

PENGEMBANGAN *DOUBLE CYLINDER* UNTUK PENGUJIAN PENYUSUTAN MAKRO DAN MIKRO PADA PADUAN ALUMINUM-SILIKON

Hariyadi Nugroho¹, Arif Basuki²

¹ Mahasiswa Program Studi Magister Ilmu dan Teknik Material, FTMD-ITB

² Dosen Program Studi Magister Ilmu dan Teknik Material, FTMD-ITB
Sekolah Pascasarjana Institut Teknologi Bandung

Jl. Taman Sari No.64, Bandung 40116

Phone/Fax: 022 2511495 / 022 2503659

Email: hnugroho14@gmail.com

Abstrak

Penggunaan paduan Aluminium-silikon sebagai material komponen otomotif terus berlanjut hingga hari ini. Proses pengecoran dengan metode cetakan permanen terus digunakan dalam memproduksi masal berbagai komponen otomotif dengan bentuk yang kompleks. Cacat pengecoran seperti cacat penyusutan (*shrinkage defect*) sangat mempengaruhi kualitas produk cor. *Tatur test* merupakan sebuah metode yang tersedia untuk mengukur penyusutan dan porositas selama pembekuan paduan Aluminium-silikon. Akan tetapi, massa sampel *Tatur test* sebesar 1,14 kg dapat menjadi masalah selama peleburan ketika jumlah pengujian cukup banyak. Massa sampel *Tatur test* berkaitan langsung dengan standar geometri dari bentuk sampelnya. Terdapat bentuk sampel lain dengan massa hanya sebesar 0,2 kg saja dan telah dibuktikan mampu digunakan untuk mengukur penyusutan paduan Aluminium-silikon, dinamakan *Double cylinder*. Berdasarkan studi simulasi bentuk *Tatur* memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menghasilkan penyusutan mikro dibandingkan bentuk *Double cylinder*. Pada penelitian ini, bentuk *Double cylinder* dikembangkan lebih lanjut agar mampu digunakan baik untuk mengukur penyusutan makro maupun mikro pada paduan Aluminium-silikon. Data hasil percobaan menunjukkan bahwa bentuk *Double cylinder* yang dikembangkan mampu mengukur penyusutan makro dan mikro pada paduan Aluminium-silikon dengan komposisi silikon 4,56% dan 9,9%, serta lebih unggul dari bentuk *Tatur* karena masih memiliki massa sebesar 0,2 kg.

Kata kunci: *pengecoran aluminum, penyusutan, tatur test, double cylinder*

1. Pendahuluan

Dalam usaha meningkatkan kualitas produk cor aluminum, berbagai metode pengujian dikembangkan untuk mengevaluasi kualitas aluminum sejak proses peleburan. Beberapa sumber cacat pengecoran terbentuk selama proses peleburan, seperti: gas hidrogen dan pengotor yang terlarut pada aluminum cair. Beberapa metode pengujian yang sudah banyak digunakan di industri pengecoran aluminum, antara lain: *Thermal Analysis, Reduced Pressure Test, K-mold, Tatur test, Spiral Test, dan Pressure Filtration (Prefil) Test* atau *Porous Disk Filtration Apparatus (PoFDA) Test* [1]. Pada umumnya metode-metode pengujian tersebut seringkali dikombinasikan, karena hingga saat

ini belum terdapat satu metode pun yang mampu mengevaluasi kualitas aluminum cair secara lengkap.

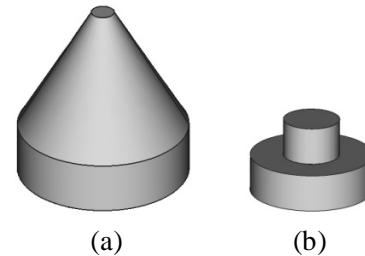
Porositas merupakan cacat pengecoran aluminum yang paling dikeluhkan pengguna produk cor aluminum [2]. Porositas terbentuk melalui dua mekanisme, yaitu: kelarutan gas hidrogen yang terlarut pada aluminum cair yang terus menurun selama pembekuan (*gas porosity*) dan penyusutan volume aluminum yang terjadi selama pembekuan baik pada skala makro maupun mikro (*shrinkage porosity*) [3]. Pada umumnya, *gas porosity* dievaluasi dengan menggunakan *Reduced Pressure Test*, sedangkan *shrinkage porosity* menggunakan *Tatur Test*.

