masalah yang utama dalam industri pengecoran aluminium daur ulang (Mondolfo, 1976).

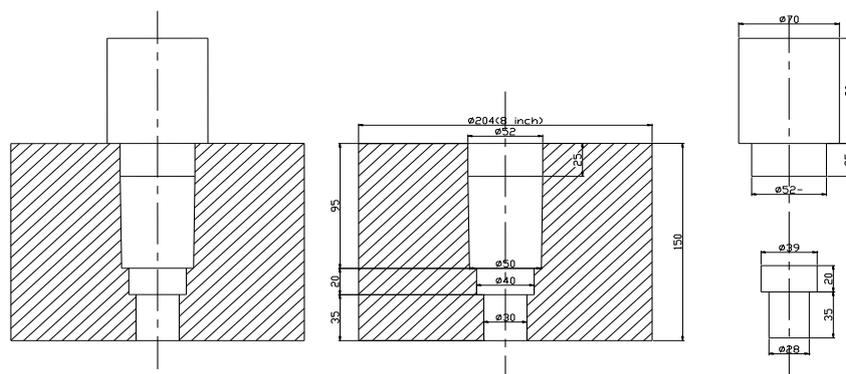
Penelitian ini menggunakan aluminium daur ulang dimana paduan mengandung unsure Fe 1,93%, dengan proses pengecoran *squeeze* (*direct squeeze casting*), selanjutnya dipelajari pengaruh temperatur cetakan terhadap struktur mikro dan sifat mekanis serta sebagai pembandingan dilakukan pengecoran dengan metode tuang (*gravity casting*) pada paduan yang sama.

### CARA PENELITIAN

Paduan aluminium dengan komposisi seperti ditunjukkan pada Table 1 dalam bentuk ingot dilebur pada dapur krusibel dan dituang pada temperatur 700°C pada cetakan (*die*) yang telah dipanaskan pada variasi 300, 400 dan 500°C. Untuk menghindari efek pengelasan antara *die* dan *punch* serta coran, cetakan dilapisi *die coat pasta* yang dicairkan dan disemprotkan. *Die coat pasta* dengan merk dagang “Acheson” *lubrication beyond oil* dari bahan vermiculite dan mica. Setelah paduan dituang *punch* diletakkan pada *die* dan ditekan dengan menggunakan penggerak tenaga hidrolis dan ditahan selama 100 detik sebesar 100 MPa. Dimensi cetakan dengan sistem *die-punch* ditunjukkan pada Gambar 1. Hasil pengecoran dibuat specimen untuk dilakukan pengamatan struktur mikro dan uji kekerasan.

Spesimen pengamatan struktur mikro dan uji kekerasan diperoleh dari hasil pengecoran yang berbentuk silindris. Pengamatan dan pengujian dilakukan pada bagian atas, tengah dan bawah dan tiap-tiap bagian diamati dan diuji mulai dari daerah tepi ke sumbu.

Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dan pengukuran kekerasan dengan menggunakan pengujian Brinell (*Brinell Hardness*) dengan indenter bola baja 2,5 mm dengan pembebanan 60 kgf.



Gambar 1. Disain *die-punch*

Tabel 1. Komposisi kimia paduan (%)

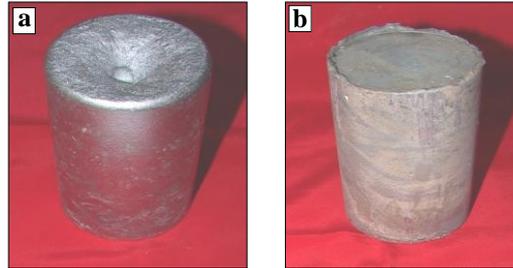
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Al
6,43	1,933	0,319	0,0502	0,0281	0,3121	0,1110	0,0140	0,0206	0,0429	0,0096	90,72

Tabel 2. Variasi perlakuan

No	Temperatur Tuang (°C)	Temperatur Cetakan (°C)	Besar Tekanan (MPa)
1	700	300	0
2	700	400	0
3	700	500	0
4	700	300	100
5	700	400	100
6	700	500	100

