

PROSES PENGECORAN SQUEEZE UNTUK PRODUK MATERIAL LOGAM DENGAN KUALITAS TINGGI

DUSKIARDI

Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri
Universitas Bung Hatta

Abstract

Squeeze Casting represent a moulding process, where hard pressed freezed liquid metal from outside which high relative. Process this basically combine the advantage at process of forgng and casting. Pursuant to its activity principle, process this differentiated by to the Direct Squeeze Casting and Indirect Squeeze Casting. Process this have the excellence compared to a other moulding process, especially can yield the product obstetrically is very low porosity, size measure smooth item and the happening of improvement from nature of mechanic.

Keyword : Direct Squeeze Casting, Indirect Squeeze Casting

1. Pendahuluan

Proses *Squeeze casting* atau sering juga disebut penempaan logam cair (liquid metal forging) pertama kali diperkenalkan di negara Russia oleh Chernov pada tahun 1878. Proses ini pada dasarnya mengkombinasikan keuntungan-keuntungan pada proses *forging* dan *casting*. Perlengkapan proses meliputi: *punch*, dan *ejector pin (direct)* serta *die, cavity, pouring hole, injection chamber plunger* dan *gating system (indirect)*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 dan 2. Kontak logam cair dengan permukaan *die* memungkinkan terjadinya perpindahan panas yang cukup cepat, menghasilkan strukturmikro yang homogen dengan sifat mekanik yang baik serta produk mendekati ukuran yang sebenarnya (*near-net shape*).

Penelitian mengenai pengaruh tekanan terhadap perilaku logam cair selama proses pendinginan pertama kali diselidiki oleh Welter pada tahun 1931 yaitu dengan bahan paduan Al-Si. Sejak itu tidak ada lagi penelitian mengenai *Squeeze casting* hingga tahun 1960, yaitu penelitian mengenai sifat struktur paduan aluminium A356 setelah dilakukan *Squeeze casting* dengan berbagai kondisi pengecoran.

Yue dalam jurnalnya "*Squeeze casting of light alloys and their composites*" mengelompokkan pengecoran *Squeeze* menjadi dua kelompok berdasarkan

mekanisme pengisian logam cair ke dalam die, yaitu: *Direct Squeeze Casting (DSC)* dan *Indirect Squeeze casting (ISC)*.

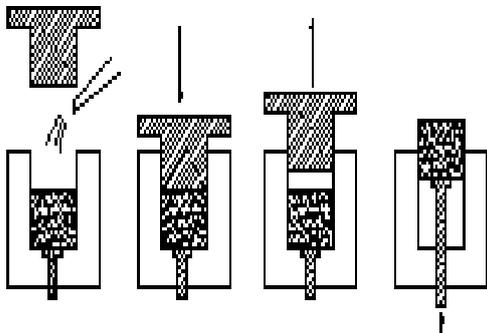
2. Direct Squeeze Casting

Pengecoran dengan cara DSC ini merupakan pengecoran squeeze yang umum dilakukan, dimana prosesnya cairan logam dituangkan kedalam dies lalu ditekan dengan menggunakan hidrolis. Metoda ini dapat diadopsi untuk menghasilkan komponen otomotif, seperti *piston, brake-disc, velg/wheel*; dengan kualitas yang cukup tinggi dan industri rekayasa umum lainnya. Dibandingkan dengan ISC, proses dengan cara ini memiliki beberapa keuntungan, antara lain :

- Mampu menghasilkan produk cor tanpa porositas gas dan penyusutan.
- Dikarenakan tidak adanya cacat pada proses *squeeze*, maka biaya perlakuan setelah coran selesai dan biaya untuk pengelasan *non destructive* dapat dihemat atau tidak diperlukan.
- Tidak diperlukan *gating system*, dengan demikian tidak terjadi pembuangan material.
- Mikrostruktur coran dapat dimanipulasi dengan mudah melalui suatu proses kontrol yang baik seperti temperatur penuangan dan besarnya tekanan. Untuk

mencapai sifat coran yang optimum dapat juga ditambahkan bahan inti tertentu, akan tetapi hal ini biasanya tidak begitu penting .