Tatur test merupakan metode pengujian yang dikembangkan oleh N-Tec untuk mengukur penyusutan dan distribusi porositas sebagai fungsi dari kadar hidrogen, paduan atau struktur, dan kebersihan logam cair [4]. Berdasarkan penelitian Neff (2002), untuk melakukan satu kali *Tatur test* dibutuhkan sampel aluminum cair sekitar 1,14 kg. Massa sampel uji sebesar 1,14 kg dapat menjadi masalah selama produksi ketika jumlah *Tatur test* yang dilakukan lebih dari 3 kali, misalkan: jika dilakukan 5 kali *Tatur test*, maka dibutuhkan aluminum cair sekitar 5,7 kg. Selain itu, sampel aluminum cair yang dimasukkan ke dalam cetakan *Tatur test* harus melalui lubang dengan diameter 14 mm [5]. Diameter lubang masuk sampel aluminum cair sebesar 14 mm dapat menyulitkan penuangan secara manual, sehingga untuk melakukan *Tatur test* perlu tambahan alat pendukung penuangan seperti: cawan tuang dan ladel penuang.

Firmansyah (2012) mengusulkan bentuk sampel uji lain untuk pengujian penyusutan pada paduan Aluminum-silikon yang dinamakan *Double cylinder* [6]. Berdasarkan penelitian Firmansyah, *Double cylinder* dibuktikan lebih sensitif dibanding bentuk *Tatur* dalam menghasilkan penyusutan makro beberapa paduan Aluminum-silikon hipoeutektik. Pada penelitian Firmansyah, untuk satu kali pengujian penyusutan dengan *Double cylinder* dibutuhkan aluminum cair sekitar 0,2 kg. Jika dilakukan 5 kali pengujian, maka hanya dibutuhkan aluminum cair sekitar 1 kg saja. Selain itu, diameter lubang masuk sampel aluminum cair pada cetakan *Double cylinder* dirancang sebesar 30 mm. Penuangan sampel aluminum dengan *Double cylinder* lebih mudah dibanding bentuk *Tatur*. Hingga saat ini pengujian penyusutan dengan *Double cylinder* memiliki keunggulan pada aspek massa, hasil pengukuran penyusutan makro, dan penuangan.

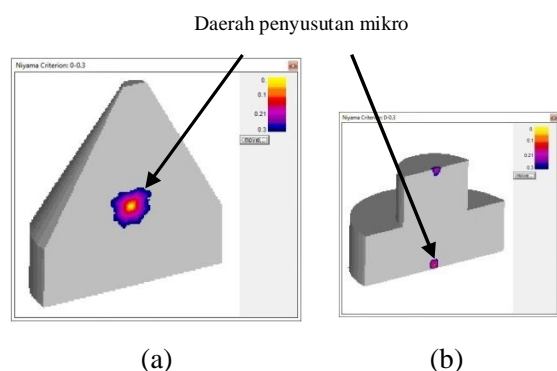
Double cylinder merupakan bentuk sampel uji yang berbeda dari bentuk *Tatur*. Bentuk *Tatur* terdiri dari silinder dan kerucut, sedangkan *Double cylinder* terdiri dua buah silinder, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Pada awal penelitian ini, kemampuan kedua bentuk sampel uji tersebut dalam menghasilkan penyusutan makro dan mikro kemudian dibandingkan dengan cara studi simulasi menggunakan alat bantu program simulasi coran SOLIDCast 8.4.0. Paduan

Aluminum-silikon digunakan selama studi simulasi adalah 433.0 dan bahan cetakan menggunakan material baja.



Gambar 1. Bentuk sampel uji penyusutan: (a) Bentuk *Tatur*, (b) Bentuk *Double cylinder*

Berdasarkan studi simulasi di awal penelitian, hasil pembekuan paduan Aluminum-silikon 433.0 dengan bentuk *Tatur* dan *Double cylinder* berpotensi menghasilkan penyusutan makro (*macroshrinkage*) dan penyusutan mikro (*microshrinkage*). Penyusutan makro pada kedua bentuk sampel diprediksi berupa rongga susut terbuka dengan besar potensi yang sama. Akan tetapi, penyusutan mikro pada kedua bentuk sampel diprediksi memiliki potensi yang berbeda. Jika semakin kecil luas daerah prediksi penyusutan mikro, semakin kecil pula potensi penyusutan mikro yang dapat terbentuk, maka penyusutan mikro pada *Double cylinder* memiliki potensi yang lebih kecil dibanding bentuk *Tatur*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Penyusutan mikro material Aluminum diprediksi menggunakan *niyama criterion* pada rentang nilai kritis 0 – 0,3 ($^{\circ}\text{C}^{1/2} \cdot \text{menit}^{1/2} \cdot \text{cm}^{-1}$) [7].