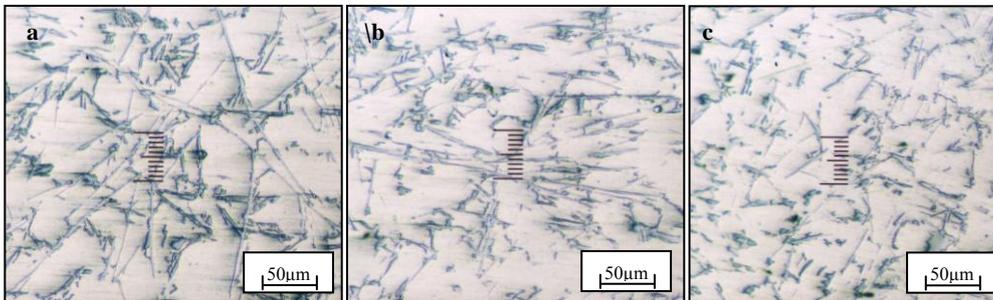
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Hasil Pengamatan Struktur Mikro

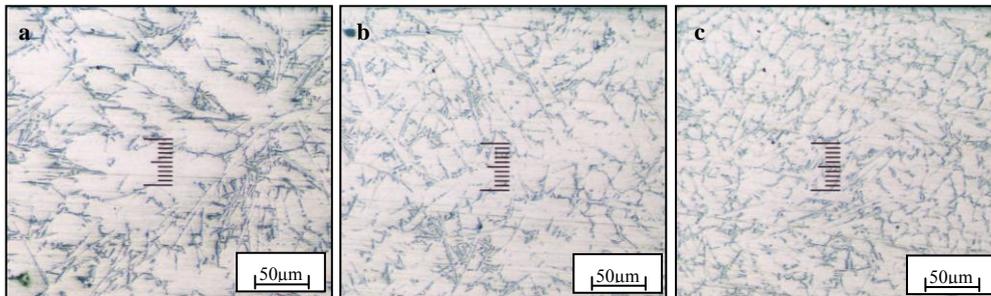


**Gambar 2.** Hasil pengecoran (a). Tuang, (b). *Squeeze*

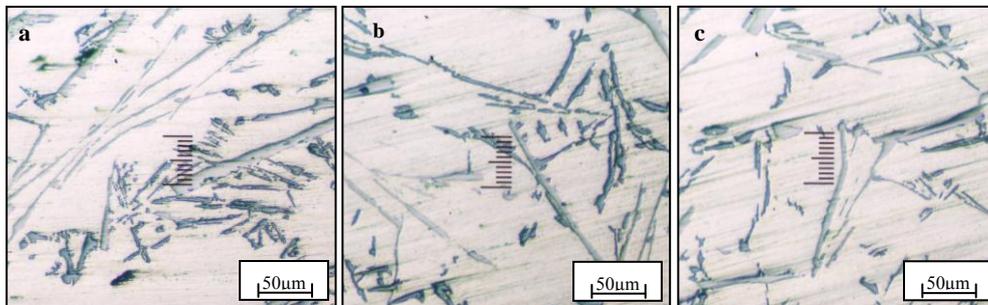
Gambar 2. menunjukkan perbedaan hasil pengecoran tuang dengan pengecoran squeeze. Pengecoran tuang menunjukkan cacat penyusutan pada bagian atas dengan kedalaman antara 10 hingga 20 mm pada dimensi spesimen tinggi 70 mm dan diameter 52 mm. Hal ini menunjukkan bahwa dengan squeeze dapat menghasilkan produk tanpa penyusutan dengan bentuk mendekati ukuran standarnya (*near-net shape*).



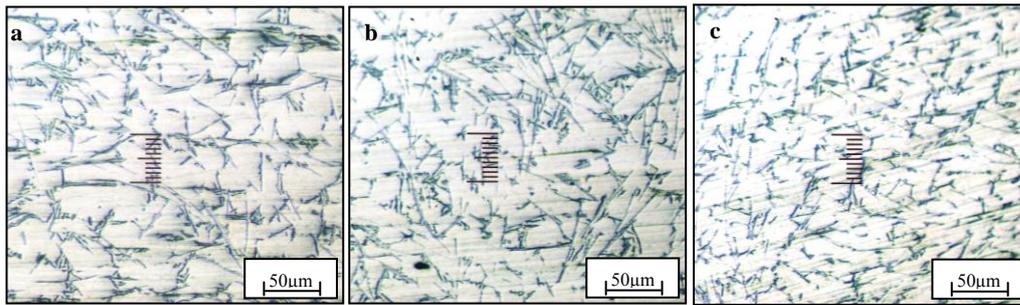
**Gambar 3.** Struktur mikro spesimen pada temperatur cetakan 400°C, tekanan 0 MPa (pengecoran tuang) pada jarak (a). 0 mm, (b). 12 mm, (c). 24 mm dari sumbu



