

Pencegahan Terjadinya Retak Panas pada Proses Pengecoran *Squeeze* Benda Tipis Al-Si

Elfendri

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Pasir Pengaraian, Riau
E-mail: elfendri@ymail.com

ABSTRAK

Pengecoran *squeeze* Al-Si adalah proses pengecoran dimana logam cair Al-Si dibekukan dibawah tekanan tinggi sehingga akan menghasilkan produk dengan butir halus dan menekan jumlah cacat porositas namun cenderung mengalami retak panas. Parameter kandungan silikon Al-Si, temperatur tuang dan cetakan mempengaruhi terjadinya retak panas pada benda cor tipis Al-Si. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kandungan silikon Al-Si, temperatur tuang dan cetakan terhadap terjadinya retak panas pada proses pengecoran *squeeze* benda tipis Al-Si sehingga tindakan pencegahan bisa dilakukan pada proses produksi. Pengecoran *squeeze* ini menggunakan penekan hidrolik bertekanan 135 MPa. Temperatur yang dipakai adalah 220, 275 dan 330 °C untuk cetakan dan 665, 775 dan 885 °C untuk logam cair. Kandungan silikon material menggunakan tiga variasi yaitu: 0,45, 3,22 dan 6,04 % berat. Panjang dan indeks retak panas digunakan sebagai indikator terukur retak panas. Peningkatan kandungan silikon akan menurunkan panjang dan indeks retak panas benda cor tipis Al-Si. Peningkatan temperatur tuang dan cetakan akan meningkatkan panjang dan indeks retak panas benda cor tipis Al-Si. Kombinasi temperatur tuang dan cetakan rendah serta komposisi silikon tinggi akan menghasilkan benda cor tipis Al-Si bebas retak panas.

Kata kunci: Al-Si, pengecoran *squeeze*, retak panas.

ABSTRACT

Solidification of molten metal in squeeze casting was done under high pressure condition. It will produce small grains and decrease porosity of product but have high probability of hot crack. Hot crack depend on silicon content, molding and pouring temperature of squeeze cast parameters. The aim of this research is to analyze silicon content, melt temperature and mold temperature on hot crack to eliminate this defect on production of thin wall of Al-Si. Hydraulic pressure of 135 MPa is applied to forge molten metal of aluminum-silicon alloys. Mold temperature from 220 to 330 °C, pouring temperature from 665 to 885 °C and silicon content from 0.45 to 6.04 % weight were considered. Hot crack length and cracking index were used to indicate the dimension of hot crack. The increasing of silicon content decreases hot crack length and cracking index of thin wall. The increasing of pouring and mold temperature increases hot crack length and cracking index of thin wall. Combination of the higher silicon content, the lowest melt and mold temperature produced the flawless thin wall squeeze cast of hot crack.

Keywords: Al-Si, squeeze casting, hot crack.

PENDAHULUAN

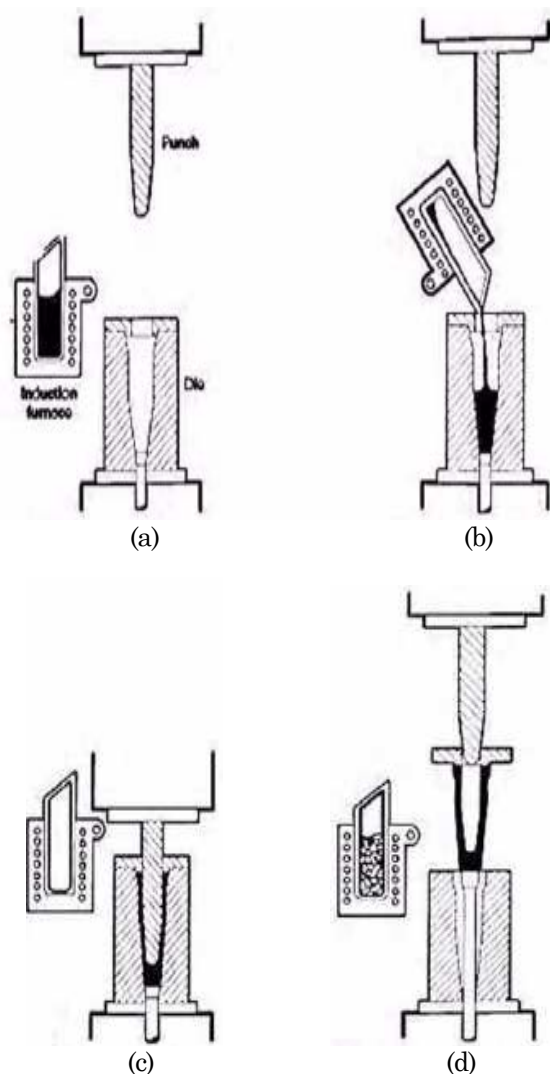
Pengecoran *squeeze* adalah proses pengecoran dimana logam cair dibekukan dibawah tekanan tinggi diantara cetakan dan plat hidrolik yang tertutup. Proses ini pada dasarnya mengkombinasikan keuntungan dari proses tempa dan pengecoran [1]. Pengecoran *squeeze* sering juga diidentikkan dengan "extrusion casting", "liquid pressing", "pressure crystallisation" dan "squeeze forming" [2].