Gambar 2. Potensi terbentuknya penyusutan mikro pada sampel uji penyusutan: (a) Bentuk *Tatur*, (b) Bentuk *Double cylinder*

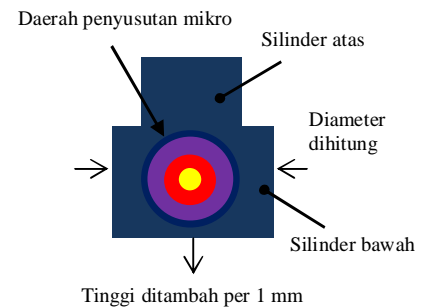
Perbedaan kemampuan antara bentuk *Double cylinder* dan bentuk *Tatur* dalam menghasilkan penyusutan, menimbulkan masalah: bagaimana cara mengembangkan *Double cylinder* agar mampu digunakan untuk mengukur penyusutan makro dan mikro paduan Aluminium-silikon? Oleh karena itu, melalui penelitian ini *Double cylinder* dikembangkan lebih lanjut terutama pada bagian silinder bawah.

2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur melalui buku, karya tulis, jurnal, dan internet, studi simulasi, perancangan dan simulasi, serta percobaan di laboratorium untuk mencapai tujuan penelitian, seperti pada Gambar 3 yang memaparkan alur penelitian ini.

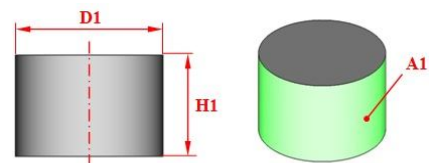


Gambar 3. Alur Penelitian



Gambar 4. Konsep Perancangan *Double cylinder*

Perancangan dan simulasi ditujukan untuk mendapatkan daerah penyusutan mikro yang lebih luas dan berada di bagian tengah silinder bawah pada hasil simulasi, seperti konsep perancangan pada Gambar 4. Dimensi silinder atas masih dipertahankan, seperti pada Gambar 5, dan modulus pembekuannya menjadi acuan untuk mengatur ulang modulus pembekuan silinder bawah. Adapun perhitungan modulus silinder atas, sebagai berikut:



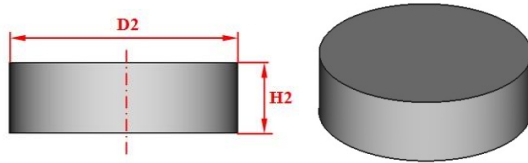
Gambar 5. Silinder Atas

$$D1 = 3 \text{ cm}; H1 = 2 \text{ cm [6]}$$

Modulus pembekuan silinder atas ($M1$):

Terdapat beberapa hal yang menjadi batasan perancangan silinder bawah pada penelitian ini. Pertama, silinder atas tidak boleh berperan sebagai penyuplai (*feeder*) bagi silinder bawah, sehingga modulus pembekuan silinder bawah harus diatur lebih besar atau minimal sama dengan modulus pembekuan silinder atas. Pada penelitian ini, modulus pembekuan silinder bawah disamakan dahulu dengan modulus pembekuan silinder atas, yaitu sebesar 0,75 cm, kemudian waktu pembekuan bagian silinder atas tetap dipercepat dengan cara mengatur tebal dinding cetakan pada bagian silinder atas. Kedua, volume silinder bawah pada penelitian sebelumnya menjadi batas maksimal volume silinder bawah pada penelitian ini, agar massa

Double cylinder tetap dipertahankan sekitar 0,2 kg. Adapun dimensi silinder bawah di penelitian sebelumnya, pada Gambar 6.



Gambar 6. Silinder Bawah

$D2 = 6,5 \text{ cm}$; $H2 = 2 \text{ cm}$ [6]

Volume silinder bawah (awal):

Kemudian, tinggi silinder bawah ($H2$) ditambah per 1 mm untuk mendapatkan beberapa alternatif diameter silinder bawah ($D2$) dengan modulus pembekuan silinder bawah ($M2$) yang tetap sebesar 0,75 cm. Adapun persamaan matematis diameter silinder bawah terhadap modulus pembekuannya, sebagai berikut:

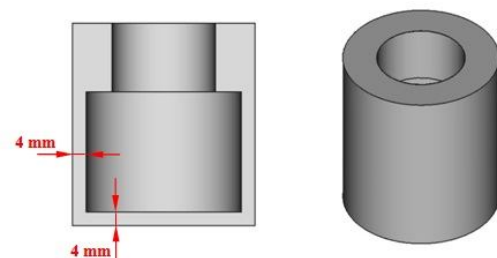
Berdasarkan Tabel.1, dimensi silinder bawah yang menghasilkan volume lebih kecil dari $66,36 \text{ cm}^3$ ditandai pada daerah tabel berwarna hijau. Volume silinder bawah yang lebih kecil dari $66,36 \text{ cm}^3$ tercapai pada tinggi silinder bawah sebesar 29 mm dengan diameter silinder bawah terhitung sebesar 53,06 mm. Pada penelitian ini tinggi silinder bawah dibatasi hingga 35 mm dengan diameter silinder bawah terhitung sebesar 45 mm.

