

Analisis Parameter Proses Pengecoran Squeeze Terhadap Cacat Porositas Produk Flens Motor Sungai

Firdaus

Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya

Abstrak

Produk *flens* yang ada, dihasilkan dari pengecoran cetakan pasir dengan bahan baku daur-ulang dan didukung oleh teknologi sederhana, bermutu rendah baik dari segi bahan maupun dimensi. Mutu hasil cor yang baik tidak hanya ditentukan dengan strukturmikro yang baik dan homogen tetapi juga dengan kekuatan dan penampakan yang baik.

Penelitian ini mencoba menganalisis pengaruh parameter proses pengecoran squeeze paduan aluminium daur ulang yang ada dengan cara memvariasikan parameter tekanan squeeze, dan temperatur punch & die. Langkah proses squeeze casting meliputi pemanasan logam dan die dalam dua dapur induksi berbeda, dilanjutkan dengan penuangan logam cair ke dalam die dan diteruskan dengan pemberian tekanan selama waktu tertentu. Setelah melakukan beberapa pengujian terhadap spesimen, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa persentase porositas yang dihasilkan menurun secara signifikan dibandingkan dengan proses pengecoran cetakan pasir yang ada.

Kata kunci: pengecoran *squeeze*, porositas, paduan aluminium daur ulang.

Abstract

The existing flanges component which is produced by traditional sand casting shows low quality both of the material and dimension, since the product made from recycled material and supported by a very simple technology. The quality of casting is not depends on the microstructure, but also supported by a good appearance.

This research is to analyze the effect of process parameters by producing specimens through squeeze casting process using the existing recycled material. Process parameter such as squeeze pressure and punch & die temperature. The process consists of melting the alloys and heating the die in two difference resistance furnaces, ladling the melt into pre-heated die cavity and finally applying pressure by hydraulic power until the melt is fully solidified.

After investigating the specimen, the results show that the quantity of the porosity as compared to traditional sand casting is decreasing significantly.

Keywords: *squeeze casting, porosity, recycled aluminum-alloy.*

1. Pendahuluan

Porositas adalah suatu cacat (void) pada produk cor yang dapat menurunkan kualitas benda tuang. Salah satu penyebab terjadinya porositas pada penuangan paduan aluminium adalah gas hidrogen [10].

Porositas oleh gas hidrogen dalam benda cetak paduan aluminium-silikon akan memberikan pengaruh yang buruk pada kekuatan, serta kesempurnaan dari benda tuang tersebut [10]. Penyebabnya antara lain kontrol yang kurang sempurna terhadap absorpsi gas oleh paduan, pelepasan gas dari dalam logam karena interaksi antara gas dengan logam selama

peleburan dan penuangan.

Faktor-faktor penting yang berhubungan dengan pembentukan porositas gas antara lain ialah:

- Unsur-unsur gas atau sumber gas yang terkandung dalam paduan.
- Teknik dan kondisi peleburan
- Teknik atau cara pengeluaran gas dari logam cair
- Temperatur logam cair
- Uap air dalam udara
- Permeabilitas cetakan
- Uap air yang terkandung dalam cetakan
- Sumber-sumber gas yang terkandung dalam cetakan
- Bentuk saluran penuangan ataupun kecepatan penuangan.

Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juli 2002. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 4 Nomor 2 Oktober 2002.

Pada proses penuangan, hidrogen yang larut selama peleburan akan tertinggal setelah proses pembekuannya, karena kelarutannya pada fasa cair lebih tinggi dari pada fasa padat. Gas yang dikeluarkan dari larutan akan terperangkap pada struktur padat. Gas yang dikeluarkan bernuklasi pada cairan selama pembekuan dan diantara fasa padat-cair. Banyaknya porositas yang terjadi pada pengecoran paduan aluminium tidak saja tergantung dengan banyaknya kandungan gas hidrogen yang terabsorpsi oleh logam, tetapi tergantung juga pada kecepatan pembekuan logam dalam cetakan. Makin rendah kecepatan pembekuan kemungkinan terjadinya porositas akan lebih besar.

Metode pengecoran squeeze atau *liquid metal forging* dapat mengurangi porositas oleh karena pemberian tekanan selama proses pembekuan logam berlangsung. Selain itu menurut penelitian sebelumnya^[1] *squeeze casting* juga dapat memperbaiki kekerasan dari paduan aluminium.