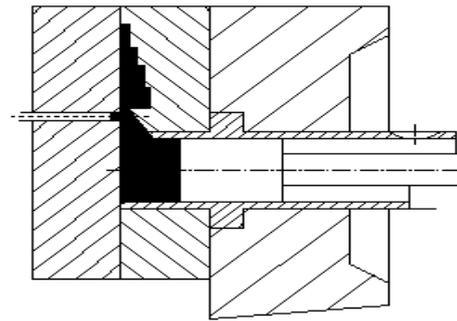
- Tidak begitu mempertimbangkan *castability* karena pemberian tekanan dapat mengeliminir kebutuhan akan *high fluidity*, baik untuk coran secara umum maupun paduan kasar.
- Sifat mekanik hasil coran dengan komposisi yang sama, bisa sebaik atau bahkan lebih baik dibandingkan produk coran dengan teknik yang lain melalui rekayasa perilaku isotropik. Untuk itu “casting factor” bahan tersebut harus dianggap satu kesatuan.
- *Squeeze casting* merupakan salah satu teknik yang paling efektif dan efisien untuk menghasilkan komponen komposit/paduan ferrous maupun non ferrous dengan bentuk mendekati kesempurnaan. Toleransi ukuran yang dapat dicapai proses ini $\pm 0,05$ mm.



Gambar 1. Mekanisme *direct squeeze casting*

3. Indirect Squeeze casting (ISC).

Istilah *indirect* dipakai untuk menggambarkan injeksi logam ke dalam rongga cetakan dengan bantuan piston berdiameter kecil seperti terlihat pada gambar, dimana mekanisme penekan ini dipertahankan sampai logam cair membeku.



Gambar 2. Mekanisme *indirect squeeze casting*

Keuntungan utama ISC adalah kemampuannya untuk menghasilkan produk cor dengan bentuk yang lebih kompleks dengan memberikan beberapa sistem pengeluaran inti (*core pull*). Proses ini sebetulnya merupakan proses cangkakan antara *low pressure* dan *high pressure die casting*. Proses ISC ini tidak sebaik proses DSC. Secara khusus ada dua kelemahan ISC dibanding dengan DSC :

- Penggunaan bahan baku tidak efisien karena adanya kebutuhan pembuatan runner dan gating system. Efisiensi pemakaian bahan hanya 28 %. Sebagai contoh untuk menghasilkan piston dengan berat 0,62 kg diperlukan bahan cor seberat 2,2 kg.
- *Wrought aerospace alloys* yang memiliki kekuatan yang tinggi, pada dasarnya sulit dikerjakan dengan ISC, kalau pun bisa hasil coran tidak bebas dari cacat.

Faktor yang paling berperan dalam ISC ialah memberikan proses pengisian rongga cetak secara mulus tanpa mengakibatkan aliran turbulen. Ini berarti bahwa cairan logam mengalir secara laminar selama pengisian rongga cetak. Makin rendah kecepatan pengisian menyebabkan makin tingginya kemungkinan untuk mendapatkan aliran laminar [1]. Akan tetapi kecepatan pengisian yang terlalu rendah dapat menyebabkan kehilangan panas (*heat loss*) yang besar dan berakibat pada terjadinya *premature solidification* serta *cold shuts* [1]. Oleh karena itu perlu ditentukan kecepatan pengisian yang optimal, sehingga aliran pengisian menjadi laminar dan tidak terjadi turbulensi. Cara yang paling efisien untuk mendapatkan kecepatan pengisian optimal ialah dengan menggunakan simulasi numerik yang dapat mengeliminasi kerja *trial and*

error serta menghemat pemakaian bahan dan tenaga kerja.