Tabel 1. Alternatif Dimensi Silinder Bawah

M2 (mm)	c	H2 (mm)	a	b	D2 (mm)	V2 (cm ³)
7.5	-6750	20	-5	600	107,43	181,30
7.5	-6750	21	-6	630	92,89	142,30
7.5	-6750	22	-7	660	82,61	117,93
7.5	-6750	23	-8	690	75,00	101,61
7.5	-6750	24	-9	720	69,15	90,14
7.5	-6750	25	-10	750	64,54	81,79
7.5	-6750	26	-11	780	60,82	75,53
7.5	-6750	27	-12	810	57,76	70,75
7.5	-6750	28	-13	840	55,21	67,03
7.5	-6750	29	-14	870	53,06	64,11
7.5	-6750	30	-15	900	51,21	61,79

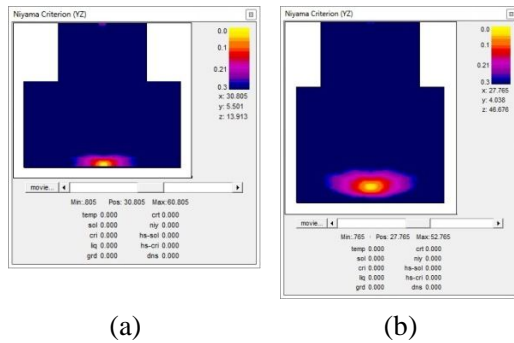
7.5	-6750	31	-16	930	49,62	59,95
7.5	-6750	32	-17	960	48,24	58,48
7.5	-6750	33	-18	990	47,03	57,31
7.5	-6750	34	-19	1020	45,95	56,38
7.5	-6750	35	-20	1050	45,00	55,66

Ketujuh alternatif dimensi silinder bawah selanjutnya menjadi acuan perancangan model *Double cylinder* dan cetakkannya masing-masing dengan menggunakan program *FreeCAD 0.16*. Tebal dinding cetakan pada bagian silinder bawah ditentukan sebesar 4 mm. Tebal dinding cetakan pada bagian silinder atas tetap diatur lebih besar daripada tebal dinding cetakan pada bagian silinder bawah sehingga silinder atas lebih dipastikan tidak berperan sebagai penyuplai (*feeder*) bagi silinder bawah, seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Ketujuh model *Double cylinder* beserta cetakkannya masing-masing kemudian digunakan pada iterasi simulasi ke-1. Paduan Aluminium-silikon yang digunakan masih 433.0 dan bahan cetakan yang digunakan juga masih material baja.



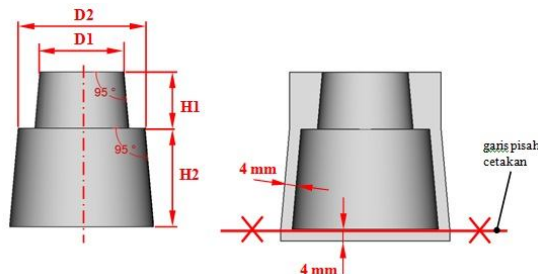
Gambar 7. Konsep cetakan *Double cylinder*

Berdasarkan iterasi simulasi ke-1, seiring perubahan tinggi silinder bawah dari 29 mm hingga 35 mm mengakibatkan daerah prediksi penyusutan mikro semakin bergeser menjauhi permukaan dasar silinder bawah dan semakin luas tetapi bentuk daerahnya masih cenderung pipih, seperti ditunjukkan Gambar 8. Cetakan dari model *Double cylinder* dengan tinggi silinder bawah sebesar 35 mm dan diameter silinder bawah sebesar 45 mm kemudian dipilih untuk dirancang lebih detil pada penelitian ini.



Gambar 8. Potensi terbentuknya penyusutan mikro pada model *Double cylinder* hasil iterasi simulasi ke-1. (a) model *Double cylinder* dengan tinggi silinder bawah sebesar 29 mm dan diameter silinder bawah sebesar 53 mm, (b) model *Double cylinder* dengan tinggi silinder bawah sebesar 35 mm dan diameter silinder bawah sebesar 45 mm.