2. Pengecoran Squeeze

Pengecoran *Squeeze* sering disebut juga penempaan logam cair (*liquid metal forging*), yaitu suatu proses dimana logam cair didinginkan sambil diberikan tekanan. Proses ini pada dasarnya mengkombinasikan keuntungan-keuntungan pada proses *forging* dan *casting*^[2].

Perlengkapan proses antara lain: dapur pemanas, mekanisme press, *punch*, dan *die* (*direct*), *pouring hole*, *injection chamber plunger* dan *gating system* (*indirect*). Kontak logam cair dengan permukaan *die* memungkinkan terjadinya perpindahan panas yang cukup cepat, menghasilkan strukturmikro yang homogen dengan sifat mekanik yang baik.

Tabel 1. Perbandingan Sifat Mekanis Beberapa Paduan ^[7]

Alloy	Process	Tensile strength		Yield strength		Elongation %
		MPa	ksi	MPa	ksi	
356-T6 Al	<i>Squeeze casting</i>	309	44.8	265	38.5	3
	Permanent mold	262	38.0	186	27.0	5
	Sand casting	172	25.0	138	20.0	2
535 Al (quenched)	<i>Squeeze casting</i>	312	45.2	152	22.1	34.2
	Permanent mold	194	28.2	128	18.6	7
6061-T6 Al	<i>Squeeze casting</i>	292	42.3	268	38.8	10
	Forging	262	38.0	241	35.0	10
A356 -T4 Al (a)	<i>Squeeze casting</i>	265	38.4	179	25.9	20
A206 -T4 Al (a)	<i>Squeeze casting</i>	390	56.5	236	34.2	24

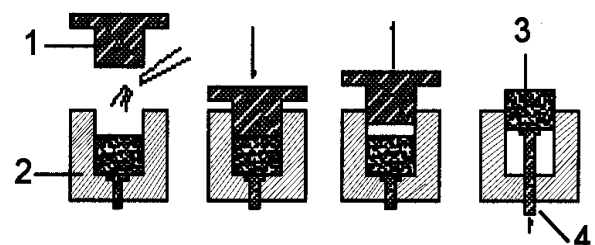
Metode *Squeeze casting* pertama kali dikemukakan oleh Chernov pada tahun 1878^[2]. Penelitian mengenai pengaruh tekanan terhadap perilaku logam cair selama proses

pendinginan pertama kali diselidiki oleh Welter^[2] 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.

2.1 Direct Squeeze Casting (DSC)

Keuntungan utama proses DSC adalah sebagai berikut: ^{[2],[4]}

- Mampu menghasilkan produk cor tanpa porositas gas dan penyusutan.
- Tidak diperlukan *gating system*, dengan demikian tidak terjadi pembuangan material.
- Tidak begitu mempertimbangkan *castability* karena pemberian tekanan dapat mengeliminir kebutuhan akan *high fluidity*, baik untuk coran secara umum maupun paduan kasar.
- 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 .
- Dikarenakan tidak adanya cacat pada proses *squeeze* yang baik maka biaya perlakuan setelah coran selesai dan biaya untuk pengelasan *non destructive* dapat dihemat atau tidak diperlukan.
- Sifat mekanik hasil coran dengan komposisi yang sama, bisa sebaik atau bahkan lebih baik dibandingkan produk coran dengan teknik yang lain.
- *Squeeze casting* merupakan salah satu teknik yang paling efektif dan efisien untuk menghasilkan komponen komposit/paduan *ferrous* maupun *non ferrous* dengan bentuk mendekati kesempurnaan.



Gambar 1. Mekanisme *direct squeeze casting* ^[2]

Keterangan gambar:

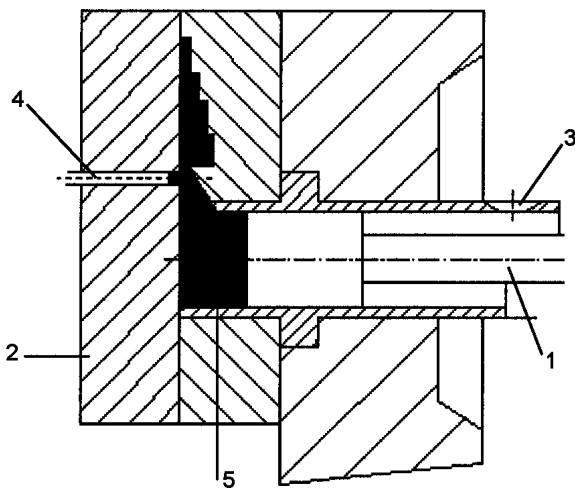
1. Punch
2. Dies
3. Benda Cetak
4. Plunyer Pendorong