4. Parameter Proses Pengecoran Squeeze

Untuk memperoleh produk cor yang memenuhi syarat-syarat ideal bagi suatu *sound – cast*, ada beberapa variabel yang perlu diperhatikan, yaitu :

- 1 Volume Cairan Logam (Melt Volume). Diperlukan kontrol yang akurat pada waktu penuangan logam cair ke dalam rongga cetak (*die cavity*).
- 2 Temperatur Tuang (Casting Temperature). Temperatur ini tergantung pada jenis paduan dan bentuk coran/komponen. Biasanya temperatur tuang diambil 6 – 55 ° C di atas temperatur *liquidus*.
- 3 Temperatur Perkakas (Tooling Temperature). Temperatur normal adalah 190 – 450 ° C. Untuk produk cor yang mempunyai penampang relatif tebal, rentang temperatur ini dapat diturunkan. Biasanya temperatur punch diatur 15 – 30 ° C dibawah temperatur *die* terendah untuk memungkinkan adanya kelonggaran atau ventilasi yang memadai diantara keduanya.
- 4 Waktu Tunggu (Time Delay). Adalah lamanya waktu yang diukur dari saat pertama penuangan logam cair ke dalam rongga cetak hingga saat permukaan *punch* menyentuh dan mulai menekan permukaan logam cair. Bentuk penampang yang kompleks memerlukan waktu yang cukup bagi logam cair mengisi keseluruhan rongga cetakan; untuk itu perlu adanya tenggang waktu yang cukup sebelum *punch* menyentuh dan menekan logam cair. Hal ini untuk menghindari terjadinya porositas akibat penyusutan (*shrink porosity*).
- 5 Batas Tekanan (Pressure Level). Rentang tekanan normal adalah 50 – 140 MPa, tergantung pada bentuk geometri komponen serta sifat mekanis yang dibutuhkan. Tetapi dimungkinkan tekanan minimum adalah 40 Mpa [1]. Tekanan yang sering digunakan 70 MPa.

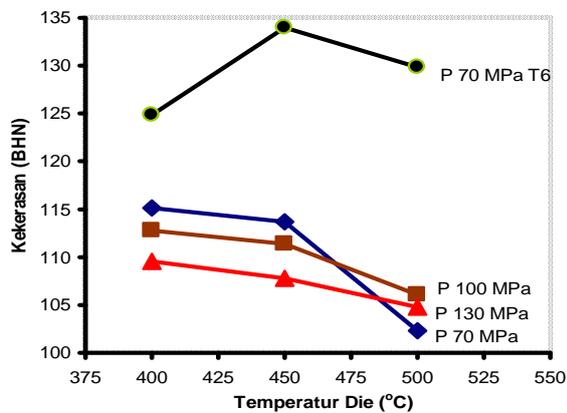
- 6 Durasi Penekanan (Pressure Duration). Penekanan dihitung dari saat *punch* di titik terendah sampai saat *punch* diangkat (penekanan dilepaskan). Produk cor dengan berat 9 kg, durasi penekanannya bervariasi antara 30 – 120 detik. Akan tetapi biasanya durasi ini juga tergantung pada bentuk geometri coran yang diinginkan.
- 7 Pelumasan (Lubrication). Proses *squeeze casting* membutuhkan pelumas pada permukaan *dies* untuk memudahkan proses pengambilan produk cor dari cetaknya. Akan tetapi sistem pelumasan ini diusahakan jangan sampai menutupi lubang ventilasi yang ada pada *dies*. Untuk paduan aluminium, magnesium, dan tembaga, permukaan *dies* biasanya disemprot dengan pelumas *colloidal graphite*. Sedangkan *ferrous casting*, permukaan *dies* biasanya dilapisi dengan sejenis bahan keramik untuk mencegah efek pengelasan antara produk cor dengan permukaan *dies*.
- 8 Kecepatan Pengisian (Filling rate). Makin rendah kecepatan pengisian akan menyebabkan makin tingginya kemungkinan untuk mendapatkan aliran laminar. Akan tetapi kecepatan pengisian yang terlalu rendah dapat menyebabkan kehilangan panas (*heat loss*) yang besar dan berakibat pada terjadinya *premature solidification* serta *cold shuts*. Oleh karena itu perlu ditentukan kecepatan pengisian yang optimal, sehingga aliran pengisian menjadi laminar dan tidak terjadi turbulensi.