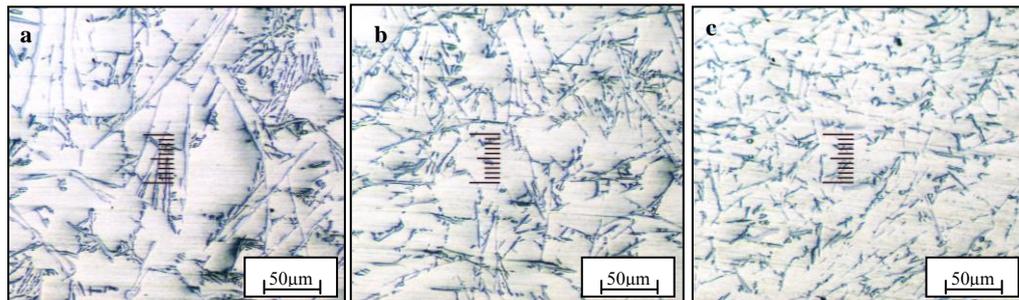
**Gambar 4.** Struktur mikro spesimen pada temperatur cetakan 300°C, tekanan 0 MPa (pengecoran tuang) pada jarak (a). 0 mm, (b). 12 mm, (c). 24 mm dari sumbu



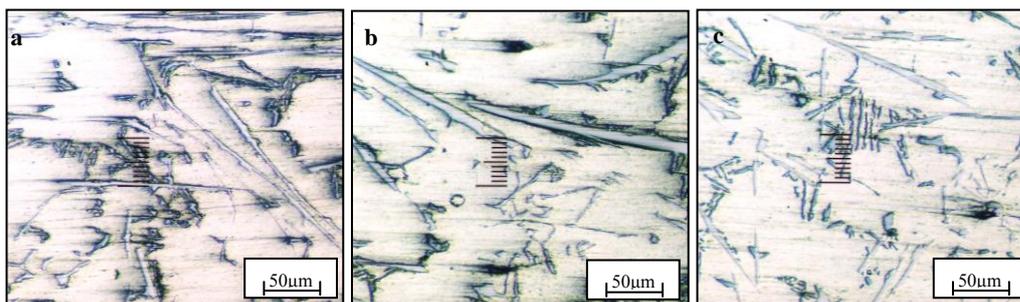
**Gambar 5.** Struktur mikro spesimen pada temperatur cetakan 500°C, tekanan 0 MPa (pengecoran tuang) pada jarak (a). 0 mm, (b). 12 mm, (c). 24 mm dari sumbu



**Gambar 6.** Struktur mikro spesimen pada temperatur cetakan 300°C, tekanan 100 MPa pada jarak (a). 0 mm, (b). 12 mm, (c). 24 mm dari sumbu



**Gambar 7.** Struktur mikro spesimen pada temperatur cetakan 400°C, tekanan 100 MPa pada jarak (a). 0 mm, (b). 12 mm, (c). 24 mm dari sumbu



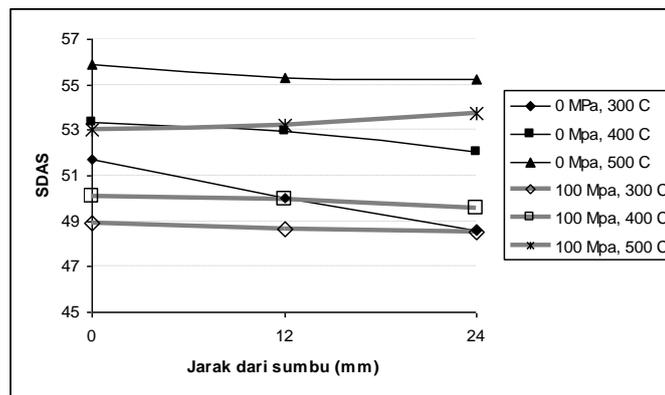
**Gambar 8.** Struktur mikro spesimen pada temperatur cetakan 500°C tekanan 100 MPa pada jarak (a). 0 mm, (b). 12 mm, (c). 24 mm dari sumbu