Mekanisme proses pengecoran *squeeze* dapat diikuti pada Gambar 1.

Proses pengecoran *squeeze* merupakan metoda pengecoran yang mudah diterapkan, ekonomis, efisien dalam penggunaan bahan baku dan bisa berproduksi tinggi dengan siklus terus menerus [3]. Proses *squeeze* bisa menghasilkan coran yang mempunyai sifat fisis seperti hasil tempa, meningkatkan sifat mekanis, menghaluskan butir dan permukaan coran bagus terutama pada bahan

dengan paduan dasar aluminium dan magnesium [2]. Pemberian tekanan dan kontak antara logam cair dengan permukaan cetakan menyebabkan terjadinya perpindahan panas yang cepat sehingga menghasilkan produk dengan ukuran butir halus dan menekan jumlah cacat porositas. Struktur mikro hasil pengecoran *squeeze* lebih padat dan homogen dibanding dengan pengecoran tuang [4]. Teknik pengecoran *squeeze* mampu memproduksi produk dengan bentuk dan ketelitian tinggi [5].

Parameter proses pengecoran *squeeze* adalah temperatur tuang, temperatur cetakan, tekanan, volume cairan logam, waktu tunggu, batas tekanan, durasi penekanan, pelumasan, kecepatan pengisian, kelembaban udara dan temperatur lingkungan [4]. Temperatur tuang, temperatur cetakan dan tekanan merupakan parameter utama yang sangat mempengaruhi karakteristik hasil pengecoran [2].



Gambar 1. Skematik proses pengecoran *squeeze* (a) Peleburan dan pemanasan cetakan, (b) Pemasukan logam cair ke dalam cetakan, (c) Penekanan logam cair, (d) Pembongkaran produk, pembersihan cetakan, [3].

Penelitian terhadap bahan Mg-44% Al [5], Al 2024 [6], Al-6,4%Si-1,93%Fe [1], [7], LM25 [8], LM13 [9] dan Al-5,9%Si [10] memperlihatkan pengecilan ukuran butir seiring dengan kenaikan tekanan. Porositas akan menurun bila tekanan dinaikkan [1], [5], [6], [7]. Penambahan tekanan pada paduan Al-Si akan meningkatkan fluiditas [11]. Pemberian tekanan akan menyebabkan terjadinya *inter-dendritic fluid flow* yang akan menimbulkan segregasi [8]. Penerapan tekanan akan memperbesar kemungkinan mikro segregasi pada bahan A2024 [12].

Penelitian pengaruh peningkatan temperatur cetakan pada bahan Al-6,4% Si-1,93% Fe [1], [7], LM13 [9] dan Al-12,6%Si [13] memperlihatkan peningkatan ukuran butir silikon dan SDAS serta penurunan nilai kekerasan dan kekuatan tarik bahan.

Peningkatan temperatur tuang akan meningkatkan ukuran butir silikon dan SDAS [9], Peningkatan temperatur tuang tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekerasan dan kekuatan tarik [1]. Kenaikan temperatur tuang akan meningkatkan karakteristik mekanik bahan [5], [12].