5. Bahasan

Dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengungkapkan bahwa kecepatan aliran sebesar 320 cm³/sec yang dikombinasikan dengan tekanan *squeeze* 90 MPa dan dilakukan proses perlakuan panas T61 memberikan kenaikan *Ultimate Tensile Strength (UTS)* 19 % serta perpanjangan 33 %. Dibandingkan dengan sifat mekanis produk *cor high pressure die cast* untuk spesimen yang sama, *UTS squeeze casting* meningkat 38 % (setelah dicor) dan 70 % (setelah dilakukan proses perlakuan panas);

perpanjangan meningkat 233 % (setelah dicor) dan 375 % (setelah dilakukan proses perlakuan panas). Jika dibandingkan dengan proses *gravity die cast* dengan spesimen yang sama, UTS *squeeze casting* meningkat 32 % (setelah dicor) dan 8,5 % (setelah dilakukan proses perlakuan panas); perpanjangan meningkat 82 % (setelah dicor) dan 63 % (setelah dilakukan proses perlakuan panas).

Dari hasil pengujian yang penulis lakukan menggunakan material piston komersial lokal dengan komposisi bal. 12.62 wt% Si, 2.83 wt% Cu, 1.58 wt% Ni, 0.89 wt% Mg, 0.38 wt% Fe, 0.15 wt% Mn, 0.078 wt% Zn, 0.016 wt% Pb, 0,009 wt% Sn, 0.006 wt% Ca dan selebihnya Al, memakai metode *Direct Squeeze Casting*, didapatkan kekerasan dari benda uji cenderung menurun dengan semakin tingginya temperatur die pada tekanan konstan. Kekerasan maksimum sebesar 115 kg/mm² terjadi pada temperatur 400 °C dengan tekanan 70 MPa (as cast). Semakin tinggi temperatur die terlihat kecenderungan grafik menurun.



Gambar 3.2. Pengaruh temperatur Die dan tekanan terhadap kekerasan

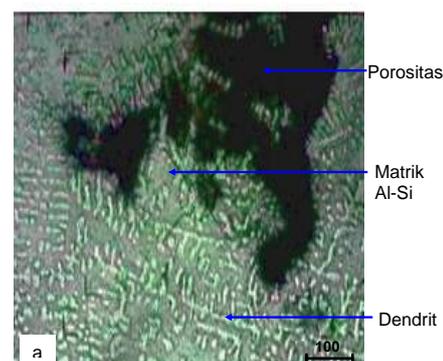
Kenyataan ini menunjukkan bahwa perubahan temperatur die sangat signifikan pengaruhnya terhadap kekerasan dari produk hasil *direct squeeze casting*. Hal ini berkemungkinan disebabkan karena pada temperatur die 400 °C (temperatur die terendah dalam pengujian ini), pembekuan terjadi dengan laju pendinginan yang lebih besar. Seiring dengan penerapan tekanan akan terjadi peningkatan kekerasan dan *strength* dari produk karena terjadinya perbaikan mikrostruktur, efek ini sama

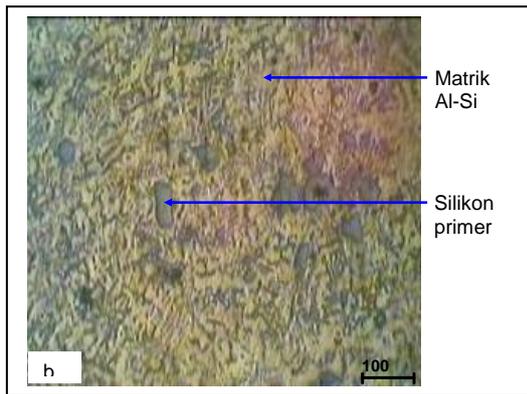
dengan meningkatnya laju pendinginan akibat meningkatnya laju perpindahan panas antar muka material dengan cetakan^[3].