Metoda DSC dapat diadopsi untuk menghasilkan komponen otomotif, seperti *piston*, *brake-disc*, *velg/wheel*, dan industri rekayasa umum lainnya dengan kualitas yang cukup tinggi.

2.2 Indirect Squeeze casting (ISC).

Istilah *indirect* dipakai untuk menggambarkan injeksi logam ke dalam rongga cetakan dengan bantuan piston berdiameter kecil dimana mekanisme penekan ini dipertahankan sampai logam cair membeku. Keuntungan utama ISC adalah kemampuannya untuk menghasilkan produk cor dengan bentuk yang lebih kompleks dengan memberikan beberapa sistem pengeluaran inti (*core pull*)^[2]. 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%^[1]. 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.



Gambar 2. Mekanisme *indirect squeeze casting* ^[2]

Keterangan gambar:

1. Plunyer penekan
2. Dies
3. Pouring hole
4. Gating system
5. Benda cetak

Faktor kunci 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^[2]. Suatu penelitian yang telah dilaksanakan 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)^[2].

2.3 Parameter Proses Pengecoran Squeeze

Untuk memperoleh produk cor yang memenuhi syarat-syarat ideal bagi suatu *sound - cast*, ada beberapa variabel yang perlu diperhatikan, yaitu^[9]:

- a. Volume Cairan Logam (*Melt Volume*)
Diperlukan kontrol yang akurat ketika logam cair dituangkan ke dalam rongga cetak (*die cavity*).
- b. 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*.
- c. Temperatur Perkakas (*Tooling Temperature*)
Temperatur normal adalah 190 – 315°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. Kelonggaran yang berlebihan antara *punch* dan *die* mengakibatkan erosi pada permukaan keduanya.

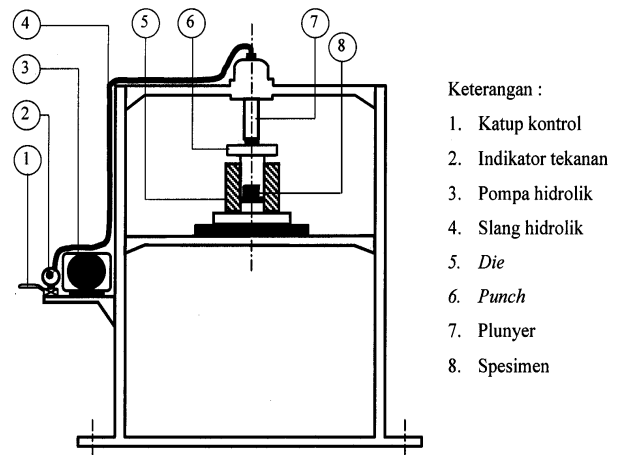
- d. Waktu Tunggu (*Time Delay*)
 Adalah lamanya waktu yang diukur dari saat pertama penuangan logam cair ke dalam rongga cetak hingga saat permukaan *punch* menyentuh dan mulai menekan permukaan logam cair. Bentuk penampang yang kompleks memerlukan waktu yang cukup bagi logam cair mengisi keseluruhan 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 (*shrinkage porosity*).
- e. 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^[3]. Tekanan yang sering digunakan 70 MPa.
- f. Durasi Penekanan (*Pressure Duration*)
 Durasi penekanan dihitung dari saat *punch* di titik terendah sampai saat *punch* diangkat (penekanan dilepaskan). Untuk benda cor dengan berat hingga 9 kg, durasi penekanan yang sering dipakai bervariasi antara 30 – 120 detik. Akan tetapi biasanya durasi ini juga tergantung pada bentuk geometri coran yang diinginkan. Untuk material komposit pemberian tekanan setelah pembekuan (*solidification*) tidak memperbaiki sifat, tetapi hanya menambah waktu siklus saja.
- g. 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*.
- h. Kecepatan Pengisian (*Filling rate*)^[2]
 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.