Permasalahan utama yang muncul saat penerapan metoda pengecoran *squeeze* untuk produksi benda dengan dimensi besar adalah munculnya cacat cor berupa segregasi dan retak panas [3], [8]. Britnell dan Neiley melakukan penelitian panas segregasi dengan menggunakan spesimen tebal menyatakan "segregasi cenderung terjadi pada daerah sudut produk". Peneliti berhipotesa bahwa jika proses pengecoran *squeeze* ini diterapkan pada benda tipis maka retak panas akan muncul dalam dimensi panas dengan jumlah lebih banyak. Penelitian pengaruh kandungan silikon, temperatur tuang dan cetakan pada proses pengecoran *squeeze* benda tipis Al-Si terhadap kemungkinan terjadinya retak panas belum ditemukan. Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh kandungan silikon Al-Si, temperatur tuang dan cetakan pada proses pengecoran *squeeze* terhadap kemungkinan terjadinya retak panas. Panjang dan indeks retak panas digunakan sebagai indikator terukur retak panas. Kualitas benda cor tipis Al-Si hasil pengecoran *squeeze* dilihat dari kemunculan retak panas. Penentuan kombinasi optimum dari kandungan silikon Al-Si, temperatur tuang dan cetakan pada pengecoran *squeeze* benda tipis Al-(0,45-6,04)%Si perlu dilakukan untuk mendapatkan produk bebas retak panas.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan adalah paduan Al-0.45%Si, Al-3.22%Si dan Al-6.04%Si. Tekanan yang diberikan adalah 135 MPa dengan durasi pene-

kanan 30 detik. Temperatur tuang divariasikan 665, 775 dan 885 °C dan temperatur cetakan yang digunakan adalah 220, 275 dan 330 °C dengan durasi waktu penuangan 10-15 detik.

Cetakan yang digunakan dalam penelitian ini adalah cetakan permanen dari bahan baja karbon tinggi dengan design spesifik pada Gambar 2. Bahan dilebur menggunakan dapur krusibel dengan burner berbahan bakar minyak tanah. *Colloidal grafit* digunakan sebagai pelapisan cetakan untuk menghindari terjadinya keausan erosi.

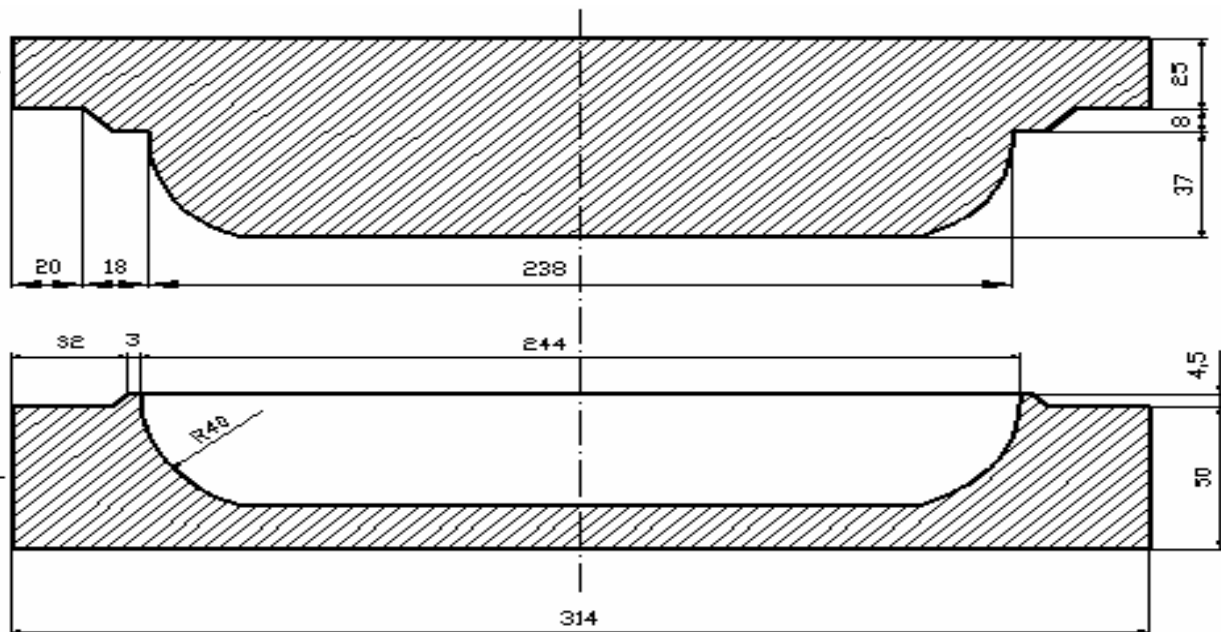
Retak panas produk cor Al-Si diukur dengan jangka sorong digital dan ditampilkan dalam bentuk data panjang total retak panas (mm) dan indeks retak panas. Indeks retak panas adalah panjang rata-rata retak panas (P_{rm}) searah lintasan jari-jari dibandingkan dengan lintasan jari-jari (r) benda cor dari bahan Al-(0,45-6,04)%Si. Panjang rata-rata retak panas (P_{rm}) searah lintasan jari-jari dan lintasan jari-jari (r) yang dimaksud dapat diamati pada Gambar 3. Panjang lintasan hasil pengukuran sisi luar produk searah jari-jari adalah

292/2 mm.