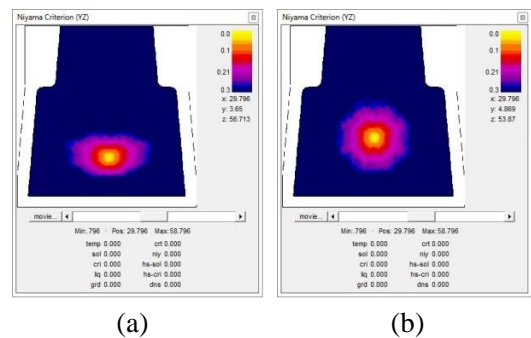
Cetakan *Double cylinder* yang dikembangkan akan terdiri dari dua bagian saja, sementara pada penelitian sebelumnya cetakan terdiri dari tiga bagian. Hal yang dipertimbangkan terutama kemudahan proses pengeluaran sampel uji dari cetakan. Cara pencabutan cetakan yang dianggap paling mudah adalah ke arah atas, sehingga perlu sudut kemiringan pada kedua bentuk silinder. Besar sudut kemiringan mengacu pada standar kemiringan (*draft*) produk cor aluminum dengan metode cetakan permanen [8]. Berdasarkan tinggi silinder atas dan bawah, masing-masing sebesar 20 mm dan 35 mm, maka didapatkan sudut kemiringan yang sama sebesar 5°. Silinder atas dan bawah selanjutnya diberi kemiringan sebesar 5°, dan cetakannya pun disesuaikan kembali, seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Konsep *Double cylinder* dan cetakannya dengan penambahan kemiringan 5°
Modulus pembekuan silinder atas kemudian dihitung kembali dan terhitung sebesar 0,79 cm.

Dengan penambahan kemiringan sebesar 5°, modulus pembekuan silinder atas lebih besar 0,04 cm dari sebelumnya. Jika modulus pembekuan silinder bawah kemudian ditentukan juga 0,79 cm, maka diameter silinder bawah dihitung kembali dan terhitung sebesar 45,2 mm. Diameter silinder bawah lalu dibulatkan 45 mm.

Pada iterasi simulasi ke-2, paduan Aluminum-silikon yang digunakan masih 433.0, tetapi bahan cetakannya dibedakan. Model pertama, *Double cylinder* dengan penambahan kemiringan sebesar 5° dan bahan cetakannya menggunakan material baja. Model kedua, *Double cylinder* dengan penambahan kemiringan sebesar 5° dan bahan cetakannya menggunakan material tembaga. Berdasarkan iterasi simulasi ke-2, daerah prediksi penyusutan mikro pada model pertama hampir bergeser ke bagian tengah silinder bawah dengan bentuk daerah yang masih cenderung pipih. Pada model kedua, daerah prediksi penyusutan mikro tepat berada di bagian tengah silinder bawah dengan bentuk daerah yang cenderung bulat sesuai dengan konsep perancangan, seperti pada Gambar 10 b.



Gambar 10. Potensi terbentuknya penyusutan mikro pada model *Double cylinder* hasil iterasi simulasi ke-2. (a) model pertama dengan bahan cetakan menggunakan material baja, (b) model kedua dengan bahan cetakan menggunakan material tembaga

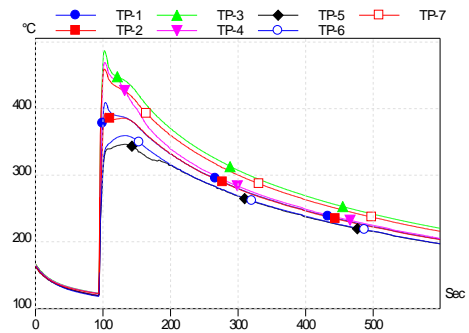
Percobaan dimulai dengan pembuatan cetakan model *Double cylinder* yang telah sesuai konsep perancangan. Cetakan dibuat dari tembaga berbentuk silinder yang kemudian diproses pemesian menggunakan mesin bubut. Percobaan pada penelitian ini dilakukan di dua tempat. Percobaan pertama di Laboratorium

Metalurgi dan Teknik Material, FTMD-ITB. Percobaan kedua di Laboratorium Produksi *Die Casting*, Jurusan Teknik Pengecoran Logam Polman Bandung. Karakterisasi sampel uji dilakukan berurutan, dimulai dari analisis termal, pengujian massa jenis, pengujian visual dan metode metalografi kuantitatif, serta pengujian komposisi kimia.