Penerapan perlakuan panas dan *artificial aging* (T6) terhadap benda uji dengan tekanan 70 MPa, terjadi peningkatan kekerasan maksimum sebesar 134 kg/mm² pada temperatur die 450 °C. Kalau dibandingkan dengan kekerasan rata-rata piston komersial lokal sebesar 127 kg/mm², terjadi peningkatan kekerasan sebesar 5,29 %. Peningkatan kekerasan maksimum dari benda uji hasil DSC setelah dilakukan perlakuan panas dengan T6 sebesar 26,94 % terjadi pada 70 MPa dengan 500 °C.

Pada temperatur die 500 °C, kekerasan maksimum terjadi pada tekanan 100 MPa dan kekerasan minimum terjadi pada tekanan 70 MPa. Dari grafik juga terlihat pada tekanan konstan 130 MPa, kekerasan lebih rendah dibanding tekanan yang lain. Hal ini cukup mendukung argumen yang dikemukakan oleh peneliti sebelumnya yang menyatakan, meningkatnya koefisien perpindahan panas mencapai nilai maksimum pada tekanan 100 MPa^[2]. Namun pada pengujian yang dilakukan ini, fenomena tersebut hanya berlaku pada temperatur die 500 °C. Sementara pada temperatur die 400 dan 450 °C tidak terjadi, hal ini terjadi mungkin karena meningkatnya laju pendinginan material pada tekanan 100 MPa, tidak sebanding dengan laju pendinginan yang terjadi dengan pemberian tekanan 70 MPa pada temperatur die 400 dan 450 °C.

Sebagai ilustrasi secara visual dengan menggunakan mikroskop optik (gambar 3.3), terlihat pada piston komersial lokal ditemukan adanya *shrinkage porosity*. Sedangkan pada benda uji hasil DSC *shrinkage porosity* tidak kelihatan sama sekali.





Gambar 3.3. Mikrostruktur dan porositas dari produk (a) piston komersial lokal, (b) benda uji hasil *direct squeeze casting* pada tekanan 70 MPa.

5.1. Pengecoran Squeeze Paduan Al-Si

Berdasarkan penelitian mengenai paduan Al-Si yang dilakukan pengecoran baik secara gravitasi maupun secara *squeeze* dengan komposisi yang sama diperoleh hasil bahwa perbaikan sifat lebih banyak terjadi pada pengecoran *squeeze*. Sebagai contoh paduan LM24 yang tidak bisa di-*heat treatment* ternyata dapat ditingkatkan sifat mekaniknya dibandingkan dengan paduan LM25 dan A357 yang mahal harganya selain harus dilakukan proses perlakuan panas setelah di-*squeeze*. Dengan teknik *squeeze* ini kristal alumina besi yang bersifat merusak tidak dapat berkembang menjadi kristal berbentuk lembaran. Akan tetapi tetap dalam bentuk semula dan menyebar secara merata ke seluruh matriks, dengan demikian dapat mengurangi kegetasan.

Tabel 1 Sifat Mekanis Beberapa Paduan Al-Si Yang Dicor Dengan Cara Berbeda [5]

Material	Method	0.2% proof Stress (Mpa)	UTS (Mpa)	Elongation (%)
LM24	Typical chill cast (as cast)	110	200	2
	Squeeze cast (as cast)	126	233	2.7
	Squeeze cast (T6)*	330	368	2
LM25	Typical chill cast (T6)	240	310	3
	Squeeze cast (T6)	274	331	7
A357	Typical chill cast (T6)	248	313	7
	Squeeze cast (T6)	283	347	9