3. Prosedur Eksperimen

Pertama-tama dilakukan karakterisasi awal terhadap produk yang sudah ada (uji komposisi, uji kekerasan, uji kekasaran dan struktur-mikro), kemudian paduan tersebut dilelehkan pada temperatur 700°C. lalu dibuat beberapa spesimen percobaan dengan cara *squeeze casting* melalui beberapa kombinasi parameter pengecoran seperti beban *squeeze*, temperatur penuangan serta temperatur *dies*. Spesimen-spesimen tersebut kemudian satu persatu dikarakterisasi dengan alat seperti EDS (*Electron Dispersive X-ray*), *hardness tester*, dan mikroskop optik atau SEM (*Scanning Electron Microscope*). Data yang diperoleh dari pengamatan berupa strukturmikro, kekerasan dan kekasaran, lalu dibandingkan dengan data karakterisasi awal dan dianalisa.

3.1 Pembuatan Spesimen



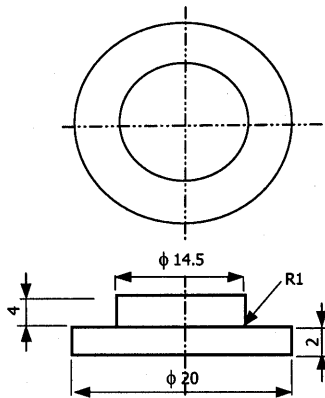
Gambar 3. Skema Mekanisme Press Pembuatan Spesimen

Pembuatan spesimen dilakukan dengan prosedur di bawah ini:

- Pemanasan *die* dan *punch* pada temperatur 400°C, 450°C dan 500°C. *Die* dan *punch* yang akan dipanaskan terlebih dahulu diolesi dengan *Colloidal graphite* yang dicampur dengan aseton, selanjutnya dimasukkan kedalam *furnace* dan dinaikkan temperaturnya sampai 400°C (sample pertama), kemudian ditahan selama 10 menit agar temperatur menjadi merata ke seluruh bagian *dies*.
- Penuangan logam cair kedalam *die* pada temperatur 700°C. *Die* dan *punch* yang telah

dipanaskan didalam *furnace* dipindahkan ke *furnace* peleburan, kemudian logam cair dituangkan kedalam *die*. Setelah penuangan logam cair selesai, *punch* langsung dimasukkan kedalam *die* yang berisi cairan logam tersebut. Selanjutnya *die* dan *punch* yang berisi logam cair langsung dipindahkan ke peralatan *press*. Waktu yang dibutuhkan mulai dari logam cair dituang sampai dilakukan penekanan berkisar antara 60 – 100 detik. Berdasarkan pengamatan selama proses pembuatan spesimen, bila waktu penuangan sampai penekanan dilakukan melewati 100 detik, maka spesimen yang dihasilkan tidak sesuai dengan yang diharapkan. Ini disebabkan karena pada saat penekanan dilakukan logam yang berada didalam *die* tidak lagi dalam keadaan cair.

- Penekanan pada tekanan 70 MPa, 100 MPa dan 130 MPa. Untuk sampel pertama dilakukan penekanan dengan tekanan 70 MPa, setelah tekanan mencapai 70 MPa ditahan selama 75 detik (durasi penekanan yang diambil konstan selama 75 detik).
- Pelepasan sampel dari *die*. Setelah durasi penekanan mencapai 75 detik, tekanan dilepaskan kemudian sampel dikeluarkan dari *die*.



Gambar 4. Gambar Kerja dan Photo Spesimen Pengujian

3.2 Pengujian Spesimen

Pengujian porositas didekati dengan metode *true and apparent density*. *True density* dihitung dengan mengikuti standar ASTM E-252, sedangkan pengukuran *apparent density* dilakukan dengan piknometer dan didekati dengan persamaan di bawah ini:

$$\tilde{n}_s = \frac{[m_{p+s} - m_p][m_{p+a} - m_p]}{V_p [m_{p+a} + m_{p+s} - m_{p+s+a} - m_p]} \quad (1)$$

Untuk menghitung persen porositas, persamaan yang digunakan adalah:

$$\%P = (1 - \tilde{n}_s / \tilde{n}_o) \times 100\% \quad (2)$$

dimana:

%P : porositas (%)

m_p : *apparent density* (gr/cm³)

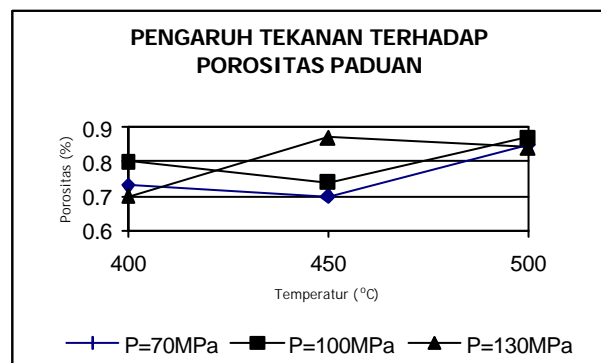
m_o : *true density* (gr/cm³)

4. Hasil dan Diskusi

Di bawah ini adalah hasil perhitungan densitas dan porositas sampel hasil pengecoran cetakan pasir dan *squeeze casting*.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Porositas Sand Casting Dan Squeeze Casting

A. Sand Casting								
No. Sampel	V_p (cm ³)	m_p (gr)	m_{p+s} (gr)	m_{p+a} (gr)	m_{p+s+a} (gr)	Densitas (gr/cm ³)	Porositas (%)	
1	10	12.4987	12.9816	22.8526	23.1360	2.5062	6.64	
2	10	12.4988	12.9814	22.8522	23.1358	2.5108	6.47	
3	10	12.4988	12.9814	22.8524	23.1360	2.5109	6.47	
Rata-rata	10	12.4988	12.9815	22.8524	23.1359	2.5093	6.53	
B. Squeeze Casting								
No. Sampel	Kode Sampel	V_p (cm ³)	m_p (gr)	m_{p+s} (gr)	m_{p+a} (gr)	m_{p+s+a} (gr)	r_s (gr/cm ²)	Porositas %
1	T1P1	10	12.4968	13.6319	22.8434	23.5410	2.6844	0.73
2	T1P2	10	12.5005	13.2498	22.8533	23.3135	2.6826	0.80
3	T1P3	10	12.5004	14.2003	22.8108	23.8580	2.6852	0.70
4	T2P1	10	12.4978	14.2232	22.8522	23.9122	2.6853	0.70
5	T2P2	10	12.4996	13.7250	22.8407	23.5940	2.6842	0.74
6	T2P3	10	12.4994	13.9648	22.8513	23.7508	2.6806	0.87
7	T3P1	10	12.4990	13.5211	22.8905	23.5165	2.6812	0.85
8	T3P2	10	12.4996	13.5760	22.8382	23.4995	2.6806	0.87
9	T3P3	10	12.4995	13.6315	22.8510	23.5460	2.6814	0.84
Rata-rata		10	12.4992	13.7471	22.8479	23.6146	2.6829	0.79



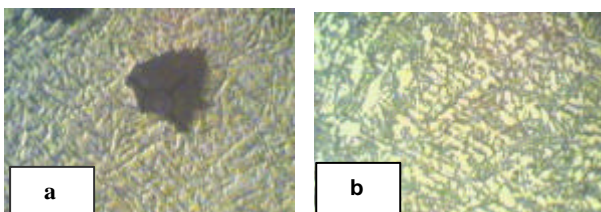
Gambar 5. Grafik Pengaruh Tekanan Terhadap Porositas Paduan

Mengamati grafik pengaruh tekanan terhadap persentase porositas paduan, gambar 4 tampak bahwa grafik mempunyai kecenderungan yang sama untuk tekanan 70 MPa dan 100 MPa. Penyimpangan kecenderungan terjadi pada grafik untuk tekanan 130 MPa. Diduga bahwa fenomena ini merupakan fenomena yang sama seperti yang terjadi pada grafik kekerasan. Bahwa pada batas tekanan 130 MPa, tekanan baru tercapai pada saat pembekuan telah terjadi.

Tampak juga pada grafik, pada gambar 5 bahwa persentase porositas menurun pada temperatur *die* 450°C. dan persentase porositas akan naik kembali pada waktu temperatur *die* diatur 500°C. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa persentase porositas terbaik dicapai pada kondisi dimana ada kombinasi tekanan dan temperatur tertentu.