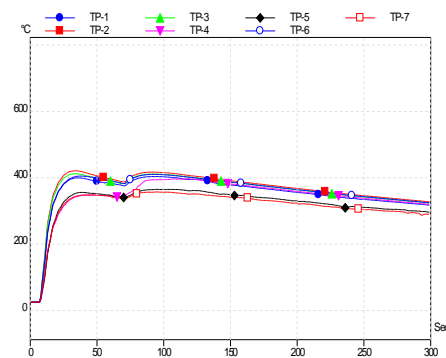
3. Hasil dan Pembahasan

Percobaan pertama pada penelitian ini menghasilkan satu buah sampel uji, sedangkan percobaan kedua menghasilkan dua buah sampel uji. Penuangan sampel 1, 2, dan 3 berturut-turut tercatat pada temperatur penuangan 700 °C, 700 °C, dan 708 °C. Analisis termal ditujukan untuk dapat memprediksi karakteristik pembekuan paduan Aluminium-silikon yang digunakan pada kedua percobaan. Pengukuran temperatur dilakukan dengan posisi sensor termokopel tipe-K tidak kontak dengan cairan dan ditempatkan pada tujuh titik pengukuran. Jarak antara setiap ujung sensor terhadap permukaan dasar cetakan yang kontak dengan aluminium cair diatur sebesar 0,8 mm. Berdasarkan cara pengukuran tersebut didapatkan kurva pemanasan dan pendinginan temperatur dasar cetakan pada kedua percobaan pada Gambar 11 dan 12.

Puncak kurva pemanasan dasar cetakan pada kedua percobaan sama-sama tidak melampaui temperatur solidus paduan Aluminium-silikon yang digunakan, sehingga material tembaga yang digunakan sebagai bahan cetakan tidak bersifat insulator. Berdasarkan hal tersebut pula, paduan Aluminium-silikon yang terletak pada dasar permukaan cetakan diketahui mengalami pembekuan yang sangat cepat yang ditandai melalui kemiringan kurva pemanasan yang curam.



Gambar 11. Kurva pemanasan dan pendinginan dasar cetakan di percobaan pertama



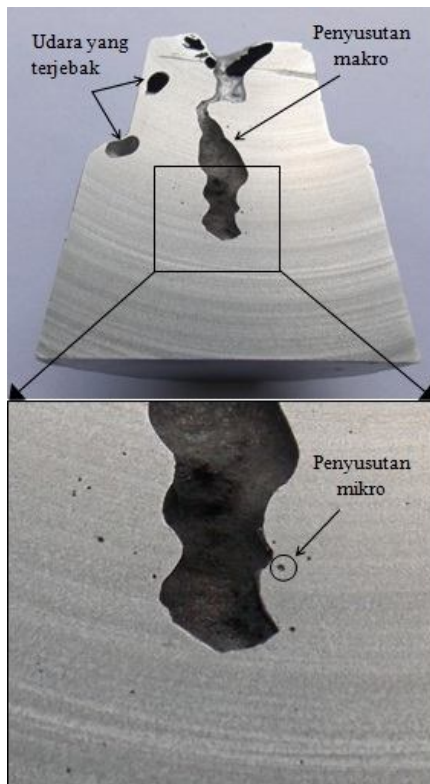
Gambar 12. Kurva pemanasan dan pendinginan dasar cetakan di percobaan pertama

Pengujian massa jenis ditujukan untuk dapat mengukur penyusutan mikro secara kuantitatif, walaupun rongga dalam lainnya selain penyusutan mikro yang terbentuk di dalam sampel juga akan ikut terukur. Hasil pengujian massa jenis ketiga sampel terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian massa jenis

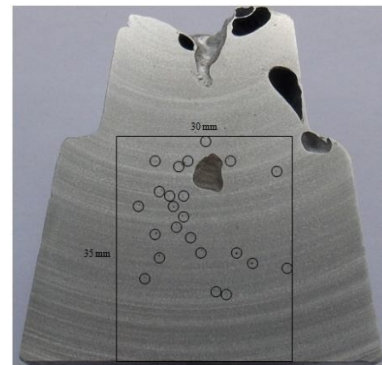
Sampel	ma (g)	ms (g)	v s (ml)	ρ_s (g/ml)	DI	Vrs (ml)
1	75,30	202,50	76,68	2,64	1,64%	1,26
2	77,15	207,84	78,60	2,64	0,59%	0,46
3	72,83	196,47	74,19	2,65	0,44%	0,33

Berdasarkan data tersebut, volume rongga susut dalam (Vrs) yang terbentuk pada sampel 1 terhitung paling besar, sedangkan pada sampel 3 terhitung paling kecil. Data hasil pengujian massa jenis ini kemudian dibandingkan secara visual untuk memastikan rongga susut dalam yang terbentuk pada masing-masing sampel benar-benar merupakan penyusutan mikro.