*T6 peak-aged condition

5.2 Mikrostruktur Produk Cor Squeeze

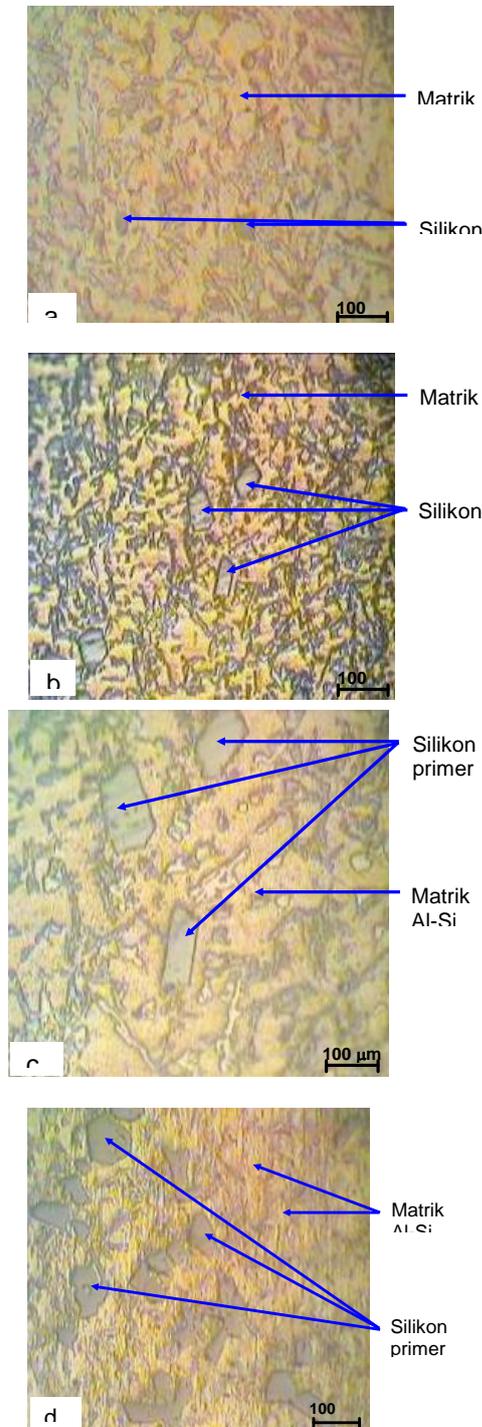
Adanya kombinasi tekanan tinggi dan bahan cetakan dari logam memungkinkan koefisien perpindahan panas selama proses menjadi lebih tinggi. Pada akhirnya mengarah pada perbaikan mikrostruktur. Dampak langsung perubahan koefisien perpindahan panas ini adalah memperhalus ukuran butir. Selain itu pembekuan dengan tekanan (*pressurized solidification*) cenderung meminimalkan segregasi. Fenomena ini biasanya terjadi

pada paduan tempa (*wrought alloys*). Hal ini ditunjukkan pada tabel 1 di atas.

Percobaan pengecoran paduan Al – Si dengan 17% Si yang dilakukan pada tahun 1931 menunjukkan adanya perpindahan distribusi fasa terhadap perubahan tekanan dimana temperatur eutektik meningkat 613 °C pada tekanan 1300 Mpa. Padahal besarnya tekanan yang berlaku untuk *best practice* masa sekarang hanya sekitar 100 – 150 MPa. Walaupun baru-baru ini penelitian terhadap Al – 7010 pada tekanan 300 MPa

mengidentifikasi adanya kenaikan temperatur liquidus sebesar 18 °C.

Dari pengujian yang penulis lakukan dengan variabel temperatur die pada proses DSC ini, secara visual terlihat sangat signifikan pengaruhnya terhadap perubahan ukuran dari fasa silikon primer (gambar 3.4).