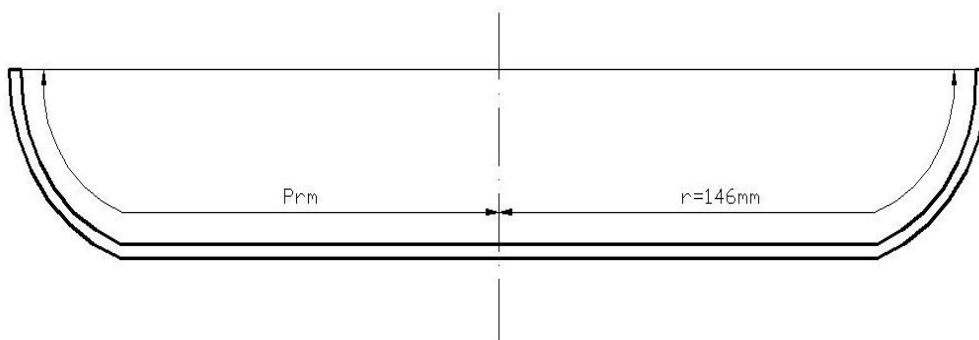
Kontrol kualitas produk cor Al-Si ditampilkan dalam bentuk data kontrol kualitas. Data kontrol kualitas didapat dari nilai indeks retak, dimana nilai 1 dibekikan untuk benda cor tipis tanpa retak panas atau indeks retak 0 dan -1 untuk benda cor yang mempunyai retak panas atau indeks retak >0 . Benda cor tipis dengan nilai 1 dianggap berkualitas atau baik, sedangkan benda cor tipis dengan nilai -1 dianggap jelek atau tak berkualitas. Data control kualitas ini berguna untuk memberikan penilaian baik atau jeleknya benda cor yang dihasilkan serta sebagai seleksi awal dalam proses produksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Visualisasi hasil proses pengecoran *squeeze* benda tipis Al-(0,45-6,04)%Si ditunjukkan pada Gambar 4 sampai Gambar 6. Cacat produk benda cor Al-Si hasil pengecoran *squeeze* yang ditemukan adalah porositas dan retak. Cacat retak panas ditemukan dalam daerah yang kaya porositas.



Gambar 2. Dimensi cetakan

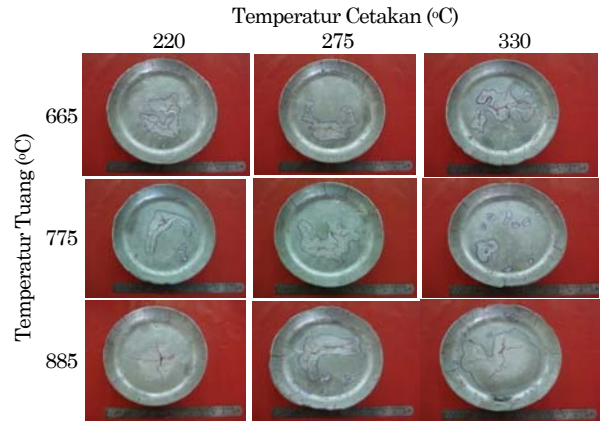


Gambar 3. Skematik lintasan jari-jari produk cor Al-Si (r) dan panjang retak rata-rata (P_{rm})

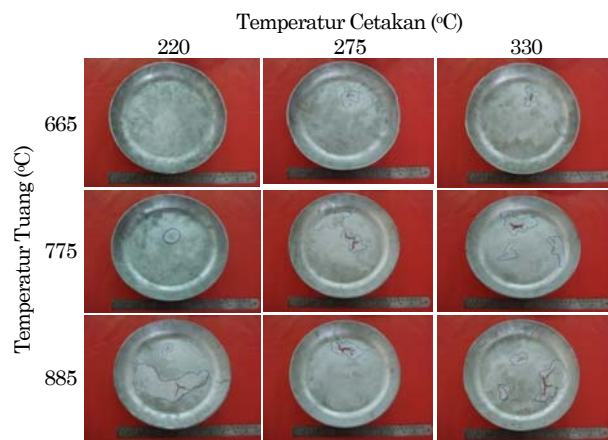
Secara kualitatif dapat dinyatakan bahwa peningkatan temperatur tuang dan cetakan akan meningkatkan luas daerah kaya cacat porositas dan peningkatan jumlah silikon paduan akan mengurangi luas daerah cacat porositas. Bentuk porositas dan retak panas produk benda cor Al-0,45%Si ditunjukkan pada Gambar 7.