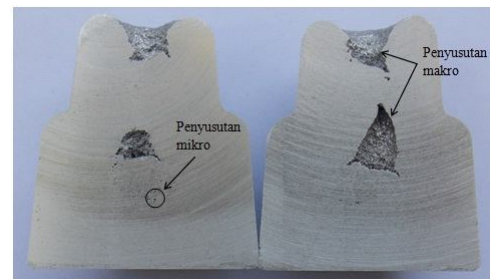
Gambar 13. Hasil pengujian visual sampel 1

Berdasarkan hasil pengujian visual sampel 1 pada Gambar 13, diketahui penyusutan mikro terbentuk di daerah tengah silinder bawah. Namun, terdapat rongga dalam selain penyusutan mikro yang dari karakteristiknya seperti udara yang terjebak yang membentuk rongga dalam sehingga volume penyusutan mikro yang terhitung sebesar $1,26 \text{ cm}^3$ bukan merupakan volume penyusutan mikro yang sebenarnya, tetapi jumlah volume penyusutan mikro yang sebenarnya ditambah volume udara yang terjebak. Walaupun penyusutan mikro pada sampel 1 tidak berhasil dihitung secara kuantitatif melalui pengujian massa jenis, penyusutan mikro tetap dapat diprediksi dengan teknik metalografi kuantitatif kemudian berdasarkan perhitungan yang dilakukan pada daerah $30 \text{ mm} \times 35 \text{ mm}$, pada sampel 1 terdapat 23 buah penyusutan mikro yang terlihat secara visual, pada Gambar 14.



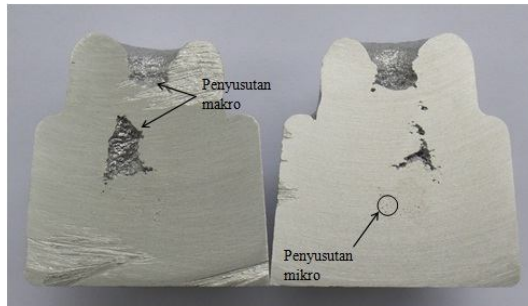
Gambar 14. Perhitungan penyusutan mikro sampel 1 dengan teknik metalografi kuantitatif.

Pada hasil pengujian visual sampel 2 seperti yang ditunjukkan Gambar 15, diketahui terdapat penyusutan makro yang terbentuk berupa rongga susut terbuka (*pipe shrinkage cavity*) dan rongga susut dalam (*internal shrinkage cavity*). Penyusutan mikro yang terbentuk pada sampel 2 masih terletak tepat di daerah tengah silinder bawah. Penyusutan mikro pada sampel 2 terdistribusi di sekitar dan di bawah rongga susut dalam.



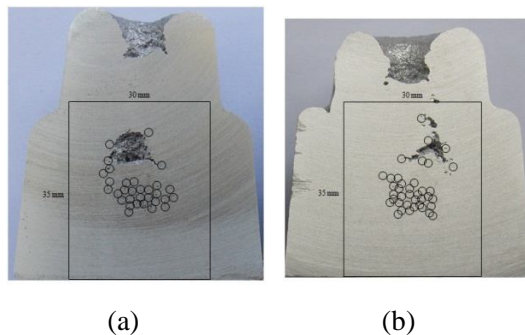
Gambar 15. Hasil pengujian visual sampel 2

Pada hasil pengujian visual sampel 3 seperti yang ditunjukkan Gambar 16, diketahui terdapat penyusutan makro yang juga terbentuk berupa rongga susut terbuka (*pipe shrinkage cavity*) dan rongga susut dalam (*internal shrinkage cavity*). Penyusutan mikro yang terbentuk pada sampel 3 masih juga terletak tepat di daerah tengah silinder bawah. Penyusutan mikro pada sampel 3 juga terdistribusi di sekitar dan di bawah rongga susut dalam.



Gambar 16. Hasil pengujian visual sampel 3

Penyusutan mikro pada sampel 2 dan 3 kemudian juga diprediksi dengan teknik metalografi kuantitatif. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan pada daerah 30 mm x 35 mm, pada sampel 2 terdapat 31 buah penyusutan mikro, sedangkan pada sampel 3 terdapat 38 buah penyusutan mikro yang terlihat secara visual, pada Gambar 17. Adanya perbedaan jumlah penyusutan mikro antara sampel 2 dan 3 dapat diakibatkan temperatur penuangan sampel 3 yang lebih tinggi dari temperatur penuangan sampel 2.



Gambar 17. Perhitungan penyusutan mikro sampel 2 dan 3 dengan teknik metalografi kuantitatif. (a) sampel 2, (b) sampel 3

Kemudian, paduan aluminum silikon yang digunakan pada percobaan pertama dan kedua dilakukan pengujian komposisi kimia yang dianalisis menggunakan mesin *Optical Emission Spectroscopy* (OES) di Laboratorium Pengujian Material, Jurusan Teknik Pengecoran Logam, Polman Bandung. Adapun komposisi kimia paduan aluminum silikon yang digunakan pada percobaan pertama dan kedua seperti ditunjukkan pada Tabel 3 dan 4.