Struktur mikro diperoleh pada jarak 0 mm, 12 mm dan 24 mm dari sumbu hasil pengecoran tuang pada variasi temperatur cetakan yang diperlihatkan Gambar 3 – 5 dan struktur mikro diperoleh pada jarak 0 mm, 12 mm dan 24 mm dari sumbu hasil pengecoran dengan tekanan 100 MPa (*squeeze*) pada variasi temperatur cetakan yang diperlihatkan Gambar 4 – 8. Struktur silikon yang berbentuk serpih terlihat semakin kasar secara signifikan seiring dengan peningkatan temperatur cetakan. Pengkasaran struktur silikon ini disebabkan semakin tinggi temperatur cetakan maka perbedaan atau gradien dengan temperatur logam cair semakin rendah yang mengakibatkan laju pembekuan yang semakin lambat.

Pengecoran tuang (tekanan 0) pada temperatur cetakan 300°C dan 400°C menunjukkan semakin ke tepi coran atau jarak 24 mm dari sumbu menunjukkan struktur silikon semakin halus, ini juga disebabkan daerah tepi mengalami laju pembekuan yang lebih cepat dibandingkan dengan daerah sumbu karena pengaruh gradien temperatur antar muka cetakan dengan logam cair. Tetapi tidak signifikan pada pengecoran dengan tekanan 100 MPa (*squeeze*). Struktur silikon relatif cenderung sama. Homogenitas struktur silikon dengan pengaruh tekanan akan lebih merata baik pada daerah tepi maupun daerah tengah atau sumbu.

Hal berbeda ditunjukkan pada temperatur cetakan 500°C, dengan gradien temperatur yang rendah mengakibatkan laju pendinginan antara daerah tepi dan daerah sumbu coran tidak terlalu

berbeda. Laju pendinginan yang lambat menyebabkan struktur silikon yang kasar baik pada daerah sumbu atau tengah maupun daerah tepi.

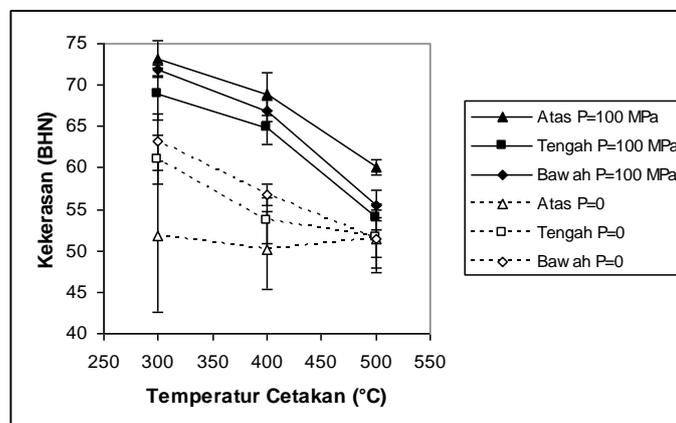


**Gambar 9.** Ukuran SDAS pada perubahan temperatur cetakan dan jarak pengamatan

Ukuran SDAS pada penambahan temperatur cetakan pada setiap pengamatan 0, 12, 24 mm dari sumbu hasil pengecoran dengan pengecoran tuang dan squeeze ditunjukkan pada gambar 9. Seperti pada pengamatan mikro dari grafik membuktikan bahwa ukuran SDAS dapat dipengaruhi oleh temperatur cetakan dan tekanan. Semakin tinggi temperatur cetakan maka semakin besar ukuran SDAS. Ukuran SDAS pada pengecoran squeeze antara jarak pengamatan 0, 12, 24 mm pada temperatur cetakan yang sama menunjukkan perbedaan yang kecil. Hal ini dapat memperkuat analisa bahwa struktur silikon relatif lebih merata dibandingkan pengecoran tanpa tekanan.

## 2. Kekerasan

Gambar 10. memperlihatkan hubungan antara temperatur cetakan dengan kekerasan pada temperatur tuang 700°C, tekanan 100 MPa dan pembanding dilakukan pengecoran tuang (tekanan 0).