Porositas yang muncul dapat dibedakan atas ukuran dan penyebabnya. Porositas berdasarkan ukuran dapat digolongkan atas dua jenis yaitu: porositas mikro dan makro. Porositas berdasarkan penyebabnya dapat digolongkan atas dua jenis yaitu: porositas penyusutan dengan bentuk tidak teratur dan porositas gas berbentuk lingkaran. Porositas penyusutan disebabkan oleh ketidakmampuan/kekurangan silikon eutektik untuk menetralkan penyusutan dan kontraksi panas (deformasi) selama proses pembekuan. Selama pembekuan terjadi proses *feeding* dimana silikon eutektik yang terbentuk akan melingkungi butir dendrit dan bersirkulasi ke semua sistem struktur. Bagian dari struktur yang tidak terisi atau dialiri silikon eutektik akan muncul sebagai porositas penyusutan. Kekosongan ini disebabkan oleh dua hal yaitu: 1) silikon eutektik yang terbentuk sedikit (sehingga tidak mampu mengisi semua rongga yang ada), 2) sulitnya logam cair mengalir dalam struktur dendritik pada rongga cetakan yang kecil atau akibat ketipisan benda cor, 3) proses pembekuan logam cair yang terjadi dalam waktu yang bersamaan, sehingga proses *feeding* saat proses pembekuan tidak terjadi. Opsi ini memungkinkan untuk terjadinya porositas penyusutan yang akan menjadi inisial retak.

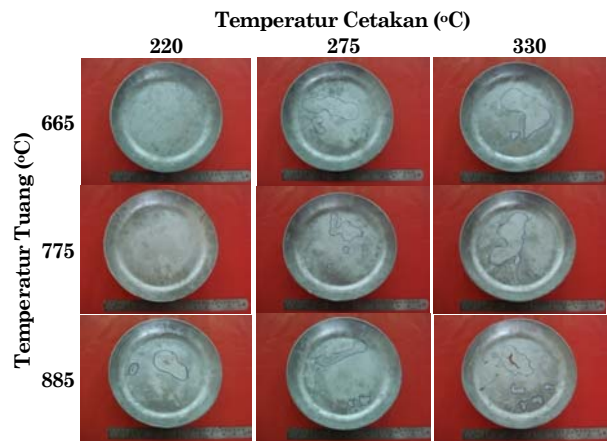
Porositas akan membangkitkan tegangan lokal dan merupakan inisial retak. Porositas gas dan penyusutan akan berkembang dari ukuran mikro ke makro, selanjutnya akan bertransformasi menjadi retak panas dipengaruhi oleh penyusutan dan kontraksi panas selama pembekuan. Temperatur tuang dan cetakan yang tinggi akan mengakibatkan pembekuan lambat, sehingga tersedia tegangan-regangan penyusutan dan kontraksi panas yang besar untuk perkembangan retak panas. Temperatur tuang dan cetakan yang tinggi akan mengakibatkan muncul dan berkembangnya retak panas intergranular (Gambar 7(c)). Retak panas berkembang dengan arah tidak beraturan dan membentuk cabang-cabang mengikuti silikon eutektik pada batas butir dendrit Al-Si.