Gambar 3.4 Pengaruh temperatur dan beban penekanan terhadap ukuran fasa silikon primer secara visual dengan mikroskop optik,

(a) 400 °C dengan 70 MPa, (b) 450 °C dengan 70 MPa, (c) 500 °C dengan 70 MPa dan (d) 500 °C dengan 130 MPa.

Dimana pada temperatur die 400 °C terlihat fasa silikon lebih kecil dibandingkan dengan fasa silikon hasil proses dengan temperatur die 450 °C dan 500 °C. Ukuran dari fasa silikon primer membesar dengan naiknya temperatur die, yang paling besar didapatkan pada temperatur die 500 °C. Penerapan tekanan sampai 130 MPa pada temperatur die 450 dan 500 °C tidak berpengaruh besar terhadap perbaikan ukuran fasa silikon. Dari fenomena ini jelas sekali, dengan meningkatnya laju pendinginan, pertumbuhan fasa silikon primer terhalang akibat terbentuknya kristal aluminium yang membungkus kristal silikon dan menghasilkan distribusi yang lebih merata relatif terhadap pertumbuhan matrik.

6. Kesimpulan

Proses pengecoran squeeze sangat baik di pakai untuk memproduksi produk cor yang membutuhkan tegangan tinggi dan dimensi yang mendekati sempurna (*near-net shape*).

Peningkatan tegangan sangat besar dipengaruhi oleh ketepatan pengaturan kecepatan aliran dengan kombinasi pembebanan.

Perbaikan mikrostruktur sangat dipengaruhi oleh pengaturan pembebanan, kesesuaian material dan temperatur dari cetakan.

Perbandingan tegangan (UTS) yang dihasilkan untuk material yang sama antara pressure die cast dengan squeeze casting, dimana terjadi peningkatan dengan cara squeeze sebesar 38 % (setelah dicor) dan 70 % (setelah dilakukan proses perlakuan panas). perpanjangan meningkat 233 % (setelah dicor) dan 375 % (setelah dilakukan proses perlakuan panas). Jika dibandingkan dengan proses *gravity die cast*, UTS *squeeze casting* meningkat 32 % (setelah dicor) dan 8,5 % (setelah dilakukan proses perlakuan panas); perpanjangan meningkat 82 % (setelah dicor) dan 63 % (setelah dilakukan proses perlakuan panas).

Kekerasan produk (benda uji) hasil *direct squeeze casting* (DSC) sangat dipengaruhi oleh seting dari kombinasi tekanan dan temperatur die. Tekanan yang optimal pada proses ini diantara 70 – 100 MPa, dan temperatur die antara 400 – 450 °C.

7. Daftar Pustaka

1. Hu, B.H., et al, *Journal of Processing and Fabrication of Advanced Materials VI: squeeze casting of Al-Si-Cu-Fe-Mn-Mg Alloy*, Vol. 1, 1998.
2. Yue, T.M., Chadwick, G.A., *Journal of Material Processing Technology : squeeze casting of light alloys and their composites*, Vol. 58 No. 2 – 3 . 1996.
3. Mahallawy, N.A.El., Taha, M.A. and Lotfi Zamzam M., *Journal of Material Processing Technology : on the microstructure and mechanical properties of squeeze-cast Al-7wt% Si alloy*, Vol 40, 1994.
4. Kalpakjian, Serope, *Manufacturing Engineering and Technology, 3rd edition*, New York : Addison Wesley,
5. 1995._____, *Metal Handbook Ninth Edition*, Vol. 15, ASM, p. 323 – 326, 1993.
6. Mondolfo, L. F. “*Aluminium Alloys Structure and Properties*”, Butterworths & Co. Ltd. London, 1979.
7. Duskiardi, “*Pengaruh Parameter Proses Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Produk Squeeze Casting*”, Tesis, UI Jakarta, 2001.
8. Lu, Shu-Zu, *Journal of Metallurgical Transaction : the mechanism of silicon modification in Al-Si alloy*, Vol. 18 A No. 10, p. 1721 – 1733, 1987.