Grafik pengaruh temperatur terhadap porositas paduan, gambar 6 memperlihatkan kecenderungan yang sama untuk temperatur 400°C dan 500°C. Hal menarik jika kita mengamati kecenderungan yang terjadi untuk temperatur *die* 450°C Tampak pada grafik bahwa untuk temperatur 450°C kecenderungan grafik menaik pada tekanan 130 MPa. Artinya pemberian tekanan 130 MPa pada temperatur 450°C justru akan menaikkan persentase porositas saja. Diduga bahwa hal ini disebabkan oleh karena pada parameter temperatur *die* 450°C tersebut pemberian tekanan sudah terlambat. Selain itu kenaikan nilai tekanan *squeeze* pada temperatur tersebut tidak banyak memberikan dampak signifikan terhadap perubahan persentase porositas yang terjadi.

Berdasarkan grafik persentase porositas dari kedua proses, gambar 4 dan 5 bahwa porositas hasil *squeeze casting* secara umum menurun dibandingkan dengan hasil *sand casting* (dari 6.53% menjadi 0.79%). Hasil ini dimungkinkan oleh karena gas hidrogen yang terjebak atau larut dalam cairan logam selama proses pencairan dipaksa keluar oleh tekanan *squeeze* yang diberikan selama proses, walaupun belum dapat menghilangkannya sama sekali.



Gambar 6. Photo makrostruktur hasil *sand casting* (a) dan *squeeze casting* (b) (50x)

Hasil pemotretan sampel hasil pengecoran cetakan pasir (a) dan pengecoran *squeeze* di atas menunjukkan secara jelas adanya porositas secara kualitatif pada spesimen hasil pengecoran cetakan pasir yang ada. Sebaliknya porositas hampir dikatakan tidak tampak pada photo makrostruktur sampel hasil ini juga sekaligus mendukung hasil perhitungan porositas secara kuantitatif di atas.

5. Kesimpulan

Dari penelitian tersebut dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Proses Pengecoran *squeeze*, khususnya *direct squeeze casting* terbukti mampu untuk mengerjakan material produk flens motor sungai yang berasal dari material paduan Al-13,5% Si daur ulang.
- Proses Pengecoran *squeeze*, khususnya *direct squeeze casting* terbukti mampu mereduksi secara kuantitatif jumlah porositas yang terjadi pada produk cor flens (dari 6.53% menjadi 0.79%).
- Porositas terendah diperoleh pada kombinasi temperatur *die* 450°C dan tekanan *squeeze* 70 MPa.

Daftar Pustaka

1. El. Mahallawy N.A., Taha M.A. and M. Lotfi Zamzam, *Journal of Materials Processing Technology; On the microstructure and mechanical properties of squeeze cast Al-7 wt% Si alloy*, Vol. 40, 1994.
2. Hu, B.H., Niu, X.P., et. Al., *Journal of Processing and Fabrication of Advanced Materials VI : Squeeze Casting of Al-Si-Cu-Fe-Mn-Mg Alloy*, Vol. 1, 1998.
3. Firdaus, *Perancangan Proses Squeeze Casting Untuk Pengembangan Flens Motor Sungai*, Tesis, Universitas Indonesia, 2001
4. Lim C.S and A.J Clegg, *Foundry Trade Journal; A comparison of squeeze casting and investment casting processes for the production of an aluminum alloy MMC*, April 1996.
5. Paulus Wongso, *Skripsi: Pengaruh Waktu Peleburan Terhadap Porositas Gas Aluminium Tuang Dengan Menggunakan Dapur Cruss*, 1987

6. Savas, M.A., and Erturan, H., *Metallurgical And Material Transactions A*, Vol. 28: Effect of Squeeze Casting on The Properties of Zn-Bi Monotectic Alloy, July 1997.
7. 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.
8. Yue, T.M., Ha H.U and Musson N.J, *Journal Of Materials Science; Grain Size Effects On The Mechanical Properties Of Some Squeeze Cast Light Alloys*, Vol. 30, 1993.
9. _____, *Metal Handbook Ninth Edition Vol. 15: Casting*, ASM, 1993.
10. _____, *Aluminum And Aluminum Alloys: ASM Specialty Handbook*, 1994.