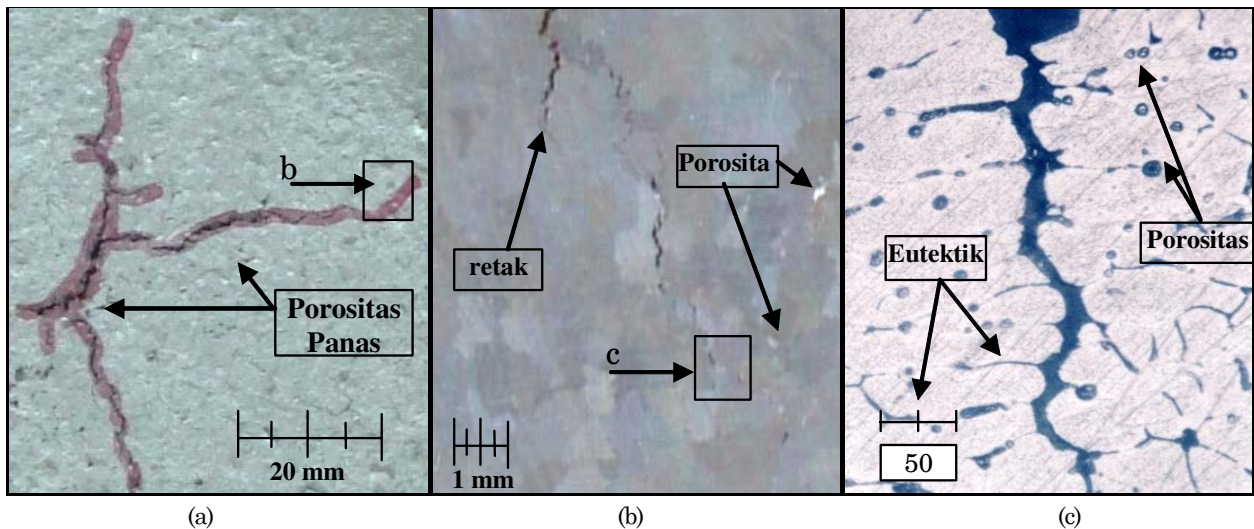
Gambar 4. Produk hasil pengecoran *squeeze* Al-0,45%Si



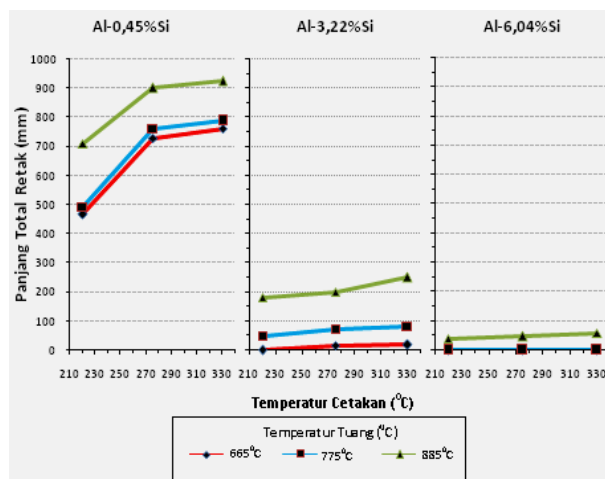
Gambar 5. Produk hasil pengecoran *squeeze* Al-3.22%Si



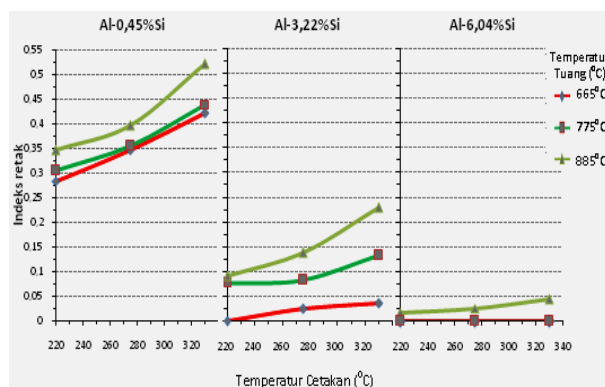
Gambar 6. Produk hasil pengecoran *squeeze* Al-6,04%Si



Gambar 7. Cacat retak panas pada benda cor tipis Al-Si (a) daerah cacat, (b) morfologi retak dan (c) porositas dan ujung retak



Gambar 8. Panjang total retak sebagai fungsi komposisi Si, temperatur tuang dan cetakan.



Gambar 9. Indeks retak panas fungsi dari komposisi Si, temperatur cetakan dan tuang.