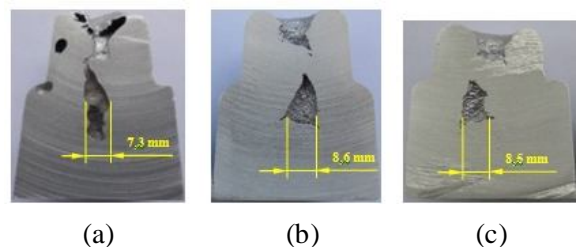
Tabel 3. Komposisi paduan Aluminum-silikon pada percobaan pertama - sampel 1

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti
4,56	0,8	0,98	0,09	0,023	0,013	0,04	1,17	0,01

Tabel 4. Komposisi paduan Aluminum-silikon pada percobaan kedua - sampel 2 dan 3

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti
9,9	1,2	1,73	0,19	0,09	0,04	0,11	1,01	0,03

Hal lainnya yang dapat dianalisis berdasarkan pengujian visual, jika lebar rongga susut makro ketiga sampel dibandingkan, seperti pada Gambar 18, maka lebar rongga susut makro pada sampel 1 sebesar 7,3 mm, sampel 2 sebesar 8,6 mm, dan sampel 3 sebesar 8,5 mm. Lebar rongga susut makro diukur pada lebar rongga yang terbesar. Jika paduan Aluminum-silikon hipoeutektik dengan komposisi silikon 4,56 % memiliki penyusutan makro yang lebih kecil daripada paduan Aluminum-silikon hipoeutektik dengan komposisi silikon 9,9 %, maka ditunjukkan dengan lebar rongga susut makro yang lebih kecil. Berdasarkan hal tersebut, melalui penelitian ini ukuran lebar rongga susut makro diusulkan sebagai indeks penyusutan makro atau *macro shrinkage index*.



Gambar 18. Perbandingan lebar rongga susut makro pada ketiga sampel. (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3

4. Kesimpulan

Double cylinder yang mampu mengukur penyusutan makro dan mikro pada paduan Aluminum-silikon telah dikembangkan melalui penelitian ini. Data percobaan menunjukkan bahwa *Double cylinder* yang dikembangkan mampu mengukur penyusutan makro dan mikro

pada paduan Aluminium-silikon dengan komposisi silikon 4,56 % dan 9,9 %. *Double cylinder* yang dikembangkan memiliki kemampuan yang sama dengan bentuk *Tatur* tetapi lebih unggul karena masih memiliki massa sebesar 0,2 kg.

Pada penelitian ini, modulus pembekuan *Double cylinder* terbatas pada nilai 0,79 cm, sehingga untuk mewakili modulus pembekuan bagian benda cor yang lebih besar perlu dilakukan penyesuaian modulus pembekuan *Double cylinder*.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis sangat berterima kasih kepada Dr. Ir. Arif Basuki sebagai Pembimbing, atas segala nasihat, bimbingan dan dukungannya selama penelitian berlangsung dan selama penulisan tesis ini. Penulis juga sangat berterima kasih kepada Dr. Beny Bandanadjaja, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Pengecoran Logam, Politeknik Manufaktur Bandung dan Mochamad Achyarsyah, S.S.T., M.T. selaku Kepala PPC Pengecoran Logam, Politeknik Manufaktur Bandung atas segala dukungan dan bantuannya selama penelitian berlangsung.

6. Referensi

- [1] Djurdjevic, Mile B., Odanovic, Z., dan Pavlovic-Krstic, J. (2010): *Melt quality control at Aluminum casting plants*. Scientific paper UDC: 621.747:669.71. Association of Metalurgical Engineers of Serbia (AMES).
- [2] Monroe, R. (2005): *Porosity in castings*. Paper 05-245(04) AFS Transactions 2005. American Foundry Society (AFS).
- [3] Beckermann, C. (2002): *Modeling of solidification*. Purdue Heat Transfer Celebration April 3-5. The University of Iowa, Iowa City, 19-22.
- [4] Neff, David V. (2002): *Improving die casting melt quality and casting results with melt quality analysis and filtration*. Metaullics Systems Co. L.P. Solon, Ohio.
- [5] Bruna, M., Sladek, A., dan Kucharcik, L. (2012): *Formation of porosity in Al-Si alloys*. Archives of Foundry Engineering. ISSN (1897-3310). Volume 12 Special Issue 1/2012. Versita.
- [6] Firmansyah. (2012): *Pengujian penyusutan paduan Al-Si dengan metode Tatur dan Double cylinder*. Tugas Akhir Program Sarjana. Institut Teknologi Bandung.
- [7] Schmidt, David C. (2011): *Training Course Workbook Version 8.1.1*. Finite Solutions. Diperoleh melalui situs internet: <http://old.finitesolutions.com/DownloadPage/SOLIDCastWorkbook.zip>. Diakses pada tanggal 18 Maret 2016.
- [8] *Standards for Aluminum Sand and Permanent Mold Castings*. 15th Edition 2008. The Aluminum Association.