**Gambar 10.** Harga kekerasan Brinell pada variasi temperatur cetakan

Hasil pengujian menunjukkan pada tekanan konstan kekerasan menurun dengan semakin tingginya temperatur cetakan sebagaimana dilaporkan oleh Duskiradi dan Tjitro, (2002) pada material piston komersial lokal. Kekerasan turun rata rata 6,16% dari temperatur 300°C ke 400°C serta 15,50% dari temperatur 400°C ke 500°C.

Kekerasan spesimen bagian bawah pada temperatur cetakan 300°C adalah 71,84 BHN turun menjadi 66,91 BHN pada temperatur cetakan 400°C serta 55,51 BHN pada temperatur cetakan 500°C. Dari hasil ini pengaruh struktur mikro sangat signifikan terhadap kekerasan, terlihat struktur silikon semakin kasar atau jarak dendrit sekunder atau SDAS yang semakin besar pada temperatur cetakan 500°C (Gambar 5 dan Gambar 8) mengakibatkan kekerasan yang rendah. Kenyataan ini menunjukkan bahwa perubahan temperatur cetakan sangat signifikan pengaruhnya

terhadap kekerasan produk hasil *direct squeeze casting* maupun pengecoran tuang. Hal ini disebabkan semakin tinggi temperatur cetakan maka laju pembekuan akan semakin lambat atau kecil. Pada temperatur cetakan 300°C laju pembekuan lebih cepat karena perbedaan suhu yang besar antar muka cetakan dengan material.

Rata rata kekerasan pada pengecoran dengan tekanan (*squeeze*) lebih tinggi terhadap pengecoran tuang. Perbedaan atau perubahan kekerasan yang paling besar antara pengecoran tuang dengan pengecoran *squeeze* nampak pada temperatur cetakan 400°C. Temperatur 400°C cukup efektif pengaruh tekana terhadap pembekuan, sedangkan kekerasan yang tinggi pada temperatur 300°C lebih dipengaruhi oleh kecepatan pembekuan. Jadi tekanan pada saat pembekuan berpengaruh relatif lebih besar pada temperatur cetakan 400°C.

## KESIMPULAN

1. Pemberian tekanan eksternal pada proses pengecoran *squeeze* (*direct squeeze casting*) berpengaruh pada produk coran, struktur mikro dan kekerasan aluminium daur ulang (Al-6,4%Si-1,93%Fe).
2. Struktur mikro pada pengecoran tuang maupun *squeeze* berbentuk serpih, dengan *squeeze* mampu memperkecil ukuran SDAS dengan distribusi ukuran yang merata antara daerah tepi ke sumbu.
3. Semakin tinggi temperatur tuang maka kekerasan akan semakin turun.
4. Kekerasan pada tiap-tiap bagian spesimen (atas, tengah, bawah) pada pengecoran *squeeze* lebih merata. Kekerasan Brinell naik rata-rata 20.8% dari metode tuang ke metode *squeeze* tetapi tidak signifikan pada penambahan tiap tekanan dan pengaruh tekanan yang paling besar pada temperatur 400°C.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASM Specialty Hand Book, 1993, *Aluminium and Aluminium Alloys*, Ohio.
- Brown, J.R., 1999, *Non-Ferrous Foundryman's Handbook*, Butterworth Heinemann, Eleventh Edition, Oxford, page : 82-83.
- Champbel,J.,2000, *Castings* ,Butterworth Heinemann, Oxford.
- Fleemings,M.C., 1974, *Solidification Processing*, Mc. Graw-Hill Book Company, pp. 134-135.
- Ghomashchi, M.R., and Vikhrov A., 1998, *Squeeze Casting : an overview*, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 101, Elseiver, pp. 1-9.
- Mondolfo, L.F., 1976, *Aluminum Alloys: Structure and Properties*, Butterworths, London.
- Surdia, T., dan Chijiiwa K., 1975, *Teknik Pengecoran Logam*, P.T. Pradnya Paramita, Jakarta, pp. 13-16.
- Surdia, T. dan Saito, S., 1992, *Pengetahuan Bahan Teknik*, P.T. Pradnya Paramita, Jakarta, pp. 129-142.
- Yue, T.M., 1997, *Squeeze Casting of High-Strength Alumunium Wrought Alloy AA7010*, *Journal of Material Processing Technology*, vol. 66, pp. 179-185.
- Yue, T.M., and Chadwick G.A., 1995, *Squeeze Casting of Light Alloys and Their Composites*, *Journal of Material Processing Technology*, vol. 58, pp. 302-307.