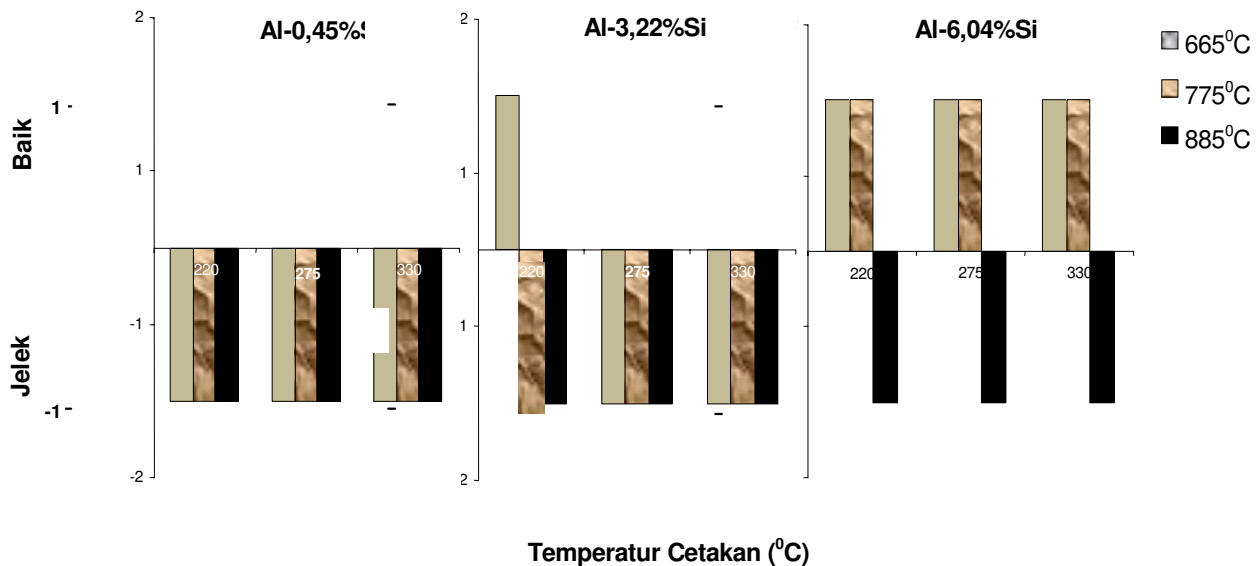
Peningkatan temperatur tuang dan cetakan akan meningkatkan nilai panjang retak panas dan

indeks retak panas (Gambar 8 dan Gambar 9). Temperatur tuang dan temperatur cetakan tinggi akan melahirkan proses pembekuan lambat [14]. Proses pembekuan yang lambat akan mengakibatkan tersedianya waktu yang lama untuk melewati daerah pembekuan atau daerah pembekuan akan semakin panjang, sehingga akan mengakibatkan terjadinya peningkatan nukleasi dendrit Al-Si dan silikon eutektik namun akan melahirkan penyusutan dan kontraksi panas yang besar juga. Jika penyusutan dan kontraksi panas yang terjadi tidak bisa diimbangi oleh *feeding* logam cair, maka akan muncul porositas penyusutan. Porositas akan bertransformasi menjadi retak panas intergranular dan terus berkembang jika tegangan thermal kontraksi dan penyusutan masih tersedia.

Peningkatan komposisi silikon akan meningkatkan jumlah silikon eutektik dan memperbesar kemampuan *feeding* saat pembekuan, hal ini akan menurunkan kemungkinan munculnya retak panas intergranular, transformasi dan penjalaran retak panas. Jika jumlah silikon dalam paduan Al-Si semakin besar, maka panjang retak panas intergranular dan indeks retak panas yang dihasilkan akan semakin kecil (Gambar 8 dan Gambar 9).

Data kontrol kualitas bertujuan untuk memberikan penilaian terhadap baik atau jeleknya produk (Gambar 10). Penilaian baik atau jelek didasarkan pada retak panas yang muncul pada setiap benda hasil proses pengecoran *squeeze*. Benda tanpa retak panas diberi nilai 1 yang berarti baik, sedangkan benda yang mempunyai retak panas diberi nilai -1 yang berarti jelek.

Penerapan temperatur tuang dan cetakan yang rendah pada bahan aluminium dengan kandungan silikon tinggi akan melahirkan produk benda tipis



Gambar 10. Data kontrol kualitas sebagai fungsi dari komposisi Si, temperatur tuang dan cetakan.

bebas retak panas (Gambar 10). Peningkatan temperatur tuang dan cetakan akan meningkatkan kemungkinan munculnya retak panas pada produk benda tipis. Peningkatan kandungan silikon bahan aluminium akan menekan kemungkinan munculnya cacat retak panas. Penerapan tekanan *squeeze* saat terjadi pembekuan dan peningkatan komposisi silikon paduan Al-Si diatas 0,7% berat akan memperkecil kemungkinan munculnya retak panas. Penggunaan bahan aluminium dengan kadar silikon tinggi dan penerapan temperatur tuang dan cetakan rendah pada pengecoran *squeeze* Al-(0,45-6,04)%Si akan menghasilkan benda cor tipis bebas retak panas.

KESIMPULAN

Parameter kandungan silikon, temperatur tuang dan cetakan pada pengecoran *squeeze* benda cor tipis paduan Al-Si memberikan pengaruh yang signifikan terhadap retak panas produk cor. Peningkatan temperatur tuang dalam interval 665-885 °C dan temperatur cetakan dalam interval 220-330 °C pada proses pengecoran *squeeze* Al-(0,45-6,04) %Si akan meningkatkan panjang retak dan indeks retak panas benda cor tipis Al-Si. Peningkatan komposisi silikon paduan Al-Si dalam interval 0,45-6,04 % berat pada proses pengecoran *squeeze* akan menurunkan panjang retak dan indeks retak benda cor tipis. Kombinasi kandungan silikon yang tinggi, temperatur tuang dan cetakan yang rendah pada proses pengecoran *squeeze* benda cor tipis Al-Si akan mencegah terjadinya retak panas.

DAFTAR PUSTAKA

1. Purwanto, H., *Pengaruh Temperatur Tuang, Temperatur Cetakan dan Tekanan pada Pengecoran Squeeze terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Paduan Al-6,4%Si-1,93%Fe*, Thesis S-2 Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada, 2007.
2. Ghromashchi, M.R. dan Vikrov, A., *Squeeze Casting: An Overview*, Journal of Materials Processing Technology, vol. 101, 2000, pp. 1-9.
3. www.key-to-nonferrous.com, diakses tanggal 12 januari 2009.
4. Suyitno dan Iswanto, P.T., *Casting Soundness and Microstructure of Thin Wall Squeeze Cast of Al-Si Alloys*, Hi-Link Project Report, pp. 1-8.12, 2009.
5. Sudarsono, *Pengaruh Temperatur Tuang, Temperatur Cetakan dan Tekanan pada Pengecoran Squeeze terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Paduan Magnesium (Mg-44%Al)*, Thesis S-2 Teknik Mesin UGM, 2008.
6. Hajjari, E. dan Divandari, M., *An Investigation on The Microstructure and Tensile Properties of Direct Squeeze Cast and Gravity Die Cast 2024 Wrought Al Alloy*, Materials and Design, vol. 29, pp. 1685-1689, 2008.
7. Wahyudiono, A., *Pengaruh Tekanan dan Temperatur terhadap Laju Perambatan Retak Fatik Al-6,4%Si-1,93%Fe dengan Pengecoran Squeeze*, Thesis S-2 Teknik Mesin. Universitas Gadjah Mada, 2007.

8. Britnell D.J. dan Neiley K., *Macrosegregation in Thin Walled Casting Produced via The Direct Squeeze Casting Process*, Journal of Materials Processing Technology, vol. 138, 2003, pp. 306-310.
9. Maleki, A., Shafyei, A. dan Niroumand, B., *Effects of Squeeze Casting Parameter on The Microstructure of LM13 Alloy*, Journal of Materials Processing Technology, In Press, 2008.
10. El-khair, M.T. A., *Microstructure Characterization and Tensile Properties of Squeeze Casting AlSiMg Alloy*, Materials Letters, vol. 59, pp. 894-900, 2005.
11. Baek, J. dan Kwon, H.W., *Effect of Squeeze Casting Process Parameters on Fluidity of Hypereutectic Al-Si Alloy*, Journal of Materials Science Technology, Vol. 24 No.1, 2008, pp. 7-11.
12. Zhong, Y., Su, G. dan Yang, K., *Microsegregation and Improved Methods of Squeeze Casting 2024 Aluminium Alloy*, Journal of Materials Science Technology, vol. 19, no. 5, 2003, pp. 413-417.
13. Duskriadi dan Tjitro, S., *Pengaruh Tekanan dan Temperatur Die Proses Squeeze Casting terhadap Kekerasan dan Sturuktur Mikro pada Material Piston Komersil Lokal*, Jurnal Teknik Mesin, Universitas Kristen Petra, Vol. 4, 2002, pp. 1-5.
14. Stefanescu, D.M., *Science and Engineering of Casting Solidification*, Kluwer Academic/Plenum Publiser, New York, 2002.
15. Eskin, D.G., Suyitno dan Katgerman, L., *Mechanical Properties in the Semi-Solid and Hot Tearing of Aluminium Alloys*, Progress in Materials Science, vol.49, pp. 629-711, 2004.